

Technische Universität Dortmund
Fakultät Sozialwissenschaften

Soziologische Modellierung nachhaltiger Transformation.
Das Beispiel der Mobilität im Ruhrgebiet.
Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. rer. soc.

Vorgelegt von Marlon Philipp

Erstgutachter: Prof. Dr. Johannes Weyer
Zweitgutachter: Prof. Dr. Bernd Sommer

04/2026

Dissertation an der Fakultät für Sozialwissenschaften der TU Dortmund

Dissertationsort: Dortmund

Eine Dissertation ist nicht nur ein Schriftstück, sondern stellt einen ganzen Lebensabschnitt dar. So ist es dann auch nicht verwunderlich, dass eine Dissertation über einen derart langen Zeitraum sowohl berufliche als auch private Höhen und Tiefen bereitet und begleitet. Einen solchen Lebensabschnitt beschreitet man jedoch nie alleine.

Daher möchte ich mich besonders bei meiner Familie, meinen Freunden und meinem Team bedanken, die Erfolge mit mir feierten, für Probleme stets ein offenes Ohr hatten und ihre Meinungen mit mir ehrlich teilten. Hierdurch haben sie maßgeblich zum erfolgreichen Abschluss dieser Dissertation beigetragen. Meinen Eltern möchte ich zusätzlich dafür danken, dass sie sich die Zeit genommen haben, diese Arbeit sprachlich zu korrigieren.

Ein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Johannes, der mich durch sein entgegengebrachtes Vertrauen, sein Fachwissen und seine Flexibilität in der Arbeitsgestaltung stets im Schreibprozess unterstützte. Ebenso bedanke ich mich bei Bernd für den inhaltlichen Input sowie die Begutachtung der Arbeit und bei Jürgen als Teil des Prüfungskomitees.

Weiterhin möchte ich mich bei dem restlichen Team der Techniksoziologie (Aaron, Antonio, Basti, Fabian, Jan, Julius, Kay, Lotta, Marion, Paula und Tobi) bedanken. Ich habe nicht nur eure fachliche Expertise stets sehr geschätzt, sondern insbesondere das freundschaftliche Miteinander. Ihr wart immer für einen freundschaftlichen Schnack und Schabernack zu haben und habt damit maßgeblich dazu beigetragen, dass die Arbeit zu mehr als nur Arbeit wurde.

Darüber hinaus hatte ich das Glück, im Rahmen meiner Tätigkeit in den Projekten und durch den Besuch (internationaler) Konferenzen eine Vielzahl an talentierten Wissenschaftler:innen kennenzulernen (u. a. Arianne, Benjamin, Corinna, Ella, Hannah, Hendrik, Julia, Robert, Sarah, Tennessee u. v. m.). Dieser interdisziplinäre wissenschaftliche Austausch findet sich zumindest indirekt auch in dieser Dissertation wieder.

Abschließend möchte ich mich auch bei der Sozialforschungsstelle bedanken, die das Team der Techniksoziologie mit offenen Armen aufgenommen und uns so ein neues wissenschaftliches Zuhause geboten hat.

Ich schätze mich glücklich, diesen Lebensabschnitt mit so vielen tollen Menschen an meiner Seite beschritten zu haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Menschenverursachte Klimawandel	2
1.2	Nachhaltige Entwicklung und gesellschaftliche Transformation ..	6
1.2.1	Sustainable Development Goals und die deutsche Implementation in Form der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie	9
1.2.2	European Green Deal	12
1.2.3	Zusammenfassende Kritik und die Notwendigkeit einer kritischen Reflexion	14
1.3	Soziologie der Nachhaltigkeit	15
1.4	Inhaltlicher Überblick	17
2	Gesellschaft im Zeichen der Nachhaltigkeit – Eine Modellbildung	20
2.1	Multiple Ebenen	20
2.1.1	Wendt – Nachhaltigkeitsutopien	21
2.1.2	Henkel et al. – Sozialökologisches Mehrebenenmodell	23
2.1.3	Pfister – Energiekulturenforschung.....	25
2.2	Transformation	28
2.2.1	Schneidewind – Zukunftskunst.....	28
2.2.2	Sustainable Transitions Research.....	31
2.2.3	Esser/Coleman – Makro-Mikro-Makro Modell	33
2.2.4	Melville – Believe Action Outcome Modell.....	35
2.2.5	Weyer – Multi-Level Governance Modell.....	37
2.3	Grundzüge eines soziologischen Modells nachhaltiger Transformation	39
2.3.1	Multiple Ebenen	40
2.3.2	Transformation	41
2.3.3	Zeitliche Rahmung	43
2.3.4	Akteur:innen.....	45
2.3.5	Technik und Innovation	49
2.3.6	Governance	51
2.3.7	Ein soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT)	55

3	Mobilität in Deutschland.....	59
3.1	Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs.....	60
3.1.1	Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs bis 2017 ...	60
3.1.2	Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs vor der Pandemie	62
3.1.3	Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs in Folge der Covid-19-Pandemie.....	65
3.1.4	Unklare zukünftige Entwicklung	71
3.1.5	Zwischenfazit	75
3.2	Die Mobilität des Ruhrgebiets	78
4	SMNT der Mobilität und Hypothesenentwicklung	83
4.1	Mikrosoziologische Betrachtung des Verkehrs	84
4.1.1	Einflussfaktoren der Verkehrsmittelwahl	85
4.1.2	SEU-Theorie zur Modellierung von Mobilitätsentscheidungen	87
4.2	Simulationen in den Sozialwissenschaften	89
4.3	Hypothesensynthese.....	93
5	Empirische Analyse des Personenverkehrs zwischen den Ruhr-Universitäten anhand einer Befragung	97
5.1	Konzeption	98
5.1.1	Einladungsversand per E-Mail an Universitätsangehörige	99
5.1.2	Pretest	99
5.2	Operationalisierung	100
5.2.1	Präferenzen (U- und p-Werte).....	101
5.2.2	Wegekette und Hauptverkehrsmittel.....	103
5.2.3	Veränderungsbereitschaft/Zukunftsszenarien	107
5.3	Deskriptive Statistik	110
5.3.1	Beschreibung der Stichprobe	110
5.3.2	Personengruppen der universitären Mobilität basierend auf den U-Werten der SEU-Berechnung	112
5.3.3	Hauptverkehrsmittel der Wegekette.....	116
5.3.4	Hauptverkehrsmittel nach SEU-Berechnung	128
5.3.5	Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen	138

5.4	Diskussion und Zwischenfazit der Befragung	142
5.4.1	Ergebnisse und wissenschaftliche Einordnung	143
5.4.2	Limitationen	148
5.4.3	Hypothesen und Ausblick	150
6	Simulation möglicher Transformationsszenarien des Personenverkehrs mittels MATSim	153
6.1	Der Simulator MATSim und das Nemo-Szenario	153
6.1.1	Das Nemo-Szenario: Netzwerk und Population	155
6.1.2	Mobilitätssimulation	156
6.1.3	Scoring - Bewertung der Tagespläne	157
6.1.4	Replanning	159
6.2	Das InnaMoRuhr-Szenario – Erweiterungen und Implementation..	160
6.2.1	Tagespläne.....	160
6.2.2	Skalierung	163
6.2.3	Erweiterung des bestehenden Scorings	164
6.2.4	Kalibrierung	167
6.2.5	Auswertung	169
6.2.6	Technische Implementierung	171
6.3	Experiment Implementierung.....	185
6.3.1	Experiment 0: Vergleich der Simulation mit und ohne zusätzlicher SEU-Berechnung	185
6.3.2	Experiment 1: Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs	186
6.3.3	Experiment 2: Senkung der Kosteneffektivität des Autos	186
6.3.4	Experiment 3: Steigerung des Fahrradkomforts	187
6.3.5	Experiment 4: Kombination	188
6.3.6	Experiment 5: Wunschwegkette.....	189
6.4	Experimentauswertung.....	190
6.4.1	Experiment 0: Vergleich der Simulationen mit und ohne zusätzlicher SEU-Berechnung	191
6.4.2	Experiment 1: Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs	196
6.4.3	Experiment 2: Senkung der Kosteneffektivität des Autos	199
6.4.4	Experiment 3: Steigerung des Fahrradkomforts	203
6.4.5	Experiment 4: Kombination	207
6.4.6	Experiment 5: Wunschwegkette.....	212

6.5	Diskussion und Zwischenfazit der Simulation.....	215
6.5.1	Zusammenfassung der Simulationsergebnisse.....	215
6.5.2	Experimentübergreifender Vergleich – Emissionen	219
6.5.3	Experimentübergreifender Vergleich – Nutzen	220
6.5.4	Experimentübergreifender Vergleich – Agentengruppen	223
6.5.5	Limitationen	226
7	Fazit und Ausblick.....	230
8	Literaturverzeichnis	xviii
9	Anhang.....	xlvi

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung der Oberflächentemperatur von 1880 bis heute. Die durchgezogene schwarze Linie zeigt den globalen Jahresmittelwert. Die durchgezogene rote Linie zeigt die über fünf Jahre geglättete Kurve (Darstellung von NASA GISS 2018, S. 1).....	3
Abbildung 2: Die Genese des Diskursfeldes nachhaltige Entwicklung (Darstellung von Brand 2021a, S. 192 – CC BY 4.0).....	6
Abbildung 3: Dimensionen der Nachhaltigkeit und ihre unterschiedlichen Darstellungsweisen (Darstellung von Purvis et al. 2019, S. 682 – CC BY 4.0)	8
Abbildung 4: Eigene zusammengefasste Darstellung der Mobilitätsindikatoren und Indikatorenausprägung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategien (Bundesregierung 2021b, S. 11–25).....	11
Abbildung 5: Die drei Dimensionen der Soziologie der Nachhaltigkeit (Darstellung von SONA 2021b, S. 13 – CC BY-NC-ND 4.0)	16
Abbildung 6: Inhaltlicher Überblick der Arbeit nach Kapiteln	18
Abbildung 7: Sozialökologisches Mehrebenenmodell am Beispiel eines alternativen Wohnprojektes (Darstellung von Henkel et al. 2021, S. 61 – CC BY-NC-ND 4.0).....	24
Abbildung 8: Modell der Energiekulturenforschung nach Pfister (2021, S. 231–244), eigene Darstellung	26
Abbildung 9: Konzept Zukunftskunst und idealtypische Akteursgruppen. Eigene Darstellung nach Schneidewind (2018, S. 298).....	29
Abbildung 10: Multi-Level Perspective (Darstellung von Geels 2024, S. 5 – CC BY-NC-ND 4.0)	32
Abbildung 11: Das soziologische Makro-Mikro-Makro-Modell. Eigene Darstellung in Anlehnung an Greve et al. (2009, S. 8).....	34
Abbildung 12: Belief-Action-Outcome-Modell. Eigene Darstellung in Anlehnung an Melville (2010, S. 6).....	36
Abbildung 13: Modell multipler sozialer Systeme (Darstellung von Weyer et al. 2015, S. 22)	37

Abbildung 14: Beispiel eines Multi-Level Models of Governance anhand des soziotechnischen Systems des Flugverkehrs (Darstellung von Weyer et al. 2015, S. 26)	38
Abbildung 15: Schrittweise Entwicklung des SMNT. Von oben nach unten: Multiple Ebenen, Transformation und Akteur:innen, komplettes Modell ...	39
Abbildung 16: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - multiple Ebenen	40
Abbildung 17: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - Transformation.....	42
Abbildung 18: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - Erfahrungswerte und Utopien/ Dystopien.....	45
Abbildung 19: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - erweiterte Individualhypothese	46
Abbildung 20: Steuerung im SMNT	52
Abbildung 21: Koordination im SMNT	52
Abbildung 22: New Public Governance im SMNT	53
Abbildung 23: Governance zwischen den Transformationsarenen im SMNT	54
Abbildung 24: Soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT)	56
Abbildung 25: Entwicklung des deutschen Personenverkehrs anhand der Multi-Level Perspective vor 2017 (Darstellung von Philipp und Adelt 2018, S. 14)	60
Abbildung 26: Modal Split des Verkehrsaufkommens im Jahr 2019 (Wege je Person und Tag; Anteile der Verkehrsmodi). Eigene Darstellung in Anlehnung an Ecke et al. (2020, S. 39).....	63
Abbildung 27: Veränderung der Mobilität in Deutschland gegenüber 2019 in Prozent (Darstellung von Statistisches Bundesamt 2023a, S. 1)	66
Abbildung 28: Auswirkungen von Kurzarbeit und Homeoffice auf die Arbeitsmobilität (Darstellung von Corona Datenplattform 2021, S. 8).....	70

Abbildung 29: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Personenverkehr in Deutschland (Darstellung vom Umweltbundesamt 2025b, S. 1 – CC BY-NC-ND 4.0)	72
Abbildung 30: Erweiterte Multi-Level Perspective des deutschen Personenverkehrs vor, während und nach der Covid-19-Pandemie	77
Abbildung 31: Prozentualer Anteil der Verkehrsmittel an den zurückgelegten Wegen im Ruhrgebiet (Eigene Darstellung Modal Split in Anlehnung an Imobis (2020, S. 15)).....	78
Abbildung 32: Bevölkerungsdichte und Zug-Liniennetz im Ruhrgebiet: Auszüge der dynamischen Karte des RVRs (2024, S. 1). Lizenzen: RVR und Kooperationspartner, dl-de/by-2-0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0), und ALKIS, ATKIS des/der Land NRW/Katasterämter, dl-zero-de/2.0 sowie OpenStreetMap – Mitwirkende, Open Database License.....	79
Abbildung 33: Ruhrgebietsausschnitt der Gesamtbewertung des ADFC Fahrradclimatests 2024 (ADFC 2025, S. 1). Je roter die Stadt, desto schlechter das Fahrradklima. Bsp.: Dortmund hat die Schulnote 4,3. Visualisierung von team red (2026) im Rahmen des SmartCity MobilityBoosters.....	81
Abbildung 34: Stark zusammengefasste Adaption der MLP-Ergebnisse im Sinne des SMNT	83
Abbildung 35: Vereinfachte eigene Darstellung der Theory of Routine Mode Choice Decisions von Schneider (2013, S. 129)	86
Abbildung 36: Unterschiedliche Push-out und Pull-in Faktoren des motorisierten Individualverkehrs. Eigene Darstellung in Anlehnung an Knuth und Geissler (2012, S. 73).....	87
Abbildung 37: Eingebettete Mikroebene des SMNT der Mobilität.....	88
Abbildung 38: Benutzeroberfläche des Simulators SimCo (Darstellung von Adelt und Hoffmann 2017, S. 40 – CC BY 4.0).....	91
Abbildung 39: Eigene Visualisierung des MATSim-Straßennetzwerks des Ruhrgebiets (Grau) mit Simunto auf Basis von OpenStreetMap (Lizenz: ODbL)	92
Abbildung 40: Hypothesensynthese basierend auf dem SMNT der Mobilität	93

Abbildung 41: Berechnung des Hauptverkehrsmittels anhand der erhobenen Wegekette.....	106
Abbildung 42: Darstellung der Clusterqualität und Clusterverteilung der SPSS Two-Step-Clusteranalyse (5 Cluster, 5 % Ausreißer).....	113
Abbildung 43: Aktuelles Hauptverkehrsmittel nach der zurückgelegten Distanz.....	119
Abbildung 44: Gewünschtes Hauptverkehrsmittels nach der zurückgelegten Distanz.....	120
Abbildung 45: Derzeitiges Hauptverkehrsmittel nach Akteursgruppe	121
Abbildung 46: Wunsch-Hauptverkehrsmittel nach Akteursgruppe.....	122
Abbildung 47: Spinnennetz-Darstellung der relativen Hauptverkehrsmittelanteile (SEU, Aktuell, Wunsch) nach Akteursgruppe	136
Abbildung 48: Säulendiagramm der Mittelwerte der drei Szenarien.....	138
Abbildung 49: Abweichung vom Mittelwert der drei Mobilitätsszenarien unterteilt nach den Akteursgruppen	139
Abbildung 50: Hypothesensynthese basierend auf dem SMNT der Mobilität, erweitert um Hypothese S3,5 und Ergebnisse der Befragung (vgl. Abbildung 86)	152
Abbildung 51: Eigene Visualisierung des MATSim-Straßennetzwerks des Ruhrgebiets (Grau) mit Simunto auf Basis von OpenStreetMap (Lizenz: ODbL)	154
Abbildung 52: Simulationsschritte in MATSim - „MATSim cycle“ genannt (Darstellung von Horni et al. 2025, S. 3 – CC BY 4.0)	154
Abbildung 53: Exemplarische Plandatei des InnaMoRuhr-Szenarios in MATSim	162
Abbildung 54: Logischer Ablauf der Funktionen der Tagesplanerstellung sowie deren Verortung	172
Abbildung 55: Overpass Turbo Skript und Ausgabe des Skripts	172
Abbildung 56: find_intermediate_nodes funktionaler Bestandteil 1	175

Abbildung 57: find_intermediate_nodes funktionaler Bestandteil 2	175
Abbildung 58: find_intermediate_nodes funktionaler Bestandteil 3	176
Abbildung 59: Logischer Ablauf des InnaMoRuhr-Scorings und der Kalibrierung	177
Abbildung 60: Spezifikation der U-Werte (oben) und p-Werte (unten, Ausschnitt) in der Konfigurationsdatei als Input für die Scoring-Funktion	178
Abbildung 61: Logischer Ablauf der InnaMoRuhr-Emissionsberechnung	182
Abbildung 62: Exzerpt des CSV-Imports in Excel	183
Abbildung 63: Modal Split des Basis-Szenarios ohne (off) und mit (on) SEU-Berechnung im Vergleich zum Modal Split der Befragung (Survey)	192
Abbildung 64: Oben: Modal Split des Basis-Szenarios ohne (off/blau) und mit (on/rot) zusätzlicher SEU-Berechnung nach Agentengruppe; angegebene Prozentwerte mit SEU-Berechnung. Unten: Abweichung zwischen den beiden Szenarien in Prozentpunkten	193
Abbildung 65: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs auf 200 %	196
Abbildung 66: Veränderung der Verkehrsmittelnutzung der Agentengruppen (in Prozentpunkten) bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs auf 200 %	197
Abbildung 67: Veränderung der Emissionen bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität der ÖV. Unten: Veränderung der gesamten Emissionen. Oben: Veränderung der Emissionen nach Agentengruppen	198
Abbildung 68: Veränderung des Nutzens bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität der ÖVs – Oben: Insgesamt. Unten: Nach Agentengruppen	199
Abbildung 69: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer schrittweisen Senkung der wahrgenommen Kosteneffektivität des Autos auf 200 % vom Basis-Szenario	200
Abbildung 70: Veränderung der Verkehrsmittelnutzung der Agentengruppen (in Prozentpunkten) bei einer schrittweisen Senkung der Kosteneffektivität des Autos auf 0%	200

Abbildung 71: Veränderung der Emissionen bei einer Reduzierung der Kosteneffektivität des Autos – Unten: Veränderung der gesamten Emissionen. Oben: Veränderung der Emissionen nach Agentengruppen .	201
Abbildung 72: Veränderung des Nutzens bei einer Reduzierung der Kosteneffektivität der Autos – Oben: Insgesamt. Unten: Nach Agentengruppen	202
Abbildung 73: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer schrittweisen Steigerung des Fahrradkomforts auf 200 % vom Basis-Szenario	203
Abbildung 74: Veränderung des Modal Splits nach Agentengruppen (in Prozentpunkten) bei einer schrittweisen Steigerung des Fahrradkomforts auf 200 % vom Basis-Szenario	204
Abbildung 75: Veränderung der Emissionen bei einer Erhöhung des Komforts des Fahrrads – Unten: Veränderung der gesamten Emissionen. Oben: Veränderung der Emissionen nach Agentengruppen	205
Abbildung 76: Veränderung des Nutzens bei einer Erhöhung des Komforts des Fahrrads – Oben: Insgesamt. Unten: Nach Agentengruppen	206
Abbildung 77: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der wahrgenommen Kosteneffektivität (Auto) auf 200 % vom Basis-Szenario	207
Abbildung 78: Veränderung des Modal Splits nach Agentengruppe (in Prozentpunkten) bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der Wahrgenommen Kosteneffektivität (Auto) auf 200 % vom Basis-Szenario	208
Abbildung 79: Veränderung der Emissionen bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der Kosteneffektivität (Auto) – Unten: Ergebnis des Experiments sowie manuelle Kombination der Effekte der Einzelexperimente 1 und 2. Oben: Nach Agentengruppen	209
Abbildung 80: Veränderung des Nutzens bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der Kosteneffektivität (Auto) – Unten: Ergebnis des Experiments sowie manuelle Kombination der Effekte der Einzelexperimente 1 und 2. Oben: Nach Agentengruppen	210
Abbildung 81: Veränderung des Modal Splits (in Prozentpunkten) zwischen dem Basisszenario und dem Wunschwegekettenszenario	213

Abbildung 82: Experimentübergreifender Vergleich der Emissionen nach Eingriffstiefe	219
Abbildung 83: Experimentübergreifender Vergleich des Nutzens für die unterschiedlichen Eingriffstiefen	221
Abbildung 84: Vollständiges SMNT der Mobilität mit den Ergebnissen der Befragung und der Simulation. Größere Abbildung im Anhang (vgl. Abbildung 87)	222
Abbildung 85: Ergebnisse der unterschiedlichen Clusteralgorithmen (Ward, K-means, Two-Step) im Vergleich	xlvi
Abbildung 86: Hypothesensynthese basierend auf SMNT der Mobilität, erweitert um Hypothese S3,5 und Ergebnisse der Befragung – größere Darstellung	1
Abbildung 87: Vollständiges SMNT der Mobilität mit den Ergebnissen der Befragung und der Simulation – größere Darstellung	li

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nachhaltigkeitsutopien im Mehrebenenmodell, reduzierte eigene Darstellung von Wendt (2021, S. 155–183).....	21
Tabelle 2: Operationalisierung der soziodemographischen Variablen	101
Tabelle 3:Konstrukt, um die U-Werte zu erfassen.....	101
Tabelle 4: Konstrukt, um die p-Werte der unterschiedlichen Verkehrsmittel zu erfassen	102
Tabelle 5: Konstrukt, um die (Wunsch-) Wegekette zu erfassen.....	104
Tabelle 6: Konstrukt, um nachhaltige Governance-Optionen zu identifizieren	108
Tabelle 7: Drei unterschiedliche Szenarien, um Verhaltensänderungen zu erfassen.....	109
Tabelle 8: Geschlecht, Alter, Statusgruppe und Universitätszugehörigkeit der Befragten.....	111
Tabelle 9: Korrelationstabelle U-Werte (jedes Item n=10782)	112
Tabelle 10: Abweichung der Cluster vom Durchschnittswert der jeweiligen Clustervariable	114
Tabelle 11: Derzeitiges und Wunsch-Hauptverkehrsmittel errechnet nach der zurückgelegten aufsummierten Distanz, der aufsummierten Zeit und der Anzahl an Nutzungen in der Wegekette. Rot markiert: Abweichungen von mehr als drei Prozentpunkten von der Distanz-Berechnung.....	117
Tabelle 12: Anteile des unmotorisierten Fahrrads und des Verbrenner-Autos an der Gesamtheit von Fahrrad + E-Bike und Verbrenner + E-Auto sowie die relative Veränderung zwischen derzeitiger und gewünschter Wegekette. Negative Werte bedeuten hier eine anteilige Reduzierung der nicht-elektrifizierten Verkehrsmittel.....	124
Tabelle 13: Anzahl und Standardabweichung der aggregierten Werte (Dauer, Strecke und Anzahl der Wege (Legs)) der aktuellen und der Wunschwegekette	125
Tabelle 14: Aggregierte Werte (Dauer, Strecke und Anzahl) der einzelnen Wegabschnitte (Legs) der aktuellen und der Wunschwegekette	126

Tabelle 15: Aggregierte Durchschnittswerte (Dauer, Strecke und Anzahl der einzelnen Weg-abschnitte (Legs)) der gesamten (Wunsch-)Wegekette nach Akteursgruppe. Fettgedruckt: Die prozentuale Abweichung zwischen aktueller und Wunschwegekette. Rot markiert: Abweichungen >4 Prozentpunkte von der Gesamtstichprobe)	127
Tabelle 16: p-Werte des Autos, des ÖVs und des Fahrrads. Qualitative Einfärbung (n=10036-10580)	128
Tabelle 17: Durchschnittliche p-Werte nach Akteursgruppen (vor Normalisierung auf einer Skala von 0 bis 1).....	130
Tabelle 18: Eta-Quadrat der Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) der p- und U-Werte zwischen den Akteursgruppen. Werte >0,01 zeigen einen kleinen, Werte >0,06 einen mittleren und >0,14 einen starken Effekt	131
Tabelle 19: SEU-Berechnung nach Clustergruppen mit gruppenspezifischen U-Werten und starren p-Werten sowie die prozentuale Abweichung vom Bestwert der 2. und 3. Wahl.....	132
Tabelle 20: SEU-Berechnung nach Clustergruppen mit gruppenspezifischen p- und U-Werten sowie die prozentuale Abweichung vom Bestwert der 2. und 3. Wahl	132
Tabelle 21: Auf die drei Verkehrsmittel (Pkw, ÖV und Fahr-rad) reduzierte Darstellung der Hauptverkehrs-mittel basierend auf der Wegekette (Aktuell u. Wunsch) sowie Ergebnisse der SEU-Berechnung mit spezifischen p- und U-Werten. Der höchste Zeilenwert, welcher das Hauptverkehrsmittel der jeweiligen Akteursgruppe darstellt, ist rot markiert.....	134
Tabelle 22: Höhe der Abweichung der zweiten und dritten Wahl (in Prozent) des Hauptverkehrsmittel und des nach SEU-Berechnung besten Verkehrsmittels nach der jeweiligen Akteursgruppe	135
Tabelle 23: Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (Std-A.) für die drei Mobilitätsszenarien und unterteilt nach Akteursgruppen (n= Szenario 1: 10443, Szenario 2: 10441, Szenario 3: 10427)	138
Tabelle 24: Auswertung möglicher Governance-Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit des eigenen Arbeitswegs sowohl insgesamt (in Prozent) und nach Clustergruppen (Abweichung vom Durchschnitt in Prozentpunkten). Fett markierte Werte stellen Abweichungen >30 % im Vergleich zum Erhebungsdurchschnitt dar (n=10131)	141

Tabelle 25: Zusammenfassung der Ergebnisse nach Akteursgruppen. Subjektive Wertung des Autors basierend auf den vorgestellten Ergebnissen des Kapitels. Zwei Zeichen (Plus/Minus): Starke Abweichung vom Durchschnitt. Ein Zeichen: Leichte Abweichung vom Durchschnitt. 0: Keine Abweichung.....	146
Tabelle 26: Wissenschaftliche und realpolitische Implikationen, welche sich aus der Befragung ergeben.....	149
Tabelle 27: Zu überprüfende Hypothesen dieser Arbeit.....	152
Tabelle 28: Variablen der Nutzenfunktion des Weges in Deutsch und Englisch sowie ihre typische Ausprägung (Horni et al. 2025, S. 103).....	158
Tabelle 29: Scoring-Variablen der einzelnen Verkehrsmittel im Nemo- Ruhrgebiets-Szenario	158
Tabelle 30: Anzahl der für die Simulation genutzten Pläne sowie die entsprechenden Skalierungsfaktoren für die unterschiedlichen Gruppen der Universitätsangehörigen.....	163
Tabelle 31: Variablen der SEU-Formel (in Anlehnung an Adelt et al. 2018, S. 13; zit. n. Philipp und Adelt 2018, S. 24, ergänzt um MATSim- spezifische Variablen).....	164
Tabelle 32: U-Werte (grau hinterlegt) und p-Werte der Agenten nach Agentengruppe, basierend auf Clusteranalyse	166
Tabelle 33: Finale Anpassungen zur Kalibrierung des InnaMoRuhr- Szenarios	168
Tabelle 34: Vergleich der InnaMoRuhr-Population und der Nemo- Population im kalibrierten Szenario mit der Befragung bzw. dem Ursprungsszenario.....	169
Tabelle 35: Relevante Daten für die Emissionsberechnung eines Fahrzeugs nach Kickhöfer (2016b, S. 249). Nicht durchgestrichene Daten werden von der MATSim-Emissionserweiterung genutzt, durchgestrichene hingegen nicht.....	170
Tabelle 36: Angepasste p-Werte des ersten Experiments – Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs	186
Tabelle 37: Angepasste p-Werte des zweiten Experiments – Senkung der Kosteneffektivität des Autos	187

Tabelle 38: Angepasste p-Werte des dritten Experiments - Komfortsteigerung des Fahrrads	187
Tabelle 39: Angepasste p-Werte des vierten Experiments – Steigerung Kosteneffektivität des ÖVs und Senkung Kosteneffektivität des Autos ...	188
Tabelle 40: Modal Split berechnet aus aktueller und Wunschwegekette ..	189
Tabelle 41: Skalierungsfaktoren für Wunschwegeketten der unterschiedlichen Gruppen der Universitätsangehörigen	189
Tabelle 42: Benennung der Clustergruppen in Deutsch und Englisch	191
Tabelle 43: Emission (in kg und kg pro Kopf) mit und ohne SEU- Berechnung. Gesamt und nach Agentengruppen	194
Tabelle 44: Nutzen nach Aktivierung der SEU-Berechnung: gesamt und nach Agentengruppe.....	195
Tabelle 45: Modal Split im Standardszenario (Wish Off) und dem Wunschwegekettenszenario (Wish on) sowie die Veränderung des Modal Splits zwischen aktueller und Wunschwegekette (basierend auf Tabelle 40)	212
Tabelle 46: Emission (in kg und kg pro Kopf) für das Basisszenario (Wish off) und das Wunsch-Szenario (Wish on): Gesamt und nach Agentengruppe	213
Tabelle 47: Nutzen Gesamt und nach Agentengruppe für das Grundszenario (Wish Off) und das Wunschwegekettenszenario (Wish on)	214
Tabelle 48: Zu überprüfende Hypothesen dieser Arbeit. Simulationshypothesen rot umrahmt	216
Tabelle 49: Experimentübergreifende Tendenzen der Verkehrsmittelnutzung, der resultierenden Emissionen und des Nutzens nach Agentengruppen. Subjektive Wertung des Autors basierend auf den vorgestellten Ergebnissen des Kapitels.....	224
Tabelle 50: Wissenschaftliche und realpolitische Implikationen, welche sich aus den Simulationsexperimenten ergeben. In Klammern: Erstmalige Nennung der jeweiligen Implikation in diesem Unterkapitel	229

Tabelle 51: Hauptverkehrsmittel (berechnet aus Wegekette) nach Agentengruppe (derzeitig: Oben, ge-wünscht: Unten). Rot markiert alle Verkehrsmittel, die in der grafischen Darstellung auf-grund geringer Werte entfallen.....xlix

Tabelle 52: Vergleich zwischen geplanter und tatsächlicher Skalierung der IMR-Population der MATSim-Simulationxlix

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA.....	analysis of variance
CEMDAP	Comprehensive Econometric Microsimulator for Daily Activity-Travel Patterns
COP	Conference of the Parties
F&L	Forschung und Lehre
GTFS	General Transit Feed Specification
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren
ID	Identifikationsnummer
InnaMoRuhr	integrierten, nachhaltigen Mobilität für die Universitätsallianz Ruhr
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITMC	IT und Medientrum der TU Dortmund
MATSim.....	The Multi-Agent Transport Simulation
MDG.....	Millennium Development Goals
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MLP.....	Multi-Level Perspective
NDC	Nationally-Determined Contributions
NRW.....	Nordrhein-Westfalen
ÖIV	Öffentlicher Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSM	OpenStreetMap
ÖV	Öffentlicher Verkehr
RUB.....	Ruhruniversität Bochum
SDG.....	Sustainable Development Goals
SEU	Subjective Expected Utility
SimCo.....	Simulation of the Governance of Complex Systems
SMNT	Soziologisches Modell nachhaltiger Transformation
T&V	Technik und Verwaltung
TRMCD.....	Theory of Routine Mode-Choice Decision
TUDo.....	Technische Universität Dortmund
UDE.....	Universität Duisburg-Essen
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCC.....	United Nations Framework Convention on Climate Change
VN	Vereinten Nationen
WMO.....	World Meteorological Organization

1 Einleitung

Die Idee der nachhaltigen Nutzung der Erdressourcen, einer möglichen Grenze des Wachstums und hieraus resultierenden sozialen und wirtschaftlichen Konsequenzen existiert bereits seit den 1970er-Jahren und dem gleichnamigen Bericht des Club of Rome. Zuletzt erstarkte die gesellschaftliche Diskussion um den menschenverursachten Klimawandel sowie die dazugehörige wissenschaftliche Forschung. Diese lässt keinen Zweifel daran, dass der menschenverursachte Klimawandel voranschreitet (Anderegg et al. 2010, S. 12107). Im Gegensatz zu den 1970er-Jahren sind heute die Auswirkungen des Klimawandels hingegen deutlich wahrnehmbar: Es häufen sich Dürren, Waldbrände und Überflutungen (Stott 2016, S. 1517–1518). Das IPCC, das Intergovernmental Panel on Climate Change, spricht in diesem Zusammenhang von einer beispiellos schnellen Entwicklung des Klimawandels, in welcher viele Auswirkungen unumkehrbar sind. Um die menschengeschaffene Erderwärmung zu begrenzen, ist es daher nötig, die CO₂-Emissionen auf netto-null zu reduzieren sowie weitere Treibhausgasemissionen stark einzuschränken (IPCC 2021, S. 4–36).

In diesem Zusammenhang warnten über 11.000 Wissenschaftler:innen wiederholt vor der bevorstehenden Klimakatastrophe (Ripple et al. 2019, S. 8–12; Ripple et al. 2021, S. 2–4). In ihren Analysen identifizieren Sie die zu geringen weltweiten Anstrengungen in sechs gesellschaftlichen Bereichen. Vielmehr müsse ein existentieller transformativer Wandel stattfinden:

“The speed of change is essential, and new climate policies should be part of COVID-19 recovery plans. We must now join together as a global community with a shared sense of urgency, cooperation, and equity.”

(Ripple et al. 2021, S. 4)

Die genannten Begriffe Dringlichkeit, Kooperation und Gerechtigkeit zeigen bereits, dass dieser Wandel einerseits nicht allein durch technologische Errungenschaften erreicht werden kann, sondern die Gesellschaft und somit auch das Individuum aktiv mit einbeziehen muss. Andererseits verdeutlicht der Appell, die Notwendigkeit einer gerechten Transformation, welche Machtasymmetrien und historische Verantwortung berücksichtigt.

Dies gilt insbesondere auch für den Transportsektor und somit auch den Personenverkehr, dessen Emissionen seit 1990 (mit einem kleinen Einschnitt während der Covid-19-Pandemie), der International Energy Agency (IEA 2023) folgend, global konstant ansteigen und entschiedene Governance-Eingriffe sowie Investitionen in Infrastruktur erfordern, um internationale Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Angesichts der großen Herausforderungen möchte die vorliegende Arbeit daher einen substantiellen Beitrag sowohl für die theoretische als auch die angewandte sozialwissenschaftliche Nachhaltigkeitsforschung leisten. Dies geschieht in Form der Erarbeitung einer neuen Heuristik zur umfassenden Beschreibung nachhaltiger Transformationsprozesse und der anschließenden exemplarischen Anwendung auf die Mobilität im Ruhrgebiet unter der Verwendung unterschiedlicher empirischer Methoden. Hierdurch können ein tiefergreifendes Verständnis des Transformationsprozesses erworben und Nachhaltigkeitspotenziale für die lokale Transformationsarena identifiziert werden.

Die genannten Begriffe des Klimawandels und dessen proklamierte Lösung „Nachhaltigkeit“ bzw. nachhaltige Entwicklung sind in den aktuellen wissenschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Debatten allgegenwärtig vertreten und können fast schon als Modebegriff bezeichnet werden (Zimmermann 2016, S. 2). Das Problem ist jedoch, dass der Nachhaltigkeitsbegriff – auch innerhalb der unterschiedlichen Forschungsdisziplinen – nicht klar definiert ist und somit auch die entsprechende Nachhaltigkeitsforschung schwer vergleichbar ist (Moore et al. 2017, S. 110; Glavič und Lukman 2007, S. 1875–1885). Daher wird in diesem Kapitel zunächst einleitend auf die Herkunft und die Entwicklung des menschenverursachten Klimawandels und der Klimawandelpolitik eingegangen (vgl. Kapitel 1.1). Anschließend wird das Konzept der nachhaltigen Entwicklung und aktuelle Nachhaltigkeitsstrategien unter dezidierter Berücksichtigung von Mobilitätsaspekten präsentiert und kritisch diskutiert (vgl. Kapitel 1.2). Die Einleitung abschließend wird die Rolle der Soziologie für die nachhaltige Transformationsforschung vorgestellt (vgl. Kapitel 1.3) und ein Überblick über das Forschungsvorhaben der Arbeit gegeben (vgl. Kapitel 1.4).

1.1 Menschenverursachte Klimawandel

Die Idee des menschenverursachten Klimawandels ist keine neue: Bereits im Jahre 1938 konnte ein möglicher Klimawandel anhand von Messdaten nachgewiesen werden. Jedoch wurde diese frühe Theorie eines Hobbymeteorologen zunächst nicht ernst genommen. Erste computergestützte und maßgeblich für militärische Zwecke entwickelte Wetterprognosen und Klimamodelle bereiteten nach dem Ende des zweiten Weltkriegs die naturwissenschaftliche Grundlage für die weitere Klimaforschung, wenngleich eine erste Simulation des Klimawandels erst 1967 erfolgreich durchgeführt wurde (Simonis 2017, S. 52–58). Aufbauend auf diesen früheren Arbeiten, ist die heutige Klimaforschung stark vernetzt und erarbeitet kooperativ neue Erkenntnisse (Schneidewind 2018, S. 136–137). Die erste nennenswerte politische Berücksichtigung des Klimawandels erfolgte auf der ersten Weltkonferenz zum Klimawandel

im Jahr 1979. In Folge des politischen Diskurses wurde das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) als Institution durch die World Meteorological Organization (WMO) und das UN Environment Programme (UNEP) ins Leben gerufen, welches relevante Forschungsergebnisse zum Klimawandel sammelt und veröffentlicht. Hierdurch verbindet es die Sphären der Wissenschaft und Politik und bestimmt den politischen Klimadiskurs maßgeblich mit (Otto 2017, S. 266–267).

Ein erster Bericht des IPCC wurde 1990 veröffentlicht, welcher den menschlichen Einfluss auf das Klima wissenschaftlich konsentiert und darauf verweist, dass ein weiteres Ansteigen des Treibhausgase zu einer weiteren Beschleunigung des Klimawandels führt. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde 1992 das United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) gegründet, das einen Zusammenschluss fast aller Länder der Welt darstellt. Von dem UNFCCC werden die seit 1995 jährlich stattfindenden Klimakonferenzen, Conference of the Parties (COP) veranstaltet, in welchem die internationale Klimapolitik diskutiert wird.

Die aktuelle Entwicklung des Klimawandels verdeutlichen die zuletzt 2021 bis 2023 verfassten IPCC-Berichte. Diese zeigen auf, dass der Mensch maßgeblich für die Erderwärmung verantwortlich ist. Als Resultat seines Handelns haben sich bereits weitläufige Veränderungen im Klimasystem vollzogen. Die Oberflächentemperatur der Erde (vgl. Abbildung 1) hat insbesondere seit den 1960er-Jahren stark zugenommen und lässt vermuten, dass schon bald eine Erderwärmung um 1,5-Grad im Vergleich zum Zeitraum 1850 bis 1900 erreicht wird (NASA GISS 2018, S. 1). Zudem zeigt sich ex-post, dass die bisher simulierte Erderwärmung der tatsächlichen Erderwärmung sehr na-

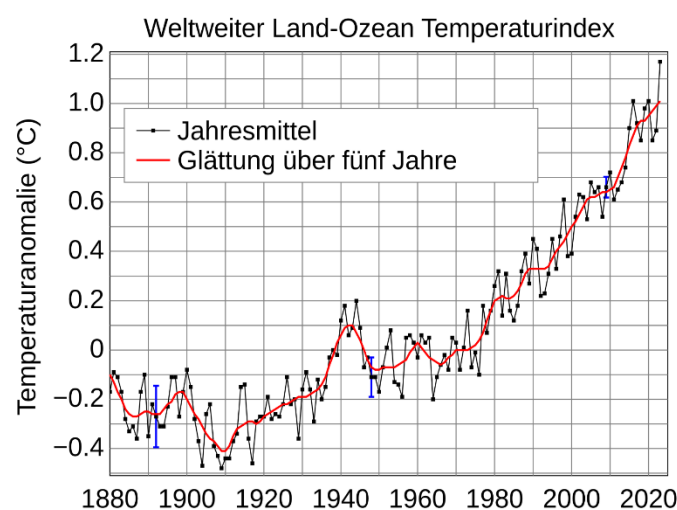


Abbildung 1: Veränderung der Oberflächentemperatur von 1880 bis heute. Die durchgezogene schwarze Linie zeigt den globalen Jahresmittelwert. Die durchgezogene rote Linie zeigt die über fünf Jahre geglättete Kurve (Darstellung von NASA GISS 2018, S. 1)

hekommt und so die Verlässlichkeit von vergangenen Klimasimulationen bestätigt. Die dargestellte Intensität der Klimaerwärmung ist im historischen Vergleich zu den letzten Jahrtausenden beispiellos (IPCC 2021, S. 6–8).

Die negativen Auswirkungen der Erderwärmung sind hierbei vielfältig: Zunehmende Häufigkeit von Wetterextremen, beispielsweise in Form von Hitzewellen oder starkem Niederschlag auf der gesamten Welt. Diese haben sich seit dem letzten Sachstandsbericht des IPCCs im Jahre 2014 nochmals verstärkt. Viele der durch den erhöhten Ausstoß von Treibhausgasen verursachten Veränderungen sind in den nächsten Jahrhunderten bis Jahrtausenden unumkehrbar. Falls keine tiefgreifenden Emissionsreduktionen stattfinden, wird sich die Erde bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um mehr als zwei Grad erwärmen (IPCC 2021, S. 8–21).

Insbesondere sozioökonomisch schwächer Gestellte werden disproportional stärker betroffen. Etwaige Überschreitungen des Zwei-Grad-Ziels führen mittel- bis langfristig (ab 2040) zu einem vielfach höheren Risiko im Zuge von Klimaextremen. Um sich an zukünftige, durch den Klimawandel verursachte Umstände anzupassen, sind integrierte, sektorübergreifende Lösungen differenziert nach dem vermuteten Risiko zu finden, welche auch soziale Ungleichheiten reduzieren. Hierfür müssen finanzielle, politische und institutionelle Hürden genommen werden. Klare Ziele und Strukturen sowie eine wissenschaftliche Evaluierung der Effektivität etwaiger Maßnahmen sind der Schlüssel, um Anpassungsprozesse erfolgreich zu gestalten (IPCC 2022, S. 20–27).

Zudem hat sich im Vergleich zum vorhergehenden IPCC-Bericht von 2014 die Bedeutung einer resilienten Entwicklung gesteigert. Hierfür ist die Zusammenarbeit von Gesellschaft, dem privaten und dem öffentlichen Sektor notwendig um mittels inklusiver Entscheidungen sowohl die durch den Klimawandel verursachten Risiken zu reduzieren als auch gerechte Lösungen zu fördern. Dies gilt insbesondere für die wachsenden urbanen Räume, da hier ein Großteil der Menschheit wohnt. Hier können die alltäglichen Entscheidungen relevanter Institutionen integrierte und inklusive Lösungen fördern und so Klimaanpassungskapazitäten gesteigert werden (IPCC 2022, S. 28–33). Die genannten Ergebnisse des IPCC-Berichts verdeutlichen also die zeitkritische Notwendigkeit eines geplanten Wandels mit gewünschten Folgen (by design), welcher auch soziale und gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt. So kann der erzwungenen Transformation als Folge des Überschreitens ökologischer Grenzen und entsprechender katastrophalen Auswirkungen (by disaster) vorgekommen werden und die Anzahl der zwangsläufigen notwendigen gesellschaftlichen Anpassungsprozesse reduziert werden (Sommer 2024, S. 159–173; Staab 2022, S. 7–31). Dafür ist vor allem eine globale Klimapolitik notwendig, denn für viele Länder des globalen Südens ist der

Klimawandel nur eins von vielen von zum Teil dringenderen Problemen (Okereke und Coventry 2016, S. 834–836; Fisher 2015, S. 73–82).

Aktuelle Klimapolitik

Basierend auf diesem Handlungsdruck wurden auf einer Vielzahl an Klimakonferenzen insbesondere zwei wegweisende internationale Vereinbarungen getroffen um den Klimawandel einzugrenzen: Das Kyoto-Protokoll 1997 sowie die Paris-Vereinbarung 2015. In ersterem verpflichteten sich ausschließlich Industriestaaten – begründet durch ihre historische Verantwortung – in einem Top-Down-Prozess dazu, die Emissionen in dem Zeitraum 2008 bis 2012 um fünf Prozent zu reduzieren. Ein Nichteinhalten der Ziele wurde jedoch nicht sanktioniert. Anhand des konsequenzlosen Austretens der USA, einem der Hauptemittenten, zeigte sich jedoch die Wirkungslosigkeit des Top-Down-Ansatzes im internationalen Verbund von souveränen Staaten. Das 2015 in Paris beschlossene Abkommen, welches das Ziel hat, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius im Vergleich zur präindustriellen Zeit zu beschränken, verfolgt hingegen einen Bottom-Up-Ansatz: Staaten entwickeln nationally-determined contributions (NDC), also individuell selbstgesteckte Emissions-Reduktions-Ziele (Bernardo et al. 2021, 1). Die Erreichung der Ziele selbst ist nicht rechtlich bindend, das Aufstellen und die Weiterentwicklung der Ziele durch jedes der teilnehmenden Länder, also die operativen Rahmenbedingungen, hingegen schon. Zusätzlich wird durch die Verpflichtung zur Überprüfung und Anpassung der NDCs alle fünf Jahre ein iterativer Prozess etabliert, welcher es ermöglicht, die Entwicklung zu beurteilen (Held und Roger 2018, S. 531–535).

Die Projektion der 2021 aktualisierten NDCs zeigt zwar, dass die zukünftigen Emissionen für das Jahr 2030 im Vergleich zu den NDCs von 2015 leicht reduziert werden konnten. Jedoch reichen die aktualisierten NDCs insbesondere der G20 Länder nicht aus, um die im Rahmen der Paris Vereinbarung vereinbarte maximale Erderwärmung zu erreichen (Climate Action Tracker 2022, S. 1–8; Nascimento et al. 2022, S. 26–27). In der Realität zeigt sich, dass trotz der internationalen Vereinbarungen die globalen CO₂-Emissionen weiter ansteigen und die USA als ein Hauptemittent abermals aus den Vereinbarungen ausgestiegen sind (Su et al. 2025, S. 1). Daher erscheint auch der aktuelle Ansatz der Klimapolitik wenig effektiv und es ist anzunehmen, dass der Klimawandel auch zukünftig weiter voranschreiten wird.

1.2 Nachhaltige Entwicklung und gesellschaftliche Transformation

Parallel zum vorwiegend ökologisch-technischen Klimawandel-Diskurs und entsprechenden Lösungsvorschlägen entsteht das internationale Paradigma der nachhaltigen Entwicklung, welches neben ökologischen Aspekten auch soziale und wirtschaftliche Aspekte integriert. Es verbindet hierbei unterschiedliche, miteinander vernetzten Diskursstränge unter der Beteiligung unterschiedlicher gesellschaftlicher Akteur:innen (Brand 2021a, 198-192, vgl. Abbildung 2).

Ursprünglich entspringt der Begriff der Nachhaltigkeit einem ersten ökologischen Verständnis begrenzter Erdressourcen: In der deutschen Forstwirtschaft des 18. Jahrhunderts wurde eine Abholzung des Waldes als nachhaltig bezeichnet, welche im Gleichgewicht zur Aufforstung stand. Hierdurch konnte die Ressource Wald dauerhaft für die wirtschaftliche Nutzung erhalten bleiben (Zimmermann 2016, S. 3).

Das forstwissenschaftlich geprägte Begriffsverständnis der Nachhaltigkeit wurde 1972 durch das Buch *Limits of Growth* des Club of Rome erstmals um eine generelle sozioökologische Sichtweise erweitert. In diesem argumentierten die Autor:innen, dass ein anhaltendes Wirtschaftswachstum bei begrenzten Erdressourcen zukünftig zu einem Überschreiten der ökologischen planetaren Grenzen und zu einem Kollaps der Gesellschaft im 21. Jahrhundert führen kann (Meadows et al. 1972, S. 122–128; Turner 2008, S. 397).

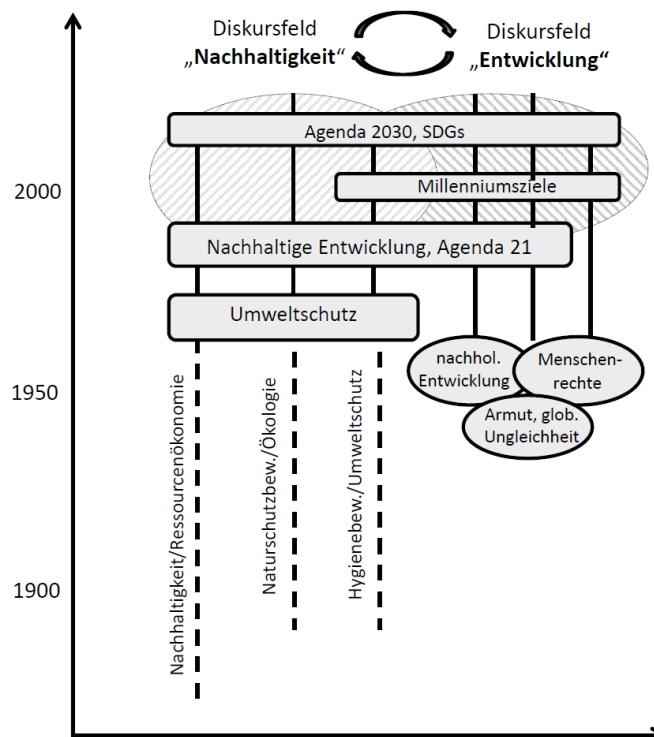


Abbildung 2: Die Genese des Diskursfeldes nachhaltige Entwicklung (Darstellung von Brand 2021a, S. 192 – CC BY 4.0)

Obgleich die 30 Jahre später von Turner (2008, S. 397–411) durchgeführte Evaluation des damaligen Berichts zeigt, dass die Projektion von 1972 die zukünftige Entwicklung überraschend genau darstellt, kam es zum damaligen Zeitpunkt jedoch nicht zu einer internationalen Umorientierung. Vielmehr standen vorerst wirtschaftliche und soziale Problemstellungen im Vordergrund der Weltpolitik. Zusammengeführt wurden die unterschiedlichen Problemfelder schließlich von den Vereinten Nationen (VN) 1987 in Form des Brundtland-Berichts, welcher die soziale, ökologische und wirtschaftliche Dimension unter dem Begriff der nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development) vereint.

Der die internationale Zusammenarbeit prägende und viel zitierte Bericht mit dem Namen „*Our common future*“ definiert Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung wie folgt:

„Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“

(United Nations 1987, S. 37)

Dieser Definition folgend, ist es das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung – im Angesicht globaler Umweltprobleme (wie dem Klimawandel) und großer Armut im Süden – sowohl intergenerational als auch intragenerational allen Menschen eine lebenswerte und gerechte Lebensgrundlage zu schaffen.

Jedoch bleibt unklar, welche Aspekte für eine „gelungene“ nachhaltige Entwicklung relevant sind. Im heutigen Diskurs und insbesondere der internationalen Politik wird Nachhaltigkeit oftmals als das Produkt einer ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Dimension begriffen und in Form von überlappenden Kreisen dargestellt. In dieser Darstellung wird in der Schnittmenge aller drei Kreise die Nachhaltigkeit angesiedelt. Jedoch beinhaltet diese gleichberechtigte Darstellung der drei Dimensionen keine normative Wertung oder Gewichtung. Daher sind andere Darstellungsformen des Nachhaltigkeitsbegriffs ebenso denkbar (vgl. Abbildung 3): Das Three-Pillars-Modell (unten rechts) geht beispielsweise davon aus, dass das „Nachhaltigkeitsdach“ einstürzt, sobald eine der drei tragenden Säulen entfernt bzw. nicht berücksichtigt wird.

Das eingangs genannte und meistverwendete Modell der überschneidenden Ebenen wurde in einem langfristigen Diskurs zuerst von der Wissenschaft und dann den Vereinten Nationen maßgeblich geprägt: Die Wissenschaft kritisierte bereits seit den 1960er Jahren den Zustand des Wirtschaftssystems

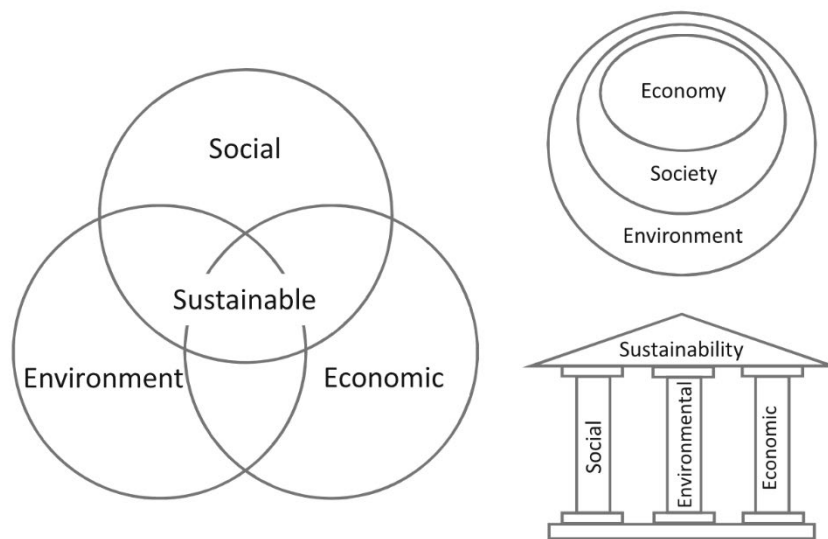


Abbildung 3: Dimensionen der Nachhaltigkeit und ihre unterschiedlichen Darstellungsweisen (Darstellung von Purvis et al. 2019, S. 682 – CC BY 4.0)

und dessen negative Folgen sowohl hinsichtlich sozialer als auch ökologischer Aspekte. Die Vereinten Nationen hingegen, erstmals im zitierten Brundtland-Bericht von 1987 und mutmaßlich als Konsequenz internationaler Aushandlungsprozesse, sahen insbesondere im Wirtschaftswachstum die Lösung sozialer und ökologischer Probleme. Hierdurch wurde die teils radikale Kritik der Wissenschaft im Sinne einer Win-win-Situation für die Staatengemeinschaft aufgeweicht (Purvis et al. 2019, S. 681; Brand 2021c, S. 87).

Aufgrund der Vielzahl der an der Genese des Konzeptes beteiligten Akteur:innen, existiert keine Eindeutigkeit, wie das Konzept der „Nachhaltigkeit“ bzw. der nachhaltigen Entwicklung zu verstehen ist und in welcher Form die unterschiedlichen Dimensionen miteinander interagieren. Aus sozialwissenschaftlicher Perspektive sieht Schneidewind (2018, S. 35) beispielsweise die Nachhaltigkeit „letztlich als eine konsequente Verlängerung der Idee der Menschenrechte“ – es existieren aber ebenso andere wissenschaftliche Definitionen und Zielvorstellungen (Brand 2021a, S. 205–206).

Zudem ermöglicht das offene Konzept der Nachhaltigkeit auch eine Art Cherry Picking: So wird beispielsweise in dem Impuls-Beitrag „Sicherheit, Resilienz und Nachhaltigkeit“ von Acatech (Wörner und M. Schmidt 2022, 1–24) die Nachhaltigkeit im Sinne des Brundtland-Berichts und der Sustainable Development Goals definiert. Anschließend wird Nachhaltigkeit aber maßgeblich hinsichtlich technischer Möglichkeiten, Governance und wirtschaftlicher Gesichtspunkte am Beispiel des deutschen Energiesystems diskutiert. Diese vorwiegend makroskopischen Betrachtungen sparen jedoch die soziale Dimension auf mikroskopischer Ebene größtenteils aus.

Die Beispiele verdeutlichen, dass die Ausrichtung etwaiger Nachhaltigkeitsbestrebungen stark von dem Nachhaltigkeitsverständnis der Akteur:innen abhängig ist. Da im Mainstream der nachhaltigen Entwicklung keine explizit

formulierte Priorisierung der Dimensionen oder einzelner Aspekte existiert, entstehen große Deutungsspielräume, da eine Vielzahl an Maßnahmen als nachhaltig betitelt werden kann, obgleich sich die Ausrichtung entlang der drei Dimensionen stark unterscheiden mag. In diesem Geiste ist die nachhaltigste (und einfachste) Lösung eine Win-win-win-Situation, welche jede Dimension besserstellt und somit kein Konfliktpotenzial beinhaltet. In der Realität ist das Ziel einer alle drei Dimensionen besserstellenden nachhaltigen Zukunft jedoch selten und führt daher zu Zielkonflikten zwischen den unterschiedlichen Dimensionen (Sommer und Schad 2022, S. 453).

Obgleich kein universales und eindeutig abgegrenztes Nachhaltigkeitsverständnis existiert, werden die Begriffe Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung in den neueren Debatten oftmals mit dem Schlagwort Transformation in Verbindung gebracht (Hoffmann et al. 2023, S. 1). Hierfür existiert eine Vielzahl an nachhaltigen Transformationsstrategien, also Strategien, welche „umfassende [...] Veränderungsprozesse [...], derer es in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft bedarf, um zu einer nachhaltig(er)en Gesellschaft zu kommen“ (Christ und Sommer 2022, S. 461), anstoßen sollen. Diese können sich teils überlappen, aber ebenso in Konkurrenz zueinander stehen. Auch die Intensität der Veränderung kann je nach Nachhaltigkeitskonzept und Strategie unterschiedlich ausgeprägt sein und von einem inkrementellen Wandel bis zu einer Systemtransformation reichen (SONA 2021b, S. 12; Purvis et al. 2019, S. 692).

Folglich stellt sich die Frage wie unterschiedliche gesellschaftliche Institutionen den Nachhaltigkeitsbegriff operationalisieren und welche Maßnahmen, Strategien und Ziele hieraus abgeleitet werden. Daher werden nachfolgend exemplarisch drei prominente Nachhaltigkeitsstrategien vorgestellt, um den Status Quo der Nachhaltigkeitsbemühungen unter besonderer Berücksichtigung von Mobilitätsaspekten vorzustellen. Hierdurch wird aufgezeigt, inwiefern der Nachhaltigkeitsbegriff und das damit zusammenhängende Transformationsverständnis auf unterschiedliche Weise interpretiert und umgesetzt wird. Zunächst werden die Sustainable Development Goals als internationale Nachhaltigkeitsstrategie, anschließend der europäische Green Deal als europäische Nachhaltigkeitsstrategie und abschließend die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie umrissen und vorgestellt.

1.2.1 Sustainable Development Goals und die deutsche Implementation in Form der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie

Im Jahre 2015 wurden die Sustainable Development Goals (SDG) als Nachfolger der Millennium Development Goals (MDG) von den Vereinten Nationen final verabschiedet (United Nations 2015, S. 1–35). Dem Beschluss vorausgegangen waren drei Jahre lang intensiv geführte Verhandlungen und Ge-

sprache diverser Stakeholder:innen aus unterschiedlichen Gesellschaftsbereichen in multiplen Arbeitsgruppen. Mit ihren 17 übergeordneten Zielen und 169 Unterzielen gestalteten sich die SDGs deutlich umfangreicher als die 2015 ausgelaufenen MDGs und sollen so diverse Unzulänglichkeiten der MDGs verbessern. Der Fokus der MDGs lag maßgeblich auf der Armutsreduktion in Ländern des globalen Südens anhand von acht einfach verständlichen und quantitativ messbaren Zielen. Zwar wurden die MDGs insgesamt als Erfolg betrachtet, andere essenzielle Themen wie Ungleichheit und Klimawandel blieben hingegen unbeachtet. Dies entsprach schlussendlich nicht mehr dem Zeitgeist der internationalen Zusammenarbeit, in Folge dessen wurden die SDGs formuliert (Fukuda-Parr 2016, S. 43–47).

Die SDGs umfassen im Vergleich zu den MDGs ein weiteres Themenfeld, inkludieren einen inhärenten Transformationsgedanken und richten sich an alle Länder, wobei jedes Land für die Umsetzung der SDGs selbst verantwortlich ist. Ziel ist weiterhin die Armutsbekämpfung, aber auch die faire Nutzung und der Schutz der Erdsressourcen sowie die Förderung einer friedlichen und gerechten Gesellschaft sowie der internationalen Zusammenarbeit (United Nations 2015, S. 2). Explizit genannte Prinzipien umfassen das Leave-No-One-Behind-Prinzip, also die Berücksichtigung von Gerechtigkeits- und Fairnessaspekten im Wandlungsprozess, die Konstruktion von Kreisläufen sowie die Entkopplung des menschlichen Wohlbefindens von umweltschädigendem Verhalten. Die Vielzahl an Zielen und teils komplexen Beschreibungen beinhaltet jedoch die Gefahr, dass selektiv einfach zu erreichende Ziele herausgesucht bzw. umfassendere Ziele simplifiziert werden und so beispielsweise unangenehmere, aber ebenso wichtige Transformationsziele ignoriert werden (Fukuda-Parr 2016, S. 48–52).

Daher schlagen neuere wissenschaftliche Beiträge vor, nicht steif die vereinzelten Ziele zu betrachten, sondern Verbindungen zwischen Sektoren, Akteur:innen und Ländern zu bilden, um hierdurch Synergien zu identifizieren bzw. nicht-nachhaltige Nebeneffekte etwaiger Maßnahmen zu vermeiden (Stafford-Smith et al. 2017, S. 911), oder sie beschreiben zielübergreifende Transformationsarenen (Sachs et al. 2019, S. 805–814).

Dies wird anschaulich am Beispiel der Mobilität bzw. des Personenverkehrs, da Bezüge zu den unterschiedlichen Zielen auch hier nicht direkt ersichtlich sind. Aboulela et al. (2025, S. 8–11) stellen daher in ihrer umfassenden Arbeit Mobilitätsbezüge zu 16 der 17 SDGs und zu 45 der 169 Unterzielen her. Jedoch seien die Unterziele sehr eng formuliert und können so die komplexen Zusammenhänge des Verkehrssektors nur begrenzt einfangen. Von besonderer Relevanz ist den Autoren zufolge der Transportsektor für die SDGs: No poverty (1), good health and well-being (3), affordable and clean energy (7)

und sustainable cities and communities (11) und die entsprechenden Unterziele. Wenig Berücksichtigung in den Zielen fänden jedoch aktive Mobilitätsformen und Gerechtigkeitsaspekte sowie Umweltauswirkungen abseits einer reinen Emissionsbetrachtung (Lärm etc.). Gleichzeitig könne die nachhaltige Transformation der Mobilität maßgeblich zu einer gesamtgesellschaftlichen nachhaltigen Entwicklung beitragen.

Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie

Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie ist die deutsche Interpretation und Implementation der zuvor vorgestellten SDGs. 2016 erstmals beschlossen und 2021 und 2025 weiterentwickelt, spricht die Bundesregierung von einer „anspruchsvolle[n] Transformation“, für welche „noch sehr viel zu tun“ sei (Bundesregierung 2021a, S. 1). Inhaltlich stellt die nachhaltige Entwicklung ein Leitprinzip der Bundesregierung dar und hat die Ziele – angelehnt an den Brundtland-Bericht – „die Erreichung von Generationengerechtigkeit, sozialem Zusammenhalt, Lebensqualität und Wahrnehmung internationaler Verantwortung“ (Bundesregierung 2021b, S. 20). Hierfür wird ein Nachhaltigkeitsmanagementkonzept angewandt, welches aus fest definierten Nachhaltigkeitsprinzipien, Nachhaltigkeitsindikatoren und einem Monitoring eben dieser besteht. Die Indikatoren, welche an den SDGs orientiert sind, werden kurioserweise mittels Wettersymbolen hinsichtlich der Zielerreichung bewertet (vgl. Abbildung 4). Die 75 Indikatoren in 39 Bereichen sind hierbei listenförmig angeordnet. Eine Gewichtung der unterschiedlichen Indikatoren wird wie auch bei den SDGs nicht unternommen, ebenso wenig wie synergetische oder antagonistische Beziehungen der Faktoren explizit formuliert werden. Vielmehr wird in der Nachhaltigkeitsstrategie lediglich berichtet, dass sie „untereinander in multiplen Beziehungen und Abhängigkeiten“ (Bundesregierung 2021a, S. 132) stehen. Dies führt dazu, dass beispielsweise der Indikator „1.1.a Armut begrenzen“

Status der Indikatoren

Ziel wird (nahezu) erreicht	
Entwicklung geht in die richtige Richtung, aber Zielverfehlung zwischen 5 und 20 Prozent bleibt	
Entwicklung in die richtige Richtung, aber Lücke von mehr als 20 Prozent verbleibt	
Entwicklung in die falsche Richtung	

Mobilität (Mobilität sichern – Umwelt schonen)

11.2.a	Endenergieverbrauch im Güterverkehr	Senkung um 15 bis 20 % bis 2030	
11.2.b	Endenergieverbrauch im Personenverkehr	Senkung um 15 bis 20 % bis 2030	
11.2.c	Erreichbarkeit von Mittel- und Oberzentren mit öffentlichen Verkehrsmitteln	Verringerung der durchschnittlichen Reisezeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln	-

Abbildung 4: Eigene zusammengefasste Darstellung der Mobilitätsindikatoren und Indikatorenprägung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategien (Bundesregierung 2021b, S. 11–25)

mit dem Ziel „Anteil der Personen, die materiell depriviert sind, bis 2030 deutlich unter EU-28-Wert halten“ auf der gleichen Gliederungsebene wie der Indikator „11.1.a Flächeninanspruchnahme“ mit dem Ziel, den Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf unter 30 ha pro Tag bis 2030 zu reduzieren, steht. Den Indikatoren folgend war 2021 eine unzureichende Entwicklung bezüglich des Stickstoffüberschusses in der Landwirtschaft, der Adipositas-Quote von Erwachsenen, der verfrühten Schulabgänger:innen und ausländischen Schulabsolvent:innen und des Energieverbrauchs im Güter und Personenverkehr feststellbar.

In der aktuellen Fortschreibung der Nachhaltigkeitsstrategie wird Mobilität als „zentraler Baustein der Lebensqualität der Menschen und zugleich ein wichtiger Standort- und Wirtschaftsfaktor“ (Bundesregierung 2025, S. 83) begriffen. Weiterhin werden erfolgte und geplante Maßnahmen zur nachhaltigen Entwicklung der Mobilität vorgestellt. Auffällig hierbei ist jedoch, dass zumeist technische Lösungen im Vordergrund stehen und Gerechtigkeitsaspekte der Transformation maßgeblich in Form eines Stadt-Land-Konflikts, nicht aber in Form eines Einkommens-/Vermögenskonflikts thematisiert werden. Vergleichbar zu den SDGs sind die Ziele für die Mobilität (ähnlich zu den SDGs) weiterhin nur mangelhaft in den Indikatoren abgebildet (Bundesregierung 2025, S. 76–85, Abbildung 4).

Darüber hinaus wird in der Weiterentwicklung im Jahr 2025 die Indikatorzielerreichung nicht mehr direkt berichtet, sondern auf den Nachhaltigkeitsbericht des Statistischen Bundesamtes verwiesen (Statistisches Bundesamt 2023c, S. 96–100). In diesem zeigt sich, dass der Güterverkehr weiterhin off-track ist, also die gesetzten Nachhaltigkeitsziele nicht erreicht. Der in dieser Arbeit behandelte Personenverkehr verzeichnet jedoch einen deutlich reduzierten Endenergieverbrauch im Jahr 2020 und ist daher dem Bericht zufolge on-track. Dies liegt jedoch maßgeblich an der im Rahmen der Covid-19-Pandemie eingeschränkten und somit reduzierten Mobilität. Zudem wurde der Personenverkehr im Rahmen des Pandemiegeschehens ineffizienter (Energieverbrauch je Personenkilometer). Hier ist daher insbesondere relevant, wie sich das Mobilitätsgeschehen nach der Pandemie entwickelte und ob etwaige nachhaltige Zugewinne beibehalten werden können (vgl. Kapitel 3.1.4).

1.2.2 European Green Deal

Auch der 2019 beschlossene Green Deal der Europäischen Union (European Commission 2019, S. 1) greift Aspekte der Sustainable Development Goals sowie der europäischen Nachhaltigkeitsbestrebungen der letzten 40 Jahre auf (Eckert und Kovalevska 2021, S. 1) und soll die EU in eine moderne, ressourceneffiziente, kompetitive Wirtschaft transformieren. Erklärte übergreifende

Ziele beinhalten, dass bis 2050 die Netto-Treibhausgas-Emissionen auf null reduziert werden, dass das wirtschaftliche Wachstum von der Ressourcennutzung entkoppelt wird und im gesamten Prozess keine Person zurückgelassen wird, also ein gerechter Wandel stattfinden kann. Explizite Ziele umfassen die Reduktion von Treibhausgasemissionen um 55 Prozent bis 2030, den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft (Europäische Kommission 2020, S. 1–23), den Aufbau von sauberen Energiequellen, den Erhalt der Ökosysteme, die Förderung einer nachhaltigen Mobilität und umweltfreundlicher Lebensmittelsysteme (Europäische Kommission 2019, S. 4). Hierfür soll ein Emissionshandel im Gebäude- und Verkehrssektor aufgebaut werden, ebenso wie ein Klimafonds, welcher einer Energie- und Mobilitätsarmut entgegenwirken soll und Investitionsmöglichkeiten für nachhaltige Projekte bereitstellt. Weiterhin sollen nachhaltige Kraftstoffe gefördert und Umweltschutz sowie der Wandel der Wirtschaft durch innovative Technologien und Infrastrukturen vorangetrieben werden (Europäische Kommission 2021, S. 1–18). In dieser Form möchte Europa der erste klimaneutrale Kontinent werden und eine internationale Vorreiterrolle für Klimaschutz einnehmen.

Formulierte Ziele des Green Deals umfassen unter anderem, dass bis zum Jahr 2030 30 Millionen emissionslose Autos zugelassen sind, sich die schienegebundene Mobilität verdoppelt und alle größeren Städte eine Nachhaltigkeitsstrategie vorlegen. Zudem sollen externe Kosten der Mobilität (z.B. Emissionen) bis 2050 internalisiert, also in den tatsächlichen Preis des Verkehrsmittels inkludiert werden. Darüber hinaus werden ebenso Ziele hinsichtlich der Digitalisierung und der Resilienz der Mobilität formuliert (European Commission 2021, S. 1–3).

Wissenschaftlich wird der Green Deal kritisch diskutiert. So sehen Wolf et al. (2021, S. 101) und Sikora (2021, S. 695) für das Gelingen des Green Deals eine gesellschaftliche und politische Unterstützung der einzelnen Länder bzw. eine übergreifende europäische Solidarität als essenziell. So sollte der European Green Deal zusätzlich zu reduzierten Emissionen auch zu einer Verbesserung der Lebensstandards in den unterschiedlichen geographischen Regionen und sozialen Gruppen der EU führen und Kosten des Wandels ländereübergreifend getragen und Ungleichheiten abgebaut werden.

Ob eine derartige Transformation überhaupt umsetzbar ist, bezweifeln Eckert und Kovalevska: Sie kritisieren (2021, S. 1–22), dass bestehende sozioökonomische und politische Strukturen, welche für die ökologische Krise mitverantwortlich sind, maßgeblich den Diskurs des Green Deals prägen und so einen fundamentalen, aber nötigen Wandel verhindern. Beispielsweise diskutiere die EU im Green Deal nicht den Widerspruch zwischen grünem Wachstum und der Endlichkeit der Ressourcen, ebenso wenig wie sie die wis-

senschaftliche Erkenntnis, dass auf Effizienzsteigerungen ein höherer Ressourcenverbrauch folgt, thematisiert. Bürger:innen würden zwar aufgerufen, an Wandlungsprozessen, insbesondere in Form von technischen und wirtschaftlichen Innovationen, teilzuhaben, jedoch wird nicht zu einer gesellschaftlichen Transformation, also zu veränderten Verhaltensmustern aufgerufen.

1.2.3 Zusammenfassende Kritik und die Notwendigkeit einer kritischen Reflexion

Die Vorstellung der Transformationsstrategien verdeutlicht, dass eine kritische Auseinandersetzung mit zum Teil widersprüchlichen Nachhaltigkeitszielen, insbesondere unter Berücksichtigung von gesellschaftlichen Gerechtigkeitsaspekten, in den Strategien nicht erfolgt.

Adloff und Neckels (2019, S. 170–173) Kategorisierung zufolge lassen sich die vorgestellten Strategien überwiegend dem gesellschaftlichen Möglichkeitsraum einer (grünen) Modernisierung zuordnen. In diesem werden mit dem bestehenden System zu vereinbarende technisch-wirtschaftliche Ziele formuliert, welche ein grünes Wachstum unterstützen. Dabei werden keine bestehenden Strukturen und gesellschaftliche Mechanismen hinterfragt bzw. verändert. Demgegenüber steht den Autoren zufolge der radikalere Möglichkeitsraum Transformation, welcher mit dem vorherrschenden kapitalistischen Wachstumsnarrativ bricht und neue Formen der nachhaltigen Wertschöpfung und des Zusammenlebens in den Vordergrund stellt. Derartige Ziele werden zumeist von anderen gesellschaftlichen Akteur:innen verfolgt (Hoffmann et al. 2023, S. 1): So sprechen beispielsweise DGB und Justitia et Pax (2021, S. 1–18) von einer sozial-ökologischen Transformation, sie thematisieren die „vermeintlichen Konsumzwänge mündiger Bürger“ (ebd., S.7) und nennen als erste notwendige Maßnahme den Sozialschutz für Arbeitende. Ebenso zielt zum Beispiel das International Degrowth Network (o. J.) auf eine weltweite Gerechtigkeit und die Anpassung des Ressourcenverbrauchs an die ökologischen Grenzen der Welt ab. Dies soll durch die Adaption von Konzepten wie geteiltem Eigentum, einfachen Lebensstilen und allgemeiner Geselligkeit erzielt werden. Auch der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“ (WBGU 2011, S. 1–2) spricht in Anlehnung an Karl Polanyi von einer notwendigen großen Transformation mit einem neuen Gesellschaftsvertrag, welcher kollektive Verantwortung, Achtsamkeit und Teilhabe in den Vordergrund stellt. Einen dritten, eher dystopischen Möglichkeitsraum sehen Adloff und Neckel (2019, S. 175–177) in einer wachsenden Kontrolle, sowohl von Natur als auch Gesellschaft, welche durch Nachhaltigkeitsaspirationen legitimiert wird, aber demokratische

Werte untergräbt. Genannte Beispiele umfassen Maßnahmen des Geoengineering oder Krisenstäbe in Angesicht von Naturkatastrophen.

Die Breite der vorgestellten Nachhaltigkeitsstrategien und der den Strategien zugrunde liegenden Zukunftsvisionen verdeutlicht, dass sowohl Nachhaltigkeit als auch Transformation als „*essentially contested concepts*“ (Gallie 1955, S. 167–198) verstanden werden können. Dies meint Konzepte, welche von einer Vielzahl von Akteur:innen geteilt werden, aber gleichzeitig von der:dem individuellen Akteur:in normativ unterschiedlich interpretiert werden (Christ und Sommer 2022, S. 463). Für die angewandte Forschung einer nachhaltigen Entwicklung der Mobilität bedeutet dies, dass ebenso eine Vielzahl heterogener Zielvisionen und Maßnahmen zu Erreichung eben jener existiert. Hier kann wissenschaftlich untersucht werden, wie eine gerechte Mobilität in unterschiedlichen geographischen Kontexten aussehen kann, dies untersuchen beispielsweise Arnz et al. (2025, S. 1) mit der Identifizierung von Mindestanforderungen der Mobilität in unterschiedlichen Kontexten. Daher erscheint es essenziell, bereits bestehende und zukünftige Nachhaltigkeits- und Transformationsstrategien der Mobilität kritisch zu reflektieren und gleichzeitig mögliche Transformationspfade möglichst umfassend aufzuzeigen.

Hierbei kann insbesondere die Soziologie als Disziplin die Auseinandersetzung mit der „anspruchsvollen Transformation“ (Bundesregierung 2021a, S. 1) bereichern, da letztlich der Mensch den Wandel in einem komplexen, nicht-linearen Zusammenspiel gestaltet. Sei es aktiv in partizipativen Workshops zur Bürger:innenbeteiligung, in Form von individuellen oder kollektiven Entscheidungen im Arbeitskontext oder dem eigenen (Nicht-)Konsumverhalten. Gleichzeitig ist der Mensch maßgeblich dem Transformationsdruck ausgesetzt und reagiert in seinem begrenzten Möglichkeitsraum. Dieser kann sich stark nach Milieu bzw. Schicht und geographischer Verortung (z. B. Stadt vs. Land) unterscheiden (Neckel 2018a, S. 14–15, 2018b, S. 59–76). Eben hier sind die klassischen soziologischen Untersuchungsgegenstände von Macht- und Herrschaftsverhältnissen, Heterogenität sowie Ungleichheit (Neckel 2018a, S. 13), aber ebenso die Frage nach der Steuerbarkeit von gesellschaftlichen Transformationsprozessen (Brand 2021a, S. 198) von historisch gewachsenen gesellschaftlichen Ordnungsmodellen sowie ihrer soziotechnischen Strukturen (Brand 2021b, S. 12–14), von essenzieller Bedeutung um (nicht-) nachhaltige Veränderungen reflexiv zu verstehen und normativ mitgestalten zu können.

1.3 Soziologie der Nachhaltigkeit

In diesem Kontext ist die soziologische Auseinandersetzung mit einem breitgefächerten Sortiment von Nachhaltigkeitsthematiken kein neues Phänomen.

Insbesondere das Feld der Umweltsoziologie, aber auch andere Teildisziplinen, behandelten in der Vergangenheit unterschiedlichste (interdisziplinäre) Fragestellungen der Nachhaltigkeit. Hierdurch waren sie Teil der gesellschaftlichen Aufbruchsstimmung der 90er Jahre, welche durch die Veröffentlichung des Brundtland-Berichts und dem Abhalten erster Nachhaltigkeitskonferenzen ausgelöst wurde. Zuletzt erstarkte im Angesicht der zuvor beschriebenen ökologischen Zuspitzung des Klimawandels eine zweite Welle der soziologischen Nachhaltigkeitsforschung (Brand 2021c, S. 93–102).

Diese vom SONA-Netzwerk (Koehrsen et al. 2020, S. 753–754; SONA 2021b, S. 9–10) initiierte, noch junge und hinsichtlich ihrer Ziele und Abgrenzung nicht immer klar ausdifferenzierte zweite Welle (Brand 2021c, S. 95–98) fokussiert sich auf die Anwendbarkeit soziologischer Methoden auf Nachhaltigkeitsthemen und die Bedeutung des Klimawandels für unterschiedliche Teile der Gesellschaft. Die Quintessenz dieses Diskurses: Die Stärke und Relevanz der soziologischen Auseinandersetzung mit dem Klimawandel besteht insbesondere darin, dass sie helfen kann, die sozialen Dynamiken des Klimawandels und des damit einhergehenden gesamtgesellschaftlichen Transformationsprojekts zu verstehen. Zudem profitiert sie von dem bereits etablierten interdisziplinären Wissensaustausch, insbesondere in Bezug auf soziale Wandlungsprozesse (Brand 2021c, S. 92). Konkret kann die zukünftige soziologische Nachhaltigkeitsforschung, dem SONA-Netzwerk folgend (SONA 2021b, S. 13), in die drei reflektierenden Dimensionen *deskriptiv-analytisch*, *kritisch-normativ* und *praktisch-politisch* kategorisiert werden (vgl. Abbildung 5). Sie integriert dabei Aspekte der konstruktivistischen und realistischen soziologischen Perspektive der 90er Jahre (Brand 2021c, S. 92–93). Soziologische Nachhaltigkeitsforschung fokussiert sich dann zumeist auf eine der genannten Dimensionen, jedoch gilt es stets auch, die beiden anderen verknüpften Dimensionen mitzudenken. Die deskriptiv-analytische Dimension bearbeitet die Nachhaltigkeitsthematik in ihrer Kom-



Abbildung 5: Die drei Dimensionen der Soziologie der Nachhaltigkeit (Darstellung von SONA 2021b, S. 13 – CC BY-NC-ND 4.0)

plexität und der bestehenden Transformationspfade mittels klassischer soziologischer Ansätze wie der empirischen Sozialforschung und der soziologischen Theoriebildung. Hierbei steht insbesondere die Komplexität, die Multidimensionalität sowie die Eigendynamik der Gesellschaft im Vordergrund. Die kritisch-normative Dimension einer Soziologie der Nachhaltigkeit ergründet hingegen die normativen Beweggründe im vorherrschenden Nachhaltigkeitsdiskurs und hinterfragt die zugrunde liegenden Nachhaltigkeitsstrategien und Zukunftsideale. Innerhalb der praktisch-politischen Dimension sucht die Soziologie der Nachhaltigkeit den interdisziplinären und gesellschaftlichen Wissensaustausch bezüglich der jeweiligen Nachhaltigkeitsansätze und bringt so soziales Praxiswissen in aktuelle Nachhaltigkeitsdebatten ein. Dadurch kann ein tieferes Verständnis der sozialen Komponente in Wandlungsprozessen erlangt und ihre Bedeutung für den Erfolg oder Misserfolg einer realpolitischen Maßnahme ergründet werden. Dies bietet der Soziologie der Nachhaltigkeit die Möglichkeit, aktiv Wandlungsprozesse mitzugestalten.

Weiterhin soll dem SONA-Netzwerk (SONA 2021b, S. 15) folgend, die Nachhaltigkeit disziplinär als relevanter Untersuchungsgegenstand der Soziologie etabliert werden, interdisziplinär an Nachhaltigkeitskonzepten anderer wissenschaftlicher Disziplinen mitwirken und schlussendlich transdisziplinär aktiv an Transformationsprojekten der Wirtschaft, Politik und Gesellschaft mitwirken.

1.4 Inhaltlicher Überblick

Entlang der drei zuvor vorgestellten Dimensionen einer Soziologie der Nachhaltigkeit orientiert sich das Forschungsvorhaben dieser Dissertation: Einerseits soll die Frage beantwortet werden, ob und wie komplexe nachhaltige Transformationsprozesse der Gesellschaft wissenschaftlich ganzheitlich abbildbar und auf die Transformationsarena Mobilität übertragbar sind. Andererseits soll insbesondere mittels angewandter empirischer Forschung der Frage nachgegangen werden, welche gesellschaftlichen Faktoren die Mobilität beeinflussen und zukünftig eine nachhaltige Mobilität ermöglichen können.

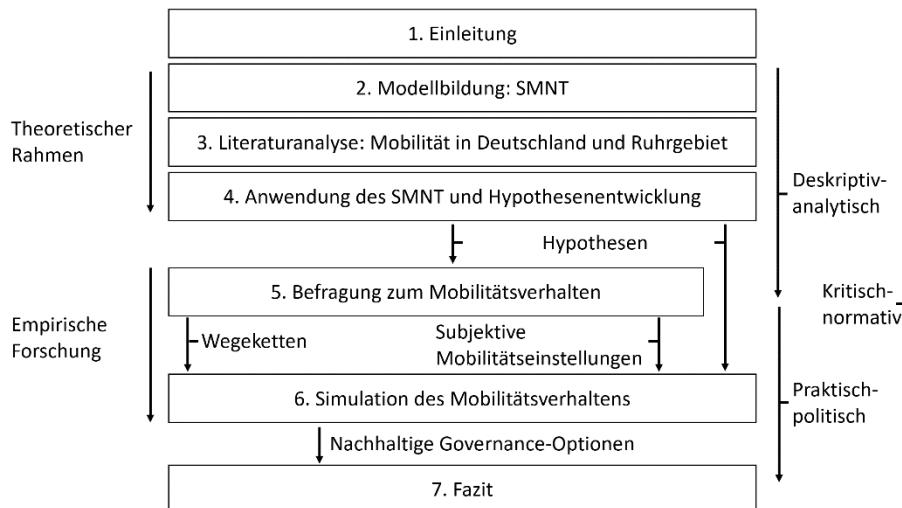


Abbildung 6: Inhaltlicher Überblick der Arbeit nach Kapiteln

Thematisch setzt sich die vorliegende Arbeit daher zunächst kritisch mit den bestehenden soziologischen Modellen zur Beschreibung von gesellschaftlichen Nachhaltigkeitszusammenhängen und Transformationsprozessen auseinander (vgl. Abbildung 6). Basierend hierauf wird ein eigenes soziologisches Modell nachhaltiger Entwicklung (SMNT) vorgestellt, welches die zuvor erarbeiteten Analyseaspekte (multiple Ebenen der Gesellschaft, zeitliche Rahmung von Transformationsprozessen sowie Veränderungen durch Innovations- und Governanceprozesse) kombiniert (vgl. Kapitel 2). Der finale Anspruch des Modells ist es, eine generalisierte Heuristik zu präsentieren, mit deren Hilfe unterschiedliche nachhaltige Transformationsarenen systematisch und soziologisch fundiert analysiert werden können. Hierdurch lassen sich konkrete Chancen und Hürden im Transformationsprozess sowie etwaige Konflikte, aber auch Wandlungspotenziale identifizieren. Zur Anwendung des Modells ist jedoch eine kontextgebundene Analyse unumgänglich, da sich die Nachhaltigkeitsthematik betreffende Problemstellungen und Lösungen je nach betrachtetem Gegenstand, Kultur und Ort unterscheiden können.

In dem sich hieran anschließenden Teil der Arbeit wird daher zunächst thematisch einleitend die allgemeine Entwicklung des deutschen Personenverkehrs und der Mobilität im Ruhrgebiet im Speziellen dargestellt (vgl. Kapitel 3). Die Literaturanalyse verdeutlicht, dass die in Deutschland ausgestoßenen Emissionen des Verkehrs trotz technischer Innovationen einen wachsenden prozentualen Anteil der gesamtdeutschen Emissionen verzeichnen. Diese Entwicklung rechtfertigt daher eine vertiefende wissenschaftliche Betrachtung des Mobilitätsverhaltens und möglicher gesellschaftlicher Transformationspotenziale. Die so gewonnen Erkenntnisse der Literaturanalyse werden anschließend im SMNT verortet und analytische Leerstellen identifiziert.

Hierauf basierend werden die empirische Forschung leitende Hypothesen gebildet, welche einerseits deskriptiv-analytisch das Mobilitätsverhalten und andererseits praktisch-politisch Governance-Optionen einer nachhaltigen Transformation der Mobilität ergründen (vgl. Kapitel 4).

Zur Überprüfung der Hypothesen werden zunächst die Konzeption und die Ergebnisse einer Befragung zum Mobilitätsverhalten der Angehörigen der Ruhrgebietsuniversitäten vorgestellt. Die Ergebnisse umfassen eine Gruppierung der Befragten anhand ihrer subjektiven Selbsteinschätzung, die Identifikation ihrer aktuellen Wegeketten und ihrer Wunschwegeketten sowie nachhaltiger Transformationspotenziale (vgl. Kapitel 5).

Die so gewonnen Erkenntnisse bilden die empirische Grundlage für die sich anschließende agentenbasierte Simulation (vgl. Kapitel 6). Mit dieser leistet die Arbeit zugleich einen praktisch-politischen Beitrag: Basierend auf der agentenbasierten Simulation MATSim werden Transformationsszenarien und entsprechende politische Eingriffe sowie gesellschaftliche Effekte hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit evaluiert. MATSim entstammt hierbei ursprünglich der wissenschaftlichen Disziplin der Verkehrssystemplanung und wird – basierend auf den Ergebnissen der Befragung – um differenzierte Agenten sowie deren subjektive Mobilitätseinstellungen technisch und inhaltlich erweitert.

Somit bearbeitet die vorliegende Dissertation in Form des beschriebenen Mixed-Method-Ansatzes sowohl die deskriptiv-analytische als auch die praktisch-politische Dimension einer Soziologie der Nachhaltigkeit und produziert disziplinäre, interdisziplinäre und transdisziplinäre relevante Ergebnisse am Beispiel der nachhaltigen Mobilität des Ruhrgebiets. Die kritisch-normative Dimension wird dabei nicht direkt empirisch erforscht, sondern durch eine kritische Präsentation und Diskussionen der Ergebnisse adressiert.

2 Gesellschaft im Zeichen der Nachhaltigkeit – Eine Modellbildung

Die inhaltlich komplexen und divergierende Diskurse der Nachhaltigkeit und Transformation mit ihrem naturwissenschaftlich begründeten Handlungszwang treffen, wie zuvor dargestellt, auf die Komplexität der Gesellschaft und erschweren so eine geordnete soziologische Auseinandersetzung mit der Thematik. Zwar existieren bereits diverse Modelle, um einzelne gesellschaftliche Aspekte im nachhaltigen Transformationsprozess zu beschreiben, jedoch existieren bis dato kein Modell und keine Heuristik, die das gesellschaftliche Transformationsprojekt Nachhaltigkeit in der Fülle seiner Akteur:innen und relevanter Strukturen, multipler Ebenen und normativen Grundvoraussetzungen sowie hieraus entstehenden Konflikten darstellen zu vermag¹. Um diese Forschungslücke zu schließen, werden in diesem Kapitel die Grundzüge eines Modells, aufbauend auf relevanter sozialwissenschaftlicher Literatur und durch die Kombination von bereits existierenden Modellen, formuliert. Hierfür wird unter anderem auf drei Beiträge des Netzwerks Soziologie der Nachhaltigkeit (SONA 2021a, S. 153–244) zurückgegriffen. Auf dieser Basis werden Modelle für Transformationsprozesse wie das Essersche Modell der soziologischen Erklärung sowie bereits etablierte Adaptionen und Erweiterungen mit Nachhaltigkeitsbezug diskutiert. Abschließend werden Kernaspekte der unterschiedlichen Modelle in einem neuen soziologischen Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) vereint und ermöglichen so eine umfassende soziologische Darstellung nachhaltiger Handlungen und Transformationsprozesse.

2.1 Multiple Ebenen

Die hier vorgestellten Beiträge von Wendt (2021), Henkel et al. (2021) und Pfister (2021) teilen die Annahme, dass Nachhaltigkeit multidimensional begriffen werden muss. Wendt bezieht sich hierbei insbesondere auf die Utopieforschung, Henkel et. al. verdeutlichen die soziale Komponente sowie die Verschachtelung der multiplen Ebenen. Pfister beschreibt mögliche Interaktionen zwischen den Ebenen.

¹ Allein Brand (2021a, S. 204–207) liefert mit dem „Analyseraster zum Vergleich sozialwissenschaftlicher Nachhaltigkeitsanalysen“ einen gelungenen Ansatzpunkt, um unterschiedliche Forschungsansätze und Nachhaltigkeitsschulen entlang von sieben Analysedimensionen im Forschungsdiskurs zu verorten. Hierdurch ist das Analyseraster jedoch weniger geeignet, um konkrete gesellschaftliche Transformationsdynamiken und somit das Zusammenwirken von Mikro- und Makroentwicklungen und politischen Gestaltungsmöglichkeiten abzubilden.

2.1.1 Wendt – Nachhaltigkeitsutopien

Wendt (2021, S. 155–183) verweist in seinem Beitrag auf den utopischen bzw. dystopischen Charakter, der hinter dem Nachhaltigkeitsgedanken steht: Die nachhaltige Gesellschaft, die das wünschenswerte Ziel des Brundtland-Berichts ist, hat bis dato noch nie existiert. Hieraus ergibt sich, dass eine Soziologie der Nachhaltigkeit im analytisch-deskriptiven Sinne nicht auf etwaige Entwicklungen der Vergangenheit zurückgreifen kann. Vielmehr erscheint Wendt eine soziologische Auseinandersetzung mit dem Nachhaltigkeitsdiskurs auf Basis der bestehenden Utopie- bzw. Dystopieforschung als fruchtbar. Dies ist insofern ein neues Konzept, da in der Utopieforschung zu meist vergangene Utopien und nicht zukünftige Utopien erforscht wurden. Hier könne die Verbindung des wissenschaftlichen Utopie- und Nachhaltigkeitsdiskurses „zur Irritation ... [der] postmodernen Selbstbedeutung [eben dieser Utopien] beitragen“ (Wendt 2021, S. 163).

Für eine nachhaltige Zukunft bestehen eine Vielzahl an Utopien bzw. Dystopien, welche sich zwar grob in marktkonforme „schwache“ oder radikalere „starke“ Nachhaltigkeitsideale einordnen lassen (Wendt 2021, S. 164; Grunwald und Kopfmüller 2022, S. 97–98) oder weitergedacht in die einleitend vorgestellten Möglichkeitsräume der Modernisierung, Transformation und Kontrolle (vgl. Adloff und Neckel 2019, S. 170–175 und Kapitel 1.2.3). Jedoch unterscheiden sich die Utopien in dem intendierten zukünftigen Idealzustand sowie dem angenommenen Zeithorizont zum Teil stark. Eine Betrachtung der Divergenzen in der Utopieproduktion ermöglicht hierdurch einen Rückschluss auf den jeweiligen gesellschaftlichen Kontext und das soziale Umfeld, in welchem die Utopie oder Dystopie entstanden ist. Hier kann es zu gravierenden Unterschieden kommen: Beispielsweise kann im privaten Kontext ein anderes Nachhaltigkeitsideal gelebt werden als am Arbeitsplatz.

	Akteure der Utopieproduktion	Bezugspunkte der Kritik	Bezugspunkte des Wunschbilds
Makro	z.B. Gesellschaftsformen	Nicht-nachhaltige Gesellschaften	Nachhaltigkeit als Gesellschaftsutopie
Meso	z.B. Unternehmen	Nicht-nachhaltige Organisation	Nachhaltigkeit als Organisationsutopie
Mikro	z.B. Familie		Nachhaltigkeit als Gemeinschaftsutopie
Individuell	z.B. Privatpersonen	Nicht-nachhaltige Lebenspraxis	Nachhaltigkeit als Individualutopie

Tabelle 1: Nachhaltigkeitsutopien im Mehrebenenmodell, reduzierte eigene Darstellung von Wendt (2021, S. 155–183)

Zudem kann eine Utopie nicht nur hinsichtlich des Zukunftsideals und der Entstehungsbedingungen, sondern auch hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Mobilisierungskraft untersucht werden. Diese können sich, so Wendts Vermutung, abseits des Wissens und Wollens und je nach gesellschaftlichem Milieu und Alltagsroutinen stark unterscheiden.

Um eine differenzierte Betrachtung dieser sich unterscheidenden Nachhaltigkeitsutopien und Dystopien zu ermöglichen, schlägt Wendt vor, die Nachhaltigkeitsutopien in ein Mehrebenen-Modell einzuordnen, welches zwischen Makro-, Meso-, Mikro- und der individuellen Ebene unterscheidet (vgl. Tabelle 1). In dem Schema können relevante Akteur:innen der Utopieproduktion, Bezugspunkte der Kritik und des Wunschbildes sowie etwaige Beispiele im Rahmen einer systematischen Untersuchung zugeordnet werden. Beispielsweise kann als Akteur:in der Makroebene die Gesellschaft mit ihren nicht-nachhaltigen Strukturen verstanden werden. Der Utopie-Gedanke kann sich hier als neues Wirtschaftssystem z.B. in Form einer Postwachstumsgesellschaft äußern.

Jedoch erscheint das Modell in der hier vorgeschlagenen Form unterkomplex: Wie Wendt (2021, S. 173) selbst schreibt, ist das Modell im empirisch-analytischen Sinne zunächst nur zur reflexiven Zustandsbeschreibung zu nutzen. Daher fehlt eine Beschreibung des Wandels bzw. der Entwicklung der Zukunftsvisionen im Zeitverlauf ebenso wie die Interaktion zwischen den unterschiedlichen Ebenen. Dies hat die Folge, dass eine dynamische Weiterentwicklung etwaiger Utopien bzw. Dystopien zumindest nicht schematisch antizipiert ist. Zudem fehlt eine Erklärung, ob und inwiefern sich die Utopie der jeweiligen Ebene auf das Handeln der jeweiligen Akteur:innen auswirkt. Dies lässt sich zumindest anhand des folgenden Gedankenspiels vermuten: Eine Anhängerin des Ökokapitalismus bzw. der grünen Modernisierung mag der Utopie einer autonomen und elektrifizierten Mobilität nachhängen und daher schnellstmöglich ein derartiges Auto beschaffen. Eine Anhängerin der Utopie einer Postwachstumsgesellschaft mag hingegen eine Reduzierung bzw. Simplifizierung der Mobilität bevorzugen und dem folgend eher auf das Fahrrad für die individuelle Mobilität zurückgreifen.

Zusammenfassend scheint das Modell insbesondere im Rahmen des Untersuchungsgegenstandes der Nachhaltigkeit als ausbaufähig, da keine Entwicklungen und Interaktionen zwischen den Ebenen aufgezeigt werden. Jedoch verweist Wendt nachvollziehbar auf die Notwendigkeit der Betrachtung unterschiedlicher Ebenen und ihren unterschiedlichen normativen Zukunftsvisionen.

2.1.2 Henkel et al. – Sozialökologisches Mehrebenenmodell

Henkel et al. (2021, S. 51–84) betonen den normativen Charakter des Nachhaltigkeitsbegriffes, da unter Nachhaltigkeit stets die Frage verstanden wird, wie ein menschengerechtes Leben für heutige und zukünftige Generationen aussehen kann. Sie betonen zudem, dass die Soziologie im Vergleich zu anderen wissenschaftlichen Disziplinen in der Vergangenheit wenig zum Nachhaltigkeitsdiskurs beigetragen hat, jedoch durch die „Verortung des sozialen Handelns in einem gesellschaftlichen Kontext [...] die dedizierte handlungsorientierte Debatte sozial- und gesellschaftstheoretisch [...] informieren [kann]“ (ebd., S. 53). Insbesondere hoffen die Autor:innen durch zukünftige soziologische Forschung die Frage beantworten zu können, wieso sich das individuelle und kollektive Handeln im Nachhaltigkeitskontext in der Vergangenheit nur unzureichend geändert hat.

Die Autor:innen berufen sich auf die von der Wissenschaft vernachlässigte soziale Dimension des Nachhaltigkeitsbegriffes und begreifen diese als den Erhalt bestehender Sozialbeziehung und der Förderung des gemeinsamen Wohlergehens derzeitiger und künftiger Generationen. Soziale Nachhaltigkeit ist daher ein Aushandlungsprozess der jeweiligen Akteur:innen (z. B. in Form von Kooperationen), welcher nicht Individualziele, sondern den Erhalt des menschlichen Miteinanders als „Aufeinander-Bezogenes- und Füreinander-Sorgendes-Handeln“ (Henkel et al. 2021, S. 58) zum Ziel hat. Beeinflusst wird der Aushandlungsprozess sowohl durch Gesellschafts- als auch sozio-kulturelle Strukturen. Somit findet nachhaltiges Handeln auf und zwischen unterschiedlichen, ineinander verschachtelten gesellschaftlichen Ebenen statt, welche das Produkt eben dieser sozialen Handlungen sind.

Die Autor:innen teilen die sozialen Handlungsformen in vier Ebenen ein: Das Mikrosystem umfasst die inneren und die direkten Beziehungen einer Akteur:in. Das Mesosystem hingegen beschreibt den mit den direkten Beziehungen geteilten Raum. Die Exoebene beschreibt die nächstgrößere Ebene, die der:die Akteur:in nicht selbst durch sein soziales Handeln aktiv gestalten kann, aber durch welche der:die Akteur:in beeinflusst wird. Die Makroebene stellt die allgemeine Gesellschaftsstruktur dar, in welcher sich der:die Akteur:in bewegt und welche somit die Grundsätze des sozialen Handelns rahmt. Zuletzt wird das ganze System von der sozialökologischen Umwelt, also von den sozial interpretierten ökologischen bzw. materiellen Randbedingungen gerahmt: Alle zuvor genannten Ebenen agieren in der ökologischen bzw. materiellen Dimension, welche jedoch ebenso bereits vergesellschaftet ist (Henkel et al. 2021, 58–61). Angewandt auf das Beispiel eines alternativen Wohnprojektes, bilden – den Autor:innen zufolge – die Bewohner:innen das Mikrosystem durch ihre direkten Interaktionen untereinander. Zusammen besitzen Sie auf der Mesoebene eine geteilte Umwelt in Form von gemeinsamen

Aktivitäten und relevanten Organisationsstrukturen wie der Ausgestaltung einer Foodsharing-Initiative. Das Exosystem stellt hingegen stadtgesellschaftliche Organisationen wie Arbeitgeber:innen oder Parteien dar. Das Makrosystem ist in diesem Beispiel die Stadt, welche von der sozialökologischen Umwelt umschlossen wird (vgl. Abbildung 7).

In Form dieser Verschachtelung findet – im Gegensatz zu dem von Wendt präsentierten Modell – eine Interaktion bzw. Beeinflussung zwischen den Ebenen statt, wenngleich die Autor:innen diese nicht genau definieren. Weiterhin besitzen die Akteur:innen der vier Ebenen divergierende Autonomiegrade in ihrer sozialen Handlung. Insbesondere der letzte Punkt scheint in Bezug auf die Nachhaltigkeitsthematik von besonderer Bedeutung: Zwar lässt sich auf der Mikroebene am leichtesten ein nachhaltiger Lebensstil etablieren, beispielsweise durch den Verzicht auf Fleisch oder durch das bewusste Ausschalten nicht benötigter Elektrogeräte. Je höher die Ebene und je geringer die Autonomie des Individuums, desto weniger lässt sich jedoch alleine ein nachhaltiger Wandel bewirken. So sind nachhaltige Verhaltensweisen, welche zumeist einen zusätzlichen Aufwand bedeuten, am Arbeitsplatz mit den hier herrschenden komplexen Sozialbeziehungen schwieriger umzusetzen, gleichzeitig nimmt jedoch der Grad der Auswirkung der nachhaltigen Maßnahme zu.

Insgesamt hilft das vorgestellte Modell, die soziale Komponente der Nachhaltigkeit greifbarer zu gestalten und stellt eine gelungene inhaltliche Ergänzung der Ausführung von Wendt dar. Jedoch erscheint das Modell durch eine fehlende Beschreibung der Interaktionsmöglichkeiten unspezifisch und zeigt

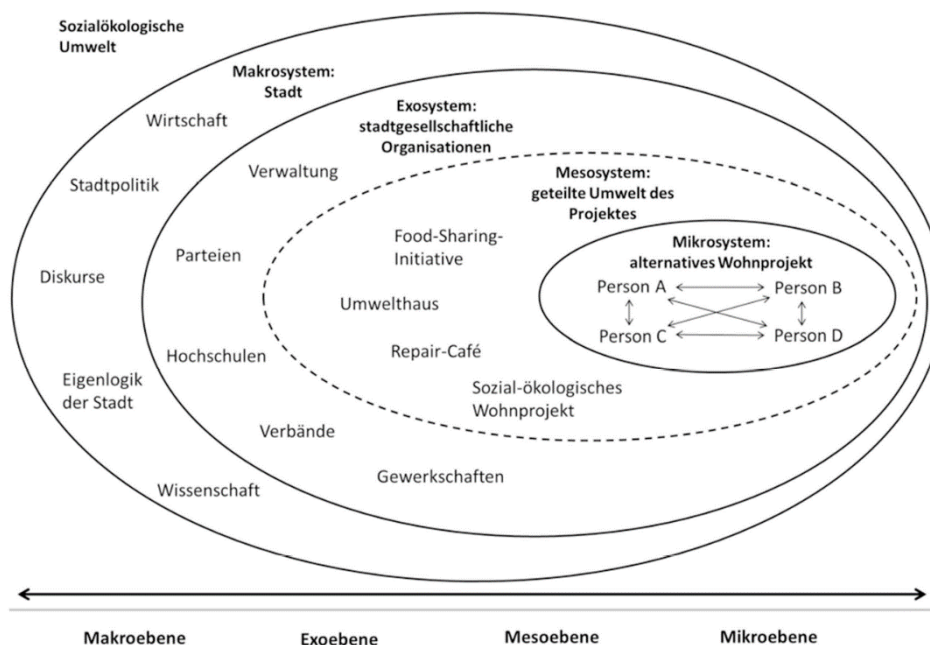


Abbildung 7: Sozialökologisches Mehrebenenmodell am Beispiel eines alternativen Wohnprojektes (Darstellung von Henkel et al. 2021, S. 61 – CC BY-NC-ND 4.0)

– mit Ausnahme der Einbettung in die sozialökologisch interpretierte Umwelt – keine nachhaltigkeitspezifischen Akzente auf. Zwar wird im Rahmen des Aufsatzes auf die unterschiedlichen normativen Maßstäbe, beispielsweise in Form unterschiedlicher Utopievorstellungen, verwiesen; jedoch finden diese keine direkte Berücksichtigung in dem finalen Modell. Weiterhin dient das Modell, ebenso wie das Modell von Wendt, nur der Zustandsanalyse und kann so keine zeitlichen Konflikte bzw. Anpassungskonflikte der sozioökologischen Handlungen aufzeigen.

Im direkten Vergleich der beiden Modelle sehen sowohl Henkel et al. als auch Wendt die Notwendigkeit, Nachhaltigkeit auf Basis einer mehrere Ebenen umfassenden Heuristik zu analysieren. Obwohl die jeweiligen Ebenenbezeichnungen voneinander leicht abweichen, decken sich grob die Ebenen der Modelle: So werden von Wendt und Henkel et al. auf der Makroebene die Gesellschaftsstrukturen als relevante Akteur:innen benannt. Auch unter der Exoebene (Henkel et al.) bzw. der Mesoebene (Wendt) verorten beide Mehrebenensysteme ähnliche Akteur:innen. Nur die beiden untersten Ebenen der jeweiligen Modelle unterscheiden sich voneinander. So ist für Wendt die kleinste Ebene der Utopiebildung das Individuum, wohingegen für Henkel et al. die kleinste Ebene das Mikrosystem ist und somit das Individuum als auch die direkten sozialen Kontakte umfasst. Letztere ordnet Wendt hingegen der Mesoebene zu. Die Mesoebene von Henkel et al., also die geteilte Umwelt des Mikrosystems müsste daher in Wendts Modell sowohl in Mikro- als auch Mesoebene verortet sein. Eine Kombination der beiden Konzepte ist daher denkbar und könnte die Normativität der Utopien mit einem auf Interaktionen abzielenden Modell kombinieren. Zudem kann insbesondere durch die Verortung des sozialen Handelns in der sozioökologischen Umwelt der individuellen Interpretation der physischen Rahmenbedingungen Rechnung getragen werden.

2.1.3 Pfister – Energiekulturforschung

Pfister (2021, S. 231–244) beschreibt relevante Aspekte einer Soziologie der Nachhaltigkeit unter Rückgriff auf Erkenntnisse aus der Energiekulturforschung. Betrachtungsgegenstand der Forschungsrichtung ist der Wandel des soziotechnischen Systems der Energieversorgung abseits rein technologischer Lösungen. Vielmehr wird die grundlegende Veränderung des Verhaltens von Individuen und relevanter gesellschaftlicher Institutionen betrachtet. Pfister greift hierfür auf die Dimensionen der Alltagspraktiken und der Repräsentation zurück (vgl. Abbildung 8). Die erste Dimension begreift Ordnung als Resultat der regelmäßigen Praktiken der Individuen, welche zwar frei von direktem Zwang sind, jedoch durch die technische und organisationale Infrastruktur beeinflusst werden. Hierbei sind nicht nur die Praktiken des

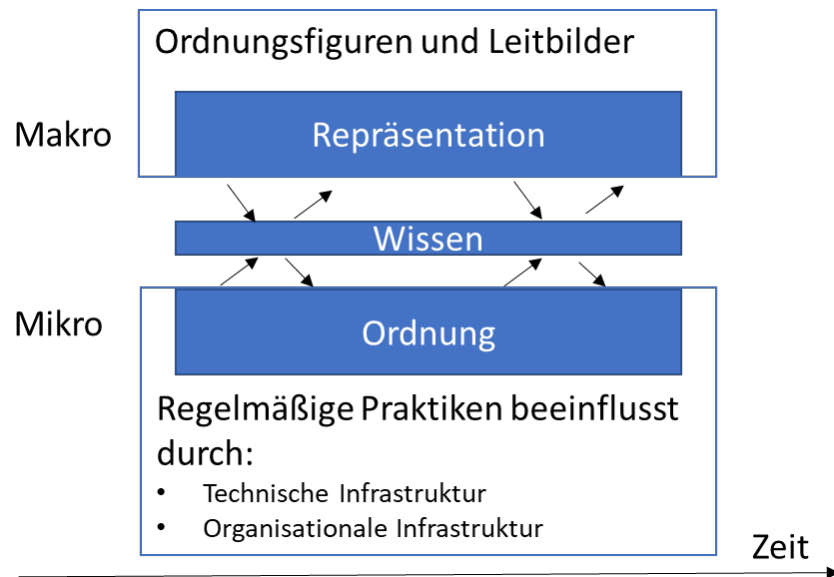


Abbildung 8: Modell der Energiekulturrenforschung nach Pfister (2021, S. 231–244), eigene Darstellung

Endnutzers von Relevanz, sondern maßgeblich auch die Praktiken von Expert:innen und Menschen in Führungspositionen. Somit greift Pfister hier auch Kerngedanken von Henkel et al. auf. Die zweite Dimension Repräsentation umfasst hingegen makroskopische Ordnungsfiguren, also für den Kontext relevante Leitbilder, welche von Akteur:innen verfolgt und kommuniziert werden. Die beiden Dimensionen entwickeln sich koevolutionär weiter: Repräsentation beeinflusst die Praxis, aber entsteht gleichzeitig aus der aktiven Partizipation. Somit beeinflusst die Repräsentation auch das Handeln des Individuums. Bindeglied in diesem Zusammenspiel ist das Wissen, verstanden als Kenntnisse über Zusammenhänge im Nachhaltigkeitskontext. Es beeinflusst durch die Kenntnis eines Sachverhaltes die eigene Handlung implizit, explizit hingegen in Form eines Diskurses mit anderen Akteur:innen und der somit aktiven Veränderung des Wissens. Mittels Wissen lassen sich dann im Nachhaltigkeitsdiskurs nicht-nachhaltige Praktiken kritisieren, aber ebenso auch Alternativen aufzeigen. Laut Pfister ist es jedoch zusätzlich wichtig darauf hinzuweisen, dass in komplexen soziotechnischen Systemen selten eindeutige Lösungen existieren und die Beeinflussung der Ebenen koevolutionär geschieht.

Diese für den Energiesektor identifizierten Kategorisierungen von Repräsentation, Individualpraktiken und Wissen ermöglichen es, essenzielle Aspekte auch für andere soziotechnische Systeme zu identifizieren. Basierend hierauf verweist Pfister auf drei Aspekte, welche für eine Soziologie der Nachhaltigkeit von besonderer Relevanz sind: Wandel, Normativität und Reflexivität.

Mit einem Blick auf den (Nicht-)Wandel der Vergangenheit zeigt sich Pfister zufolge, dass weder neue Technologien noch ein gestiegenes kollektives Bewusstsein für Nachhaltigkeit die eigentlich notwendigen ökologischen Ver-

änderungen erbrachten. Zudem zeigt sich, dass der nachhaltige Wille des Einzelnen scheinbar nicht ausreicht, ein entsprechendes Verhalten zu fördern. Vielmehr resultiert das tatsächliche Verhalten aus der gelebten Praxis und ist somit durch Verhaltensmuster sowie durch die Einbindung in und die Abhängigkeit von relevanter technischer Infrastruktur geprägt. Weiterhin sind die genannten Ordnungsstrukturen essenziell, um Handlungen zu legitimieren. Das Wissen hilft in diesem Rahmen insbesondere, um (Interessen-) Konflikten zu begegnen (Pfister 2021, S. 239–240).

Bezüglich der Normativität konstatiert Pfister, dass Menschen in unterschiedlicher Weise nachhaltig handeln und ihr Verhalten auch unterschiedlich begründen. So können die Sicherung und der Ausbau von Stromanschlüssen ebenso wie ein Off-Grid Tiny House als nachhaltig verstanden werden, tatsächlich stehen die Ideen aber im starken Gegensatz zueinander (Autarkie und Selbstversorgung gegen Grundsicherung). Zudem existieren bereits etablierte Wertvorstellungen für das jeweilige betrachtete komplexe System, was dann in Kombination mit Nachhaltigkeitsentscheidungen eine normative Wertung der jeweiligen Aspekte erfordert. Als Beispiel könnte hier das Verständnis des Autos als befreiende Technologie der Nachkriegszeit angeführt werden, welches im Diskurs einer ökologisch nachhaltigen Mobilität mehr und mehr in Verruf gerät. Die Normativität ergibt sich nach Pfister hierbei aus drei Aspekten. Erstens basieren Einstellungen zumeist auf technischem und wissenschaftlichem Wissen, welches in sich bereits nicht wertfrei ist. Zusätzlich muss jede Vorstellung eines Wandels abseits des politischen oder gesellschaftlichen Ideals zunächst wissenschaftlich geprüft und technisch umsetzbar sein und begrenzt hierdurch den normativen Ideenhorizont. Zweitens können Praktiken aus normativen Ansichten resultieren (und erst dann sind Nachhaltigkeitszugewinne zu verzeichnen), aber ebenso können Praktiken die normativen Vorstellungen beeinflussen. Pfister merkt an, dass Normativität nicht zwangsläufig aus Werten entstehen muss, sondern sich aus dem als „normal“ angesehenen Zustand speisen kann. Dieser wird vorausgesetzt und tritt erst bei Nichteinhaltung und den hieraus resultierenden Einschränkungen zu Tage. Ein Beispiel hierfür ist, dass Autobesitzer:innen erwarten, einen kostenlosen Stellplatz auf der Straße nutzen zu können. Gegen eine Reduktion von Pkw-Abstellmöglichkeiten wird demnach stark protestiert. Zuletzt argumentiert Pfister, dass durch das Aufzeigen komplexer Strukturen unter Bezug auf Normen und Praxis schlussendlich Reflexivität gewährleistet werden kann und so Widersprüche und Initiativen aufgezeigt werden (Pfister 2021, S. 240–242).

Zusammenfassend greift auch Pfister in seinem Beitrag die unterschiedlichen Ebenen eines nachhaltigen Wandels auf, wenngleich die Ebenen weniger greifbar sind als bei den zuvor referierten Autor:innen. Dies liegt maßgeblich

daran, dass Pfister den Fokus auf die handelnden Individuen in ihren jeweiligen Kontexten legt und die Makroebene aus den aggregierten Wertvorstellungen entsteht. Hierdurch kann Pfister insbesondere die Bedeutung der Individuen hervorheben. Zugleich verweist Pfister – im Gegensatz zu den vorher dargestellten Ansätzen – auf die Relevanz des Wissens als Vermittler zwischen der Mikro- und Makroebene in Nachhaltigkeitsprozessen. Jedoch stellt das Wissen nur ein Bindeglied dar, wobei eine direkte Zuordnung beispielsweise zu den Praktiken inhaltlich Sinn ergeben würde, da es ja auch die Praxis formt.

2.2 Transformation

Wenngleich insbesondere Pfister in seinem Beitrag einen koevolutionären Wandel von Ordnung und Repräsentation präsentiert, bleiben die Zeitdimensionen und mögliche Steuerungsüberlegungen in den zuvor vorgestellten Beiträgen größtenteils unbeachtet. Eine Zeitdimension scheint daher essenziell um auch die Auswirkungen des Handelns relevanter Akteur:innen beschreiben zu können: Einerseits um dem Anspruch einer Reflexivität, welche über Zustandsbeschreibungen hinausgeht, gerecht zu werden, andererseits um etwaige Wandlungsprozesse und Governancemaßnahmen abbilden zu können. Nachfolgend stellt dieses Kapitel daher Einflussfaktoren und Modelle vor, welche versuchen, eine Transformation zu beschreiben sowie relevanten Einflussgrößen zu identifizieren.

2.2.1 Schneidewind – Zukunftskunst

Einen umfassenden inhaltlichen Einblick in einen möglichen nachhaltigen Wandlungsprozess ermöglicht der Leiter des Wuppertaler Klimainstituts Schneidewind in Form seines Werkes „Die große Transformation“ (Schneidewind 2018). Die titelgebende Transformation hat Schneidewind zufolge noch nicht stattgefunden, da die gesellschaftlichen Akteur:innen aufgrund eines vorherrschenden Wachstums- und Wirtschaftsdrucks in sich selbst replizierenden Strukturen gefangen sind, welche einen nachhaltigen Wandel verhindern. Aus diesem Grund ist Schneidewind folgend ein maßgebliches Umsteuern der Akteur:innen auf allen gesellschaftlichen Ebenen, also der gesellschaftlichen, der organisationalen und individuellen Ebene notwendig.

Hierfür stellt Schneidewind das Konzept Zukunftskunst vor, welches sich namentlich an der für Wandlungsprozesse benötigten Kreativität in Form der Verbindung unterschiedlicher Aspekte sowie dem Experimentierwillen orientiert (Schneidewind 2018, S. 32–45). Unter diesem Konzept versteht Schneidewind die Fähigkeit, die Nachhaltigkeitsproblematik in der Fülle seiner relevanten Aspekte zu verstehen. Insbesondere gelte es zu verinnerlichen,

dass die existierenden ökologischen Probleme aus dem Handeln des Menschen resultieren und daher auch nur durch menschliches Handeln gelöst werden könnten. Um einen Wandel zu ermöglichen, kämen vier Dimensionen eine entscheidende Rolle zu: der technologischen Dimension, der ökonomischen Dimension, der institutionellen Dimension und der kulturellen Dimension. Die technologische Dimension beinhaltet hierbei technische Lösungsansätze zu Nachhaltigkeitsproblemen. Die ökonomische Dimension eines Transformationsprozesses fragt hingegen nach der Sinnhaftigkeit etwaiger Bemühungen im komplexen wirtschaftlichen Zusammenspiel. Die institutionelle Dimension beinhaltet Governance-Optionen und die institutionelle Begleitung von Wandlungsprozessen. Die kulturelle Dimension hingegen stellt tief verwurzelte, teils implizite Wertvorstellungen der Gesellschaft dar (vgl. Abbildung 9). Schneidewind zufolge bestehen bereits zufriedenstellende Lösungsansätze für eine nachhaltige Zukunft hinsichtlich der technologischen und ökonomischen Dimension. Vielmehr seien die institutionelle und kulturelle Dimension relevante Betrachtungsgegenstände, um eine nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen. Er resümiert, dass „am Ende [...] Ideen und neue Wertvorstellungen die Welt [verändern]“ (Schneidewind 2018, S. 42). Somit steht der Ansatz der Zukunftskunst im Kontrast zu den Nachhaltigkeitsbemühungen der vergangenen zwanzig Jahre, welche aufbauend auf technologischen und ökonomischen Ansätzen, keine oder nur begrenzte Nachhaltigkeitserfolge erzielen konnten.

Insbesondere das Individuum spielt in dieser möglichen großen Transformation daher eine entscheidende Rolle, da „jede Veränderung [letztlich] von Individuen aus [geht]“ (Schneidewind 2018, 452). Schneidewind spricht in diesem Zusammenhang unter anderem von Pionieren des Wandels, welche

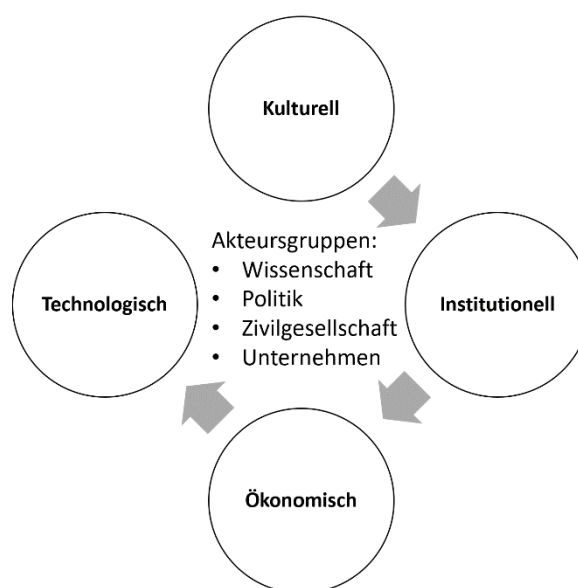


Abbildung 9: Konzept Zukunftskunst und idealtypische Akteursgruppen. Eigene Darstellung nach Schneidewind (2018, S. 298)

Nachhaltigkeitszusammenhänge verstehen und aktiv gestalten können. Der individuelle Konsum von Endnutzer:innen spielt hierbei in Schneidewinds Überlegungen jedoch nur eine untergeordnete Rolle, da organisationale und gesellschaftliche Strukturen einen weitaus größeren Einfluss auf die Nachhaltigkeitsentwicklung besäßen.

Um ein:e erfolgreiche:r, also ein den Status quo verändernde:r Pionier:in des Wandels zu sein, seien Wissen, Haltung und Fähigkeiten essenziell (Schneidewind 2018, S. 461). Das Wissen, um die Facetten von Nachhaltigkeit sowie die komplexen sozioökologischen und sozioökonomischen Zusammenspiele zu verstehen und so eine informative Entscheidung überhaupt treffen zu können. Die Haltung orientiert sich an der individuellen Zukunftsvision und ermöglicht in Kombination mit einem Veränderungsdrang das Ausbrechen aus den bequemen täglichen Routinen und dem Entgegentreten von etwaigen Ängsten des Alltags. Hierfür ist das zuvor genannte Wissen die Voraussetzung. Ein nachhaltiger Wandel kann insbesondere von einem „etwas verändern wollen“ „Mindset“ getragen werden. Fähigkeiten als dritter Aspekt dienen dann schlussendlich dazu, die aus dem Wissen und der Haltung generierten Ideen praktisch umzusetzen. Bezüglich der Fähigkeiten stellt Schneidewind diverse Programme vor, welche die Fähigkeiten von Pionieren schulen und so relevante Kompetenzen vermitteln (Schneidewind 2018, S. 470–474).

Somit greift Schneidewind die Bedeutung des Individuums, der Normativität und des Wissens in seinem Konzept der Pioniere des Wandels ebenso auf wie Pfister. Jedoch verortet er sowohl das Wissen als auch die normative Bewertung der Handlung bei dem Individuum selbst. Für Schneidewind ist nicht jedes Individuum ein:e Pionier:in, vielmehr geht oftmals eine substantielle Veränderung von einigen wenigen aus, welche alle drei Eigenschaften in einem besonderen Ausmaße in sich vereinen. Diese Eigenschaften bleiben jedoch unkonkret. Hier kann Pfister im Gegensatz zu Schneidewind mit den Einflussgrößen der technischen und organisationalen Infrastruktur zumindest etwaige Randbedingungen für das Können aufzeigen. Weiterhin stellt sich die Frage, welche Rolle die Menschen abseits der besagten Pioniere des Wandels einnehmen. Wenn eine Pionier:in ein ausgeprägtes Wissen, Haltung und Fähigkeiten besitzt, liegt der Schluss nahe, dass Nicht-Pionier:innen dementsprechend ebenso existieren, aber dann nur – wenn überhaupt – in Teilen ausgeprägte Eigenschaften besitzen. Demnach können Wissen, Haltung und Fähigkeiten auch als allgemeine, das Verhalten bestimmende Variablen verstanden werden, welche in Form von Pionier:innen schlicht stärker positiv ausgeprägt sind. Aus einer wissenschaftlichen Sicht könnte es dann Sinn machen, in zukünftiger Forschung die Effektstärke der drei individuellen Charakteristika zu untersuchen. Weiterhin ist insbesondere der Ansatz, dass es sich um eine kulturelle Revolution abseits von wissenschaftlichen und technischen

Lösungen handelt, eine essenzielle Erkenntnis, welche bereits auch im Rahmen der Limits of Growth genannt wurde (Meadows et al. 1972, S. 84). Ein praktisches Beispiel liefert zudem die in Kapitel 3 präsentierte Beschreibung des deutschen Personenverkehrs: Nicht neue Technologien bringen den Fortschritt, sondern neue Nutzungsformen bestehender Technologien.

2.2.2 Sustainable Transitions Research

Einen weiteren Ansatz, Transformationsprozesse zu beschreiben und mögliche nachhaltige Interventionsansätze zu identifizieren (Sommer 2024, S. 162–164) bietet die aus den interdisziplinären Social and Technology Studies (STS) hervorgegangene Sustainable Transition Forschung, welche global an Relevanz gewinnt (Köhler et al. 2019, S. 1–3). Wichtiger Bestandteil der Erklärung von Transformationsprozessen sind hier einerseits das vorherrschende soziotechnische Regime, welches die aus den sozialen Praktiken hervorgehende Kombination von Wissen, Technik und Wertvorstellungen darstellt und eine spezifische gesellschaftliche Funktion erfüllt. Hierbei ist das vorherrschende Regime stabilisiert durch kognitive Heuristiken und formale Regeln, gegenseitige Abhängigkeit der beteiligten Akteur:innen sowie durch Sunk Costs, also hohe Investitionskosten zum Beispiel in Infrastruktur und lange Lebenszeiten von Produkten. Aus diesem Grund entwickelt sich das Regime zumeist nur inkrementell weiter (Mierlo und Beers 2020, S. 257).

Radikale Veränderungen entstehen hingegen in den sogenannten Nischen, also in geschützten Räumen, in welchem sich technische und soziale Innovationen² frei von äußeren Drücken entwickeln können. Eines der populärsten analytischen Modelle der Sustainable Transition Research ist – neben dem Strategic Niche Management, dem Technological Innovation System Approach und dem Transition Management – die Multi-Level Perspective (MLP) (Köhler et al. 2019, S. 4; Geels und Schot 2007, S. 401). Zusätzlich zu den bereits genannten Nischen und dem Regime ist auch die makroskopische Landscape Teil der MLP. Diese stellt den exogenen Kontext dar, umfasst also langfristige Entwicklungen wie das gesellschaftliche Nachhaltigkeitsbewusstsein, kann aber auch Schocks, wie beispielsweise die Covid-19-Pandemie umfassen (vgl. Abbildung 10).

Im Sinne der MLP entwickeln sich Nischen in einem geschützten Umfeld mit wechselnden und wachsenden Akteur:innenkonfigurationen und technischen Verbesserungen weiter. Veränderungen in der Landscape verursachen Druck auf das bestehende Regime, wodurch ein Window of Opportunity, also ein

² Geels spricht in früheren Arbeiten zunächst von rein technologischen Nischen. Jedoch wird in späteren Werken allgemeiner von Nischeninnovationen gesprochen und ermöglicht so auch die Verortung von sozialen Innovationen in Nischen (Geels und Schot 2007, S. 400; Geels 2011, S. 27).

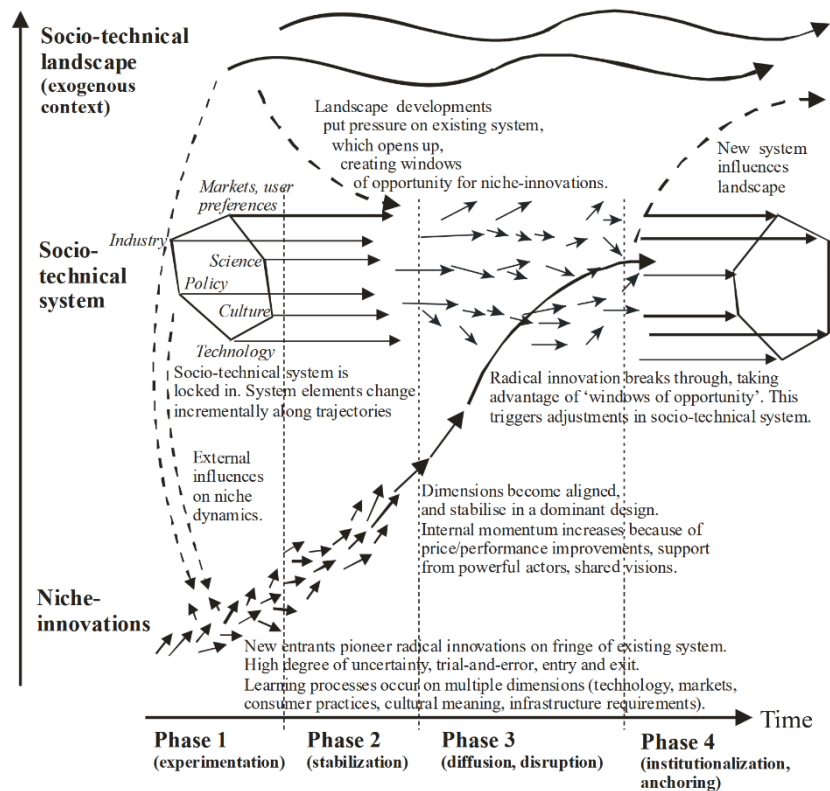


Abbildung 10: Multi-Level Perspective (Darstellung von Geels 2024, S. 5 – CC BY-NC-ND 4.0)

offenes Gelegenheitsfenster, entstehen kann, in welchem eine hinreichend entwickelte Nische das bestehende Regime herausfordern kann und dieses ersetzt oder verändert. Hierdurch entsteht ein substantieller Wandel, welcher sich im Gegenzug dann langfristig wieder auf die makroskopische Landscape auswirken kann (Geels 2020, S. 1).

Im Sinne der Sustainable Transition-Forschung identifiziert Loorbach (2020, S. 441) vier Ansatzpunkte für eine gelungene nachhaltige Transformation. Erstens führt die Wahrnehmung eines Problems meistens zu dem logischen Versuch negative Auswirkungen des Problems zu reduzieren, jedoch nicht disruptive Neuerungen zu ersinnen. Dies steht jedoch oftmals im Kontrast zu den radikalen Änderungen, welche der fortschreitende Klimawandel erfordert. Zweitens ist das vorherrschende Regime durch seine Optimierungsbestrebungen in seiner Diversität eingeschränkt, technische oder soziale Nischen können hier helfen das bestehende Regime in Folge eines externen Druckes zu ändern. Drittens entstehen gesellschaftliche Änderungen oft außerhalb des dominanten Regimes in Form von Nischen, welche sich teils unkontrolliert und chaotisch entwickeln. Hierbei handelt es sich nicht nur um technische, sondern ebenso um soziale Innovationen, welche zu echten Alternativen zum bestehenden Regime heranwachsen können. Schließlich ist eine kritisch hinterfragende Politik entscheidend, um sozialen Wandel voranzutreiben, die von Machtstrukturen existierender Regimes nicht zurückschreckt.

Zusätzlich gilt es nach Loorbach, die diversen Akteur:innen, welche sich für einen gesellschaftlichen Wandel einsetzen, zu vereinen und zu unterstützen.

Zusammengefasst hilft die Sustainable Transition Forschung und mit ihr auch die Multi-Level Perspective einen verschiedenen Dimensionen umfassenden inhaltlichen Überblick über vergangene, gegenwärtige und zukünftige soziotechnische Transformationsprozesse zu schaffen. Insbesondere für politische Entscheidungsträger:innen und Organisationen ist die MLP somit ein wertvolles Konzept um einen Überblick über die soziotechnischen Entwicklungen einer Transformationsarena zu erlangen und strategisch Nachhaltigkeitsbestrebungen zu fördern (Geels 2019, S. 197–199). Aus diesem Grund wird die MLP als Grundlage für die Beschreibung der Entwicklung im deutschen Personenverkehr des 3. Kapitels genutzt.

Analytisch-soziologische Forschungsarbeiten lassen sich in dem Schema jedoch nur schwer verorten, weil die MLP maßgeblich für die Beschreibung makroskopischer Phänomene ausgelegt ist, das Handeln der von Schneidewind angeführten Pioniere des Wandels (vgl. Kapitel 2.2.1) ist beispielsweise schwer zuzuordnen. Ebenso ist die (materielle) sozioökologische Interaktion mit der Umwelt nicht explizit formalisiert, was eine Anwendung auf Nachhaltigkeitsthematiken erschwert.

2.2.3 Esser/Coleman – Makro-Mikro-Makro Modell

Um einen nachhaltigen gesellschaftlichen Wandel, also eine Makro-Makro-Entwicklung zu beschreiben, aber gleichzeitig auch die in der vorherigen Literatur beschriebene Relevanz des Individuums in einem umfassenden Nachhaltigkeitsmodell zu integrieren, scheint der Ansatz der analytischen Soziologie passend (Brand 2021c, S. 94). Das Credo dieser fassen Kron und Grund (2010, S. 9) wie folgt zusammen: „Um etwas zu erklären, muss man zeigen, wie es zustande kommt, es also generieren oder erzeugen“. Das grundlegende Modell der analytischen Soziologie ist das von Coleman erdachte und anschließend von Esser ausgestaltete Makro-Mikro-Makro-Modell. Jenes Modell wurde zunächst von Coleman 1990 präsentiert, um seine Argumentation zu stützen, dass eine reine soziologische Makro-Makro Analyse der Gesellschaft nicht ausreicht, um zufriedenstellende Erkenntnisse zu erlangen (Coleman 2010, S. 6–13). Esser erweiterte besagtes Modell um die drei Aspekte Kontexthypothese, Entscheidungsregel und Aggregationsregeln und nennt es das Modell der soziologischen Erklärung (vgl. Abbildung 11). Das Modell, welches die makroskopische Entwicklung als Resultat der mikroskopischen Entwicklungen versteht, ist hierbei elementarer Grundstein der Esser'schen

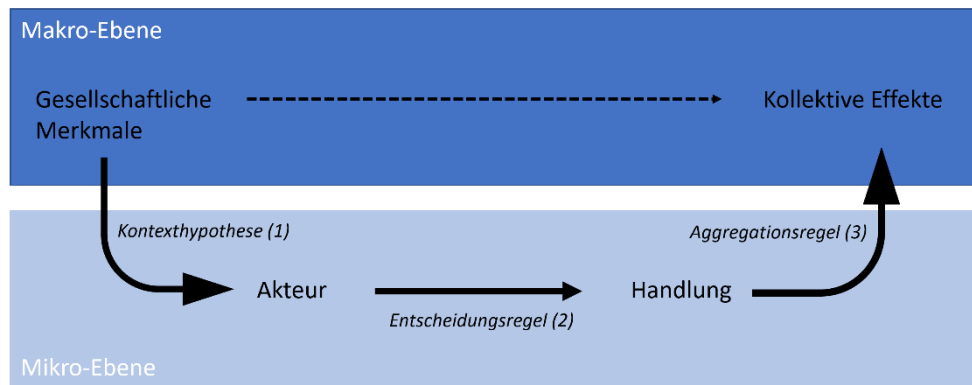


Abbildung 11: Das soziologische Makro-Mikro-Makro-Modell. Eigene Darstellung in Anlehnung an Greve et al. (2009, S. 8)

Sozialtheorie (Greve et al. 2009, S. 7) und ist Esser zufolge explizit dafür gedacht, sowohl die unterschiedlichen disziplinären Ansätze der Soziologie, als auch interdisziplinäre Ansätze anderer Sozialwissenschaften in einem Modell integrieren zu können. Weiterhin erlaubt das Modell explizit Erweiterungen, beispielsweise in Form unterschiedlicher Ebenen oder einer Zeitdimension (Esser 2003, S. 523–525). Aufgrund seiner bauchigen Struktur wird das Modell der soziologischen Erklärung oft „Coleman’s Boot“ oder „Essersche-Badewanne“ genannt.

Ein makroskopischer sozialer Wandel entsteht dem Modell folgend aus den gesellschaftlichen Strukturen der Makroebene zu einem Zeitpunkt t , welche einen Einfluss auf die Akteur:innen der Mikroebene haben bzw. durch die individuell handelnden Akteur:innen interpretiert werden (Kontexthypothese). Diese individuellen Akteur:innen entscheiden dann mittels einer Entscheidungsregel, welche Handlung vollzogen wird. Hierfür wird zumeist auf eine Rational-Choice-Theorie zurückgegriffen, wenngleich Anpassungen oder gänzlich andere Handlungstheorien, wie beispielsweise die Frame-Selektion durchaus denkbar sind. Esser selbst verweist jedoch darauf, dass eine Vielzahl an soziologisch gesättigten Interpretationen existieren, welche den ursprünglich neoklassischen Rational-Choice-Ansatz zufriedenstellend ergänzen (Esser 2003, S. 526–528).

Durch die Vielzahl an individuellen Handlungen der Akteur:innen, welche sich ebenso gegenseitig beeinflussen können, ergibt sich dann, beispielsweise in Form einer Addition der Effekte als Aggregationsregel, ein kollektiver makroskopischer Effekt zu einem späteren Zeitpunkt $t+1$. Durch das wiederholte Durchlaufen des Modells lässt sich der konstante Wandel der Gesellschaft beschreiben (Greve et al. 2009, S. 9–12; Weyer et al. 2015, S. 16).

Vorteil dieses Modells ist, dass auf einen rein makroskopisch orientierten Horizont verzichtet werden kann und das Individuum, welches eben zur Prägung der gesellschaftlichen makroskopischen Merkmale beiträgt, explizit bedacht wird. In dieser Hinsicht macht es also durchaus Sinn das Makro-Mikro-

Makro-Modell auch für eine Soziologie der Nachhaltigkeit zu verwenden, da beispielsweise die ultimativ entstehenden Umweltbelastungen als ökologische Rahmung der Gesellschaft das Resultat der Handlung einer:ines jeden Akteur:in ist. Greve et al. (2009, S. 9–12) folgend besteht ein weiterer Vorteil darin, dass das Makro-Mikro-Makro Modell die bessere Untersuchbarkeit der größeren Fallzahlen von mikroskopischen Kontexten, zum Beispiel in Form von Simulationen oder anderen empirischen wissenschaftlichen Methoden, ermöglicht, da die Handlungen einzelner Individuen leichter „messbar“ sind. Unklarheit besteht hingegen bezüglich der genauen Definition der Mikro-/Makroebene, welche unterschiedliche Ausmaße annimmt und somit bei der Einführung von Modellen eine genauere Definition etwaiger Ebenen erfordert. Zudem entstehen Spannungen aus dem nicht endgültig geklärten Zusammenhang zwischen Mikro- und Makroebene (Greve et al. 2009, S. 9–12).

Trotz der weiten Verbreitung und offensichtlichen Eignung des Modells Wandel zu beschreiben, scheinen sehr wenige Veröffentlichungen zu existieren, welche Nachhaltigkeitsthematiken soziologisch mit dem Makro-Mikro-Makro Modell untersuchen. Eine Ausnahme besteht in dem von Melville (2010, S. 1–6) vorgestellten Belief-Action Outcome Framework, welches auf den Ideen von Esser und Coleman aufbaut und das Modell nutzt, um eine Agenda für die Informationssystemforschung zu präsentieren.

2.2.4 Melville – Believe Action Outcome Modell

Trotz der von Esser beschriebenen und explizit gewünschten Erweiterbarkeit des Modells der soziologischen Erklärung existieren, wie im vorherigen Abschnitt angemerkt, wenige wissenschaftlichen Arbeiten, welche Nachhaltigkeitsüberlegungen und das Makro-Mikro-Makro-Modell kombinieren. Das von (Melville 2010, S. 6) vorgestellte Believe Action Outcome Modell stellt hier eine außerdisziplinäre Ausnahme dar (vgl. Abbildung 12).

In diesem wird auf der Makroebene zwischen einer gesellschaftlichen Struktur und einer organisationalen Struktur unterschieden, welche in Folge von individuellen Handlungen auf der Mikroebene unterschiedliche makroskopische Ergebnisse produzieren (3 und 3'). Hierbei werden von dem Autor unter der gesellschaftlichen Struktur beispielsweise Normen und kulturelle Aspekte verstanden, welche die erwarteten Handlungen als auch die Beziehungen formen.

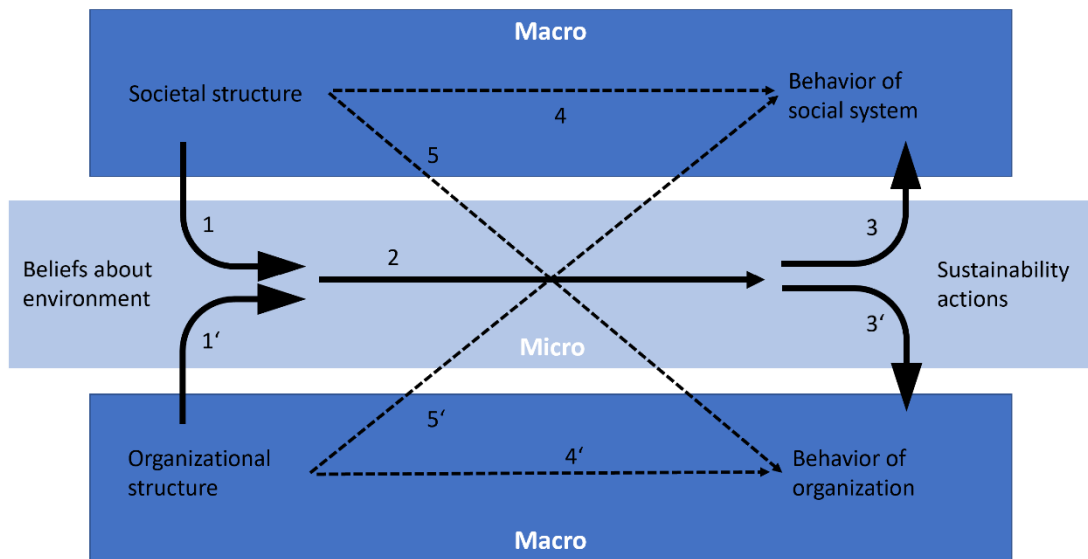


Abbildung 12: Belief-Action-Outcome-Modell. Eigene Darstellung in Anlehnung an Melville (2010, S. 6)

Unter der organisationalen Struktur wird hingegen die tatsächliche strukturelle Aufteilung und Kompetenzverteilung innerhalb eines organisationalen Umfeldes verstanden. Zu Konflikten kommt es dann, wenn sich organisationale und soziale Werte bzw. die individuelle Interpretation derselben unterscheiden. Das Resultat der Handlung wird in dem vorgeschlagenen Modell explizit unter wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten behandelt und lässt somit die sozialen Dimensionen der Nachhaltigkeit unbeachtet. Zuletzt wird innerhalb des Modells die Möglichkeit einer reduzierten Betrachtung durch die Einführung gepunkteter Pfeile (4-5) gegeben. Diese erlauben eine weitere wissenschaftliche Betrachtung unter der Annahme homogener Agent:innen, welche sich ebenso in Organisationen aufhalten (Melville 2010, S. 5). Dies steht zwar in einem Widerspruch zu dem ursprünglichen Makro-Mikro-Makro-Modell, als dass hierdurch Makro-Makro Entwicklungen betrachtet werden, also Entwicklungen, welche mittels des vorgeschlagenen Modells im Esser'schen (oder Colemanschen) Sinne vermieden werden sollten, hebt aber die Relevanz des Individuums als Entscheidungsinstanz zwischen unterschiedlichen makroskopischen Sozialisationsinstanzen hervor.

Zusammenfassend zeigt das Modell in Form seiner zwei sich gegenüberstehenden Makro-Dimension insbesondere das mögliche Konfliktpotenzial sich unterscheidender Wertevorstellungen in unterschiedlichen gesellschaftlichen Kontexten auf. Es verdeutlicht, dass durch die Interpretation von Nachhaltigkeit in unterschiedlichen Kontexten Zielkonflikte entstehen können. Es bleibt jedoch unklar, welche Einflussgrößen im Nachhaltigkeitsdiskurs relevant für die Handlung des Individuums sind und wie etwaige steuernde Maßnahmen abgebildet werden können.

2.2.5 Weyer – Multi-Level Governance Modell

Abhilfe schaffen Weyer et al. (2015, S. 15–24; 2022, S. 7–16) in Form des Modells multipler sozialer Systeme (bzw. zuvor Multi-Level Governance Model genannt). Grundlage des Modells ist das bereits vorgestellte Makro-Mikro-Makro-Modell von Coleman bzw. Esser. In diesem sind jedoch schwerlich politische Eingriffsmöglichkeiten oder komplexere soziotechnische Systeme abbildbar. Aus diesem Grund definieren Weyer et al. einerseits sich unterscheidende ausdifferenzierte soziale Systeme, welche über die Verortung in der gegenseitigen Umwelt andere Systeme beeinflussen können (Abbildung 13). Moderne Technik ist dabei explizit Teil der sozialen Systeme. Diese kann in Form von in Echtzeit agierender (teil-)autonomer Agenten teils menschlich agieren und überraschende und soziale Reaktionen verursachen.

Andererseits wird eine Zeitdimension eingeführt, welche es ermöglicht Beeinflussungen zwischen sozialen Systemen sowie etwaige Rückkopplungen abzubilden. Somit lösen die Autoren die im vorherigen Kapitel genannte Kritik der fehlenden Betrachtung der Ebeneninteraktion im Makro-Mikro-Makro-Modell. Etwaige Systeminteraktionen beispielsweise in Form von hierarchischen Beziehungen lassen sich dann basierend auf weiterer Forschung identifizieren.

Hierfür unterscheiden die Autoren insbesondere zwischen den Governance-Mechanismen der Steuerung und der Koordination, welche nicht als gegenüberstehende Pole zu verstehen sind, sondern ein Spektrum an Governance-Mischformen aufziehen. Unter steuernden Maßnahmen wird der Versuch der gezielten Einflussnahme verstanden. Jedoch ist das Resultat der Steuerung

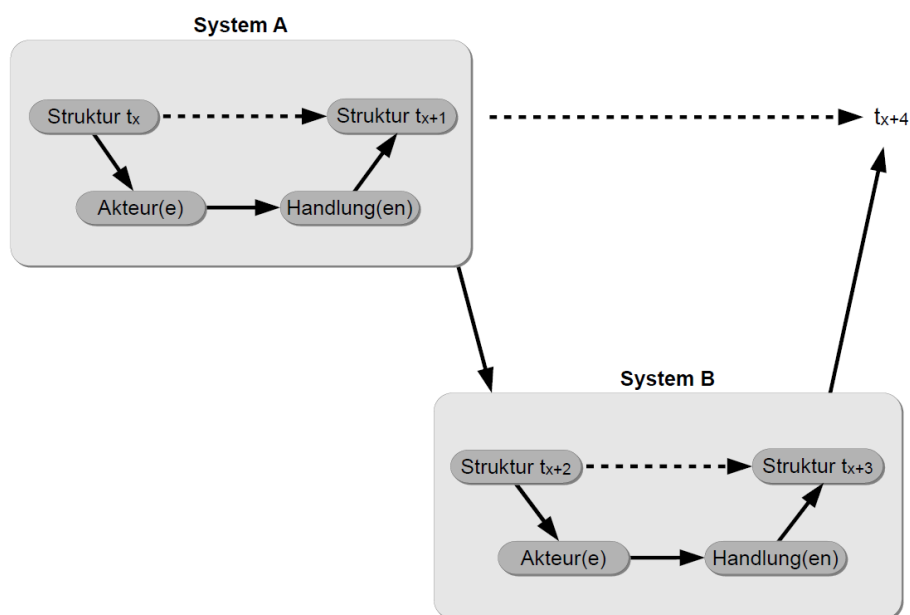


Abbildung 13: Modell multipler sozialer Systeme (Darstellung von Weyer et al. 2015, S. 22)

ungewiss, da die Reaktionen eines komplexen soziotechnischen Systems und seiner individuell handelnden Akteur:innen oft nicht klar sind. Unterschieden werden kann zudem zwischen harter und weicher Steuerung: Erstere umfasst drastischere Maßnahmen wie beispielsweise Verbote oder Zwänge, Letztere umfasst weniger restriktive Maßnahmen wie positive oder negative Anreize. Steuerung wird angewandt, um ein anderes System zu transformieren bei gleichzeitiger Erhaltung der Funktionsweise. Koordination ist hingegen ein Steuerungsmechanismus, welcher nicht von einer anderen Ebene beeinflusst wird, sondern vielmehr aus den konstanten Interaktionen unterschiedlicher, aber nicht dominanter Akteur:innen auf einer Ebene entsteht. Unterschieden werden kann zwischen spontaner Koordination, in welcher die Akteur:innen Individualziele verfolgen und spontan auf die Handlung der anderen Akteur:innen ihres Systems reagieren. Dem entgegen steht die reflexive Koordination, welche über einen längeren zeitlichen Horizont abläuft und hierdurch auch die strategische Einbeziehung vergangener Handlungen als auch antizipierte zukünftige Handlungen anderer mit einbezieht.

Beispielhaft wird das Modell durch Weyer et al. auf das soziotechnische System des Flugverkehrs angewendet: Aufbauend auf der von Mayntz und Scharpf (1995, S. 18) entwickelten Idee der Regelungs- und Leistungsstruktur (GOV-1, GOV-2), wird das Konzept um eine dritte zusätzliche operationale Ebene (GOV-3) ergänzt (vgl. Abbildung 14).

Die erste Ebene bildet ein übergeordnetes Verhandlungssystem und steht nicht im direkten Kontakt zu der dritten Ebene, kann aber zum Beispiel in Form einer Regierung eine regulierende Institution ins Leben rufen. Die zweite Ebene umfasst die direkt auf das operative System bezogenen Institutionen und Organisationen, welche auf die dritte (operative) Ebene steuernd,

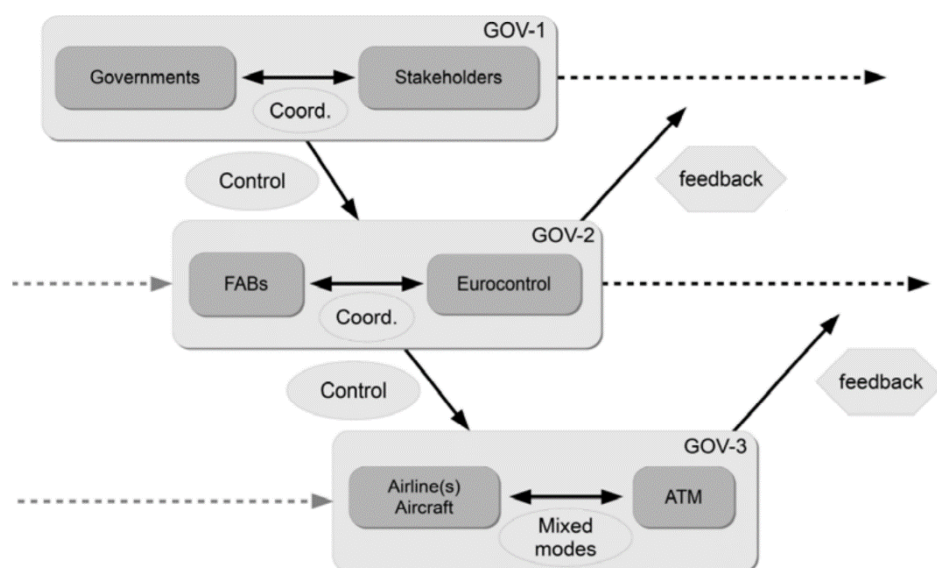


Abbildung 14: Beispiel eines Multi-Level Models of Governance anhand des soziotechnischen Systems des Flugverkehrs (Darstellung von Weyer et al. 2015, S. 26)

beispielsweise mit Vorschriften, Einfluss nehmen können. Für den Flugverkehr kann dies zum Beispiel Eurocontrol sein, die europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt. Verallgemeinert tritt Steuerung also zwischen den Ebenen auf, Koordination hingegen innerhalb der Ebenen. Jeglicher Steuerungs- oder Koordinierungsversuch erzeugt ein Feedback, welches im weiteren zeitlichen Verlauf in das Kalkül der entsprechenden Ebenen berücksichtigt werden kann. Somit kann ein so ausformuliertes Modell ein tiefergreifendes soziotechnisches Verständnis der Interaktionen zwischen unterschiedlichen Ebenen ermöglichen.

Zusammengefasst verbinden Weyer et al. (2015, S. 15–24; 2022, S. 7–16) in Form des Modells multipler sozialer Systeme wissenschaftliche Ansätze aus der Governance-Forschung mit den aus der Techniksoziologie entstammenden soziotechnischen Systemen in Form einer analytisch-soziologischen Perspektive. Insbesondere erlaubt es Governance-Maßnahmen – auch über einen längeren Betrachtungszeitraum – zu evaluieren. Dies ist auch im Rahmen einer nachhaltigen Transformation essenzieller Betrachtungsgegenstand und wird daher im folgenden Kapitel der Modellbildung aufgegriffen.

2.3 Grundzüge eines soziologischen Modells nachhaltiger Transformation

Wie der vorangegangene Literaturüberblick verdeutlicht, existieren bereits eine Vielzahl sozialwissenschaftlicher Modelle, welche sowohl reflexive soziologische Zustandsbeschreibungen als auch Transformationsprozesse sowie Innovations- und Governanceprozesse betrachten. Jedoch scheint eine integrierte Betrachtung zu fehlen. In diesem Sinne möchte das in diesem Kapitel schrittweise (weiter-) entwickelte und beschriebene Modell (vgl. Abbildung 15) sowohl reflexiven als auch transformativen soziologischen Fragestellungen im Nachhaltigkeits- und Transformationskontext einen Anknüpfungs- und Verortungspunkt bieten und so eine wissenschaftliche Ordnungsleistung für Forschungen im sozialwissenschaftlichen Nachhaltigkeitskontext ausführen.

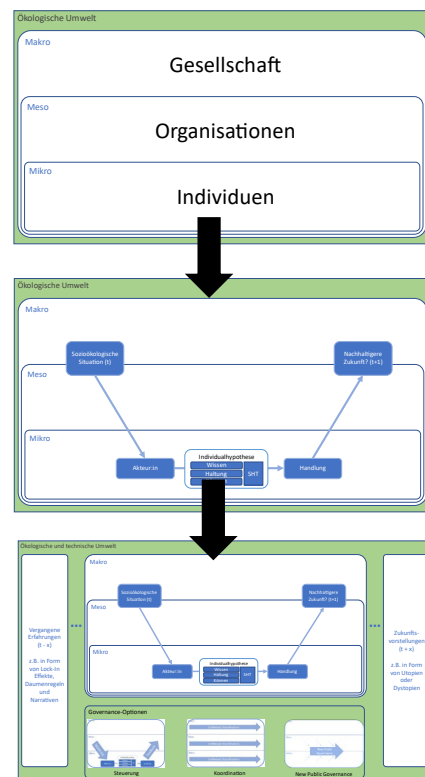


Abbildung 15: Schrittweise Entwicklung des SMNT. Von oben nach unten: Multiple Ebenen, Transformation und Akteur:innen, komplettes Modell

Hierfür werden in den nachfolgenden Kapiteln relevante Komponenten aus den zuvor vorgestellten sozialwissenschaftlichen Nachhaltigkeits- und Transformationsmodellen identifiziert und sukzessiv miteinander kombiniert: Kapitel 2.3.1 behandelt die relevanten gesellschaftlichen Ebenen. Kapitel 2.3.2 und 2.3.3 behandeln die zeitliche Dimension. Kapitel 2.3.4 behandelt die individuellen Akteur:innen, Kapitel 2.3.5 und 2.3.6 behandeln die Themen Technik und Governance.

Kapitel 2.3.7 fusioniert anschließend alle vorherigen Unterkapitel zu einem Gesamtmodell. Anschließend kann das so entwickelte soziologische Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) auf die unterschiedlichen Transformationsarenen einer möglichen großen Transformation - wie beispielsweise der Mobilitätswende - mitsamt ihrer Konfliktfelder, Machtstrukturen und Abhängigkeiten angewendet werden (Sommer und Schad 2022, S. 453).

2.3.1 Multiple Ebenen

Um eine differenzierte soziologische Interpretation der gegenwärtigen Gesellschaft darzustellen greifen Henkel, Wendt und Pfister in ihren jeweiligen Arbeiten (vgl. Kapitel 2.1) auf ein multiple Ebenen umfassendes Modell zurück, aber auch Esser, Weyer und Geels (vgl. Kapitel 2.2) beschreiben Transformationsprozesse in multiplen Ebenen. In den genannten Ansätzen wird mindestens zwischen einer Makro- und einer Mikroebene unterschieden (Pfister, Esser), wohingegen beispielsweise Wendt und Henkel zusätzlich eine Mesoebene bzw. Exoebene konstruieren, welche jedoch – abseits der unterschiedlichen Nomenklatur – inhaltlich die gleiche Ebene beschreiben.

An die vorherigen Arbeiten anlehnend, unterteilt sich das hier präsentierte SMNT ebenfalls in die drei Ebenen (vgl. Abbildung 16) Mikro-, Meso- und

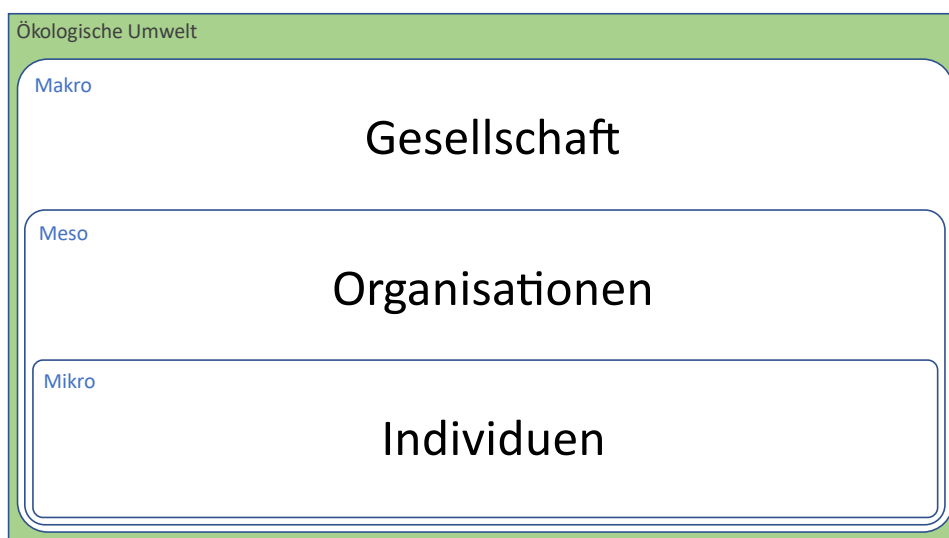


Abbildung 16: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - multiple Ebenen

Makroebene, um eine hinreichend differenzierte Betrachtung zu ermöglichen. Die Mikroebene umfasst insbesondere das Individuum und entsprechende direkte Interaktionen mit anderen Menschen. Die Mesoebene umfasst hingegen größere gesellschaftliche Strukturen wie Verbände, Unternehmen und Gemeinschaften. Die Makroebene umfasst zeitlich und geographisch variierende Gesellschaftsformen mit den entsprechenden vorherrschenden Diskursen. Weiterhin wird explizit der Kerngedanke von Henkel, Melville und Pfister (vgl. Kapitel 2.1.2, Kapitel 2.1.3 und Kapitel 2.2.4) aufgegriffen, dass das Individuum bzw. individuelle Akteur:innen nicht ausschließlich in ihrem jeweiligen Mikrokosmos agieren, sondern ebenso als Teil von Organisationen und der Gesellschaft handeln und hierdurch auch Ziel- bzw. Handlungskonflikte für das Individuum auftreten können. Veranschaulicht wird dies im SMNT durch die ineinander verschachtelte Ebenenstruktur. Diese ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der Entwicklung der einzelnen Ebene einer Transformationsarena, aber ebenso etwaige Ziel- und Richtungskonflikte, welche zwischen den Ebenen auftauchen können.

Gerahmt wird das Modell in dieser Grundform durch die vierte Ebene der sozialökologischen Umwelt. Diese von Henkel beschriebene materielle Dimension ist jedoch nicht alleine durch naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten definiert, sondern wird ebenso durch die Gesellschaft interpretiert und ist somit relevanter Forschungsgegenstand soziologischer Nachhaltigkeitsforschung. Beispielsweise kann sowohl das Erhalten einer ursprünglichen Natur durch Nationalparks als Umweltschutz verstanden werden als auch das Erhalten einer funktionalen Umwelt für das menschliche Fortbestehen – auch auf Kosten einer unberührten Umwelt. Ein weiteres Beispiel für das unterschiedlich interpretierte Verständnis von Umweltschutz liefern Warner (2019, S. 9) anhand einer Diskursanalyse zu der Frage, ob Flüsse eher gestaut oder natürlich belassen werden sollte. Hier divergieren die gesellschaftlichen Antworten insbesondere im Zeitverlauf.

2.3.2 Transformation

Um einen tatsächlichen sozialökologischen Transformationsprozess der Gesellschaft beschreiben zu können, ist eine zeitliche Komponente im Modell erforderlich, da eine Transformation eine Zustandsveränderung beschreibt. Aus diesem Grund wird Essers (vgl. Kapitel 2.2.3) Makro-Mikro-Makro Modell in das SMNT integriert, da hier explizit eine gesellschaftliche Transformation im Zeitverlauf beschrieben wird (vgl. Abbildung 17). Hierbei entspricht Essers Makroebene der Makro- und Mesoebene des neuen Modells,

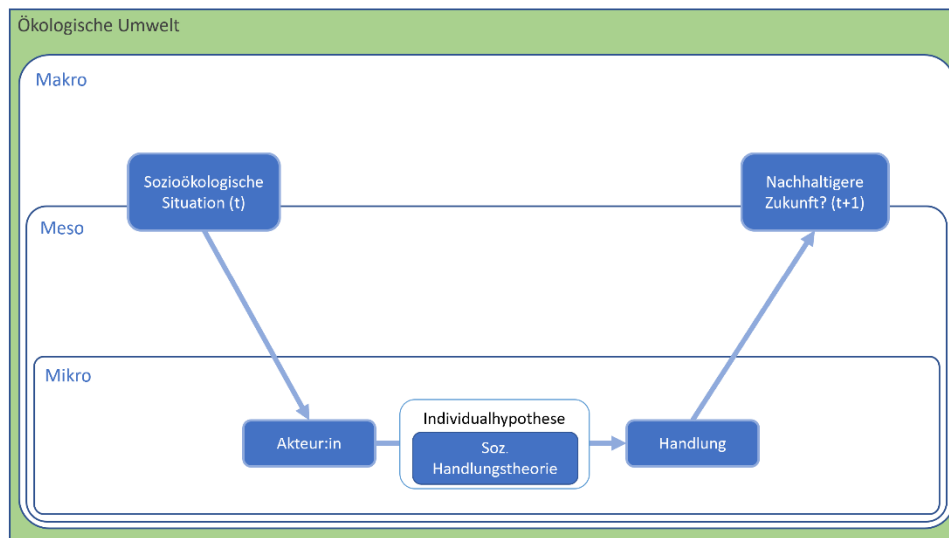


Abbildung 17: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - Transformation

da sowohl mesoskopische Strukturen wie Unternehmen als auch makroskopische Strukturen wie die Gesellschaft durch die Handlungen des Individuums entstehen. Für das SMNT bedeutet dies, dass der Kontext einer bestimmten sozioökologischen Situation zum Zeitpunkt t durch die unterschiedlichen Akteur:innen der Mikroebene individuell interpretiert wird und die einzelnen Akteur:innen entsprechend handeln (Individualhypothese). Hierfür gilt es etablierte Wertvorstellungen (siehe Pfister, vgl. Kapitel 2.1.3) zu identifizieren und beispielsweise in Form einer soziologisch fundierten Handlungstheorie abzubilden. Gänzlich andere Entscheidungsregeln sind aber ebenso denkbar. Durch die Vielzahl der einzelnen Handlungen auf der Mikroebene ergibt sich dann eine neue Situation zu einem späteren Zeitpunkt $(t+1)$ auf Meso- und Makroebene. Durch diesen Ansatz der analytischen Soziologie kann insbesondere die von Schneidewind (vgl. Kapitel 2.2.1) für einen nachhaltigen Wandel als besonders relevant identifizierte kulturelle Dimension mit ihren tief verwurzelten, teils impliziten Wertvorstellungen analysiert werden.

Weiterhin kann durch die Integration des Makro-Mikro-Makro-Modells in die multiplen Ebenen des SMNT der zuvor genannte Kerngedanke von Henkel (vgl. Kapitel 2.1.2) visualisiert werden, dass ein Individuum bzw. individuelle Akteur:innen nicht alleine in ihrem jeweiligen Mikrokosmos agieren, sondern ebenso Teil von Organisationen und der Gesellschaft sind. Gleichzeitig wird durch Essers Makro-Mikro-Makro-Modell verdeutlicht, dass das individuelle Handeln die gesellschaftlichen Strukturen im Zeitverlauf beeinflusst. Wie Melville (vgl. Kapitel 2.2.4) verdeutlicht, kann es dann im Transformationsprozess zwischen den unterschiedlichen Ebenen zu möglichen Zielkonflikten kommen. So ist es vorstellbar, dass eine Person sich als Aktivist:in für eine Umweltorganisation einsetzt, aber trotzdem privat ein gerin-

geres ökologisches Konsumverhalten umsetzt. Hierzu forschen beispielsweise Querfurth und Herbes (2024, S. 1–12) anhand der Fridays for Future Bewegung. Ebenso kann ein Unternehmen eine andere Priorisierung von Nachhaltigkeitsaspekten vornehmen als die Person, welche die entsprechenden Entscheidungen umsetzen muss. Zudem ermöglicht die verschachtelte Struktur der Ebenen in der Kombination mit dem Mikro-Makro-Mikro-Makro-Modell von Esser die von Schneidewind als essenziell angesehenen Pionier:innen des Wandels abzubilden. Also einzelne Individuen, welche das notwendige Wissen und die Fertigkeit haben, das jeweilige System maßgeblich nachhaltig zu beeinflussen (vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.2.3).

2.3.3 Zeitliche Rahmung

Einerseits ist die „Nachhaltigkeit [...] heute ein weithin anerkanntes normatives Leitbild“ (Klauer et al. 2013, S. 13) und andererseits „ein auf [die] Zukunft gerichtetes Konzept, das in der Gegenwart wirksam werden soll“ (Neckel 2018a, S. 12). Gleichzeitig wird es jedoch, wie zuvor dargestellt (vgl. Kapitel 1.2.3), in ihrer Komplexität durch die jeweiligen Akteur:innen individuell interpretiert und ausgelegt. Hierbei lässt sich ein Spektrum nachhaltiger gesellschaftlicher Zukunftsutopien und Zukunftsdystopien identifizieren (vgl. Adloff und Neckel 2019, S. 170–175 und Kapitel 1.2.3): Als nachhaltige Utopie existiert einerseits die Zukunftsvorstellung einer marktkonformen und technologiezentrierten Modernisierung, welche die Vereinbarkeit von wirtschaftlichem Wachstum und Nachhaltigkeit im Sinne eines Green Growth Narratives als möglich erachtet. Der bereits zuvor diskutierte European Green Deal (vgl. Kapitel 1.2.2) ist hier ein prominentes Beispiel, wenngleich auch abweichende Tendenzen vom typischen Green Growth Narrativ möglich erscheinen (Ossewaarde und Ossewaarde-Lowtoo 2020, S. 11–12).

Andererseits existiert die utopische Zukunftsvorstellung der gesellschaftlichen Transformation, welche bestehende Machtstrukturen der Gesellschaft hinterfragt und aktiv aufbrechen möchte. Ein prominentes Beispiel ist hier die Degrowth-Bewegung, welches primär auf Suffizienzstrategien aufbaut und eine radikale Transformation der Gesellschaft als Ziel hat (Sandberg et al. 2019, S. 135–137; Robra et al. 2021, S. 343). Ein Beispiel für eine derartige Bottom-Up Degrowth-Initiative, welche Berührungspunkte zu den unterschiedlichen gesellschaftlichen Ebenen hat, ist das in Berlin gegründete Crow Cycle Courier Collective. Dieses ist ein selbstverwaltetes Lastenradkollektiv, das Teil von Coop Cycle ist, einer übergreifenden internationalen Kurier-Kooperative, die auch die technische Infrastruktur bereitstellt (Schreyer 2021, S. 1–11). Weiterhin kann das Individuum auf der Mikroebene seine individuelle nachhaltige Zukunftsutopie in einem Tiny-House sehen oder in dem Verzicht auf tierische Produkte.

Neben der Utopie können ebenso dystopische Zukunftsvorstellungen vorherrschen. So existiert im Angesicht eines sich zuspitzenden Klimawandels ebenso die Dystopie einer zunehmenden Kontrolle (vgl. Adloff und Neckel 2019, S. 175–176) und damit einhergehend eine Beschneidung demokratischer Grundrechte, um etwaige negative Auswirkungen des Klimawandels effizient abzuwehren. Jene Angst treibt beispielsweise auch den libertären Techmilliardär Peter Thiel in seiner religiös motivierten Ideologie an, gegen linke staatliche Regulierungen vorzugehen (Killian 2025, S. 1).

Gleichzeitig zu den Nachhaltigkeits-Utopien und -Dystopien bewegt sich der Nachhaltigkeitsdiskurs mit seiner breiten Facette an Akteur:innen und komplexen, multidimensionalen Zusammenhängen nicht im luftleeren Raum. Vielmehr haben makroskopische Ereignisse und realpolitische Interessen wie etwa der Ukraine-Krieg oder die nationale Souveränität einen ähnlich hohen Stellenwert. Wörner und M. Schmidt (2022, S. 1–25) verorten die Nachhaltigkeit beispielsweise als eine von drei deutschen Zieldimensionen – neben der Sicherheit und der Resilienz.

Die Beispiele verdeutlichen, dass nicht von „der Zukunft“ bzw. „der Zukunftsvorstellung“ im Singular gesprochen werden kann. Es existiert vielmehr ein Spektrum an imaginierten Zukünften, welches so divers ist wie seine gesellschaftlichen Akteur:innen und an dessen Rändern stark polarisierte und gegenläufige Zukunftserwartungen stehen. Diese Zukunftsvorstellungen können sich dann auf das explizite Handeln in den jeweiligen Transformationsarenen auswirken und hier dann zu Konflikten führen. Beispielsweise in Form von Protesten von Fridays for Future für den Ausbau von Windkraftanlagen, welcher von Gegenprotesten der lokalen Anwohner:innen geführt wird, da hier stark in das lokale Ökosystem eingegriffen würde. Ebenso kann der Zukunftserwartung des einzelnen auch keine Tat folgen, begründet beispielsweise durch die Ignoranz oder der Hoffnung auf Selbstordnung des Problems durch das Individuum (Zilles et al. 2022, S. 405–411).

Um die unterschiedlichen Zukunftsperspektiven schematisch in SMNT einzubinden, bietet sich das von Wendt beschriebene multiple Ebenen umfassende Modell der Utopie- und Dystopievorstellungen an. Im Sinne des zeitlichen Schemas von Esser können daher zu einem Zeitpunkt $t+x$ mögliche visionierte Zukünfte und Utopien und Dystopien sowie damit verknüpfte gesellschaftliche Zielvorstellungen an das SMNT angegliedert werden, anhand welcher die Akteur:innen ihr Handeln ausrichten (vgl. Abbildung 18).

Ebenso wie die Betrachtung der Zukunft ist jedoch eine Betrachtung der vergangenen gesellschaftlichen Entwicklung zum Zeitpunkt $t-x$ ein relevanter

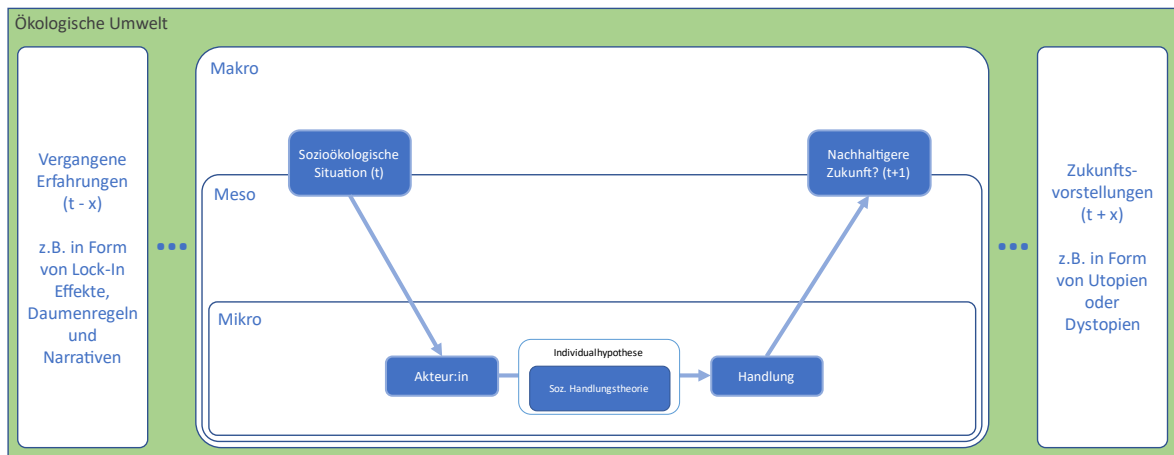


Abbildung 18: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - Erfahrungswerte und Utopien/ Dystopien

soziologischer Betrachtungsgegenstand, da die vorherrschende „Gesellschaftsordnung [...] eine ständige menschliche Produktion [ist]. [...] Sowohl nach ihrer Genese (Gesellschaftsordnung ist das Resultat vergangenen menschlichen Tuns) als auch in ihrer Präsenz in jedem Augenblick (sie besteht nur und solange menschliche Aktivität nicht davon ablässt, sie zu produzieren) ist Gesellschaftsordnung als solche ein Produkt des Menschen“ (Berger et al. 1969, S. 43–44).

Somit können durch die Betrachtung der Genese und der historischen Entwicklung einer Transformationsarena Rückschlüsse und Erklärungen für das Handeln der Gegenwart gefunden werden. In diesem Sinne kann auf der Mesoebene die Genese eines soziotechnischen Regimes (vgl. Kapitel 2.2.2) beschrieben werden und etwaige hieraus resultierende Lock-in-Effekte. Gleiches gilt für makroskopische gesellschaftliche Entwicklungen wie das in den 70er Jahren entstandene gesellschaftliche Konfliktfeld der Atomkraftnutzung, dessen Fragen nach dem zumutbaren Risiko von Technik bis heute besteht (Roose 2010, S. 99) und zuletzt mit der endgültigen Abschaltung der deutschen Atomkraftwerke im Jahr 2023 erneut entflammte. Auf der Mikroebene sind beispielsweise die Genese etwaiger Daumenregeln oder die schematische Routinisierung des Handelns im Rahmen der retropektiven Betrachtung relevante Untersuchungsgegenstände (Berger et al. 1969, S. 44; Nelson und Winter 1977, 52–53).

2.3.4 Akteur:innen

Der Diskurs einer nachhaltigen Transformation wird zumeist auf zwei Handlungsebenen geführt: Einerseits wird an den:die Einzelne:n appelliert, das individuelle Verhalten zu ändern. Andererseits soll der:die Gesetzgeber:in durch Maßnahmen und Gesetze nachhaltige Verhältnisse schaffen (Hupke 2021, S. 169). Dieses Verständnis aufgreifend, wird in diesem Kapitel auf die

Handlung des Individuums eingegangen und mögliche nachhaltige Governance-Optionen werden in einem späteren Kapitel diskutiert (vgl. Kapitel 2.3.6).

Dem Diskurs folgend, sind die Akteur:innen der Mikroebene relevante Treiber von Transformationsprozessen. Zudem entsteht – im Sinne Essers – durch das kollektive Handeln überhaupt erst die gesellschaftlichen Strukturen der Meso- bzw. Makroebene, von welchen die Akteur:innen gleichzeitig beeinflusst werden bzw. abhängig sind. Pritz (2018, S. 81–84) spricht in diesem Zusammenhang von einer doppelten Subjektivierung: Das Individuum soll eigenverantwortlich nachhaltig handeln, aber trifft dabei auf begrenzte subjektive Ressourcen um mit den Anforderungen und Erwartungen umzugehen, was beispielsweise zu Erschöpfungsphänomenen und Burnout führen kann. Dies gilt insbesondere in einer beschleunigten Welt, in welcher Hartmut Rosa (2014, S. 214) folgend, „für die einzelnen Handlungen [...] weniger Zeit als zuvor zur Verfügung [steht]“.

In diesem Sinne scheint es passend die von Schneidewind identifizierten (vgl. Kapitel 2.2.1) positiv formulierten Eigenschaften der Pioniere des Wandels – Wissen, Haltung und Fähigkeiten – auf jeden einzelne:n Akteur:in zu übertragen (Abbildung 19). Dann sind die drei Attribute jedoch nicht mehr rein positive Eigenschaften einzelner Individuen, sondern als Spektren zu begreifen. Zusammen mit den zuvor vorgestellten möglichen Entscheidungsregeln (z.B. einer angepassten Handlungstheorie mit impliziten Wertvorstellungen), können sie helfen das (nicht-) nachhaltige Verhalten des Individuums zu erklären. Der Zusammenhang der unterschiedlichen Faktoren ist jedoch wissenschaftlich noch zu klären: Wirken sich Können, Wissen und Haltung direkt auf das Verhalten aus, beeinflussen sie die impliziten Einstellungen oder stehen sie in einem übergeordneten Kontext?

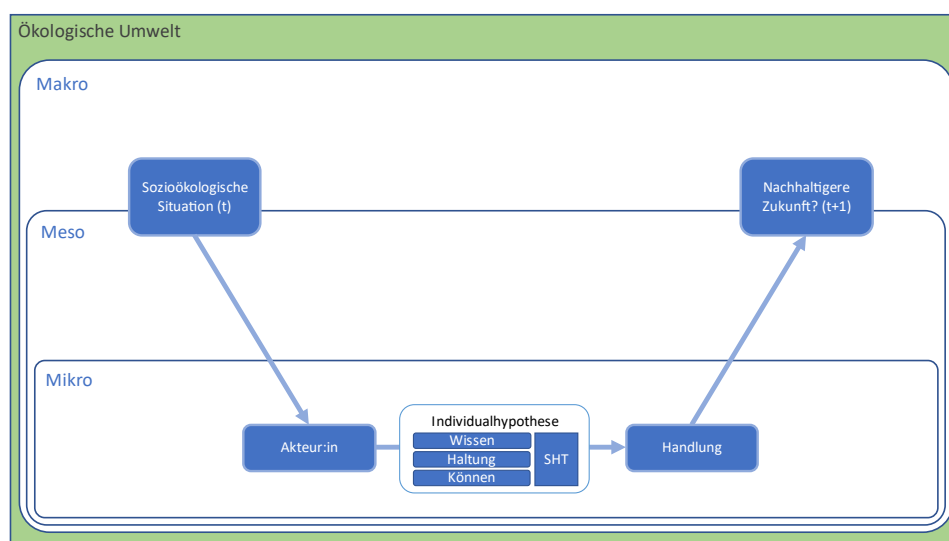


Abbildung 19: Entwicklung soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) - erweiterte Individualhypothese

Können

Wie zuvor beschrieben hat die einzelne Person nur einen begrenzten Umfang an psychischen sowie physischen Ressourcen und besitzt damit einen begrenzten Handlungsspielraum. Für die Mobilitätswende kann beispielsweise nicht jede Person das Geld aufbringen ein verhältnismäßig teures E-Auto zu kaufen bzw. besitzt nicht jede Person einen Führerschein. Ebenso kann eine Person, die beispielsweise bereits zeitlich und emotional stark in Familie und Beruf eingebunden ist, schwerlich noch die Zeit aufwenden sich in einem nachhaltigen Ehrenamt wie beispielsweise einer Klimabewegung zu engagieren. Daher scheint hier das „Können“ eine treffendere Beschreibung als die von Schneidewind genannten „Fähigkeiten“ zu sein, da es sowohl vorhandene Ressourcen als auch die Fähigkeiten mit einschließt.

Haltung

Haltung ist für das nachhaltige Handeln des Individuums besonders relevant, da „[die] Freiheit des Einzelnen bei möglicher Schädigung der Gemeinschaft [...] die persönliche Entscheidung zu mehr Nachhaltigkeit schwer [macht]. Für die Zukunft der Erde hat das nachhaltige Handeln des einzelnen durchschnittlichen Individuums (so gut wie) keine Konsequenz [...]. Die Folgen nachhaltigen Handelns sind damit so gering, dass sie fast nicht ins Gewicht fallen.“ (Hupke 2021, S. 170) Somit bedarf es einer normativen Haltung um, obgleich des nicht gegebenen individuellen Vorteils, nachhaltig und somit gemeinnützig zu handeln.

Die Haltung stellt Schneidewind zufolge die normative Einstellung des Individuums dar und orientiert sich an den individuellen Zukunftsvorstellungen (vgl. Kapitel 2.2.1), gleicht sich also mit den zuvor in das SMNT integrierten Zukunftsvorstellungen zum Zeitpunkt $t+x$ ab. Gleichzeitig muss die Haltung jedoch nicht zwangsläufig durch die Zukunftsvisionen beeinflusst werden (vgl. Kapitel 2.3.3) und kann im Gegenteil auch ohne bewusste Zukunftsorientierung als Abgrenzungsmechanismus dienen (Neckel 2018b, S. 60–64) oder sich aus dem als „normal“ angesehenen Zustand ableiten (vgl. Pfister, Kapitel 2.1.3).

Wissen

Schneidewinds Verständnis von Wissen als notwendige Fähigkeit von Pionieren des Wandels (vgl. Kapitel 2.2.1) greift Stehr (2022, S. 106) verallgemeinert auf, indem er „Wissen als Fähigkeit zum sozialen Handeln [...], als die Möglichkeit etwas >>in Gang zu setzen<<, zum Beispiel, um eine Aufgabe zu lösen oder etwas verhindern zu können“ versteht. Somit ist das Wissen für

gesellschaftliche Akteur:innen von großer Bedeutung in nachhaltigen Transformationsprozessen, da hier komplexe und oftmals nicht-intuitive und nicht-lineare Zusammenhänge bestehen: Es existiert eine schwer überschaubare Menge an Informationen und daraus entstehenden Fragen, die die wenigsten Individuen in Ihrem Tagesgeschehen nachvollziehen oder beantworten wollen und können. Hierbei existieren unterschiedliche Wissensformen, zum Beispiel professionelles, populäres und handwerkliches Wissen, welche miteinander im Wettbewerb stehen können (Stehr 2022, S. 106–109). Auf Nachhaltigkeitsfragen wie: „Sind E-Autos wirklich ökologisch sinnvoll?“ oder „Ist die Förderung von erneuerbaren Energien über eine Umlage wirklich sinnvoll?“, gibt es daher teils keine einfachen und immer objektiv richtigen Antworten. Zudem können sich auch die Erkenntnisse der Wissenschaft im Zeitverlauf ändern (Álvarez Fernández 2018, S. 949–959). Der Argumentation Pfisters folgend (vgl. Kapitel 2.1.3), kann hier ein Wissensaustausch auf und zwischen den Ebenen des SMNT helfen etwaige Interessenkonflikte zu beseitigen.

Gruppierte Betrachtung

Tritt nachhaltiges Verhalten als Forderung an jede:n Einzelne:n auf, kann nur ein Teil der Akteur:innen die auf sie wirkenden Nachhaltigkeitsforderungen erfüllen, da sich die Ausprägungen von Wissen, Haltung und Können als auch die subjektiven Parameter der Entscheidungsfindung individuell unterscheiden. Neckel (2018b, S. 60–72) spricht analog dazu von drei Mustern der Grenzziehungen im Rahmen einer ökologischen Distinktion: „Ein exklusives Wissen über die Bedeutung von Nachhaltigkeit; [...] die materielle Überlegenheit von Sozialschichten, die sich Bio-Konsum und Öko-Nischen leisten können; [...] der ethische [...] Wert einer Lebensführung, die sich als vorbildlich versteht und unverantwortliches Handeln in strenger Weise missbilligt.“ (Neckel 2018b, S. 72) Wenn Menschen dieses gesellschaftliche Nachhaltigkeitsideal nicht erfüllen können – sei es aus materiellen oder nicht-materiellen Gründen – birgt dies ein Konfliktpotenzial, welches durch etwaige Governance-Maßnahmen noch potenziell verstärkt werden kann. Diese Zustandsbeschreibung Neckels verdeutlicht die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung der Individuen der Mikroebene, hinsichtlich ihres Verhaltens und Einstellungen. Hierfür bieten sich gruppierte Betrachtungen an, welche auch mehrere Gruppen umfassen als die von Neckel angesprochene alleinstehende moralische Öko-Elite. In der Soziologie bestehen hierfür bereits viele Annäherungen, beispielsweise theoretisch hergeleitet in Form von Reckwitz' (2020, S. 67) Klassengesellschaft, in welcher „Klassen [...] mehr als sozialstatische Einkommensschichten und auch mehr als alltägliche Lebensstile [sind]. Klassen sind kulturelle, ökonomische und politische Gebilde zugleich“ (Reckwitz 2020, S. 67). Weiterhin lassen sich auch auf empirischer

Basis differenzierte Akteur:innengruppen identifizieren, beispielsweise mittels einer Clusteranalyse subjektiver Werte auf Grundlage einer umfassenden Fragebogenstudie (vgl. Kapitel 5.1) oder in Form der zehn Sinus-Milieus für dessen Generierung eine Kombination aus qualitativer und quantitativer Methoden angewandt wurde (Barth 2021, S. 476).

2.3.5 Technik und Innovation

Ein oftmals sowohl im wissenschaftlichen als auch öffentlichen Diskurs genannter Treiber einer nachhaltigen Transformation sind technische Innovationen wie erneuerbare Energien oder E-Autos. Jedoch ist Technik, der Techniksoziologie folgend, sozial durch den Menschen konstruiert und beeinflusst umgekehrt seine Handlung(-soptionen). Daher ist Technik immer auch Teil der sozialen Handlung. Die Kombination von technischen und sozialen Elementen, die für die Funktionserhaltung eines Systems notwendig sind, wird als ein soziotechnisches System bezeichnet. (Weyer 2019, S. 28–30). Diesem Verständnis folgend, wird Technik nicht als einzelnes Objekt im SMNT dargestellt, sondern wird integriert mit den Akteur:innen der einzelnen Ebenen betrachtet. Auf der Mikroebene bestehen dann direkte Mensch-Technik-Interaktionen, welche beispielsweise das Können der jeweiligen Person einschränkt oder ermöglicht. Pfister würde hier von der technischen Infrastruktur, welche die Praktiken des Individuums beeinflusst, sprechen (Kapitel vgl. 2.1.3): Ist keine ÖPNV-Station in der Nähe, ist eine Nutzung nur unter großen zeitlichen Verlusten möglich. Auf der Meso- bzw. Makroebene entstehen dann aus den Handlungen der Mikroebene im Sinne der Sustainable Transition Research (vgl. Kapitel 2.2.2) dominante Techniknutzungsmuster, welche sich im Zeitverlauf durchsetzen konnten. Die jeweils bestehende soziotechnische Konstellation von Akteur:innen und Technik kann durch soziotechnische Innovationen, welche das Resultat des Handelns relevanter Akteur:innen ist, herausgefordert werden und bei Erfolg eine nachhaltige Veränderung bewirken.

Im wissenschaftlichen Diskurs wird hier teilweise zwischen soziotechnischen und sozialen Innovationen unterschieden. Erste sind in diesem Sinne klassische technische Neuentwicklungen, wie die Erfindung des E-Autos, letztere hingegen setzen den Fokus auf die Rekombination sozialer Praktiken (Höwaldt und Kaletka 2022, S. 23), wie beispielsweise der veränderten Autonutzung in Form des Carsharings. Hierbei ist es jedoch schwer eine analytisch klare Unterscheidung der beiden Begriffe auszumachen, da technische Innovationen im Sinne eines soziotechnischen Systems (vgl. Kapitel 2.2.2) aus den gesellschaftlichen Praktiken entstehen und diese beeinflussen. Der Begriff der sozialen Innovation hilft jedoch einen diskursiven Fokus auf neuar-

tige Problemlösungsstrategien abseits rein technisch und wirtschaftlich zentrierter Lösungen zu setzen, wenngleich soziale Innovationen im Sinne veränderter sozialer Praktiken im Gegenzug stets auch materielle Komponenten besitzen und daher eine wissenschaftliche Abgrenzung zur soziotechnischen Innovation oft schwierig ist (Schubert 2016, S. 410–412). Somit greift die Begrifflichkeit der sozialen Innovation die Einschätzung Schneidewinds auf, dass sowohl die institutionelle als auch die kulturelle Dimension relevante Ansatzpunkte sind um eine nachhaltige Transformation zu fördern. (vgl. Kapitel 2.2.1). Howaldt et al. (2022, S. 10) präzisieren weiter: „So hat sich zunehmend die Erkenntnis durchgesetzt, dass soziale Innovationen in allen Bereichen der Gesellschaft entstehen und verbreitet werden [...]. Deutlich zeigt sich, dass zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen eine Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteur:innen von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Initiativen ist.“ Somit scheint nicht die wissenschaftliche Debatte über die Benennung der Innovation lohnenswert, sondern vielmehr die Ergründung von förderlichen Faktoren für das Entstehen nachhaltiger Innovation.

Eine der größten soziotechnischen Innovationen der letzten 20 Jahre, welche für derzeitige und zukünftige Nachhaltigkeitsbestrebungen besonders relevant ist, ist die Digitalisierung. Noch 1979 formulierten Nelson und Winter: „While a costless maximizing algorithm would be preferred by decision makers to good heuristics, in complex decision problems a maximization algorithm is likely to be highly expensive to employ, even if one is known. In most cases one simply doesn't exist. Thus good heuristics is the best one can hope for” (Nelson und Winter 1977, S. 53). Dementsprechend würde also oftmals ein kostengünstiger Maximierungsalgorithmus gegenüber Heuristiken bevorzugt, war aber für komplexe Anwendungsfälle nicht oder nur unter großen Kosten umsetzbar. 45 Jahre später hat sich die Situation stark verändert: Weyer (2019, S. 12–13) spricht von einer „nahezu allumfassende Digitalisierung“ der Gesellschaft, in welcher „realweltliche Vorgänge in maschinenlesbare Daten umgewandelt werden.“ Nassehi spricht in diesem Zusammenhang gar von einer digitalen Verdopplung der Welt (Nassehi 2019, S. 140). Sowohl Weyer als auch Nassehi betonen, dass die Digitalisierung in Form ihrer Möglichkeit zur Mustererkennung eine Ordnungsleistung erbringt und hierdurch die Komplexität der Gesellschaft erforscht werden kann, beispielsweise in Form von Computersimulationen, welche Daten aufgreifen, nicht-linear (z. B. in Form von neuronalen Netzen oder agentenbasierten Simulationen) verarbeiten und so auch unintuitive Muster in der virtuell verdoppelten Welt aufdecken können. So bietet die Digitalisierung überhaupt erst durch die Mustererkennung die Rahmenbedingungen für das wissenschaftliche Verständnis des Klimawandels. Insbesondere Klimamodelle basieren auf einer umfangreichen Datenlage, welche maschinell basierend auf

Wahrscheinlichkeiten, in Beziehung zueinander gesetzt werden (Nassehi 2019, S. 28–35; Weyer 2019, S. 13). Doch die Möglichkeiten der Digitalisierungen gehen über eine reflexive Zustandsbeschreibung der Situation hinaus, vielmehr werden Daten in Echtzeit erfasst und verarbeitet und ermöglichen so perspektivisch auch eine Steuerung in Echtzeit. Weyer spricht hier von einer Echtzeitgesellschaft (Weyer 2019, S. 11–24).

Sowohl dem allgemeinen Verständnis, als auch dem anschaulichen Beispiel der Digitalisierung folgend, rahmt Technik also – ebenso wie die ökologische Umwelt – die Interaktionen der Gesellschaft auf der Mikro-, Meso- und Makroebene im SMNT. Dementsprechend wird auch die Darstellung des SMNT angepasst: Die vorherige Rahmung der Ebenen alleinig durch die ökologische Umwelt wird um die Rahmung der technischen Umwelt ergänzt (vgl. z.B. Abbildung 20 im nächsten Unterkapitel).

2.3.6 Governance

Um den Wandel einer nachhaltigen Transformation anzustoßen bzw. voranzutreiben, werden unterschiedliche politische Eingriffsmöglichkeiten öffentlich, aber auch wissenschaftlich diskutiert. So reichen in Deutschland die Vorschläge zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität von rein politischen Maßnahmen wie stadtweiten Tempo-30-Zonen, über den infrastrukturellen Ausbau des öffentlichen Verkehrs hin zu Kaufprämien für E-Autos oder Lastenräder. Gleichzeitig entstehen aber ebenso Bottom-Up-Initiativen wie beispielsweise die Critical Mass-Bewegung, die dem Fahrrad als nachhaltiges Verkehrsmittel mehr Sichtbarkeit ermöglichen und so einen fahrradzentrierten politischen oder gesellschaftlichen Wandel ermöglichen möchte (Blickstein und Hanson 2001, S. 360–361). Grundsätzlich scheint es für die Gestaltung eines nachhaltigen Wandels nicht nur eine einzelne universale Lösung zu geben, sondern eine Vielzahl an Lösungsmöglichkeiten, die sich nach Ziel, Ebene und Ort unterscheiden können. Für eine gelungene nachhaltige Transformation gilt es, die beste Governance-Lösung für das individuelle Nachhaltigkeitsproblem zu finden (Schneidewind 2018, S. 352–354). Darüber hinaus beinhalten nach Dooley et al. (2021, S. 300–305) nachhaltige Governance-Maßnahmen stets auch Verteilungsfragen und getroffene Maßnahmen sind aus diesem Grund stets normativ geleitet. Daher ist eine politische Diskussion über die zu verfolgenden Ziele unumgänglich, um einen gesellschaftlichen Rückhalt zu erzielen. Damit eine möglichst große Vielfalt an Governance-Mechanismen im SMNT verortet und resultierende Auswirkungen beschreiben werden können, werden grundlegend die von Weyer angeführten Governance-Modi adaptiert (vgl. Kapitel 2.2.5). Zusätzlich wird das SMNT, um einen neuen kombinierten dritten Governance-Modus „New Public Governance“ ergänzt.

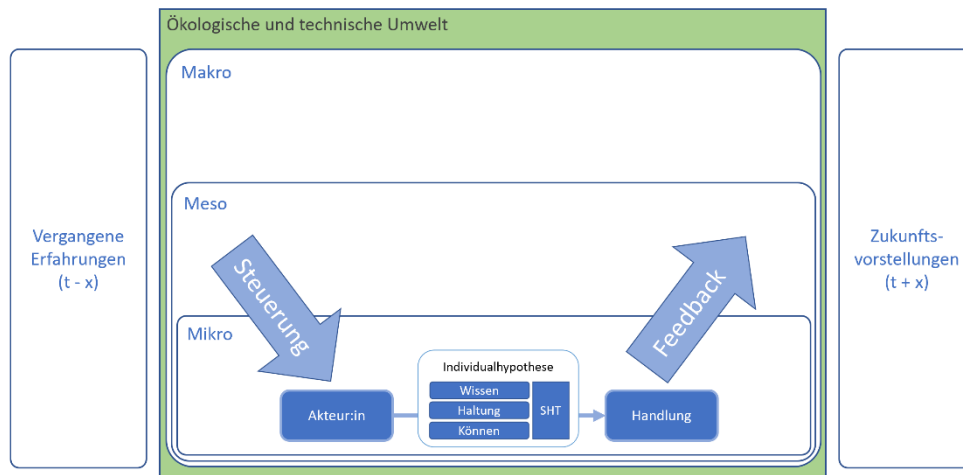


Abbildung 20: Steuerung im SMNT

Steuerung und Koordination

Für das SMNT werden daher die folgenden Governance-Mechanismen von Weyer (vgl. Kapitel 2.2.5) übernommen: Der Governance-Modus Steuerung umfasst harte (z.B. Verbote) als auch weiche Maßnahmen (z.B. Steuererhöhungen), welche ein intendiertes Ziel verfolgen. Jedoch können hierdurch nur steuerungstechnische Impulse gegeben werden, die Antwort des zu steuernden Systems bleibt im komplexen soziotechnischen System ungewiss und ergibt sich in Form eines Feedbacks im Zeitverlauf (vgl. Abbildung 20). Da mit der Steuerung ein explizites Ziel verfolgt wird, hat für die Genese des Steuerungsmechanismus die vorherrschende Zukunftsvorstellung besondere Relevanz, weil sich aus ihr das zu erreichende Teilziel ergibt. Die betroffenen Akteur:innen nehmen den Steuerungsversuch wahr und handeln entsprechend ihres Wissens, ihrer Haltung und ihres Könnens (oder nicht). Für die sozialwissenschaftliche Forschung ist daher von besonderem Interesse, aus welchen Gründen ein Steuerungsversuch funktioniert oder warum nicht.

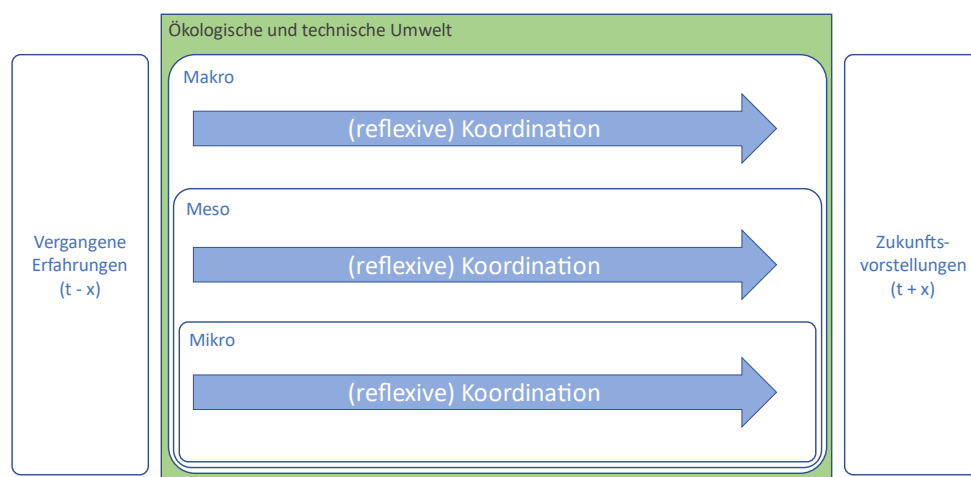


Abbildung 21: Koordination im SMNT

Der Governance-Modus Koordination findet hingegen innerhalb einer Ebene statt. Weyer (vgl. Kapitel 2.2.5) unterscheidet hier zwischen spontaner Koordination und reflexiver Koordination (vgl. Abbildung 21). Erste stellt das spontane Interagieren aufeinander – beispielsweise im Straßenverkehr – dar. Dementsprechend spielen hier normative Zukunftsvorstellungen weniger einer Rolle, vielmehr scheint das Können des Individuums im Vordergrund der spontanen Koordination zu stehen. Im Zuge der reflexiven Koordination antizipieren hingegen die unterschiedlichen Akteur:innen die Handlung des:der Anderen und richten ihr eigenes Handeln strategisch an ihren individuellen Zukunftsvorstellungen aus. Somit ist die reflexive Koordination für eine nachhaltige Transformation besonders interessant, da hier auch normative Überlegungen der Treiber einer koordinierten Veränderung sein können.

New Public Governance

Neben den zuvor vorgestellten „klassischen“ Governance-Mechanismen von Steuerung und Koordination, ist insbesondere ein dritter partizipativer und eher nicht-hierarchisch ausgerichteter Governance-Typ „New Public Governance“ geeignet um nachhaltige soziotechnische Innovationen zu fördern (vgl. Kapitel 2.3.5). In diesem wird ebenenübergreifend nach nachhaltigen Lösungen gesucht, in welchen experimentiert werden darf und nicht stets die wirtschaftlichste Lösung gesucht wird (Zimmer und Obuch 2022, S. 229–237). Politische Impulse im Sinne der New Public Governance können hierbei sowohl Bottom-Up (z.B. in Form privater Initiativen) als auch Top-Down (z.B. in Form von öffentlich bereitgestellten Mitteln für netzwerkartige Projekte) initiiert werden (ebd.) und können so auch helfen soziale bzw. soziotechnische Innovationen entstehen zu lassen. Unter dem Governance-Prinzip der New Public Governance können so auch bereits bestehende partizipative Konzepte wie Reallabore (Wanner und Stelzer 2019, S. 1–5) bzw. Realexpe-

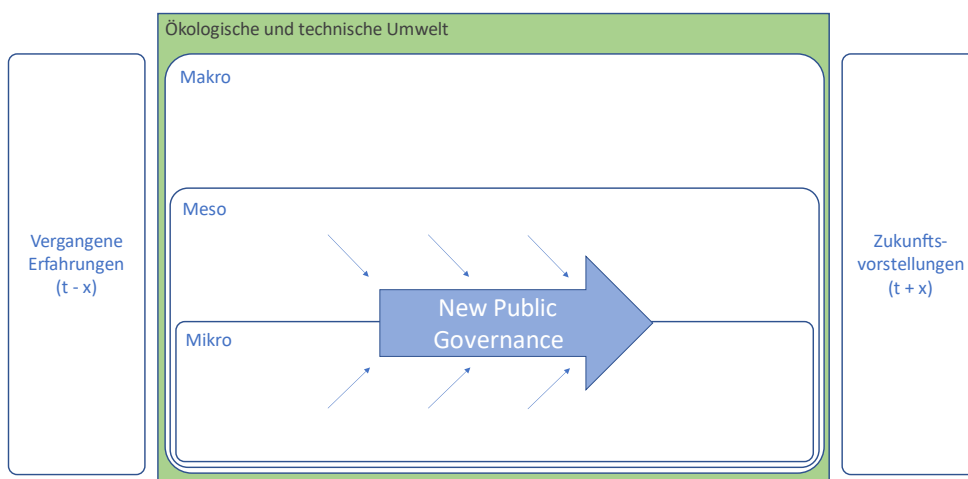


Abbildung 22: New Public Governance im SMNT

perimente (Krohn und Weyer 1990, S. 89) als Erprobungsräume für Innovationen verortet werden. In diesen werden wissenschaftliche sowie realpolitisch relevante Stakeholder zusammengebracht, neue Lösungen erdacht und ausprobiert. Zusammengefasst werden im Sinne der New Public Governance also kooperative Diskussions- und Experimentierräume geschaffen, welche Akteur:innen der Meso- und Makroebene umfassen. Diese helfen Veränderungen, bzw. soziotechnische Innovation im Dialog zu fördern (vgl. Abbildung 22). Hierbei können sich relevante Akteur:innen über ihre individuellen Zukunftsvorstellungen und normativen Einstellungen austauschen, ihr Wissen in Einklang bringen und einzelne Akteur:innen befähigen.

Interaktion und Governance zwischen Transformationsarenen

Transformationsarenen existieren nicht alleine, sondern stehen in konstanter Interaktion mit anderen Transformationsarenen. So besteht beispielsweise zwischen der Transformationsarena nachhaltige Mobilität und der Transformationsarena Energiewende eine starke Wechselwirkung, da die Ladeinfrastruktur und der möglichst nachhaltige Strom für die unterschiedlichsten Arten der E-Mobilität zur Verfügung gestellt werden muss, gleichzeitig können E-Autos per Vehicle-To-Grid (V2G) auch der Netzstabilität dienlich sein. Daher müssen nachhaltige Transformationen teils Transformationsarena-übergreifend angestoßen werden. Ebenso ist jedoch denkbar, dass sich die Änderung einer Transformationsarena auch auf andere Transformationsarenen auswirken können ohne explizit intendiert (gewesen) zu sein (vgl. Abbildung 23)

Darüber hinaus teilen sich die unterschiedlichen Transformationsarenen die gleiche ökologische und technische Umwelt. So wirken sich alle Veränderungen auf die gleiche Umwelt aus und der gleiche Technikbestand steht zur Verfügung, wenngleich unterschiedliche Technologien und Umweltaspekte schlussendlich für die einzelne Transformationsarena maßgeblich von Be-

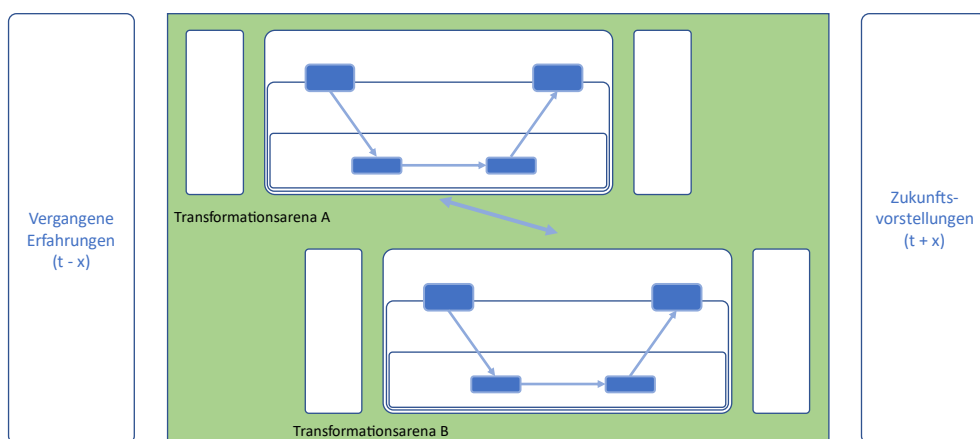


Abbildung 23: Governance zwischen den Transformationsarenen im SMNT

deutung sein können. So sind Verteilungskonflikte zwischen den unterschiedlichen Transformationsarenen vorstellbar: Soll eher eine neue Zugstrecke gebaut werden oder ist die Leerfläche sinnvoller mit einem Windpark nutzbar oder sind beide Maßnahmen im ökologischen Sinne ungewünscht, da hierdurch eine seltene Tierart bedroht wird.

Zuletzt können Transformationsarena-übergreifende Zukunftsvorstellungen bestehen, welche im Konflikt mit den Zukunftsvorstellungen der einzelnen Transformationsarenen stehen können.

2.3.7 Ein soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT)

Das Zusammenfügen der in den vorherigen Kapiteln vorgestellten theoretischen Bauteile ergibt ein soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (hier SMNT genannt, vgl. Abbildung 24), welches in diesem Kapitel zusammenfassend vorgestellt wird. Die im SMNT verarbeitete Kombination bestehender sozialwissenschaftlicher Modelle, die theoretisch fundiert im Nachhaltigkeitskontext verortet wurden, ermöglicht eine differenzierte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit intendierten („by design“ vgl. Sommer 2024, S. 162–164) Transformationsbemühungen um den Klimawandel abzuschwächen (vgl. Kapitel 1.1) oder international vereinbarten Nachhaltigkeitsziele (vgl. Kapitel 1.2) zu erreichen. Hierbei kann das SMNT als eine Forschungsheuristik und somit als ein wissenschaftliches Werkzeug verstanden werden: Es hilft, relevante Betrachtungspunkte einer nachhaltigen Transformation zu identifizieren und bereits getätigte Forschung als Baustein im Gesamtkontext einer Transformationsarena zu verorten. Aufgrund der Umfänglichkeit des Modells ist es unwahrscheinlich, dass alle Gesichtspunkte des SMNT in einer Studie hinreichend ergründet werden können. Vielmehr kann durch die kombinierte Betrachtung unterschiedlicher Studien ein möglichst vollständiges Bild geschaffen werden. In dieser Weise können soziologisch fundiert Chancen und Risiken, aber auch relevante Forschungshypothesen einer nachhaltigen Transformation identifiziert werden.

Das Modell setzt sich zusammen aus der ökologischen und technischen Umwelt einer Transformationsarena, welche das gesamte gesellschaftliche Handeln der Gegenwart, aber ebenso im Zeitverlauf, rahmt. Somit lässt sich von der Betrachtung eines erweiterten soziotechnischen Systems sprechen: zusätzlich zur Technik ist auch die durch den Menschen interpretierte und gestaltete Umwelt fester Bestandteil der wissenschaftlichen Betrachtung einer nachhaltigen Transformation.

Die gesellschaftlichen Interaktionen lassen sich im SMNT auf drei ineinander verschachtelten Ebenen verorten: auf der Makro-, der Meso- und der Mikroebene (vgl. Kapitel Multiple Ebenen 2.3.1). Erste umfasst beispielsweise unterschiedliche Gesellschaftsformen oder Diskurse, zweitens hingegen größere

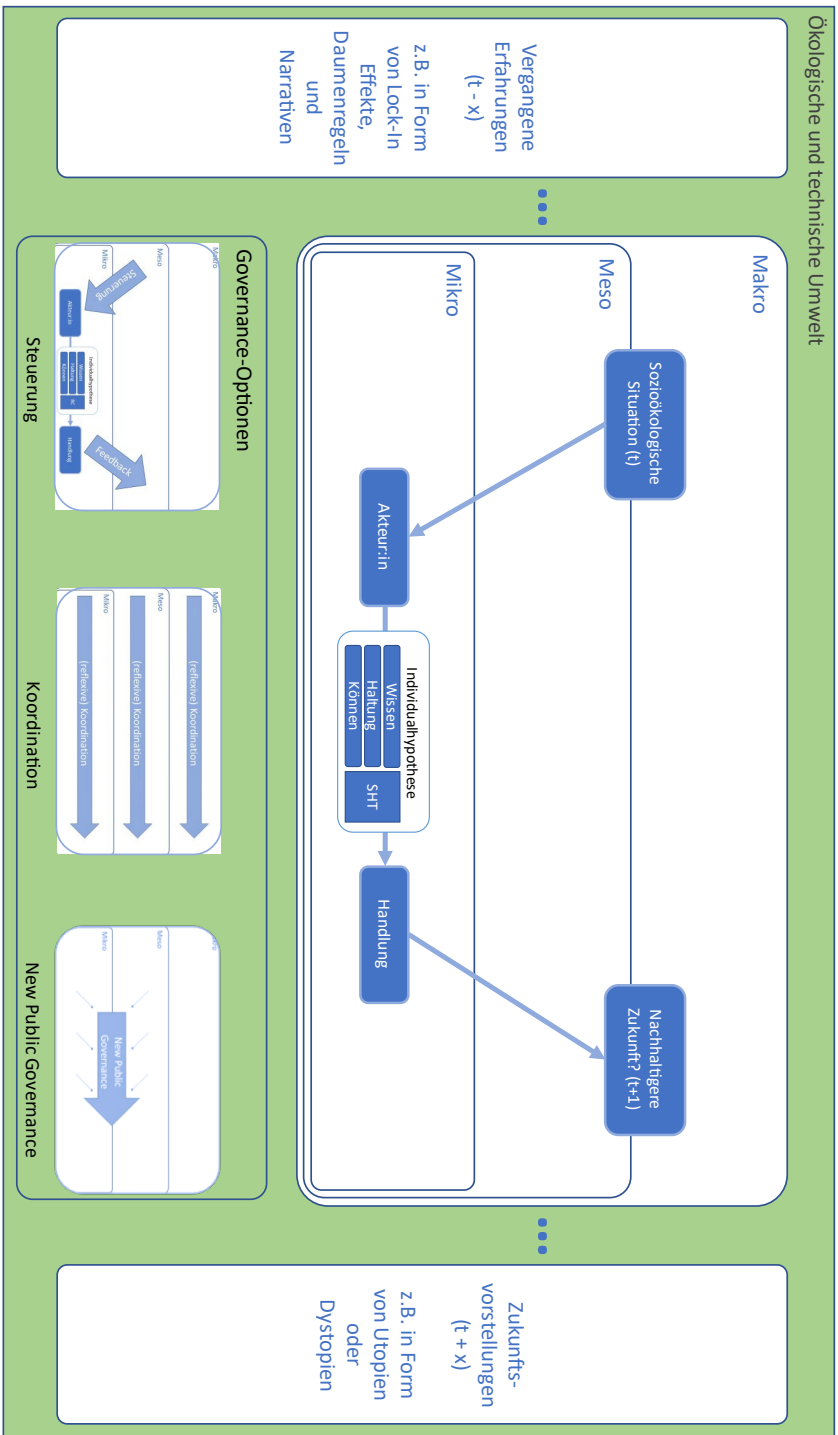


Abbildung 24: Soziologisches Modell nachhaltiger Transformation (SMNT)

gesellschaftliche Strukturen wie Organisationen und letztere umfasst das Individuum selbst. Auf der Mikroebene interpretiert das Individuum seine aktuelle (t) sozioökologische Situation, resultierend aus Meso- und Makroebene, im Rahmen der Individualhypothese und handelt entsprechend individuell (vgl. Kapitel 2.3.2). Hierbei ist das Individuum aber gleichzeitig auch Teil der Meso- bzw. Makroebene. Um relevante Ansatzpunkte der Entscheidungsfindung zu identifizieren, wurden zusätzlich zu einer Entscheidungsregel (z.B. eine soziotechnisch angereicherte Handlungstheorie) insbesondere das Wissen, die Haltung und das tatsächliche Können als relevant für Entscheidungen im Nachhaltigkeitskontext identifiziert (vgl. Kapitel 2.3.4). Das Wissen ermöglicht es überhaupt, die teils komplexen Nachhaltigkeitszusammenhänge zu verstehen, die Haltung stellt die normative Einstellung zu möglichen Handlungsoptionen sowie dem Wissensstand dar und das Können umfasst die tatsächliche Umsetzbarkeit im komplexen soziotechnischen System. Resultierend aus der Handlung der einzelnen Akteur:innen ergeben sich dann zu einem späteren Zeitpunkt $t+1$ neue bzw. veränderte Strukturen auf Meso- und Makroebene.

Relevant für die Entscheidungsfindung sind zudem sowohl die vergangenen Erfahrungen (Zeitpunkt $t-x$) und die hieraus resultierenden Beschränkungen des Handelns sowie gewonnene Erfahrungswerte, ebenso wie die normativen Zukunftsvorstellungen (Zeitpunkt $t+x$), welche durch das Handeln angestrebt werden (vgl. Kapitel 2.3.3). So lässt sich ein versäumter Ausbau des Schienennetzwerks der Deutschen Bahn nicht von heute auf morgen nachholen (Lock-in-Effekt) und angestrebte nachhaltige Zukunftsvorstellungen können von einer autofreien Innenstadt hin zu dezentralen Quartieren divergieren und erfordern dementsprechend auch sich unterscheidende Handlungsoptionen.

Die Betrachtung des Zeitverlaufs im Rahmen des SMNT ermöglicht zudem die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit möglichen Governance-Optionen für eine nachhaltige Transformation (vgl. Kapitel 2.3.6). Diese kann reflexiv erfolgen, beispielsweise durch die Evaluation der Effektivität vergangener Maßnahmen, aber ebenso – im Sinne einer transformativen Soziologie – gestaltend, um z.B. in Form von Reallaboren oder Simulationen neue Governance-Optionen zu erproben. Insgesamt umfasst das SMNT hierbei drei unterschiedliche Arten von Governance-Optionen um politische Interventionen abzubilden: Einerseits die Steuerung, in welcher die Akteur:innen einer Ebene eine andere Ebene verändern wollen, sei es in Form einer weichen (z.B. in Form von Anreizen) oder harten Steuerung (z.B. in Form von Verboten). Innerhalb einer Ebene lassen sich hingegen kurzfristige und langfristige Koordinationsprozesse zwischen den Akteur:innen untersuchen: Erstere erfolgen zumeist spontan, letztere hingegen strategisch. Zuletzt sind für eine nachhaltige Transformation insbesondere soziale Innovationen und po-

litische Eingriffe im Sinne der New Public Governance interessant, in welchen maßgeblich ebenenübergreifende Diskussionsarenen geschaffen werden, um kooperativ neue Lösungen zu entwickeln.

Zusammengefasst kann das hier entworfene soziologische Modell nachhaltiger Transformation (SMNT) also dazu dienen, einerseits die sozialen Dynamiken der Gesellschaft im komplexen Spannungsfeld von divergierenden Nachhaltigkeits- und Transformationsverständnissen zu erklären. Andererseits kann mittels des SMNT im Sinne der Soziologie der Nachhaltigkeit sowohl deskriptiv-analytische, kritisch-normative als auch praktisch-politische Forschung im SMNT verortet werden. Nachfolgend wird das SMNT genutzt, um die Entwicklungen der Transformationsarena Mobilität zu beschreiben und neue Forschungshypothesen zu entwickeln.

3 Mobilität in Deutschland

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln anhand der angeführten Mobilitätsbeispiele verdeutlicht wurde, stellt der Verkehrssektor ein komplexes sozio-technisches System dar und erfüllt existierende Nachhaltigkeitsziele nur teilweise. Daher erscheint eine genauere sozialwissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Mobilität in Deutschland zielführend, um zunächst deskriptiv-analytisch den aktuellen Zustand der Mobilität in Deutschland zu ergründen.

Der Idee des SMNT folgend wird daher auf bereits existierende sozialwissenschaftliche Forschung im Bereich der Mobilitäts- und Verkehrsforschung zurückgegriffen und diese im SMNT verortet. Hierfür wird auf die eigenen Vorarbeiten im Rahmen eines soziologischen Arbeitspapiers (Philipp und Adelt 2018) zurückgegriffen³, in welchem die Entwicklung des Personenverkehrs bis zum Jahre 2017 beschrieben wurde. Methodische Grundlage des Arbeitspapiers ist die bereits in Kapitel 2.2 vorgestellte Multi-Level Perspective. Die damaligen Ergebnisse des Arbeitspapiers werden im Rahmen dieser Arbeit stark kondensiert dargestellt und in den anschließenden Unterkapiteln, um aktuelle Entwicklungen erweitert. Anschließend wird im folgenden Unterkapitel 4.2 dann die Mobilität des Ruhrgebiets als lokale Transformationsarena untersucht. Der Fokus auf das Ruhrgebiet begründet sich dadurch, dass im Rahmen des Forschungsprojekts InnaMoRuhr, welches ein Konzept einer „integrierten nachhaltigen Mobilität für die Universitätsallianz Ruhr“ (InnaMoRuhr 2023, S. 1) entwickelte, ein extensiver empirischer Datensatz zur universitären Mobilität im Ruhrgebiet gewonnen werden konnte. Die Nutzung des Datensatzes im Rahmen dieser Arbeit ermöglicht daher eine beispielhafte empirische Auswertung des Mobilitätsverhaltens eines der größten Ballungsräume Europas als lokale Transformationsarena (vgl. Kapitel 5).

³ Ausführliche Details und Quellen der hier präsentierten Zusammenfassung können dem genannten Arbeitspapier entnommen werden.

3.1 Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs

Die Entwicklung des Personenverkehrs wird in diesem Unterkapitel in drei Schritten beschrieben: Zunächst werden die eigenen Vorarbeiten zur Entwicklung des Personenverkehrs bis 2017 vorgestellt und um neuere Entwicklungen bis zum Beginn der Covid-19-Pandemie ergänzt (Kapitel 3.1.1 und 3.1.1). Anschließend wird die Mobilitäts- und Verkehrsentwicklung im Zuge der Covid-19-Pandemie dargestellt. Diese ist relevant, da die Pandemie zeigte, dass einerseits eine kurzfristige Veränderung des Mobilitätsverhaltens möglich ist und andererseits Spielraum für Mobilitätsmaßnahmen abseits rein technischer Innovation besteht (z.B. in Form von sozialen Innovationen). Anschließend wird auf aktuelle und mögliche zukünftige Entwicklungstendenzen des Personenverkehrs eingegangen (vgl. Kapitel 3.1.4) und ein vorläufiges Zwischenfazit gezogen (vgl. Kapitel 3.1.5).

3.1.1 Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs bis 2017

Das **soziotechnische Regime** des Personenverkehrs vor 2017 (roter Kasten, Abbildung 25) ist durch inkrementelle technische Innovationen der vorherrschenden Technologien in Form des Autos, des Fahrrads und des öffentlichen Verkehrs (ÖV, z.B. Bus und Bahn) gekennzeichnet (Philipp und Adelt 2018, S. 7–10). Ersteres stellt mit einem Anteil von über 50 Prozent des Modal Splits der zurückgelegten Wege das meistgenutzte Verkehrsmittel dar. Dementsprechend verwundert es nicht, dass der Autobesitz der Deutschen ebenso

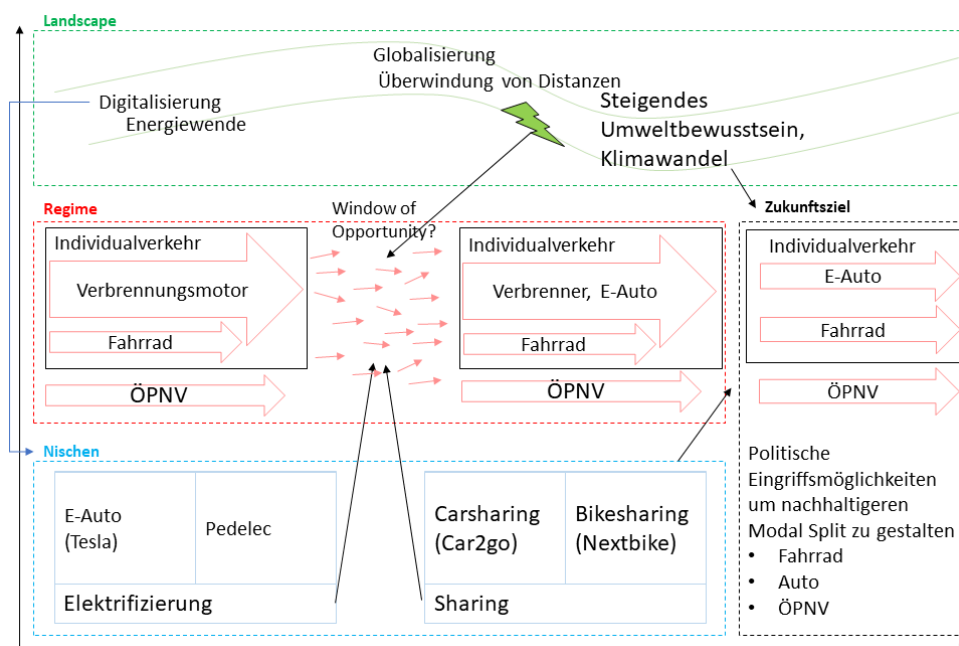


Abbildung 25: Entwicklung des deutschen Personenverkehrs anhand der Multi-Level Perspektive vor 2017 (Darstellung von Philipp und Adelt 2018, S. 14)

hoch ausfiel (668 Autos auf 1000 Einwohner). Das Fahrrad und der ÖV erreichten zu dieser Zeit jeweils nur einen im Vergleich geringen Anteil von ungefähr 12 Prozent am Modal Split.

Technisch konnte zwar die Effizienz der Autos ab 2006 verbessert werden, jedoch wurden resultierende Emissionsreduzierungen durch größere Bauarten und ein höheres Verkehrsaufkommen größtenteils aufgezehrt. Das Fahrrad als alternative Mobilitätstechnologie ist im Gegensatz zum Auto nahezu emissionslos und bietet sowohl gesundheitliche als auch volkswirtschaftliche Vorteile. Trotz des geringen Anteils am Modal Split konnten Fahrradhändler:innen bis 2017 steigende Verkaufszahlen des Fahrrads verzeichnen. Auch der ÖV in Form von Bussen und Bahnen ist für kurze und lange Strecken deutlich energieeffizienter als das Auto und ermöglichte insbesondere durch die effizient und elektrisch erbrachte Verkehrsleistung der Züge bereits 2017 eine umweltverträglichere Mobilität im Vergleich zum Auto⁴. Zum damaligen Zeitpunkt waren zudem weitere ökologische Nachhaltigkeitszugewinne der Elektromobilität in Folge der fortschreitenden Energiewende bereits zu erwarten.

Zusammengefasst war das Verbrenner-Auto daher maßgeblich für die Emissionen des Personenverkehrs bis zum Jahre 2017 verantwortlich, welche sich auch in den vorangegangenen Jahren auf einem gleichbleibend hohen Niveau bewegten und hierdurch ein Erreichen der deutschen Nachhaltigkeitsziele für den Personenverkehr bereits 2017 erschwerten. Stabilisiert wurde das Regime der autozentrierten Mobilität u. a. durch seine Bedeutung als Statussymbol speziell in den höheren Altersgruppen und der großen wirtschaftlichen Bedeutung für Deutschland in Form weitreichender Industrieverflechtungen und Verbindungen zu der öffentlichen Hand.

Die **soziotechnische Landscape** des Personenverkehrs (grüner Kasten, Abbildung 25) war geprägt durch ein deutlich zunehmendes Nachhaltigkeitsbewusstsein insbesondere der jüngeren Bevölkerung. Jedoch stand dieses zu jener Zeit im Widerspruch zu der real gelebten zeitlichen Beschleunigung des Verkehrs, in welcher in immer kürzerer Zeit immer weitere Strecken zurückgelegt wurden (Philipp und Adelt 2018, S. 10–12). Zu nennende technologische Entwicklungen der Landscape waren die voranschreitende Energiewende und die voranschreitende Digitalisierung. Erstere ermöglichte eine kontinuierliche Reduktion der Emissionen in der elektrischen Energieerzeugung durch den vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energien. Letztere ermöglichte sowohl die digitale Vernetzung der Verkehrsmittel zum Beispiel

⁴ Im Jahr 2022 wurden 99 Prozent der Verkehrsleistung des Personen-Fernverkehrs und 81 Prozent der Verkehrsleistung des Personen-Nahverkehrs elektrisch erbracht (Allianz pro Schiene 2023, S. 1).

in Form von Live-Fahrplänen bei der Bahn, wie auch Online-Kommunikationsdienste, welche Telearbeit technisch theoretisch ermöglichte. Das gesteigerte Nachhaltigkeitsbewusstsein im Rahmen des Klimawandels öffnete aus der damaligen Perspektive zumindest ein kleines *Window of Opportunity*, welches insbesondere durch die technischen Nischenentwicklungen befördert wurde.

Die von den Autoren identifizierten **soziotechnischen Nischen** (blauer Kasten, Abbildung 25) im Personenverkehr bis 2017 waren einerseits die Elektrifizierung bestehender Verkehrsmittel und andererseits eine wachsende Sharing-Kultur (Philipp und Adelt 2018, S. 12–13). Hierbei war die Elektrifizierung bestehender Verkehrsmittel keine vollständig neue Erfindung. Vielmehr existierten in den 70er Jahren bereits praktikable E-Autos, welche jedoch zu der damaligen Zeit zu keinem Regimewechsel führten. Dies änderte sich jedoch mit der Einführung des Model S von Tesla, welches viele Schwächen vorheriger E-Autos eliminierte, mit der Konkurrenz mithalten konnte und diese zum Teil übertraf (z.B. hinsichtlich der Beschleunigung). Zusätzlich trat Tesla als Systembuilder auf, da nicht nur das Auto, sondern auch die dazugehörige Ladeinfrastruktur in Form eines Netzes von Super-Chargern geschaffen wurde. Abseits der E-Autos wurden bis 2017 auch kleinere Fahrzeuge wie das Fahrrad elektrifiziert, welches in seiner elektrischen Form ebenso immer häufiger verkauft wurde. Das Sharing ermöglichte hingegen als Nischenentwicklung bis 2017 eine günstigere und effizientere Mobilität, indem es Verkehrsmittel untereinander, wie auch die Menschen mit den Verkehrsmitteln digital verknüpfte. Hierdurch konnten zum Beispiel die für das Auto typischen langen Standzeiten reduziert werden. Sharing-Angebote fanden sich jedoch maßgeblich in größeren Städten und weniger auf dem Land.

Insgesamt konnte in der damaligen Analyse trotz der benannten Nischenentwicklungen jedoch kein disruptiver Wandel des Personenverkehrs identifiziert werden. Vielmehr zeichnete sich ein langsamer Wechsel der Antriebstechnologie des Autos hin zur Elektromobilität ab. Da dies jedoch nur mit begrenzten Nachhaltigkeitsgewinnen einherging, lag bereits in der damaligen Betrachtung der Fokus darauf, wie eine substanzielle Änderung des Modal Splits abseits des motorisierten Individualverkehrs ermöglicht bzw. inwiefern alternative Nutzungsmuster unterstützt werden könnten.

3.1.2 Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs vor der Pandemie

Die Betrachtung des Zeitraums von 2017 bis zum Beginn der Covid-19-Pandemie im März 2020 ermöglicht eine Schärfung und Validierung der zuvor vorgestellten Ergebnisse des Arbeitspapiers. Ebenso wie in der Betrachtung

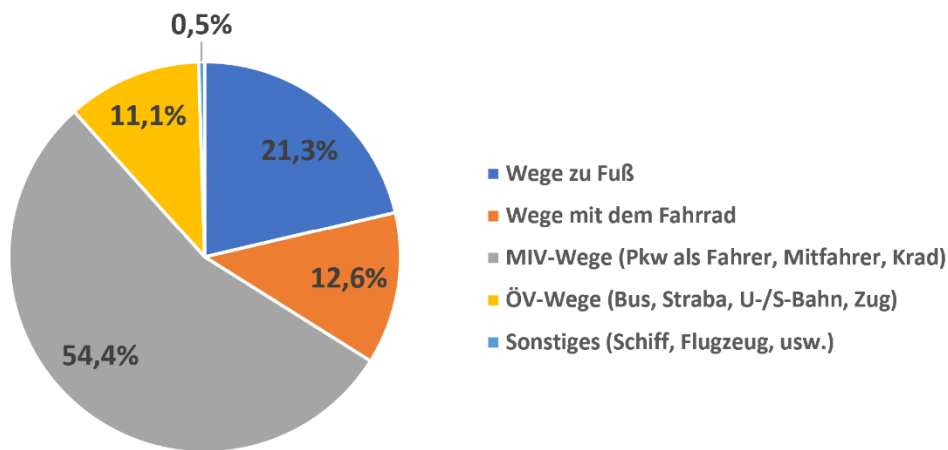


Abbildung 26: Modal Split des Verkehrsaufkommens im Jahr 2019 (Wege je Person und Tag; Anteile der Verkehrsmodi). Eigene Darstellung in Anlehnung an Ecke et al. (2020, S. 39)

bis 2017 (vgl. Abbildung 26) blieb auch in den folgenden Jahren der Modal Split nahezu unverändert (Ecke et al. 2020, S. 39).

Anfang des Jahres 2020 waren zudem 48 Millionen Pkw in Deutschland zugelassen. Somit besaß durchschnittlich jeder zweite Deutsche ein eigenes Auto, bei einer damals weiterhin steigenden Tendenz. Auch die Fahrradkäufe konnten weiterhin ein Wachstum verzeichnen, blieben aber hinter den Wachstumszahlen des Automobils zurück (Follmer und Schelewsky 2020, S. 25–27). Trotzdem spiegelten sich die höheren Verkaufszahlen in Besitz und Nutzung des Fahrrads wider: 2019 besaßen 76 Prozent der deutschen Haushalte ein Fahrrad und 44 Prozent der Deutschen nutzten ihr Fahrrad regelmäßig, eine Steigerung von sechs Prozent im Vergleich zu 2015 (SINUS-Institut 2019, S. 2).

Die im vorherigen Abschnitt besprochenen Nischen der Sharing-Angebote in Form des Fahrradsharings und des Carsharings werden, dem Mobilitätspanel Mobicor folgend (Follmer und Schelewsky 2020, S. 35–36), als Mobilitätsoptionen insbesondere von Städter:innen genutzt. Zusätzlich wurde das bestehende Sharing-Angebot durch die Legalisierung von elektrischen Tretrollern (E-Scootern) und Scooter-Sharing-Diensten erweitert. Immerhin 3 Prozent der Befragten gaben an, das E-Scooter-Angebot mindestens selten zu nutzen. Reck et al. (2022, S. 14) weisen jedoch darauf hin, dass die Nutzung eines E-Scooter-Sharings im Vergleich zu den hierdurch ersetzten Verkehrsmitteln nicht nennenswert die CO₂-Emissionen reduziert. Somit erhöhen diese zwar die Flexibilität auf der letzten Meile, helfen aber nicht die Emissionen des Verkehrs zu reduzieren.

Bereits vor der Pandemie begünstigten schrittweise steigende Subventionen den Kauf und die Nutzung von neuen elektrisch betriebenen Autos. Konkret wurde die bereits 2016 eingeführte Förderung von 4500€ (Hybrid-Autos) bis 6000€ (E-Autos) im Juli 2020 in Folge der Innovationsprämie auf bis zu 9000€ pro Neuwagen erhöht. Zudem entfiel die Kraftfahrzeugsteuer für E-

Autos und der Ausbau der Ladeinfrastruktur wurde zusätzlich subventioniert (Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e. V. 2020, S. 11). Diese Maßnahmen wurden sowohl vom Bund als auch von den Autoherstellern finanziert und bestärkte die im vorherigen Kapitel identifizierte Nischenentwicklung des E-Autos. Der Erfolg der Förderung spiegelte sich unter anderem in den Neuzulassungen von Elektroautos wieder, welche seit 2019 stark zunahmen (KBA 2021, S. 1). Nichtsdestotrotz bleibt das zuvor als kritisch identifizierte Wachstum der SUV-Verkäufe weiterhin bestehen (Brandt 2021, S. 1). Die voranschreitende Elektrifizierung der Pkws zeigt sich auch in der Strategie der Autohersteller: Viele Hersteller haben bereits zugesichert, ab einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft ihre Produktion komplett auf Elektromobilität umzustellen (Autobild 2023, S. 1). Eine ähnliche Entwicklung war bei den E-Bike-Verkäufen feststellbar, welche stark zunahmen: Im Jahr 2020, steigerte sich der kombinierte Fahrrad- und E-Bike-Absatz um 16,9 Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Insbesondere der E-Bike-Absatz steigerte sich hierbei um 43,4 Prozent. Ein Trend, welcher sich mutmaßlich auch zukünftig fortsetzt (Eisenberger 2025, S. 1–2; tagesschau 2021a, S. 1). Auch die Elektrifizierung des ÖVs in Form von elektrischen und hybriden Bussen nahm in dem Zeitraum bis zur Pandemie stark zu (PwC 2021, S. 1).

Zusammenfassend lässt sich für den Zeitraum von 2017 bis 2020 feststellen, dass hauptsächlich die Elektrifizierung bestehender Verkehrsmittel stark zunahm, während sich an der Art, wie die Menschen reisen, und somit auch am Modal Split weiterhin wenig geändert hat. Die ausgestoßenen CO₂ Emissionen blieben auf einem stabil hohen Niveau (Umweltbundesamt 2025a, S. 1). Abseits einer angepassten StVO, welche kurz nach dem Beginn der Pandemie im April 2020 in Kraft trat und das Fahrrad im Verkehr besserstellt⁵ (ADFC 2020, S. 1), wurden wenige die Nachhaltigkeit fördernde politische Maßnahmen umgesetzt, eine nachhaltige Verkehrswende blieb aus. Canzler und Knie (2021, S. 182) sahen hierfür den mangelnden Regulierungswillen als maßgeblich:

„Nach wie vor wirkt das schützende politische Korsett des etablierten Verkehrssystems. Vom Bundesverkehrswegeplan über die Straßenverkehrsordnung bis zur Entfernungspauschale: der deutsche Staat fühlt sich dem Lebensideal der Nachkriegsjahrzehnte verpflichtet.“

Daher stellt sich für die weitere Forschung die Frage, wie die Menschen zur Wahl von alternativen nachhaltigeren Verkehrsmitteln oder Mobilitätsmustern bewegt werden können.

⁵ Zum Beispiel in Form eines festgeschriebenen Mindestüberholabstand von 1,5 Metern, dem Parkverbot auf Radschutzstreifen und höheren Bußgeldern für das Auto.

3.1.3 Die Entwicklung des deutschen Personenverkehrs in Folge der Covid-19-Pandemie

Die Covid-19-Pandemie bewirkte eine radikale Veränderung nahezu aller menschlichen Lebensbereiche sowohl in Deutschland sowie der gesamten Welt. Dies traf insbesondere auch auf das Mobilitätsverhalten und das hieraus resultierende Verkehrsgeschehen zu. Zu Beginn der Pandemie ließ sich noch nicht abschätzen, wie lange diese andauern würde, daher wurden viele Entscheidungen und Maßnahmen oftmals nur für begrenzte Zeiträume umgesetzt und ggf. verlängert. Diese Ungewissheit verdeutlicht das Editorial des *Lancet Microbe* (2020, 1), welches retrospectiv treffend einschätzte, dass die Pandemie trotz der Erfindung von Impfstoffen nicht über Nacht enden würde. Erst im April 2023 – also nach drei Jahren – liefen in Deutschland die letzten Pandemie-Schutzmaßnahmen aus. Aus diesem Grund wird die Covid-19-Pandemie im Rahmen dieser Arbeit nicht als ein einzelnes einschneidendes Vorkommnis in der Landscape (der MLP) beschrieben, wie es in der zu Grunde liegenden Literatur oftmals für Krisen vorgeschlagen wird (Geels 2011, S. 28–29), sondern vielmehr als ein Zeitraum mit eigenen Entwicklungen auf den verschiedenen Ebenen der MLP verstanden.

Landscape

Die Landscape ist durch massive Änderungen des alltäglichen Lebens in Form der Covid-19-Pandemie geprägt. Bis Juni 2023 erkrankten über 768 Millionen Menschen an der Lungenkrankheit, über 6,9 Millionen Menschen starben (WHO 2023, S. 1). Insbesondere in der Anfangszeit führte die rapide Ausbreitung des noch größtenteils unbekannten Virus zu scharfen politischen Eingriffen wie Lockdowns und Kontaktbeschränkungen. Trotzdem erlebte Deutschland eine Vielzahl an Erkrankungswellen (tagesschau 2021b, S. 1) und entsprechend dominierte das Pandemiegeschehen den medialen Diskurs. Andere ebenfalls wichtige Themen wie der Klimawandel traten in den Hintergrund (Illner 2022, S. 1; Walterscheid et al. 2022, S. 183). Wie auf fast alle anderen Bereiche des menschlichen Lebens hatte die Pandemie gravierende Auswirkungen auch auf den Personenverkehr und die Verkehrsmittelnutzung: Betroffene politische Maßnahmen mit dem Ziel das Ansteckungspotenzial durch Kontaktreduzierungen zu verringern, umfassten beispielsweise erschwerte Ein- und Ausreisebestimmungen zwischen den Nationalstaaten oder den öffentlichen Aufruf, auf Verkehrsmittel wie den ÖV bzw. auf Reisen generell zu verzichten (lok-report 2020, S. 1; Der Spiegel 2020, S. 1). Darüber hinaus zeigte sich, dass Benachteiligungen der sozioökonomisch schlechter gestellten Gruppen im Rahmen der Pandemie nicht nur in den Bereichen der Wirtschaft (Ashford et al. 2020, S. 5404) und Gesundheit (Islam et al. 2021, S. 496–500) festzustellen waren, sondern ebenso hinsichtlich der Mobilität

existierten. Beispielsweise können sozioökonomisch Bessergestellte eher ihre Arbeits- und Einkaufsmobilität reduzieren bzw. anpassen (Follmer und Schelewsky 2020, S. 7; Astroza et al. 2020, S. 4).

Regime

Als Folge sowohl der intrinsischen Motivation der Bürger:innen als auch getroffener politischer Maßnahmen kam es zu einer weltweit reduzierten Mobilität sowie einer Verschiebung der Mobilitätsgründe: Es zeigte sich, dass die Verkehrsmittel während der Pandemie hauptsächlich zum Einkaufen genutzt wurden (Abdullah et al. 2020, S. 12). Zusätzlich zum Arbeitsweg nahmen auch die Geschäftsreisen im In- und Ausland weltweit stark ab (GBTA 2021, S. 5–21). Die veränderte Mobilität lässt sich speziell für Deutschland anhand von Mobilfunkdaten nachvollziehen (vgl. Abbildung 27): Zu Beginn der Pandemie ebenso wie im Januar 2021 sind deutliche Reduzierungen im Mobilitätsverhalten gegenüber 2019 sichtbar (Statistisches Bundesamt 2023a, S. 1). Verantwortlich waren hierfür sowohl politische Maßnahmen wie Ausgangsbeschränkungen, aber auch die freiwillige Reduzierung von (Verkehrs-) Wegen im Angesicht hoher Infektionszahlen (Bohnensteffen et al. 2021, S. 94). Ermöglicht wurde dies unter anderem durch die flächendeckende Adaption des Homeoffice. Nichtsdestotrotz zeigte sich anhand der Mobilfunkdaten ebenso, dass in Zeiten der Lockerung von Maßnahmen „die verpasste Mobilität“ (siehe bspw. September 2020) nachgeholt wurde und sich Anfang 2023 größtenteils normalisierte.

Bezüglich des Modal Splits zeigte sich, dass weltweit insbesondere die ÖPNV-Nutzung unter den Covid-Maßnahmen gelitten hat. So ließen sich stark reduzierte Nutzungszahlen in Deutschland, aber auch beispielsweise in Chile beobachten (Astroza et al. 2020, S. 1–8). Nutznießer dieser Entwicklung war der Individualverkehr in Form des Autos, aber ebenso in Form nachhaltiger Mobilitätsoptionen wie des Fahrrads, des Bike-Sharings sowie des Fußverkehrs (Li et al. 2021, S. 146–152; Shibayama et al. 2021, S. 82–83). Jedoch zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Verkehrsmitteln: Die Autonutzung und Fahrradnutzung normalisierten sich im Vergleich zu den Ergebnissen des umfassenden „Mobilität in Deutschland“ Berichts (MiD) von 2017 (Nobis und Kuhnimhof 2018, S. 45–46) nach dem Wegfall bzw.



Abbildung 27: Veränderung der Mobilität in Deutschland gegenüber 2019 in Prozent (Darstellung von Statistisches Bundesamt 2023a, S. 1)

der Lockerung etwaiger Pandemie-Restriktionen schnell, die ÖPNV-Nutzung blieb bis zum Juni 2021 im städtischen Verkehr jedoch stark reduziert. Fußwege wurden hingegen im Vergleich zu den MiD-Ergebnissen überdurchschnittlich oft zurückgelegt. Insbesondere sozioökonomisch Bessergestellte fuhren weniger ÖPNV, hier reduzierte sich die ÖPNV-Nutzung im Zuge der Pandemie von acht Prozent auf zwei Prozent. Insgesamt wich ein Drittel der ÖPNV-Nutzer:innen auf das Auto aus (Follmer und Schelewsky 2020, S. 22). Mögliche Gründe für die reduzierte ÖPNV-Nutzung fanden sich in der eingeführten dauerhaften Maskenpflicht und dem eingeschränkten Angebot (z.B. fehlende Nachtbusse), welche das ohnehin schon als weniger attraktiv wahrgenommene Verkehrsmittel noch unattraktiver erscheinen ließ. Zudem führte auch die Angst vor Infektionen in den zum Teil sehr vollen Zügen zu einer geringeren Nutzung (Shibayama et al. 2021, S. 83–84). Somit zeigt die Pandemie, dass sich individuelle Mobilitätsentscheidungen durchaus und sogar schnell ändern können – sollten die externen Bedingungen (in Form der Covid-19-Pandemie „by disaster“, (vgl. Sommer 2024, S. 165–168)) stimmen.

Nischen

Im Zuge der Verkehrsmittelnutzung im Rahmen der Covid-19-Pandemie eröffneten sich Experimentiermöglichkeiten abseits der vormals überwiegend technisch getriebenen Nischenentwicklungen der Prä-Covid-Zeit: Bestehende Verhaltensmuster der Verkehrsmittelnutzung wurden durch getroffene Pandemiemaßnahmen durchbrochen, ebenso wie Governance-Versäumnisse und Chancen aufgedeckt wurden. Beispielhaft wird hier daher auf Pop-Up-Radwege, das 9-Euro-Ticket und das Homeoffice-Gesetz eingegangen. Abschließend wird das autonome Fahren als technische Nischenentwicklung vorgestellt, welche insbesondere das Potenzial hat, zukünftige Nutzungsmuster der Mobilität zu verändern und somit im Idealfall nachhaltiger zu gestalten.

Pop-Up-Fahrradwege

In Folge der Covid-19-Pandemie wurden durch die Politik aktiv Experimentierräume der urbanen Mobilität geschaffen: Pop-Up-Radwege sollen durch eine Umwidmung des gesellschaftlichen Raums die Fahrradmobilität stärken. Diese sind eine schnell implementierte Infrastruktur, in Form von separaten und geschützten Fahrradwegen, welche meist auf vorherigen Autostraßen errichtet wurden. In Deutschland erlangten die in Berlin Friedrichshain und Kreuzberg umgesetzten Pop-Up-Radwege Bekanntheit, deren Konzept dann auch in anderen deutschen Städten kopiert wurde. Diese neue schnellere Form

der urbanen Planung und Umsetzung ermöglichte eine bis Dato seltene Experimentierfreudigkeit im Straßenverkehr sowie eine damit einhergehende Bewertung der Maßnahmen in Form einer wissenschaftlichen Begleitforschung. Diese zeigt, dass implementierte Pop-Up-Radwege erfolgreich den Fahrradverkehr in europäischen Städten steigern konnten und durch verhältnismäßig geringe Investitionen zu stark gesunkenen gesamtgesellschaftlichen Gesundheitskosten und reduzierten Emissionen führten (Kraus und Koch 2021, 4; Becker et al. 2022, S. 9). Ähnliches berichten auch Nikitas et al. (2021, S. 4620) basierend auf einer Literaturstudie, welche Pop-Up-Radwege als einfach implementierbar und wirtschaftlich sinnvoll bewerten. Insbesondere sollen zusätzliche Fahrradwege helfen, eine Alternative für ÖPNV-Pendelnde zu sein, welche aufgrund der Pandemie zum Fahrrad wechselten. Um der Kritik von Autofahrer:innen entgegenzuwirken, ist – den Autor:innen zufolge – ein gutes Marketing notwendig, um die Akzeptanz für etwaige Baumaßnahmen und die entsprechende Umverteilung von Flächen zu schaffen.

Gesellschaftlich unumstritten sind die Pop-Up-Fahrradwege jedoch nicht: Positiv wahrgenommen werden die zusätzlichen Radwege maßgeblich durch Radfahrer:innen, aber ebenso durch Fußgänger:innen. Nutzer:innen des motorisierten Individualverkehrs hingegen bewerten die Umwidmung der Nutzungsflächen eher negativ (Götting und Becker 2020, S. 13–14). In Berlin zeigte sich der Konflikt anhand einer Klage der Partei AfD, aufgrund derer die Pop-Up-Fahrradwege in erster gerichtlicher Instanz als illegal erklärt wurden. Hieraus entbrannte eine weitreichende gesellschaftliche Diskussion über die Aufteilung des öffentlichen Raumes (Stark et al. 2021, S. 162–167), welche die unterschiedlichen Betroffenheiten und normativen Einstellungen der Verkehrsteilnehmer:innen verdeutlichte.

9-Euro-Ticket

Ein weiteres Beispiel für die durch die Covid-19-Pandemie ermöglichten politischen Experimentierräume ist die temporäre Einführung des „9-Euro-Tickets“: Mit diesem Ticket konnten in den Sommermonaten des Jahres 2022 (Juni-August) deutschlandweit der ÖPNV sowie Regionalzüge für neun Euro im Monat unbegrenzt genutzt werden. Nach den gewünscht niedrigeren Nutzungszahlen des ÖVs in Folge der Covid-19-Pandemie, waren die Ziele des 9-Euro-Tickets, Anreize für die erneute Nutzung des ÖVs zu setzen sowie die Bürger:innen finanziell zu entlasten (Bundesregierung 2022, S. 1). Dabei kann das 9-Euro-Ticket als Erfolg betrachtet werden: Das Ticket wurde insgesamt positiv durch die Nutzer:innen aufgenommen, 20-24 Prozent der Tickets wurden an Bürger:innen verkauft, die zuvor den ÖV nicht nutzten. Auch die einfache Nutzung, ohne sich Gedanken über die Ticketstrukturen machen zu müssen, wurde positiv von den Nutzenden wahrgenommen (Krämer et al.

2022, S. 878). Nichtsdestotrotz sind Unterschiede hinsichtlich des Nutzungsgrades zwischen Stadt- und Landbewohner:innen identifizierbar: Die Nutzungsquote korreliert erwartungsgemäß mit der Wohnortgröße und dem damit verbundenen besseren ÖV-Angebot, wenngleich beachtliche 56 Prozent der Ticketkäufer:innen nicht aus Großstädten (> 100 000 Einwohner) kamen (ebd. S. 874). In Folge des Erfolgs des 9-Euro-Tickets wurde in Form des Deutschlandtickets ab Mai 2023 ein vergleichbares Angebot zum monatlichen Preis von 49 Euro geschaffen. Das Ticket wurde zunächst in Form eines monatlich kündbaren Abomodells für einen Zeitraum von zwei Jahren erprobt, mit dem Ziel, das Angebot zu verstetigen. (Bundesregierung 2023, S. 1; mobil.nrw 2023, S. 1). Es verdeutlicht in seiner Existenz den Erfolg seines Vorgängers. Im Anschluss an den Erprobungszeitraum können künftig die tatsächlichen Effekte des Tickets auf das deutsche Mobilitätsverhalten wissenschaftlich erfasst werden und geäußerte Bedenken, wie die ungewünschte Zunahme des Fernpendelns (Berschin und Böttger 2023, S. 189), bestätigt oder widerlegt werden.

Sowohl die Pop-Up-Fahrradwege als auch das 9-Euro-Ticket zeigen, dass die durch die Covid-19-Pandemie gebrochenen Routinen sowohl im individuellen Mobilitätsverhalten als auch in der Politik Experimentierräume für sozial zentrierte soziotechnische Innovationen ermöglichen, welche neue Mobilitätsoptionen abseits einer grünen Modernisierung darstellen können. Ein derartiges Öffnen von Experimentierräumen kann auch in anderen Transformationsarenen helfen, kosteneffiziente und sinnvolle Maßnahmen zu identifizieren (Becker et al. 2022, S. 9). Hierfür sollte idealerweise jedoch einerseits ein gesetzlicher Rahmen geschaffen und andererseits auf die Bedürfnisse und Ängste der heterogenen Bevölkerung eingegangen werden, so dass etwaige Klagen (wie am Beispiel der Pop-Up-Fahrradwege beschrieben) für eine realistische Experimentierdauer entfallen.

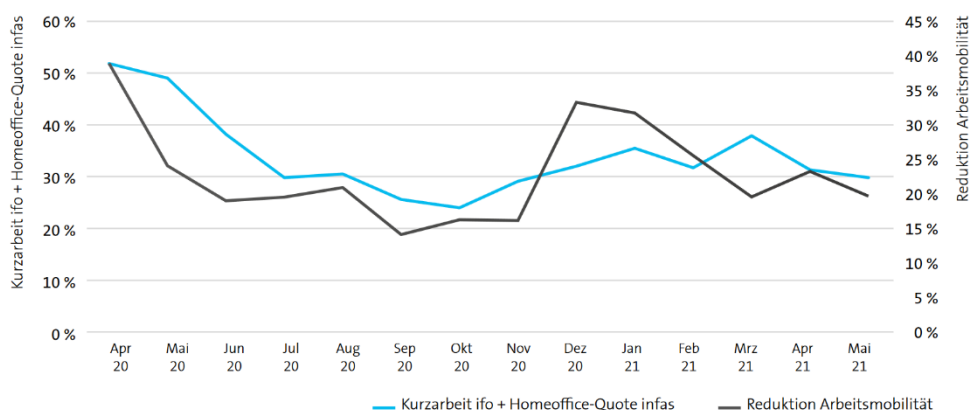
Homeoffice

Um der Covid-19-Pandemie Einhalt zu gebieten, wurde eine Vielzahl von Maßnahmen mit dem Ziel der Kontaktvermeidung von der Bundesregierung angeordnet. Hierzu gehörte auch „die Verpflichtung der Arbeitgeber:innen zum Angebot von Homeoffice, sofern nicht zwingende betriebliche Gründe entgegenstehen.“ (Bundesregierung 2021c, S. 1). Diese strikte nationale Regelung, auf welche sich alle Arbeitnehmenden berufen konnten, führte zu einer temporären, aber weitreichenden Veränderung der vorherrschenden Arbeitskultur in Deutschland: Wenngleich die benötigte Infrastruktur in großen Teilen bereits verfügbar war (vgl. Kapitel 3.1.1), wurde bis zum Beginn der Pandemie wenig im Homeoffice gearbeitet. So arbeiteten vor der Pandemie nur vier Prozent der Befragten überwiegend von zuhause. Dies änderte sich

mit dem Beginn der Pandemie, in welcher teilweise über 27 Prozent der Befragten überwiegend von zuhause arbeiteten. Diese bereits enorme Steigerung reizte jedoch nicht das errechnete theoretische Homeoffice-Potenzial von 56 Prozent aus (Hans Böckler Stiftung 2023, S. 1; Corona Datenplattform 2021, S. 4–18).

Zudem variierte die theoretische Homeoffice-Quote stark nach Berufsfeld: Über 50 Prozent der universitären Beschäftigten des Ruhrgebiets arbeiteten vor der Pandemie gar nicht im Homeoffice. Unter anderem durch die Digitalisierung von Lehrveranstaltungen konnte die Beschäftigung während der Covid-19-Pandemie größtenteils online ausgeübt werden (Leontaris und Klee- mann 2022, S. 10–14). Im Gegensatz dazu kann die physische Arbeit in einem produzierenden Unternehmen oder im Verkauf von Lebensmitteln schlicht nicht von zuhause ausgeführt werden. Darüber hinaus zeigt sich, dass in Deutschland eher leitende Angestellte oder gehobene/höhere Beamte von zu- hause ihre Arbeit erledigten (Corona Datenplattform 2021, S. 9–15). Zusätz- lich existierten auch innerdeutsche geographische Unterschiede: So existierte beispielsweise in Bayern ein höheres theoretisches Homeoffice-Potential als in Norddeutschland, welches auch mit der tatsächlichen Homeoffice-Nutzung während der Pandemie korrelierte. Mit dieser Entwicklung der Homeoffice- Nutzung steht Deutschland nicht alleine dar, ähnliche Entwicklungen zeigen sich auch in internationalen Studien (Okubo 2022, S. 1; Haider und Anwar 2023, S. 196).

Die vermehrte Nutzung des Homeoffice (und der Kurzarbeit) führte während der Pandemie nachweislich dazu, dass sich auch die Arbeitsmobilität teil- weise stark reduzierte. Dies ergab der von der Corona Datenplattform (2021, S. 7–8) durchgeführte Abgleich der Entwicklung von Kurzarbeits- bzw. Homeoffice-Quote mit der Entwicklung der Arbeitsmobilität im Rahmen des Google Covid-19 Mobility-Reports (vgl. Abbildung 28).



Quelle: infas, ifo, Google LLC „Google Covid-19 Community Mobility Reports“
 Linke Achse: Kurzarbeit- + Homeoffice-Quote. Rechte Achse: Arbeitsmobilitätsreduktion

Abbildung 28: Auswirkungen von Kurzarbeit und Homeoffice auf die Arbeitsmobilität (Darstellung von Corona Datenplattform 2021, S. 8))

Eine technische Nischenentwicklung, welche maßgeblich von den großen Automobil- und Tech-Konzernen wie Google oder Mercedes vorangetrieben und durch eine proaktive Gesetzgebung in westlichen Ländern unterstützt wird, ist das autonome Fahren (Chai et al. 2020, S. 10–15). Derzeit existieren bereits umfangreiche Assistenzfunktionen wie Spurhalteassistenten oder Tempomaten mit Abstandshaltfunktionen in produzierten Autos, welche als Vorläufer des autonomen Fahrens begriffen werden können. Ziel der Entwicklung ist jedoch ein vollständig autonomes Fahren zu ermöglichen, in welchem der Mensch selbst nicht steuernd eingreifen muss (Mallozzi et al. 2019, S. 351). Hierfür werden bereits erste Versuche in großen Metropolen durchgeführt (Cugurullo et al. 2021, S. 833).

Gesellschaftlich ist eine nachhaltigere Mobilität, aufbauend auf dem autonomen Fahren, eine wünschenswerte Utopie, da sie im Idealfall sicherer, komfortabler und wirtschaftlicher ist (Chen et al. 2023, S. 1046). Dies könne insbesondere in Form eines Angebots von autonomen Sharingservices, Linienbussen und Shuttles erzielt werden. Erstere reduzieren perspektivisch den Bedarf an Autos, erlauben hierdurch mehr (Park-) Flächen anderweitig zu nutzen (Cugurullo et al. 2021, S. 19) und entschärfen so den bereits zuvor erwähnten Flächenverteilungskonflikt. Zweitere können das bestehende ÖV-Angebot ergänzen und helfen, die erste und letzte Meile zu bewältigen (Canzler und Radtke 2019, S. 36). Roos und Siegmann (2022, S. 807–809) präzisieren, dass insbesondere ein Ridepooling-Ansatz – also das Einsammeln und Transportieren mehrerer Menschen mit ähnlichen Wegestrecken – nachhaltig sei. Den Autoren folgend bestehe jedoch ebenso die Gefahr, dass der mit dem Individualbesitz autonomer Autos oder der Nutzung eines autonomen Ridehailing (autonome Taxis) einhergehende Komfort eine nachhaltige Verkehrswende bremsen könne, da diese Art der Nutzung nicht nachhaltig sei. Daher seien sowohl ein starkes demokratisches System mit entsprechenden politischen Maßnahmen, als auch sozialen Innovationen nötig, um mittels der Technologie des autonomen Fahrens tatsächliche Nachhaltigkeitszugewinne zu erzielen (Cugurullo et al. 2021, S. 21; Roos und Siegmann 2022, S. 807–812).

3.1.4 Unklare zukünftige Entwicklung

Mit dem Ende der deutschen Covid-Schutzmaßnahmen stellt sich die Frage, ob sich die zukünftige Mobilität in Deutschland nachhaltig entwickeln wird: Wurden vor der Covid-19-Pandemie maßgeblich E-Auto-zentrierte Maßnahmen unterstützt, konnten im Rahmen des pandemieinduzierten Bruchs des gesellschaftlichen Verhaltens neue Mobilitätsstrategien erprobt werden.

Im Rahmen des aktuellen „Mobilität in Deutschland“-Berichts (infas et al. 2025, S. 15–19), welcher die Mobilität im Jahr 2023 untersuchte, konnte gezeigt werden, dass insbesondere eine leichte Verschiebung vom motorisierten Individualverkehr (MIV) hin zu Fußwegen, aber auch Fahrrad und dem ÖV zu verzeichnen ist. Gleichzeitig sinken Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung leicht. Die Autonutzung verzeichnet in diesem Zusammenhang erstmalig eine Reduzierung seit dem Beginn der Berichterstattung. Allerdings könne (noch) nicht von einer Trendwende gesprochen werden, da der derzeitige Modal Split lediglich wieder dem Modal Split von 2008 ähnelt (infas et al. 2025, S. 19). Bemerkenswert ist, dass sich die Zufriedenheit für alle Verkehrsmittel mit Ausnahme des Autos reduziert hat, die Zufriedenheit mit dem Auto bleibt unverändert.

Gleichzeitig reduzierte sich der Primärenergieverbrauch des Personenverkehrs in Folge der Covid-19-Pandemie stark (vgl. Abbildung 29). Jedoch ist ebenso seit der Pandemie ein erneutes Ansteigen bzw. ein Rebound-Effekt identifizierbar. Maßgeblich der Flugverkehr, aber auch der Straßenverkehr sind hierfür verantwortlich (Umweltbundesamt 2025b, S. 1). Hinsichtlich der ausgestoßenen CO₂-Emissionen zeigt sich, dass diese seit dem Ende der Pandemie zwar leicht rückläufig sind, aber im Vergleich zu den anderen Sektoren schwächer sinken, wodurch der prozentuale Anteil an allen ausgestoßenen Emissionen Deutschlands von 16 % (2010) auf 22 % (2023) gestiegen ist (Umweltbundesamt 2025a, S. 1). Zudem zeichnet sich auch ein politischer Rebound-Effekt ab: Das von der EU beschlossene „Verbrenner-Aus“, welches ab 2035 die Neuzulassung CO₂-ausstoßender Autos verbietet, soll gekippt bzw. aufgeweicht werden (tagesschau 2025, S. 1).

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Personenverkehr in Deutschland

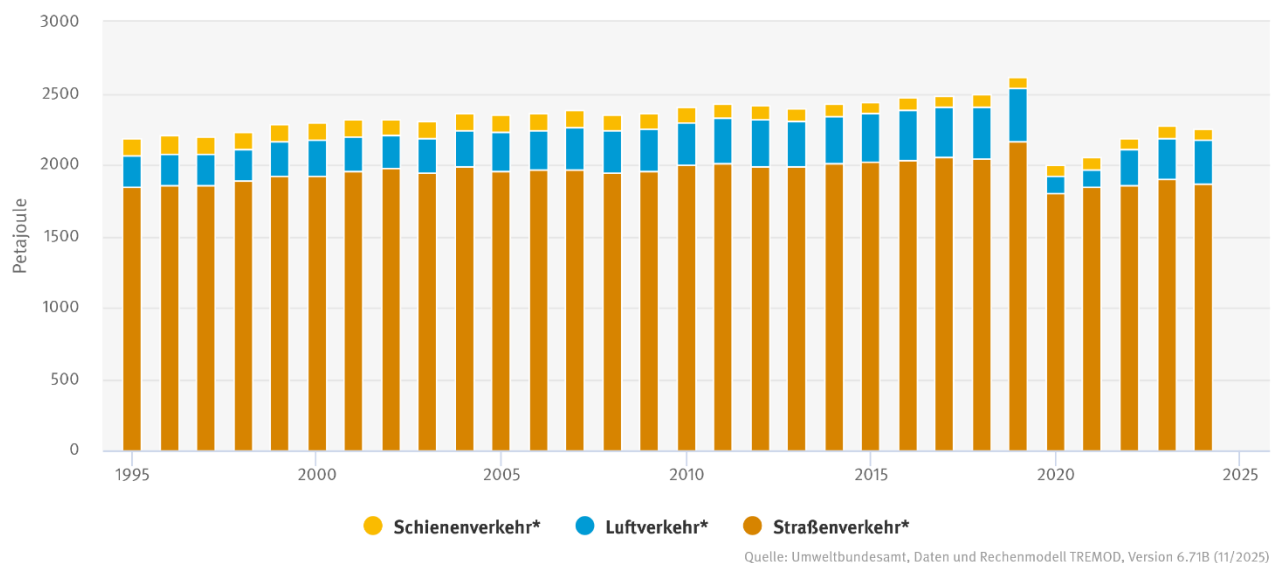


Abbildung 29: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs im Personenverkehr in Deutschland (Darstellung vom Umweltbundesamt 2025b, S. 1 – CC BY-NC-ND 4.0)

Hinsichtlich der berichteten Nischenentwicklungen der Covid-19-Pandemie zeigen zudem erste Studien resultierende Effekte auf: Das DLR (2022, S. 2–3), konnte zeigen, dass das 9-Euro-Ticket zwar die ÖPNV-Nutzung wieder auf ein Vor-Covid Niveau erhöhen konnte, wenngleich sich die Befragten aber weiterhin unwohl im ÖPNV fühlten und insbesondere Städter:innen das Ticket maßgeblich nutzten. Auch der MiD-Bericht stellt dem Deutschlandticket ein positives Fazit aus und betont die Bedeutung in der Überwindung der geringen ÖV-Nutzungszahlen während der Covid-19-Pandemie (infas et al. 2025, S. 103–245). Weiterhin kann der Bericht zeigen, dass das Deutschlandticket in Großstädten und Metropolen von 21 % und auf dem Land von zumindest 10 % der ansässigen Bevölkerung genutzt wurde.

Hieraus resultierend stellt sich die Frage, wie auch Nicht-Städter:innen oder Städter:innen, die aus beruflichen Gründen in ländliche Regionen pendeln müssen, vermehrt von einem zukünftigen ÖV-Angebot profitieren können. Eine mögliche Lösung hierfür könnte die Kombination des Individualverkehrs mit dem öffentlichen Verkehr und der Technologie des autonomen Fahrens, also ein autonomer öffentlicher Individualverkehr (ÖIV), darstellen. Dieser setzt sich aus kleinen kostengünstigen und effizienten Fahrzeugen für die letzte Meile zusammen, welche autonom fahren. Für längere Strecken (zum Beispiel zwischen Städten/Ortschaften) können diese ähnlich einem Zug an eine Zugmaschine mit größerer Kraft und Batterie angekoppelt werden. Hierdurch könnten einerseits Mobilitätskapazitäten effizienter genutzt werden und andererseits suburbane bzw. ländliche Gebiete für den ÖV erschlossen werden (Ostermann et al. 2023, S. 427–446). Dieses Konzept wird in den kommenden Jahren in Form des interdisziplinären Projekts NeMo.bil erforscht (NeMo.bil 2023, S. 1). Abseits der technischen Machbarkeit, welche von der Nischenentwicklung des autonomen Fahrens profitiert, ist zudem die Akzeptanz der zukünftigen Nutzer:innen wichtig, um eine erfolgreiche Alternative zu bereits etablierten Mobilitätsmustern darzustellen. Relevante Einflussfaktoren müssen hierzu noch erforscht werden.

Die während der Pandemie installierten Pop-Up-Fahrradwege verdeutlichen hingegen die im Rahmen einer nachhaltigen Stadtentwicklung notwendigen Umverteilungsdebatten für die Nutzung des öffentlichen Raums. Diese müssen zwangsläufig in dicht besiedelten Städten geführt werden, da hier wenig bzw. kein Platz für eine komplett neue Infrastruktur, wie ein zusätzliches Fahrradwegenetz, verfügbar ist. Dies führt, in Kombination mit der in der Verkehrspolitik allgegenwärtigen persönlichen Betroffenheit der Verkehrsteilnehmer:innen zu einer Polarisierung der Verkehrspolitik (Souris et al. 2023, S. 52). Hierzu passt auch die Aussage von Follmer und Schelewsky (2020, S. 26), welche sagen, dass es Mut brauchen wird, um in der Pandemie geschaffene Fahrradwege gegen das dominante Regime des Autos zu verteidigen und weiterhin an einer nachhaltigen Verkehrsplanung zu arbeiten.

Ebenso könne der Ausbau der Fuß- und Radwegeinfrastruktur laut infas et al. (2025, S. 19) den bestehenden Trend zur nicht-motorisierten Mobilität unterstützen.

Auch der langfristige Effekt des Homeoffice auf das Mobilitätsverhalten nach der Covid-19-Pandemie bleibt Axenbeck et al. (2023, S. 1–23) folgend unklar. Zwar bliebe die geschaffene kulturelle, technische und organisatorische Infrastruktur für das Homeoffice bestehen, der Effekt auf das Mobilitätsverhalten hingegen wird nach dem Aufheben der getroffenen Maßnahmen – ihrer Studie folgend – jedoch insignifikant. Eine mögliche Erklärung sehen die Autor:innen in dem von Salomon (1986, S. 235) prognostizierten intrinsischen Bedürfnis nach Mobilität: Wenn der Arbeitsweg entfällt, wird die freie Zeit beispielsweise vermehrt für anderweitige Wege genutzt. Aus diesem Grund schlagen die Autor:innen vor, eher den Wechsel auf nachhaltige Verkehrsmittel zu unterstützen (z.B. vom Auto auf das Fahrrad), anstatt auf eine generelle Mobilitätsreduzierung durch digitale Lösungen (z.B. das Homeoffice) zu hoffen.

Zukunftsvisionen

Trotz der Unsicherheit hinsichtlich der Effektivität der unterschiedlichen Maßnahmen findet sich im wissenschaftlichen und öffentlichen Diskurs eine Vielzahl an Zukunftsvisionen, welche eine nachhaltigere Mobilität in der Zukunft ermöglichen sollen. Diese bauen oftmals auf den vorgestellten Nischenentwicklungen auf und kombinieren sie mit anderen Transformationsarenen. Was die unterschiedlichen Zukunftsvisionen jedoch eint, ist die Uneindeutigkeit der Effektstärke auf das Mobilitätsverhalten und auf die damit einhergehende nachhaltige Entwicklung.

Lehmann (2020, S. 64–65) sieht insbesondere in der weiteren Digitalisierung des Verkehrs eine nachhaltige Lösung um hierdurch eine möglichst effiziente Auslastung der bestehenden Verkehrsmittel zu schaffen. Verkehrsdaten könnten etwa auf einer Open-Source-Datenplattform gesammelt und so von den unterschiedlichen Diensten genutzt werden. Derartige strategische Bestrebungen finden sich beispielsweise in Form des Mobility Data Spaces wieder. In diesem sollen zukünftig Daten dezentral, sowohl aus der öffentlichen Hand als auch von Privatunternehmen, zur Verfügung gestellt werden (Mobility Data Space 2021, S. 1). Ein nennenswerter Ansatz, um eine bessere Vernetzung der unterschiedlichen Verkehrsmittel in Nordrhein-Westfalen zu gewährleisten, ist der Aufbau der Landesagentur für Mobilitätsdaten „Mobidrom“ sowie der dazugehörigen Datenplattform, die das Ziel hat, Mobilitätsdaten zu bündeln und bereitzustellen (NRW.Mobidrom GmbH 2026, S. 1).

Ein grundlegendes Konzept einer nachhaltigeren Mobilität schlägt Goffman (2020, S. 48–52) in Form von „Glocalization“ vor. Also ein deutlich lokaleres Leben, unter anderem auch im Reiseverhalten, bei einem gleichzeitig erstarkenden Bewusstsein für die Verbundenheit der Welt. Insbesondere die Nachhaltigkeitsbemühungen der Städte spielen daher Goffman zufolge eine entscheidende Rolle ebenso wie die digitale Vernetzung, um nachhaltiges Wissen möglichst schnell und allumfassend teilen zu können. Eine ähnliche nachhaltige Zukunftsvision identifizieren González-Sánchez et al. (2021, S. 8–17), aber auch Mouratidis und Papagiannakis (2021, S. 9): Eine erfolgversprechende nachhaltige Post-Covid-Mobilität liege den Autor:innen nach insbesondere in einer Neuplanung der Städte. Grundlage hierfür ist die beschriebene Zunahme der aktiven Mobilitätsformen wie der Fahrradnutzung und von Fußwegen während der Pandemie. Hierfür gilt es den Autor:innen zu Folge, die Städteplanung an dieses neue Mobilitätsaufkommen anzupassen und sichere und komfortable Nutzungsmöglichkeiten zu schaffen. Hierzu existieren auch bereits erste erfolgversprechende Versuche (Eggimann 2022, S. 411–412).

Auch explizit für Deutschland werden ähnliche Zukunftsvisionen wie durch den Thinktank Agora Verkehrswende geäußert: Eine Kombination aus der Neuordnung des öffentlichen Raums zugunsten von Fahrrad- und Fußverkehr sowie dem Ausbau und der digitalen Vernetzung des ÖPNV. Zudem wird hier abermals eine zukünftige mutige, stadtregionale innovative Planung beschworen, welche temporäre Experimentierräume zulässt und anschließend bei positivem Feedback dauerhaft umsetzt (Agora Verkehrswende 2020, S. 42–46).

3.1.5 Zwischenfazit

Basierend auf den Ergebnissen der hier vorgestellten Multi-Level Perspective, bleibt der Verkehr weiterhin ein Problemsektor der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, da er nicht vergleichbare Emissionsreduzierungen zu anderen Sektoren verzeichnet und auch der Modal Split sich bestenfalls nur langsam nachhaltiger entwickelt.

Insbesondere die technischen Lösungen der Vergangenheit, sowohl inkrementeller oder innovativer Natur, konnten bis dato nicht maßgeblich dazu beitragen, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. In Folge der Covid-19-Pandemie kam es jedoch zu einem temporären Umbruch des soziotechnischen Systems des deutschen Personenverkehrs (vgl. Abbildung 30) – wie in nahezu allen anderen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens auch. In Deutschland führte das Pandemiegeschehen jedoch nicht zwangsläufig zu einer nachhaltigeren Mobilität: Zwar nahm das allgemeine Verkehrsaufkommen ab, jedoch wurde das Auto überdurchschnittlich viel und der ÖV unterdurchschnittlich wenig

genutzt, um Kontakte und somit auch Ansteckungswahrscheinlichkeiten zu reduzieren.

Im Gegensatz zur Konzentration auf überwiegend technische Lösungen in der Vor-Covid-Zeit, wie z.B. der Elektrifizierung, entwickelten sich während der Pandemie überwiegend nicht-technisch zentrierte Nischen. Zudem wurden zuvor wenig genutzte politische Handlungsspielräume erschlossen, Gesetze und Maßnahmen erlassen sowie (temporäre) städtische Infrastrukturen geschaffen: Resultat war die gesetzliche Verpflichtung – falls möglich – das Homeoffice zu nutzen, um direkte Kontakte im Arbeitskontext zu vermeiden, sowie die Etablierung temporärer Radwege auf bestehenden (Auto-)Straßen, um die in der Pandemieverlauf stark zugenommene Radmobilität auch infrastrukturell zu unterstützen. Zusätzlich wurde zum Ende der Pandemie ein neuartiges, stark subventioniertes Ticketmodell in Form des 9-Euro-Tickets erprobt, welches insbesondere die Ticketbuchung stark vereinfachte, da es in nahezu allen deutschen Verkehrsverbunden nutzbar war. Zuletzt wurde auch das autonome Fahren abseits des Pandemiegeschehens stetig weiterentwickelt, welches einerseits das Risiko einer vermehrten nicht nachhaltigen MIV-Nutzung birgt, aber ebenso die Grundlage für neue innovative Nutzungsmuster wie beispielsweise in Form eines öffentlichen Individualverkehrs (ÖIV) darstellt.

Auf den Nischeninnovationen aufbauend werden unterschiedliche Zukunftsvisionen einer nachhaltigen Mobilität entwickelt, welche die unterschiedlichen Nischenentwicklungen der Pandemie aufgreifen und kombinieren, um hierdurch das soziotechnische System grundlegend neu zu denken. Imaginierte Zukunftsszenarien reichen von einer umfassenden Digitalisierung und Vernetzung des Verkehrs über stadtplanerische Lösungen in Form einer durchdachten Quartiersmobilität bis zu neuen Verkehrsmitteln und Nutzungsmustern zum Beispiel in Form des öffentlichen Individualverkehrs. Erstere versprechen Effizienzgewinne. Die Quartiersmobilität könnte Wegstrecken reduzieren und lebenswertere Städte schaffen, welche die Nutzung nachhaltiger Verkehrsmittel fördern. Neue Verkehrsmittel und Nutzungsmuster könnten zukünftig eine Alternative zu weniger nachhaltigen Technologien wie dem motorisierten Individualverkehr darstellen.

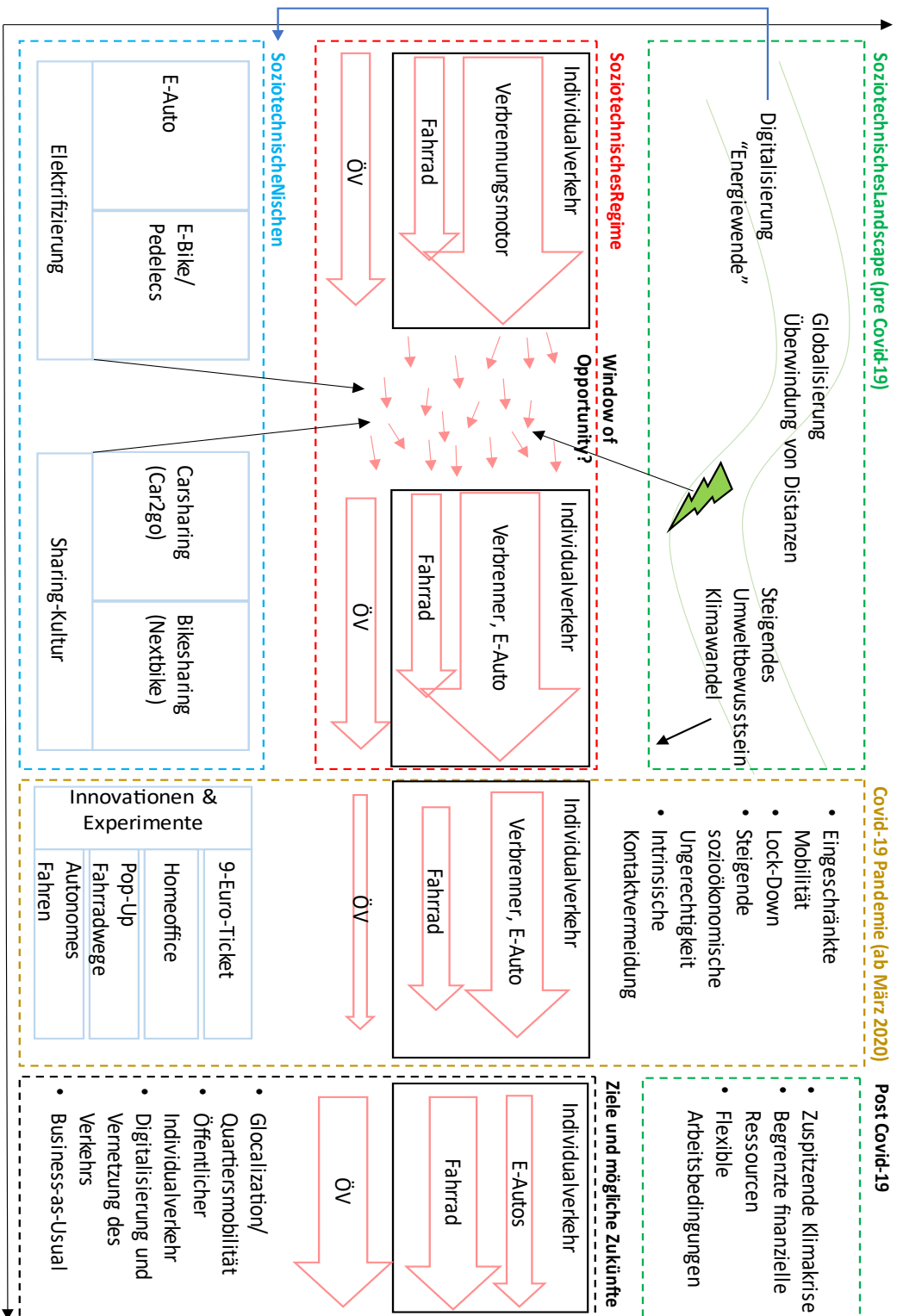


Abbildung 30: Erweiterte Multi-Level Perspective des deutschen Personenverkehrs vor, während und nach der Covid-19-Pandemie

3.2 Die Mobilität des Ruhrgebiets

Das Ruhrgebiet befindet sich im Westen Deutschlands und ist eine der größten menschlichen Agglomerationen Europas. Durch seine hohe Bevölkerungsanzahl ist es somit auch eine besonders relevante lokale Transformationsarena der gesamtdeutschen Mobilität. Wenngleich die Entwicklung der Mobilität des Ruhrgebiets tendenziell der gesamtdeutschen Entwicklung folgt, unterscheidet sich das Ruhrgebiet von anderen Metropolregionen stark. Daher werden in diesem Unterkapitel relevante Merkmale der lokalen Transformationsarena umrissen, da diese der folgenden Arbeit als empirischer Untersuchungsgegenstand zugrunde liegt. Hierfür wird insbesondere auf die infrastrukturellen und soziodemographischen Besonderheiten des Ruhrgebiets eingegangen und der Status Quo der Hauptverkehrsträger beschrieben.

Das Ruhrgebiet befindet sich in einem Transformationsprozess von einer vormals dominanten Montanindustrie hin zu einem Innovations- und Dienstleistungsstandort. Infolgedessen wurden unter anderem in den 1960er und 70er Jahren eine Vielzahl von Universitäten gegründet, welche 2014 zusammen über 250.000 Studierende verzeichneten. Hierdurch konnten hochqualifizierte Arbeitskräfte für innovative Unternehmen ausgebildet und so auch der wirtschaftliche Wandel unterstützt werden (Brauers et al. 2018, S. 73). Trotz beachtenswerter Transformationsbemühungen sind heute Teile des Ruhrgebiets von Armut geprägt, verwaltungstechnisch stark fragmentiert und die Städte teils hochverschuldet (Rammler et al. 2019, S. 1–8).

Auch für das Ruhrgebiet identifiziert Schönharting (2002, S. 120–127) das im vorherigen Kapitel beschriebene allgemeine Mobilitätsbedürfnis, immer weiter entfernte Ziele immer schneller zu erreichen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich zudem, dass knapp die Hälfte der Menschen im Ruhrgebiet zumindest in eine andere Stadt für die Arbeit (RVR 2018, S. 1) pendeln.

Die Verkehrsmittelwahl des Ruhrgebiets entspricht dem gesamtdeutschen Durchschnitt (Imobis 2020, S. 15): Das Fahrrad erfährt mit neun Prozent anteilig an allen zurückgelegten Wegen eine sehr geringe Nutzung, der MIV hingegen mit zusammengerechnet 58 Prozent eine starke Nutzung (vgl. Abbildung 31). Hierdurch unterscheidet sich das Ruhrgebiet jedoch maßgeblich von anderen deutschen Metropolen

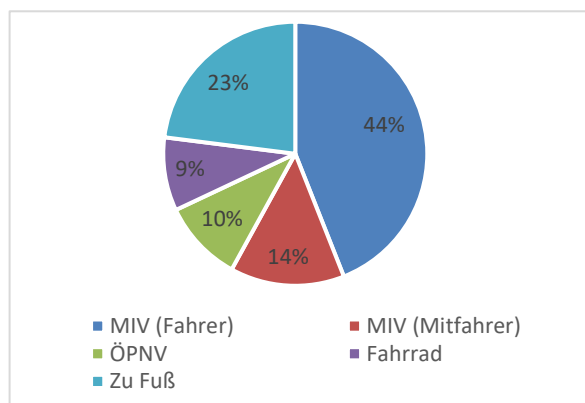


Abbildung 31: Prozentualer Anteil der Verkehrsmittel an den zurückgelegten Wegen im Ruhrgebiet (Eigene Darstellung Modal Split in Anlehnung an Imobis (2020, S. 15))

wie Hamburg (BMVI 2019, S. 35) oder Berlin (Pressestelle SenUVK 2020, S. 1), welche einen deutlich geringere MIV- und einen höhere Fahrrad- sowie ÖPNV-Nutzung verzeichnen (vgl. auch Roos und Lewalder 2021, S. 346).

Ein Grund hierfür liegt in der polyzentrischen Siedlungsstruktur und daher teils geringen Bevölkerungsdichten im Vergleich zu anderen Metropolen. Am stärksten besiedelt ist die Ost-West-Achse mit den Großstädten Dortmund, Essen und Duisburg (vgl. Abbildung 32, oben), auf welcher eine Bevölkerungsdichte von 2000 Einwohner:innen pro Quadratkilometer erreicht wird (Baltes et al. 2008, S. 4–19). Zudem ist insbesondere diese Achse gut an den öffentlichen Verkehr angebunden wie die in Abbildung 32 (unten) dargestellten Zuglinien verdeutlichen. Die Großstädte besitzen zudem ein ausgeprägtes ÖPNV-Netz. So verwundert es nicht, dass seit dem Ende der 1960er-Jahre entlang dieser Achse die drei genannten Ruhrgebietsuniversitäten angesiedelt wurden. Insbesondere der Norden und Teile des Südens des Ruhrgebiets sind hingegen weniger stark besiedelt und schlechter an die öffentlichen Verkehrsmittel angebunden. Diese Regionen verzeichnen höhere



Abbildung 32: Bevölkerungsdichte und Zug-Liniennetz im Ruhrgebiet: Auszüge der dynamischen Karte des RVRs (2024, S. 1). Lizenzen: RVR und Kooperationspartner, dl-de/by-2-0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0), und ALKIS, ATKIS des/der Land NRW/Katasterämter, dl-zero-de/2.0 sowie OpenStreetMap – Mitwirkende, Open Database License.

Anteile an Autobesitz (Imobis 2020, S. 14–21; RVR 2024, S. 1), welcher zusätzlich durch ein stark entwickeltes Autobahnnetz im ganzen Ruhrgebiet gestützt wird (Schönharting 2002, S. 120–127).

Das ÖV-Angebot ist – ebenso wie die Verwaltungsstruktur – komplex und stark fragmentiert (Imobis 2020, S. 14–21; Rammner et al. 2019, S. 1–8). Um die Akzeptanz des ÖVs im Ruhrgebiet zu steigern, ist es nach Kohaupt-Cepera (2025, S. 19–20) notwendig, sowohl einheitliche Buchungsstrukturen als auch neuartige öffentliche Verkehrsangebote (z. B. On-Demand- und Sharing-Angebote) zu implementieren. Hinsichtlich der Implementierung einheitlicher Buchungsstrukturen wurde in den letzten Jahren eine zusammenhängende und übersichtliche Tarifstruktur, basierend auf der zurückgelegten Distanz (Stadtwerke Neuss 2021, S. 1), in NRW erprobt. Diese Idee greift nun das digitale und NRW-weit verfügbare eezy-Ticket auf. Der Preis errechnet sich bei diesem über die zurückgelegte Luftlinien-Strecke, überschreitet aber niemals 63 Euro im Monat (eezy.nrw 2026, S. 1). Auch das im vorherigen Kapitel vorgestellte Deutschlandticket hilft durch seine universelle Gültigkeit im Nahverkehr, die Tarifstrukturen in NRW weiter zu vereinfachen. Zukünftig soll im Rahmen der 2019 gestarteten und drei Milliarden Euro Fördergeld umfassenden ÖPNV-Offensive des Landes NRW die Qualität des Bahnfahrens umfassend gesteigert werden (Landesregierung Nordrhein-Westfalen 2021, S. 1). Zuletzt kam es jedoch im Nahverkehr der Bahn zu einer Vielzahl an Verspätungen und Ausfällen, welche durch Baumaßnahmen und Personalmangel begründet sind (Wolf 2022, S. 1) und infolge eines Sanierungsstaus des Bahnnetzes (Verkehrsrundschau 2026, S. 1) auch weiterhin anhalten werden.

Das Fahrrad als Verkehrsmittel wird erst in der neueren Planung mitbedacht, entsprechende öffentliche Projekte wie der Radschnellweg 1, welcher die Städte des Ruhrgebiets verbinden soll, stocken jedoch in ihrer Planung und Umsetzung (Wrede 2023, S. 1). Abseits des Individualbesitzes des Fahrrads besteht ein ausgedehntes Bicycle-Sharing-Netz des Anbieters Nextbike in den größeren Städten des Ruhrgebiets. Der Anbieter kooperiert hierfür teilweise direkt mit der öffentlichen Hand (nextbike 2025, S. 1). Das „Fahrradklima“, ein Zufriedenheitsindex, wird in Städten des Ruhrgebiets zumeist maximal als ausreichend bezeichnet (vgl. Abbildung 33 und Imobis 2020, S. 14–21; ADFC 2025, S. 1) und trägt so mutmaßlich zu den geringen Nutzungsanteilen des Fahrrads am Modal Split bei.

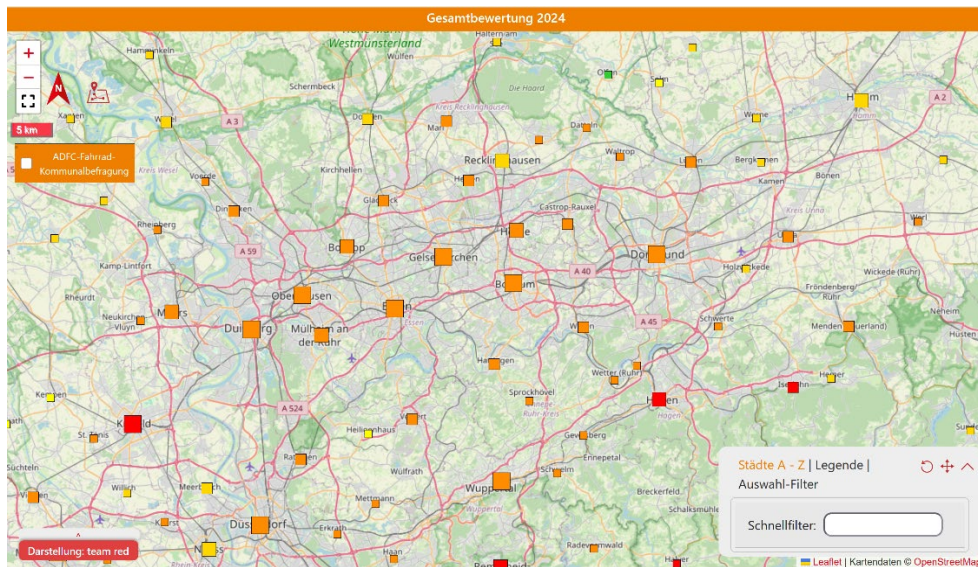


Abbildung 33: Ruhrgebietsausschnitt der Gesamtbewertung des ADFC Fahrradklimatests 2024 (ADFC 2025, S. 1). Je roter die Stadt, desto schlechter das Fahrradklima. Bsp.: Dortmund hat die Schulnote 4,3. Visualisierung von team red (2026) im Rahmen des SmartCity Mobility-Boosters

Anderweitige Sharing-Angebote abseits des Angebots von Nextbike, existieren in vereinzelt Carsharing-Angeboten (Rammler et al. 2019, S. 1–8) und einer Vielzahl an E-Scooter-Anbietern.

Hinsichtlich der verkehrsbedingten Umweltbelastung im Ruhrgebiet existieren keine detaillierten Daten für die einzelnen Verkehrsträger. Eine grobe Orientierung bieten daher die Verkehrsemissionsdaten für das Land Nordrhein-Westfalen (NRW): In NRW sind alle Verkehrsmittel für 13,1 Prozent der gesamten Emissionen des Landes verantwortlich, wobei knapp 90,8 Prozent der Emissionen aus dem (motorisierten) Straßenverkehr resultieren. Hiervon entfallen wiederum 64,2 Prozent auf den Personenkraftwagen. Somit ist das Auto rechnerisch für 7,6 Prozent der Emissionen von NRW verantwortlich. Die zeitliche Betrachtung der Emissionsentwicklung des Verkehrs zeigt, dass sich die Emissionen im Betrachtungszeitraum seit 1990 bis heute zwar um 9,7 Prozent reduzierten, aber somit prozentual weit hinter den CO₂-Reduzierungen anderer Sektoren in NRW zurückfallen (Lang und Kempermann 2021, S. 15–18).

Thematisch übergreifend bescheinigen Rammler et al. (2019, S. 1–8) dem Ruhrgebiet eine mangelhafte Umweltgerechtigkeit, welche aus den negativen Folgen des motorisierten Individualverkehrs und einer Mobilitäts-Zugangsungerechtigkeit durch die teils mangelnde ÖPNV-Versorgung entstehe (Rammler et al. 2019, S. 1–8). Roos und Lewalder (2021, S. 343–358) spitzen diesen Gedanken noch weiter zu und nennen die Mobilität des Ruhrgebiets ein dysfunktionales System im Lock-in, da einerseits das Mobilitätsbedürfnis nicht ausreichend befriedigt und andererseits der Verkehr nicht nachhaltiger

würde. Zum Aufbrechen des Lock-ins komme insbesondere der Wissenschaft eine entscheidende Rolle zu, da sie den Status-Quo idealerweise objektiv analysieren und entsprechende Maßnahmen an Entscheidungsträger:innen weitergeben könne. In diesem Kontext siedelte sich das universitäre Forschungsprojekt InnaMoRuhr (2023) „Integrierte nachhaltige Mobilität für die UA Ruhr“ an, welches vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr (vormals Verkehrsministerium) des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wurde und in dessen Kontext auch die vorliegende Arbeit entstand (vgl. Kapitel 5). Das Ziel des Projekts war es, herauszufinden, wie die Mobilität des Ruhrgebiets, insbesondere der Universitätsangehörigen, nachhaltiger gestaltet werden kann.

4 SMNT der Mobilität und Hypothesenentwicklung

Insgesamt zeigen die im vorherigen Kapitel auf Basis der Multi-Level Perspective präsentierten Ergebnisse einen bestenfalls inkrementellen nachhaltigen Wandel des Personenverkehrs in Deutschland und des Ruhrgebiets im Speziellen auf; eindeutige Lösungsansätze für die (politisch angestrebte) nachhaltige Transformation der Mobilität lassen sich auf dieser Grundlage schwerlich identifizieren. Die Verortung der MLP-Ergebnisse im SMNT verdeutlicht (vgl. Abbildung 34): Zwar können historische (inkrementelle Entwicklung der autogestützten Mobilität) sowie aktuelle und zukünftige Entwicklungen auf Makro- und Mesoebene (bestehende Dominanz des MIVs, Elektrifizierung und Sharing-Angebote, Digitalisierung etc.) ausführlich durch die MLP beschrieben werden. Jedoch sind besonders im Straßenverkehr nicht zwangsläufig soziotechnische Innovationen allein entscheidend: Mobilitätsverhaltensänderungen unter der Nutzung bestehender Technologien sind ebenso relevant für eine zukünftige nachhaltige Mobilität. Die dezidierte Betrachtung des Mobilitätsverhaltens und somit der Mikroebene bleibt in der MLP hingegen unterrepräsentiert wie die Verortung in Abbildung 34 verdeutlicht. Existierende Mobilitätsroutinen, Aspekte des Wissens, Könnens und der moralischen Haltung sowie Effektstärken von Governance-Maßnahmen auf das Mobilitätsverhalten können nicht detailliert auf Basis der MLP analysiert werden (Whitmarsh 2012, S. 483–487). Infolgedessen gehen Einzelentscheidungen und Verhaltensänderungen in der „gesamtgesellschaftlichen“ Perspektive der MLP unter.

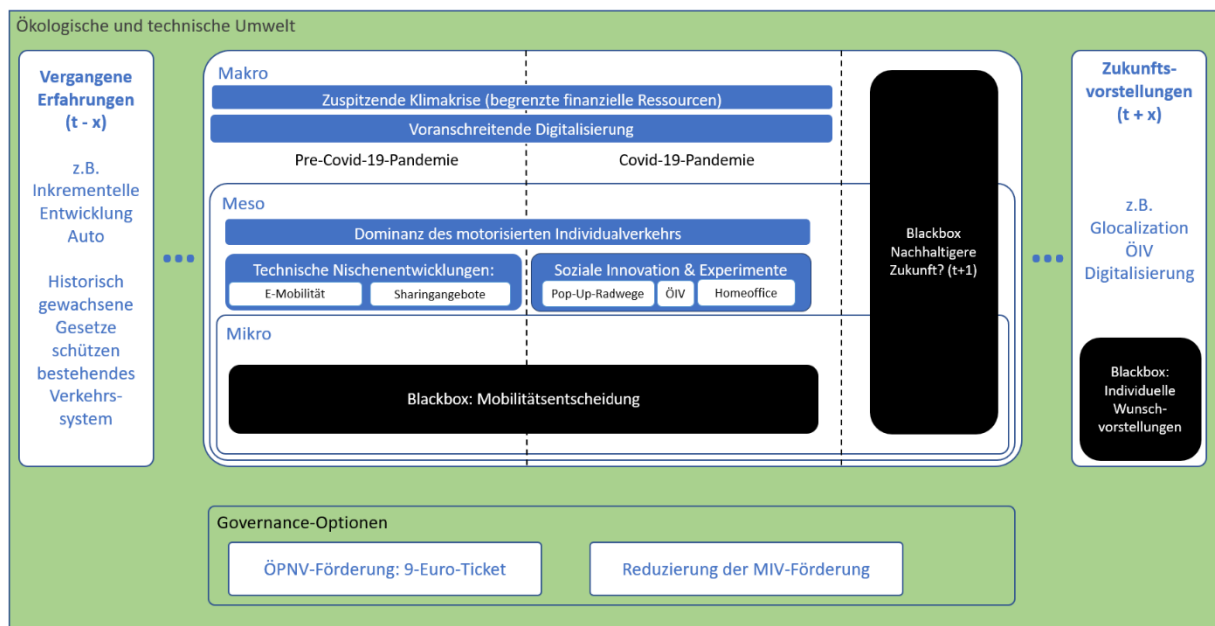


Abbildung 34: Stark zusammengefasste Adaption der MLP-Ergebnisse im Sinne des SMNT

Dies ist insofern problematisch, da anzunehmen ist, dass Innovationen, Infrastruktur- und politische Maßnahmen die Mobilitätsentscheidungen der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer:innen individuell beeinflussen und hierdurch auch zu unterschiedlichen Reaktionen entsprechend ihrer Anpassungskapazitäten führen. Die Verteilungsdebatte um den öffentlichen Raum und der unterschiedliche Handlungsspielraum in Abhängigkeit des sozioökonomischen Status sind hierfür im Rahmen dieser Arbeit bereits genannte Beispiele.

Zudem können mit der MLP-Heuristik systematisch weder die Beweggründe und die Entscheidungsdeterminanten der Individuen dargestellt noch etwaige abweichende Wunschvorstellungen der Mobilität auf der Mikroebene verortet werden, da sie nur ein kleiner Teilaspekt des umfassenden Regimes sind. Durch diesen fehlenden mikrosoziologischen Betrachtungswinkel lassen sich entsprechend auch nur schwerlich die zukünftigen aggregierten Auswirkungen etwaiger Makro- und Mesoentwicklungen und Governancemaßnahmen prognostizieren, da die direkten Auswirkungen etwaiger Maßnahmen auf das individuelle Mobilitätsverhalten nicht erfasst werden können – die Transformationsarena kann nicht vollständig erforscht und dargestellt werden.

Um diese Leerstellen zu adressieren, werden in diesem Kapitel bestehende sozialwissenschaftliche Ansätze präsentiert, welche die individuelle Mobilitätsentscheidung dezidiert betrachten (vgl. Kapitel 4.1). Weiterhin wird die Methode der agentenbasierten Verkehrssimulation vorgestellt (vgl. Kapitel 4.2), welche genutzt werden kann, um die verschiedenen Ebenen der Transformationsarena Mobilität detailliert zu modellieren, also sowohl Infrastruktur (z.B. Straßen- und Schienennetz), Innovationen (z.B. E-Mobilität, Sharing), Mobilitätsverhalten sowie politische Maßnahmen. Mit Hilfe dieser Simulation lassen sich dann auch Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Transformationsarena sowohl hinsichtlich der Verkehrslage als auch relevanter Nachhaltigkeitsaspekte erstellen. Durch eine derartige kombinierte Betrachtung von Makro-, Meso- und Mikroebenen kann, im Sinne des SMNT, eine Transformationsarena mit ihrem Transformationspotenzial ganzheitlich abgebildet werden. Abschließend werden, basierend auf dem so an die Transformationsarena Mobilität angepassten SMNT, Forschungshypothesen entwickelt, welche die weitere Forschung dieser Arbeit leiten (vgl. Kapitel 4.3).

4.1 Mikrosoziologische Betrachtung des Verkehrs

Ähnlich der vorher genannten Kritik von Whitmarsh (2012, S. 483–487) betonen auch Doll et al. (2019, S. 83–95) und Scheiner und Holz-Rau (2007), dass die Beschreibung bestehender und zukünftiger Verkehrsmittel mitsamt

ihren spezifischen Charakteristika alleine nicht ausreicht, um die Entwicklung des zukünftigen Modal Splits vorherzusagen. Die konkrete Entscheidung für ein Verkehrsmittel hänge von verschiedenen miteinander verknüpften Kontextfaktoren ab, beispielsweise von verfügbaren Optionen, individuellen Aspekten wie dem Besitz eines Autos und psychologischen Faktoren wie den persönlichen Einstellungen. Einige Faktoren sind hierbei objektiv messbar wie beispielsweise die Fahrzeit, andere subjektive Faktoren wie Gewohnheiten oder die gefühlte Komplexität hingegen weniger. Insbesondere die subjektiven Faktoren würden in der Verkehrsforschung zumeist vernachlässigt.

4.1.1 Einflussfaktoren der Verkehrsmittelwahl

Marcel Hunecke (2015, S. 9–46) verweist vertiefend auf die drei maßgeblichen psychologischen Einflussfaktoren auf das Mobilitätsverhalten: Kontrollüberzeugung, Einstellungen und Normen. Erstere stellen die „subjektive Bewertung der Umsetzbarkeit der eigenen Mobilitätsziele im jeweiligen Lebenskontext“ (Hunecke 2015, S. 12) dar, also die Erfahrung selbstständig und autark seine Mobilitätswünsche erfüllen oder nicht erfüllen zu können. Als zweiter Einflussfaktor wurden in der Mobilitätsforschung maßgeblich die Einstellungen gegenüber unterschiedlichen Verkehrsmitteln erforscht und beeinflussen das Verhalten insbesondere dann, wenn diese leicht verständlich und über einen längeren Zeitraum unverändert sind. Als letzten Faktor stellt Hunecke die internalisierten und individuell weiterentwickelten Erwartungen von Personengruppen bzw. der Gesellschaft dar. Final kommt Hunecke zu dem Schluss, dass ein rein verhaltensökonomischer Ansatz, also die ausschließliche Betrachtung von finanziellen und zeitlichen Aspekten, aus sozialpsychologischer Perspektive unterkomplex sei.

Zusätzlich verkomplizierend ist, dass die Wahl eines Verkehrsmittels nicht eine jedes Mal neu zu treffende bewusste Entscheidung des Individuums ist. Vielmehr ist das Mobilitätsverhalten durch Routinen (in der englischsprachigen Fachliteratur: „habits“) geprägt, welche durch eine wiederholte erfolgreiche oder zufriedenstellende Verkehrsmittelwahl in der Vergangenheit entstehen und hierdurch eine Verhaltensänderung erschweren (Hunecke 2015, S. 34; Matthies et al. 2006, S. 104; Doll et al. 2019, S. 83).

Eine gelungene Zusammenfassung von individueller Bewertung und Verhaltensroutinen in der Verkehrsmittelwahl bietet Schneider (2013, S. 128–137) mittels seiner „Theory of Routine Mode-Choice Decision“ (TRMCD), die die relevanten sozialwissenschaftlichen und sozialpsychologischen Aspekte des alltäglichen Mobilitätsverhaltens in einem fünfstufigen Modell zusammen-

fasst. Weiterhin validiert Schneider das aus einer Literaturanalyse entstandene Modell mithilfe einer extensiven international durchgeführten Interviewstudie:

Die individuelle Verkehrsmittelwahl (vgl. Abbildung 35) ist der TRMCD folgend, zunächst abhängig von dem Bewusstsein über verschiedene Verkehrsmittel und der tatsächlichen Verfügbarkeit der Verkehrsmittel (1), denn nur ein dem Individuum bekanntes und existierendes Verkehrsmittel kann tatsächlich auch genutzt werden. Im Verkehrsmittelauswahlprozess werden, der Theorie folgend, anschließend die unterschiedlichen Eigenschaften der unterschiedlichen Handlungsoptionen abgewogen: Verkehrssicherheit und allgemeines Sicherheitsempfinden (2), (Zeit-) Aufwand und Kosten (3) sowie anderweitige Motivatoren (4) wie gesundheitliche, soziale oder ökologische Vorteile. Final führt die Nutzung eines Verkehrsmittels zu einer Habitualisierung der Verkehrsmittelentscheidung, welche dann zukünftige Verkehrsmittelentscheidungen beeinflusst (5).

Zwar gibt Schneider, basierend auf den Ergebnissen seiner Studie, die dargestellte initiale Reihenfolge der Schritte 2-4 vor, betont aber ebenso, dass noch weitere Forschung notwendig sei, um eine tatsächliche Reihenfolge zu bestimmen.

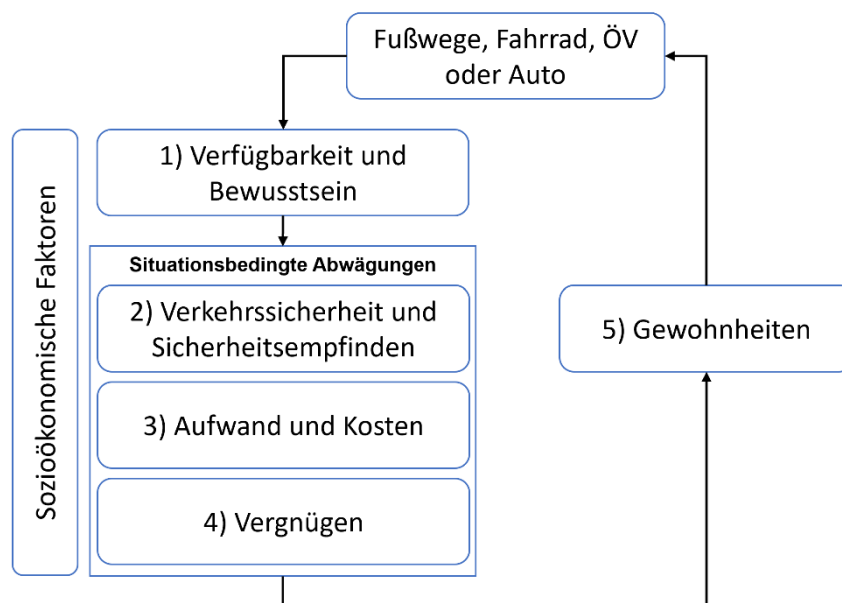


Abbildung 35: Vereinfachte eigene Darstellung der Theory of Routine Mode Choice Decisions von Schneider (2013, S. 129)

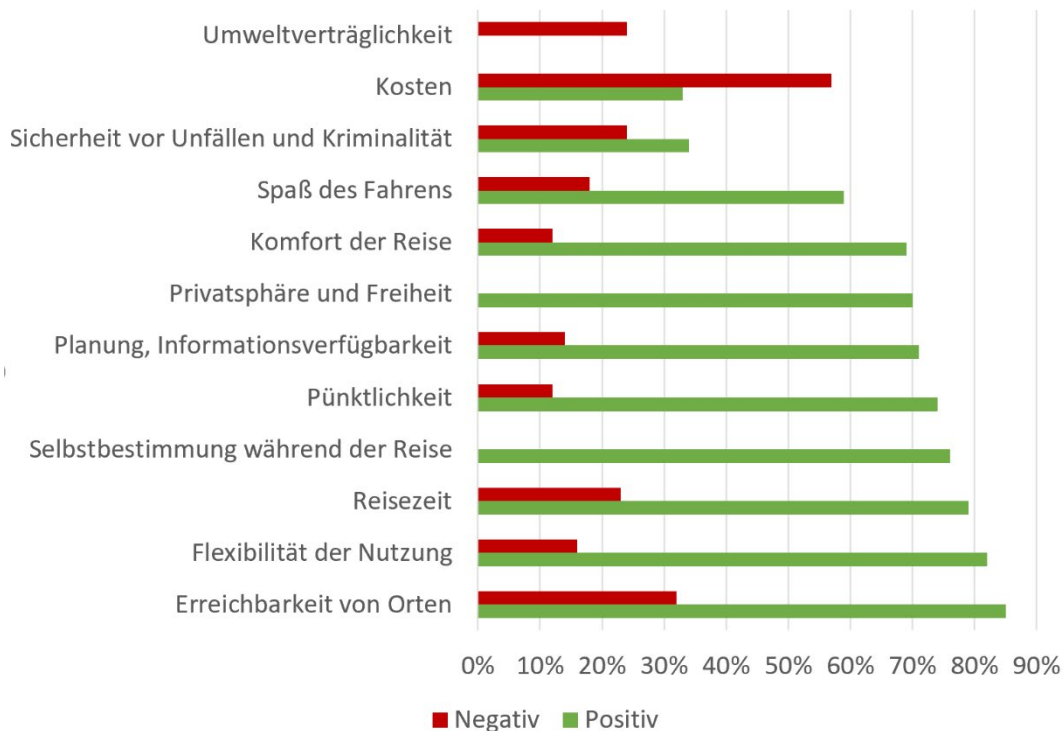


Abbildung 36: Unterschiedliche Push-out und Pull-in Faktoren des motorisierten Individualverkehrs. Eigene Darstellung in Anlehnung an Knuth und Geissler (2012, S. 73)

Hierzu haben Knuth und Geissler (2012, S. 55–79) bereits geforscht: Sie schlagen Push-out und Pull-in Faktoren vor, welche für oder gegen die Nutzung des Verkehrsmittels sprechen. So spricht für die Autonutzung beispielsweise die Flexibilität der Nutzung. Gegen die Nutzung sprechen hingegen die Kosten und die Umweltverträglichkeit (vgl. Abbildung 36). Die vorgestellten Faktoren sind jedoch für jedes Verkehrsmittel unterschiedlich, wodurch die Vergleichbarkeit der Verkehrsmittel untereinander erschwert wird.

4.1.2 SEU-Theorie zur Modellierung von Mobilitätsentscheidungen

Einen leichter generalisierbaren Ansatz, welcher zugleich die individuell unterschiedlichen Einstellungen gegenüber den Verkehrsmitteln und die verfügbaren Handlungsalternativen berücksichtigt, präsentieren Adelt et al. (2018, S. 1–22). Hierfür bedienen Sie sich der Esser’schen Subjective-Expected-Utility-Theorie, kurz SEU-Theorie (Esser 1991, S. 430–445). Die Entscheidung für oder gegen eine Handlungsalternative trifft das Individuum der SEU-Theorie zufolge, basierend auf einer Gewichtung der existierenden Handlungsalternativen: „Das Handlungsergebnis ist jedesmal die Folge eines Prozesses der Gewichtung der Folgen bestimmter Alternativen. In diese Gewichtung gehen in beiden Varianten (subjektives) Wissen und Bewertungen ein: über „Möglichkeiten“ bzw. „subjektive Erwartungen einerseits; und über Um-zu-Motive hinsichtlich bestimmter Ziele bzw. Bewertungen denkbarer „outco-

mes“ andererseits.“ (Esser 1991, S. 435). Somit spiegelt die SEU-Theorie einerseits die Idee des SMNT wider, dass der Entscheidungsprozess von den im SMNT vorgestellten Variablen Können, Wissen und Haltung abhängt (vgl. Kapitel 2.3.7). Andererseits können mithilfe dieses Ansatzes im Sinne der analytischen Soziologie einfache Handlungsmodelle erstellt werden, um komplexe soziale Dynamiken zu modellieren (Kroneberg 2014, S. 95–97).

Konkret lässt sich die SEU-Theorie mit der Formel

$$SEU(A_i) = \sum_{j=1}^n p_{ij} * U(O)_j$$

darstellen. Nach dieser Formel entscheidet sich ein Agent stets für die Alternative (A) mit dem größten subjektiv wahrgenommenen Nutzen aller Alternativen (i). Dieser setzt sich zusammen aus einer Multiplikation der Bewertung eines erwarteten Ergebnisses $U(O)$ mit der Wahrscheinlichkeit der individuellen Zielerreichung p . Die Bewertung und Einschätzung der Handlungsalternativen ist hierbei stark subjektiv und führt somit zu heterogenen Entscheidungen von heterogenen Individuen.

Für das Beispiel der Mobilität greifen Adelt et al. (2018, S. 13–14) auf die Ergebnisse einer quantitativen Studie zurück, in welcher die Teilnehmenden hinsichtlich ihrer individuellen Mobilitätspräferenzen (Kosten, Geschwindigkeit, Umweltfreundlichkeit und Komfort) befragt wurden. Zusätzlich wurden die Befragten ebenso um eine Bewertung der unterschiedlichen Verkehrsmittel gebeten und gefragt, inwiefern die unterschiedlichen Verkehrsmittel die gleichen oben genannten Ziele erfüllen. Mittels der simulativen Adaption der Formel (vgl. Kapitel 6.2) kann dann die beste Mobilitäts-Handlungsalternative für das jeweilige Individuum berechnet werden.

Weiterhin nutzen Adelt et al. (2018, S. 13) die erhobenen individuellen Einstellungen, um mittels einer Clusteranalyse unterschiedliche Mobilitätstypen

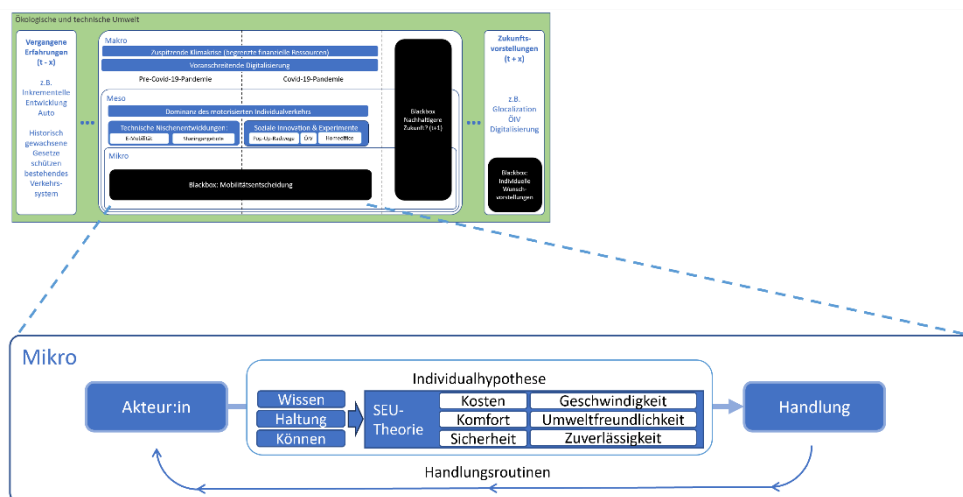


Abbildung 37: Eingebettete Mikroebene des SMNT der Mobilität

zu identifizieren und somit realistischer simulieren zu können (vgl. Kapitel 2.3.4). Diese können dann weiterhin auch für eine spezifische Auswertung nach Agentengruppen genutzt werden.

Zusammengefasst lässt sich die theoretisch angereicherte SMNT-Mikroebene der Transformationsarena Mobilität wie folgt darstellen (vgl. Abbildung 37): Die Akteur:innen als Teil des erweiterten soziotechnischen Systems der Mobilität treffen ihre Mobilitätsentscheidung basierend auf individuellen Mobilitätspräferenzen wie Kosten, Geschwindigkeit, Komfort, Umweltfreundlichkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit. Hierbei wird die Mobilitätsentscheidung durch das Wissen, die Haltung und das Können des Individuums beeinflusst. Zuletzt entstehen durch die (wiederholte) Mobilitätsentscheidung Handlungs-routinen, welche zukünftige Verhaltensänderungen erschweren.

4.2 Simulationen in den Sozialwissenschaften

Um die Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen und Governance-Maßnahmen unter Berücksichtigung bestehender (Infra-)Strukturen und individueller Einstellungen zu prognostizieren, bieten sich Methoden der computergestützten Modellierung an. Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten der Modellierung, jedoch vereint die unterschiedlichen Ansätze, dass eine Modellierung stets ein heruntergebrochenes und auf zentrale Aspekte und Wirkzusammenhänge reduziertes Abbild eines zu betrachtenden Systems darstellt. Methodisch werden Modellierungen unterschiedlich umgesetzt: Ein betrachteter Sachverhalt kann beispielsweise in voneinander abhängigen mathematischen Formeln ausgedrückt werden oder für komplexere Überlegungen als Computerprogramm geschrieben werden.

So entstandene Modelle können dann nach Belieben geformt und angepasst werden, um Eingriffe und Veränderungen, welche in der Realität zum Beispiel aufgrund großer finanzieller Kosten oder einem großen bürokratischen Aufwand schwer oder nicht umsetzbar sind, virtuell zu erproben. Formale Modelle, also Modelle, welche die Interdependenz der Akteur:innen berücksichtigen und Parameter theoretisch begründet wählen oder schätzen, bieten hierbei die Möglichkeit, eine Brücke zwischen Theorie und Empirie zu bilden (Bianchi und Squazzoni 2019, S. 60).

Agentenbasierte Simulationen

Insbesondere agentenbasierte Simulationen, also Simulationen, in welcher die Handlungen und Bewegungen von individuell handelnden Akteur:innen

(sog. „Agenten“⁶) virtuell abgebildet werden, welche mit der (technischen) Umwelt sowie auch untereinander agieren (vgl. Praktiken und Infrastrukturen nach Adloff und Neckel 2019, S. 169–170), bieten sich für die Untersuchung sozialwissenschaftlicher Phänomene an. Der Grund hierfür liegt darin, dass durch die Simulation mikroskopischer Interaktionen Rückschlüsse auf Effekte in makroskopischen Strukturen gezogen werden können (Flache und Mäs 2015, S. 491). Gleichzeitig werden Agenten auch durch die makroskopische Umwelt, die sie selbst durch ihr Handeln erschaffen, beeinflusst. Erste agentenbasierte Simulationen mit sozialwissenschaftlichem Bezug existieren bereits seit den 60er Jahren, haben sich aber erst in den letzten 20 Jahren als zusätzliche empirische Methode in den Sozialwissenschaften etabliert.

Während der Erstellung einer agentenbasierten Simulation bestehen diverse Freiheitsgrade in der inhaltlichen Ausgestaltung, welche den oder die Modellierer:in dazu zwingen, Designentscheidungen zu treffen: Es gilt fundierte Annahmen bezüglich der Entscheidungsfunktionen der Agenten zu entwickeln, welche Eigenschaften Agenten besitzen und ob diese sichtbar für andere Agenten sind. In der Vergangenheit wurde die individuelle Entscheidungsfindung der Agenten oftmals unterkomplex oder allein anhand von wirtschaftlichen Aspekten modelliert. Hier konnten sich Wissenschaftler:innen des Fachgebiets Techniksoziologie der TU Dortmund mit einem neuen soziologisch fundierten Ansatz profilieren, indem sie die agentenbasierte Simulation mit dem Modell der soziologischen Erklärung verknüpften. Hierdurch ließen sich subjektive Einstellungen in der Entscheidungsfindung berücksichtigen und so agentenbasierte Simulationen bspw. der Mobilität oder des Energienutzung realitätsnäher entwickeln (vgl. Adelt et al. 2018; Hoffmann et al. 2020). Abseits des individuellen Handlungskalküls muss auch die Interaktionsstruktur modelliert werden, beispielsweise das Netzwerk, in welchem die Agenten sich bewegen, aber auch der Aspekt wie sich der zeitliche Ablauf der Simulation und etwaige Interaktionen gestalten (Flache und Mäs 2015, S. 494–499).

Insbesondere die Chance, auch unerwartete, nicht-lineare Effekte zu identifizieren, machen die Simulationen für die Betrachtung komplexer soziotechnischer Systeme interessant. Der jeweilige thematische Betrachtungsgegenstand der Simulationen kann jedoch stark variieren: Es können soziale Netzwerke, die Entwicklung von Normen oder Kooperation, aber auch die für diese Arbeit relevante Mobilität modelliert werden (Flache und Mäs 2015, S. 492–493).

⁶ Der Begriff Agenten lehnt sich an den englischen Fachbegriff „Agents“ an. Er bezeichnet eine geschlechterneutrale künstliche Entität, weswegen er im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht gegendert wird.

Agentenbasierte Verkehrssimulationen

Es existiert eine Vielzahl an wissenschaftlichen und kommerziellen Verkehrs- und Mobilitätssimulationen, welche jedoch unterschiedliche Simulationsschwerpunkte setzen (Weyer et al. 2022, S. 158–163). Exemplarisch werden in diesem Kapitel die sozialwissenschaftlich fundierte Verkehrssimulationen SimCo sowie die der Verkehrsplanung entstammende Simulation MATSim vorgestellt⁷.

Die agentenbasierte Simulation SimCo (*Simulation of the Governance of Complex Systems*) modelliert Agenten, welche sich in einem abstrakten Netzwerk aus Knoten (Kreuzungen) und Kanten (Straßen) bewegen (vgl. Abbildung 38). Diese wählen in ihrer Verkehrsmittelwahl die Handlungsoption mit dem subjektiv am höchsten wahrgenommenen Nutzen. Die Verkehrsmittelwahl ist hierbei an der zuvor genannten SEU-Theorie orientiert. SimCo hat insbesondere das Ziel, die Steuerbarkeit komplexer Systeme zu erforschen und wurde genutzt, um eine Vielzahl an Governance-Eingriffen hinsichtlich ihrer Effekte zu überprüfen und vergleichen: Harte und weiche Steuerung (Weyer et al. 2020, S. 42–47), politische Governance-Forderungen (Philipp und Adelt 2018, S. 23–50), aber auch die Auswirkung neuer Technologien (Philipp et al. 2021, S. 359–368). Diese Simulation politischer Maßnahmen und veränderter Strukturen erlaubt eine vergleichende Analyse und kann Grundlage oder Entscheidungshilfe für realpolitische Entscheidungen sein. Gleichzeitig können aber auch wissenschaftliche Implikationen wie etwaige Kippunkte der Mobilität identifiziert werden.

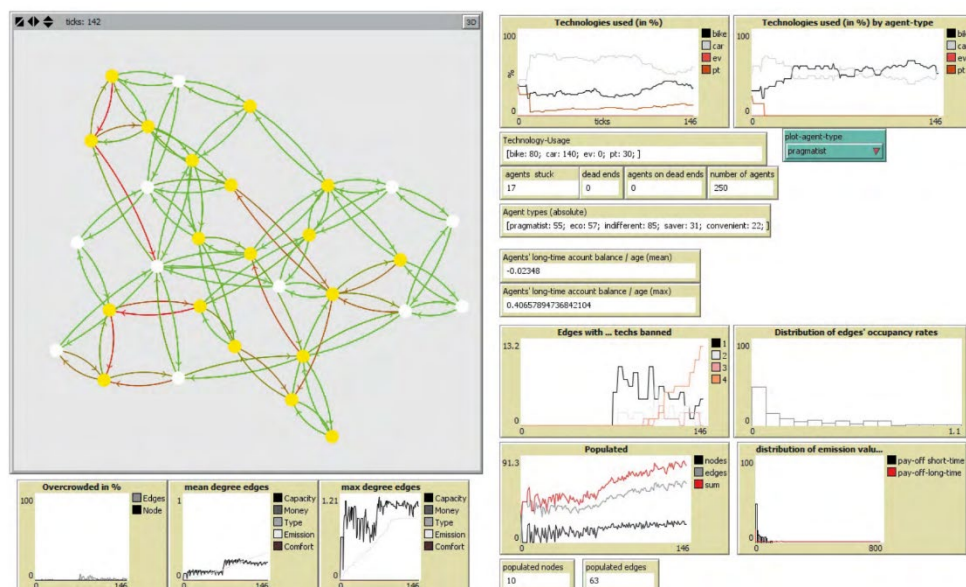


Abbildung 38: Benutzeroberfläche des Simulators SimCo (Darstellung von Adelt und Hoffmann 2017, S. 40 – CC BY 4.0)

⁷ Eine ausführliche technische Beschreibung der in dieser Arbeit verwendeten MATSim-Simulation findet sich in Kapitel 6.1

In den letzten Jahren konnte sich jedoch insbesondere die Verkehrssimulation MATSim (*The Multi-Agent Transport Simulation*) in der internationalen wissenschaftlichen Forschung durchsetzen. Maßgebliche Erfolgsgründe hierfür sind sowohl die realitätsnahe Darstellung des Straßennetzwerks (vgl. Abbildung 39) sowie die Offenheit und Modularität der Simulation, wodurch sich eine breite Entwicklercommunity herausgebildet hat. Bereits erstellte Szenarien umfassen große deutsche Städte wie Hamburg (Zwick und Axhausen 2020, S. 1–13) oder Berlin (Ziemke et al. 2019b, S. 870–877), aber auch Los Angeles (Rodier und Chai 2022, S. 1–2) oder das ganze Land Schweden (Marquez-Fernandez et al. 2022, S. 615–625).

Ein Simulationsdurchlauf beschreibt immer das Mobilitätsverhalten einer Population an einem ganzen Tag und greift hierfür auf individuelle Tagespläne der Agenten zurück. Diese versuchen ihren Tagesablauf möglichst effizient zu erfüllen. MATSim modelliert dabei die Mobilitätsentscheidung maßgeblich aus einer verkehrsplanerischen Sicht unter der alleinigen Berücksichtigung von monetären und zeitlichen Aspekten und lässt hierdurch die im vorherigen Kapitel als relevant identifizierten sozialwissenschaftlichen und sozialpsychologischen Aspekte der Verkehrsmittelwahl größtenteils außer Acht. Weiterhin werden die der Simulation zugrunde liegenden Wegeketten zumeist zufällig, basierend auf allgemeinen Verkehrskennzahlen, generiert und nicht szenario-spezifisch sozialwissenschaftlich erhoben.

Zusammengefasst besitzen die beiden vorgestellten Simulationen SimCo und MATSim daher unterschiedliche Ansatzpunkte, die menschliche Mobilität zu simulieren und somit auch unterschiedliche Stärken und Schwächen hinsichtlich der Simulationsperspektive. Dabei ist das Ziel beider Simulationen – die Prognose der Effekte eines veränderten Mobilitätsverhaltens – ein ähnliches und auch die grundsätzliche Idee der Simulation eines Verkehrssystems ist

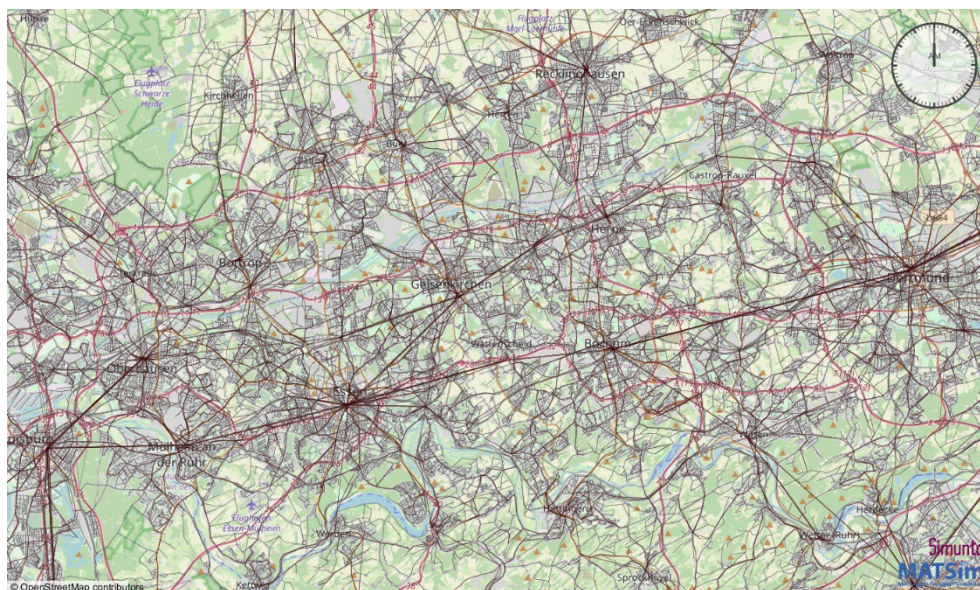


Abbildung 39: Eigene Visualisierung des MATSim-Straßennetzwerks des Ruhrgebiets (Grau) mit Simunto auf Basis von OpenStreetMap (Lizenz: ODbL)

vergleichbar. Daher erscheint eine Kombination der beiden Ansätze und ihrer jeweiligen Stärken als fruchtbar (vgl. Kapitel 6).

4.3 Hypothesensynthese

Ausgehend von der Anreicherung des SMNT mit empirischen Forschungsergebnissen zur Mobilität Deutschlands und des Ruhrgebiets im 4. Kapitel, wurden in diesem Kapitel passende sozialwissenschaftliche Methoden und Erklärungsansätze vorgestellt, um die Transformationsarena Mobilität möglichst umfassend empirisch darzustellen und so perspektivisch Determinanten einer erfolgreichen nachhaltigen Transformation zu identifizieren.

Basierend hierauf, lässt sich eine Vielzahl an zu untersuchenden Forschungshypothesen identifizieren, welche sich einerseits statistisch mittels einer Befragung (HF) und andererseits simulativ (HS) beantworten lassen. In dieser Arbeit werden daher exemplarisch acht Hypothesen formuliert und beantwortet, jedoch ist eine künftige weitergehende Entwicklung von Forschungshypothesen entlang des SMNT denkbar und gewollt (vgl. Abbildung 40).

Bezüglich der ökologischen Umwelt des SMNT der Mobilität konnte in Kapitel 1.1 die Notwendigkeit eines ökologischen nachhaltigen Wandels und die Verknüpfung zur sozialen Dimension und etwaigen Gerechtigkeitsfragen aufgezeigt werden. Wie die darauffolgenden Kapitel verdeutlichten, ist es unklar bis unwahrscheinlich, dass der deutsche Verkehrssektor die selbst gesteckten Ziele erreichen kann. Ebenso wurde gezeigt, dass ein nachhaltiger Wandel im Verkehrssektor maßgeblich durch eine Reduzierung der MIV-Nutzung und einer Steigerung der Rad- und ÖPNV-Nutzung erreicht werden kann – ein Ziel, welches in der Vergangenheit durch technische Innovationen

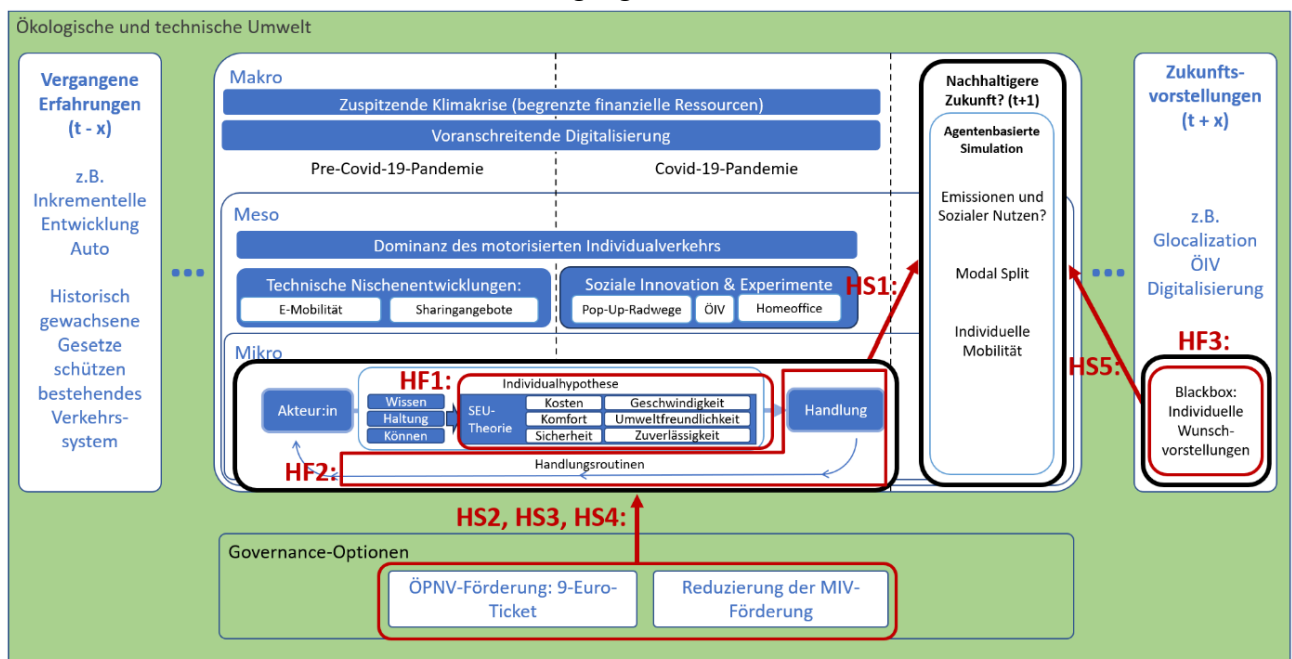


Abbildung 40: Hypothesensynthese basierend auf dem SMNT der Mobilität

und politische Maßnahmen nur bedingt erreicht werden konnte. Zudem bleibt unklar, ob die statischen Trends der vergangenen Jahre weiter anhalten. Jedoch konnte in Kapitel 4.1 die Relevanz der sozialwissenschaftlichen und sozialpsychologischen Aspekte in der Verkehrsmittelwahl (subjektiv wahrgenommenen Kosten, Geschwindigkeit, Komfort, Umweltfreundlichkeit, Sicherheit sowie Zuverlässigkeit) sowie von existierenden Mobilitätsroutinen für das tatsächliche Mobilitätsverhalten aufgezeigt werden. Diese sind in der traditionellen Verkehrsplanung oft unterrepräsentiert. Die in Kapitel 3 beschriebenen Konflikte bezüglich der Aufteilung des öffentlichen Raums zwischen den Verkehrsteilnehmer:innen könnten ein Resultat davon sein, dass sich die Ausprägung der Präferenzen und die subjektive Bewertung der Verkehrsmiteleigenschaften zwischen den Individuen (stark) unterscheiden. Hier erscheint für die Betrachtung der Transformationsarena Mobilität – wie in der theoretischen Entwicklung des SMNT beschrieben (Kapitel 2.3.4) – eine gruppierte Betrachtung der Akteur:innen sinnvoll, um unterschiedliche Mobilitätstypen identifizieren zu können.

Aus diesem Grund lautet die zu untersuchende Hypothese:

Hypothese F1: Es existieren heterogene Mobilitäts-Akteurstypen, welche sich hinsichtlich ihrer subjektiven Einstellungen und Verkehrsmittelbewertungen unterscheiden.

Weiterhin wurde in Kapitel 4.1.1 die hohe Relevanz existierender Verkehrsmittelroutinen für die tatsächliche Verkehrsmittelwahl hervorgehoben. Daher stellt sich die Frage, ob und wie sich die bestehenden Mobilitätsroutinen zwischen den unterschiedlichen Akteursgruppen unterscheiden und ob die SEU-Theorie allein das tatsächliche Mobilitätsverhalten erklären kann. Dies ist für das komplexe soziotechnische System des Personenverkehrs tendenziell nicht erwartbar, da die kontextabhängige Interaktion (z.B. Stau, Infrastruktur) durch die SEU-Handlungstheorie (wonach z.B. das Auto aufgrund wiederholter Staus als langsamer wahrgenommen wird) höchstens indirekt erfasst werden kann.

Hieraus ergibt sich eine zweite Hypothese:

Hypothese F2: Die unterschiedlichen Akteurstypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Mobilitätsroutinen. Diese sind nicht allein durch die SEU-Theorie-basierte Verkehrsmittelwahl zu erklären.

Hierbei kann eine sozialwissenschaftlich angereicherte Verkehrssimulation helfen, indem genannte subjektive Einstellungen wie auch verkehrstechnische (z.B. Stau) und infrastrukturelle Aspekte (z.B. ÖPNV- und Straßennetzwerk oder Stadtstruktur) miteinander in der Simulation kombiniert werden. Dies ermöglicht eine neue produktive Form der interdisziplinären Zusammenarbeit, welche als Ergebnis wissenschaftlich-multidisziplinär fundierte

Handlungsempfehlungen an die Gesellschaft adressieren kann. Dies ist insbesondere für die wissenschaftliche Untersuchung des Ruhrgebiets essenziell, da – wie in Kapitel 3.2 berichtet – das Verkehrsnetz des Ruhrgebiets nicht homogen ist, sondern starke regionale Unterschiede verzeichnet und dementsprechend die existierende Verkehrsinfrastruktur möglichst realitätsnah modelliert werden sollte. Gleiches gilt für die soziodemographischen Ausprägungen der Ruhrgebiets-Bewohner:innen sowie deren Mobilitätsverhalten. Daher erscheint die zuvor theoretisch begründete Notwendigkeit einer gruppierten Betrachtung, basierend auf den subjektiven Einstellungen, generell, aber insbesondere für das Ruhrgebiet und für die Auswertung einer entsprechenden Simulation als sinnvoll. Dabei ist erwartbar, dass die unterschiedlichen Akteursgruppen, aufgrund ihrer individuellen Einstellungen und den infrastrukturellen Rahmenbedingungen unterschiedlich auf Anreize und Governance-Maßnahmen reagieren. Final kann also durch die Kombination von Infrastruktur und individuellem Handlungskalkül eine möglichst realitätsnahe Simulation des Ruhrgebiets erstellt werden, welche sowohl die individuelle und gruppierte Verkehrsmittelwahl, den daraus resultierenden Modal Split und aggregierte externe Effekte darstellen kann.

Hieraus ergibt sich die folgende Hypothese:

Hypothese S1: Die Anreicherung bzw. Kombination bestehender verkehrstechnischer Simulationen durch eine sozialwissenschaftliche Handlungstheorie und empirisch erhobene Wegekettens ermöglicht eine detailliertere Abbildung von (nicht-linearen) meso- und makroskopischen Effekten.

Zudem ist erwartbar, dass die unterschiedlichen Akteursgruppen in einem unterschiedlichen Ausmaß die Umwelt belasten und ebenso einen unterschiedlichen persönlichen Nutzen aus ihrem Mobilitätsverhalten ziehen. Die Simulation erlaubt es daher, den CO₂-Fußabdruck und sozialen Nutzen der Akteursgruppen zu vergleichen. Dies ist insbesondere für die Simulation von Transformationsszenarien interessant: So können exemplarisch die im 4. Kapitel genannten Governance-Optionen des 9-Euro-Tickets, oder die Reduzierung der MIV-Förderung virtuell erprobt und hinsichtlich ihrer Effektivität bewertet werden. Zudem kann auch eine Kombination von unterschiedlichen politischen Eingriffen simuliert werden und so existierende Zukunftsutopien hinsichtlich ihrer sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit bewertet werden.

Hypothese S2: Es ist anzunehmen, dass die Einführung eines 9-Euro-Tickets zu einer nachhaltigeren Mobilität beitragen kann.

Hypothese S3: Ebenso kann die Reduktion der MIV-Förderung helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.

Hypothese S4: Die Kombination von Governance-Optionen kann die Effektivität der Maßnahmen sogar noch weiter steigern.

Bezüglich zukünftiger Visionen wurden im Rahmen der Ergebnisse des Kapitels 3 maßgeblich mesoskopische Visionen dargestellt, welche dann zu einer nachhaltigen Zukunft beitragen können bzw. sollen. Jedoch sind in der bestehenden wissenschaftlichen Literatur individuelle Zukunftsvorstellungen zu wenig erforscht. Hier ist dem SMNT der Mobilität folgend weiterhin von Bedeutung, welches Verkehrsmittel von den Verkehrsteilnehmer:innen idealerweise zukünftig präferiert wird und inwiefern sich dieses von der aktuellen Verkehrsmittelwahl unterscheidet. Gleiches gilt für die Veränderungsbereitschaft der Akteur:innen gegenüber unterschiedlichen Zukunftsszenarien und der Unterstützung unterschiedlicher politischer bzw. infrastruktureller Maßnahmen. Es ist anzunehmen, dass derzeit nicht alle Menschen ihre individuell perfekte Wegekette beschreiten können und offen gegenüber neuen Mobilitätsoptionen und entsprechenden Maßnahmen sind. Somit besteht ein nachhaltiges Veränderungspotenzial. Weiterhin stellt sich die Frage wie eine derartige ideale Wegekette nach Meinung der Akteur:innen aussieht und ob eine Zukunft, in der alle Menschen ihre ideale Wegekette absolvieren könnten, eine nachhaltigere Zukunft sein kann. Hier kann die Simulation aggregierte Ergebnisse liefern.

Daher lauten die abschließenden Forschungshypothesen:

Hypothese F3: Unter den unterschiedlichen Agentengruppen besteht ein unterschiedlich stark ausfallendes Mobilitäts-Veränderungspotenzial: Die alltägliche Wegekette entspricht nicht der Wunschwegekette, unterschiedliche Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen finden Zuspruch.

Hypothese S5: Die Wunschwegekette der Befragten führt zu einer nachhaltigeren Zukunft.

Zusammengefasst ergeben sich also drei Hypothesen, welche die Mikroebene des SMNT betreffen und fünf Hypothesen, welche die zukünftigen Auswirkungen etwaiger Transformationsbemühungen betreffen. Diese acht Hypothesen werden im nachfolgenden empirischen Teil dieser Arbeit einerseits in Form einer quantitativen Befragung (HF1-F3) und andererseits in Form einer agentenbasierten Verkehrssimulation (HS1-S5) bearbeitet. Zudem sind die gesammelten Daten zu Wegeketten und Mobilitätspräferenzen der Befragung maßgeblicher Baustein für die sich anschließende Simulation.

5 Empirische Analyse des Personenverkehrs zwischen den Ruhr-Universitäten anhand einer Befragung

Nach der theoretischen Annäherung an das Thema Mobilität in Deutschland und Mobilität des Ruhrgebiets im Speziellen sowie der auf dem SMNT der Mobilität basierenden Hypothesenentwicklung werden, hierauf aufbauend, in diesem und dem darauffolgenden 6. Kapitel zwei empirische Studien vorgestellt. Einerseits wird die Erhebung von Daten über das individuelle Mobilitätsverhalten und absolvierte Wegeketten vorgestellt und andererseits eine agentenbasierte Modellierung des Mobilitätsverhaltens durchgeführt, um hierdurch die Transformationsarena Mobilität möglichst umfassend empirisch darstellen und formulierte Hypothesen be- oder widerlegen zu können.

Die grundlegenden Arbeiten hierfür sind, wie zuvor berichtet (vgl. Kapitel 3.2), im Rahmen des Projekts InnaMoRuhr (InnaMoRuhr 2023, S. 1) entstanden⁸. Hierfür wurde mit den Universitäten des Ruhrgebiets und den entsprechenden Rektoraten kooperiert, wodurch ein direkter und vollumfänglicher Zugang zu den Proband:innen ermöglicht wurde und schließlich eine umfassende Stichprobe gewonnen werden konnte (n=10782). Zwar sind die Ergebnisse, bedingt durch den Projektfokus auf die universitäre Mobilität, nicht direkt auf das gesamte Ruhrgebiet oder Deutschland übertragbar, bieten jedoch ein Forschungsgrundgerüst und erste Anhaltspunkte für die weitergehende Forschung mit einem anders gewählten Fokus. Somit bietet die vorliegende Arbeit abseits der spezifischen Ergebnisse auch eine mögliche Blaupause für ähnliche Forschungsvorhaben auf nationaler oder internationaler Ebene, da das empirische Vorgehen bereits mit einer hohen Proband:innen-Zahl erprobt wurde.

In diesem Kapitel wird zunächst die Konzeption der Befragung hinsichtlich des Pretests und der Austeilung an die Befragten dargestellt (vgl. Kapitel 5.1). Anschließend wird die Operationalisierung beschrieben, also der Prozess der Definition von theoretischen Konzepten durch konkrete, messbare und erhebbare Indikatoren (vgl. 5.2). In diesem Sinne werden nachfolgend die in der Befragung verwendeten Konstrukte sowie die möglichen Konstruktausprägungen vorgestellt, um die zuvor formulierten Forschungshypothesen beantworten zu können. Dabei wird zu großen Teilen auf die Erkenntnisse des Theorieteils dieser Arbeit zurückgegriffen. Daran schließt sich der Ergebnisteil an (vgl. Kapitel 5.3), in dem zunächst die untersuchte Stichprobe beschrieben

⁸ Teile der in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse sind bereits in aggregierter Form in Whitespacepapern oder Journal-Artikeln veröffentlicht worden. Die vorliegende Arbeit stellt diese jedoch in deutlich höherer Ausführlichkeit dar, baut auf diesen auf, präsentiert vollständig neue Analysen und berichtet hierdurch gänzlich unveröffentlichte Ergebnisse (InnaMoRuhr 2023, 2024).

und die explorativen Ergebnisse einer Clusteranalyse präsentiert werden, um unterschiedliche Personengruppen zu identifizieren. Auf dieser Basis erfolgen weitere deskriptive Statistiken sowohl für die gesamte Stichprobe als auch aufgeschlüsselt nach Clustergruppen, um das Mobilitätsverhalten detailliert zu beschreiben. In Kapitel 5.4 wird dann ein vorläufiges Zwischenfazit gezogen.

5.1 Konzeption

Der Fragebogen wurde in Kooperation mit dem Fachgebiet der empirischen Sozialforschung der Universität Duisburg-Essen unter der Leitung von Prof. Dr. Petra Stein und ihrem Mitarbeiter Sebastian Willen sowie mit dem Fachgebiet Techniksoziologie unter der Leitung von Prof. Dr. Weyer und den Mitarbeitern Kay Kohaupt-Cepera und Julius Konrad im Rahmen des bereits zuvor genannten Forschungsprojekts InnaMoRuhr erstellt. Der gesamte Fragebogen umfasst 52 Fragen, um gleichzeitig unterschiedliche Forschungsvorhaben und Fragestellungen zu bedienen. Inhaltlich werden im vollständigen Fragebogen neben den hier präsentierten Konstrukten und entsprechenden Ergebnissen auch weitere Themengebiete bearbeitet (z.B. Wertvorstellungen, soziale Normen etc.), welche aber nicht Gegenstand der hier präsentierten Arbeit sind.

Methodisch wurde auf das Forschungsinstrument der Online-Umfrage zurückgegriffen, um ein möglichst repräsentatives Abbild der universitären Mobilität zu erzielen – dies war zum Befragungszeitpunkt, während der Hochzeit des Covid-19-Pandemiegeschehens, die einzige praktikable Option, da das Austeilen von physischen Fragebögen multiple direkte Kontakte zu den Befragten vorausgesetzt hätte. Dankenswerterweise konnten durch die direkte Kollaboration mit den Universitätsverwaltungen alle Universitätsstudierenden und Beschäftigten über ihre organisationalen E-Mail-Adressen zu der Befragung eingeladen werden, wodurch ein direkter sowie zielgruppenspezifischer Zugang gewährleistet wurde. Durch die digitale Bearbeitung der Umfrage am Handy oder PC wurde zusätzlich eine niederschwellige Teilnahme gewährleistet, welche durch die Verlosung von drei Smartphones und fünf Kopfhörern unter allen Teilnehmenden weiter incentiviert wurde.

Der Nachteil einer Online-Umfrage ist hingegen, dass während der laufenden Umfrage nicht dynamisch auf Komplikationen oder Fragen durch die Teilnehmenden eingegangen werden kann, weswegen ein dreistufiger Pretest durchgeführt wurde, um etwaige Unklarheiten und Probleme im Vorhinein auszuschließen (vgl. Kapitel 5.1.2). Zudem besteht die Gefahr bei einer online durchgeführten Umfrage, dass technisch nicht versierte Menschen ausgeschlossen werden. Diese Gefahr wurde jedoch als gering eingeschätzt, da die Angehörigen der Universitäten im Arbeits- oder Studienkontext ihr E-

Mail-Postfach nutzen müssen und an der Universität ein grundlegendes technisches Verständnis vorausgesetzt werden kann.

Softwaretechnisch umgesetzt wurde der zunächst in Word entwickelte Fragebogen durch den externen Dienstleister SOKO Institut (2024, S. 1). Dieser ist ein in der empirischen Sozialforschung bewandertes Forschungsinstitut. Genutzt wurde die Software Lime Survey. Weiterhin lief auch die Befragung über die Server des SOKO-Instituts, um den datenschutzkonformen Ablauf zu gewährleisten. Unglücklicherweise kam es im direkten Anschluss an den Einladungsemailversand zu einer Überlastung der SOKO-Server, weswegen die Umfrage durch die Teilnehmenden zunächst nur sehr langsam oder erst zu einem späteren Zeitpunkt bearbeitet werden konnte. Jedoch konnte trotzdem eine mehr als zufriedenstellende Menge an vollständig beantworteten Befragungen durchgeführt werden.

5.1.1 Einladungsversand per E-Mail an Universitätsangehörige

Die Einladung zur Teilnahme an der Befragung wurde nach Rücksprache mit den jeweiligen Universitätsverwaltungen und den entsprechenden Datenschutzbeauftragten an alle Beschäftigten und Studierenden der drei Ruhrgebietsuniversitäten im Namen der jeweiligen Universitäts-Rektor:innen per E-Mail verschickt. Zusätzlich wurde nach einem gewissen Zeitraum eine zweite Bitte um Teilnahme mit zeitlichem Verzug verschickt.

Der technische Versand der Umfrage-Einladungen erfolgte über ein von Fabian Adelt entwickeltes Skript, welches dem IT und Medienzentrum der TU Dortmund (ITMC) zu diesem Zwecke zur Verfügung gestellt wurde. Dies war notwendig, da so eine individuelle und somit persönlichere Anrede in der E-Mail ermöglicht werden konnte. Zudem konnte so jedem:jeder potenziellen Teilnehmer:in ein individueller Link zugestellt werden, wodurch die mehrfache Teilnahme einzelner Personen erschwert wurde. Weiterhin konnte durch das Skript das Volumen der gleichzeitig gesendeten E-Mails an die Grenzen des versendenden E-Mail-Servers angepasst werden, da dieser bei zu hohen Zahlen in einem bestimmten Zeitraum keine weiteren E-Mails mehr verschickt. Insgesamt wurden so schätzungsweise 120 000 Studierende und 14 000 Beschäftigte der drei Ruhrgebietsuniversitäten elektronisch kontaktiert.

5.1.2 Pretest

Um eine möglichst verzerrungsfreie Befragung zu ermöglichen, wurden mehrere Schritte absolviert, welche die Qualität des ausgespielten Fragebogens gewährleisten: Einerseits wurde der Fragebogen kollaborativ in einer Arbeits-

gruppe des InnaMoRuhr-Projekts entwickelt und formulierte Fragen wiederholt kritisch auf Verständnis und Treffsicherheit geprüft. Andererseits wurde ein Expert:innenpretest im Dezember 2020 durchgeführt, an welchem alle am Projekt beteiligten Fachgebiete und Professuren teilnahmen, um zusätzlich zu der inhaltlichen Fragestellung auch die technische Umsetzung kritisch zu betrachten. Das gesammelte Feedback des Expert:innenpretests wurde anschließend im Fragebogen-Team diskutiert und sinnvolle Kritik und Verbesserungsvorschläge wurden umgesetzt. Als letzter Teil der Pretestphase wurde im Februar 2021 ein Flächenpretest durchgeführt: Für jede der drei Universitäten wurden 1000 zufällig ausgewählte Teilnehmende per E-Mail kontaktiert ($n=3000$), um hierdurch sowohl den Fragebogen, als auch den zuvor beschriebenen E-Mail-Versand zu testen. Final ergab sich für den Flächenpretest eine Rücklaufquote von knapp 6,5 % vollständig abgeschlossenen Fragebögen ($n=195$). Erste experimentelle Analysen, basierend auf dem Pretest, verliefen erfolgreich und offenbarten, abseits kleinster Änderungen, keinen gravierenden Anpassungsbedarf.

5.2 Operationalisierung

Da mit einer längeren Befragungsdauer die Qualität der erhobenen Daten oft erheblich abnimmt, war das übergeordnete Ziel der Operationalisierung einen Fragebogen zu entwickeln, der möglichst alle Forschungsinteressen des InnaMoRuhr-Teams abdeckt, aber dennoch so kompakt wie möglich bleibt. Dies war insbesondere deshalb eine Herausforderung, da eine Vielzahl an unterschiedlichen Forschungsinteressen in dem Fragebogen berücksichtigt werden mussten, weswegen nicht alle Items im größtmöglichen Umfang operationalisiert und erfasst werden konnten.

Nachfolgend wird nur die Operationalisierung der in dieser Arbeit verwendeten Konstrukte beschrieben. Insgesamt werden in den folgenden Unterkapiteln 39 inhaltliche Items (Präferenzen, Wegeketten, Veränderungsbereitschaft und Zukunftsszenarien) operationalisiert. Diese entstammen oder sind abgeleitet von bestehenden renommierten Skalen und Vorgehensweisen, welche entsprechend referenziert werden. Da die Abfrage der U- und p-Werte für die Analyse und die spätere Simulation essenziell sind, wurde hier eine Antwort erzwungen (forced response). Für alle weiteren Items gab es zusätzlich zu den hier genannten Ausprägungen die Antwortoptionen „Weiß nicht“ und „Keine Angabe“. Zusätzlich wurden auch die soziodemographischen Merkmale Beschäftigung, Studien- /Arbeitsort, Alter, Geschlecht und Wohnort erhoben. Tabelle 2 fasst die hierfür verwendeten Items und entsprechenden Ausprägungen zusammen.

Skala	Item	Ausprägung
Beschäftigung	Sind Sie hauptsächlich...	Mitarbeiter*in in Lehre und Forschung; Mitarbeiter*in in Technik und Verwaltung; Student*in (auch mit SHK-, WHK-, WHF- oder WHB-Vertrag); Sonstiges (z.B. Lehrbeauftragte, geringfügig Beschäftigte)
Studien- /Arbeitsort	An welcher Universität arbeiten / studieren Sie hauptsächlich?	TU Dortmund (Campus Nord); TU Dortmund (Campus Süd); Ruhr-Universität Bochum; Universität Duisburg-Essen (Campus Duisburg); Universität Duisburg-Essen (Campus Essen); Weiß nicht; Keine Angabe
Alter	Wie alt sind Sie?	Unter 20 Jahre; 20 bis 24 Jahre; 30 bis 39 Jahre; 40 bis 49 Jahre; 50 bis 59 Jahre; 60 Jahre und Älter; Weiß nicht; Keine Angabe
Geschlecht	Ihr Geschlecht:	männlich; weiblich; divers
Wohnort	Bitte nennen Sie uns die Postleitzahl des Wohnsitzes, von dem Sie überwiegend zur Universität fahren	Textfeld; Weiß nicht; keine Angabe

Tabelle 2: Operationalisierung der soziodemographischen Variablen

5.2.1 Präferenzen (U- und p-Werte)

Um die individuellen Präferenzen und Verkehrsmiteinschätzungen der Befragten, also die U- und p-Werte der SEU-Berechnung zu erheben, wird auf die etablierten Konstrukte von Adelt et al. (2018, S. 13–14) zurückgegriffen (vgl. Tabelle 3 und Tabelle 4).

Skala	Items	Ausprägung
Präferenzen (U-Werte) (Adelt und Hoffmann 2017)	Bei meinen Fahrten zur Universität ist es mir wichtig komfortabel zu reisen.	Unwichtig (0)
		Wichtig (10)
	- schnell ans Ziel zu kommen. - kostengünstig zu reisen. - umweltfreundlich zu reisen. - komfortabel zu reisen. - sicher zu reisen. - dass alles zuverlässig funktioniert.	Vergabe 30-40 Punkte.

Tabelle 3:Konstrukt, um die U-Werte zu erfassen

Skala	Items und entsprechende Ausprägungen
Präferenzen (p-Werte) (Adelt und Hoffmann 2017)	Bitte schätzen Sie die Eigenschaften unterschiedlicher Verkehrsmittel ein - und zwar unabhängig davon, ob Sie sie besitzen bzw. nutzen. Die Kriterien sind: • Komfort (z.B. Bequemlichkeit, Einfachheit, Wetterunabhängigkeit, ...) • Umweltfreundlichkeit (z.B. Emission, Lärmbelastung, ...) • Geschwindigkeit (z.B. Fahrzeit, Wartezeit, Stellplatzsuche, ...) • Kosten (z.B. Kraftstoff, Stellplatz, Ticket, ...) • Sicherheit (z.B. Unfallgefahr, persönliche Sicherheit an Haltestellen und im Verkehrsmittel, Ansteckungsgefahr, ...) • Zuverlässigkeit (z.B. Planbarkeit der Ankunft, Stau, Ausfall, ...)
Bewertung Auto	Bewerten Sie zunächst das Auto mit Verbrennungsmotor: • langsam (0) - schnell (10) • teuer (0) - kostengünstig (10) • umweltschädigend (0) - umweltfreundlich (10) • unkomfortabel (0) - komfortabel (10) • unsicher (0) - sicher (10) • unzuverlässig (0) - zuverlässig (10)
Bewertung Bus und Bahn	Bewerten Sie den öffentlichen Nahverkehr mit Bus und Bahn: • langsam (0) - schnell (10) • teuer (0) - kostengünstig (10) • umweltschädigend (0) - umweltfreundlich (10) • unkomfortabel (0) - komfortabel (10) • unsicher (0) - sicher (10) • unzuverlässig (0) - zuverlässig (10)
Bewertung Fahrrad	Bewerten Sie das Fahrrad: • langsam (0) - schnell (10) • teuer (0) - kostengünstig (10) • umweltschädigend (0) - umweltfreundlich (10) • unkomfortabel (0) - komfortabel (10) • unsicher (0) - sicher (10) • unzuverlässig (0) - zuverlässig (10)

Tabelle 4: Konstrukt, um die p-Werte der unterschiedlichen Verkehrsmittel zu erfassen

Zudem werden die vier erhobenen Items (Kosten, Geschwindigkeit, Komfort und Umweltfreundlichkeit) der besagten Studie um zwei weitere Items erweitert, um eine differenzierte (Selbst-) Einschätzung im Einklang mit den zuvor präsentierten Ergebnissen (vgl. Kapitel 4.1) von Schneider (2013, S. 129) und Knuth und Geissler (2012, S. 73) zu ermöglichen: Sicherheit und Zuverlässigkeit (vgl. hierzu auch Weyer et al. (2023, S. 59)).

Für die Erfassung der U-Werte, also der individuellen Präferenzen der Befragten, müssen die Befragten mindestens 30 Punkte und maximal 40 Punkte vergeben. Hierdurch sollen die Befragten dazu bewegt werden, eine Priorisierung ihrer Interessen hinsichtlich der genannten Items vorzunehmen und so eine maximale Bewertung aller Aspekte verhindern.

Für die p-Werte, also die Wahrscheinlichkeit, mit einem bestimmten Verkehrsmittel (Auto/Fahrrad/ÖV) seine Mobilitätsziele zu erfüllen, entfällt

diese Restriktion hingegen, da sich die unterschiedlichen Verkehrsmittel durchaus deutlich in ihren wahrgenommenen Fähigkeiten unterscheiden können und hier daher eine erzwungene Abwägung als weniger sinnvoll erscheint. Daher kann jedes Item mit einem Wert zwischen 0 und 10 bewertet werden.

5.2.2 Wegeketten und Hauptverkehrsmittel

Mit dem klassischen Ansatz der SEU-Handlungstheorie (vgl. Kapitel 4.1.2) können die als ebenso relevant identifizierten Handlungsrouninen (habits) höchstens indirekt abgebildet werden, indem angenommen wird, dass diese sich in den Einstellungen bzw. in der Verkehrsmittelbewertung niederschlagen. Um dieser Unzulänglichkeit entgegenzuwirken, wird im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich zu den Einstellungen für die Berechnung der individuellen Mobilitätsentscheidung auch die typische Wegekette an einem typischen Wochenarbeitsstag erhoben, um hierdurch die Verkehrsmittelwahl mit der tatsächlichen Verkehrsmittelroutine abgleichen zu können. Zusätzlich werden auf methodisch ähnliche Weise die individuellen Mobilitätsutopien der Befragten in einer separaten Frage erhoben, indem nach der individuellen Wunschwegekette gefragt wird. Beide Konstrukte orientieren sich an dem Wegeketten-Schema der renommierten MiD-Befragung (Eggs et al. 2018, S. 26–27), welche in den vorherigen Kapiteln bereits wiederholt zitiert wurde. Die maßgebliche Herausforderung war es jedoch, möglichst viele Daten in einem möglichst schlanken und intuitiven Verfahren zu sammeln, da der Fragebogen aufgrund seiner Themenvielfalt bereits Gefahr lief, überfrachtet zu sein.

Daher fiel die Entscheidung final für die in Tabelle 5 präsentierte Fragestellung, welche auch zentrale Aspekte der MiD-Befragung aufgreift. Der:Die Befragte kann für jeden einzelnen Wegabschnitt ein Verkehrsmittel, das Ziel, die Dauer der Reise und die Länge der Reise auswählen. Hierbei klappt die Option der Eingabe des nächsten Wegabschnitts erst mit der vollständigen Eingabe des vorherigen Wegabschnitts auf. Mögliche Verkehrsmittel und Ziele sind in Form von Drop-down-Menüs vorgegeben, die Zeit- und Kilometerangaben sind in Form einer freien Textfeldeingabe realisiert.

In Blau ist die angepasste Fragestellung für die Wunschwegekette mit veränderten Zeitformen markiert. Mögliche zukünftige Verkehrsmitteloptionen, welche im Rahmen der Wunschwegekette ausgewählt werden können, sind ebenso blau markiert. Auf unrealistische Optionen wie Hubschrauber/Drohnen-Taxis wurde jedoch verzichtet.

Diese Art der Erhebung ermöglicht somit einerseits die Identifikation des derzeitigen Hauptverkehrsmittels und des gewünschten zukünftigen Hauptver-

kehrsmittels, basierend auf der zurückgelegten Strecke, der Zeit oder der Anzahl an Nutzungen, und andererseits die Sammlung der detaillierten Tagespläne, welche ebenso für die Simulation benötigt werden (siehe Kapitel 6).

Skala	Items		
Wegeketten (angelehnt an Eggs et al. 2018)	Welche Wege haben Sie an einem typischen (Di,Mi,Do) im Jahr 2019 (also vor Beginn der Corona-Maßnahmen) zurückgelegt? Welche Ziele bzw. Zwischenziele haben Sie dabei angesteuert und wie lange haben die Wege gedauert? Bitte denken Sie danach auch an den Rückweg. <i>Hinweis: Wenn Sie mehrere Verkehrsmittel auf dem Weg zu ihrem Ziel genutzt haben, wählen Sie als Fahrtziel bitte "Umstieg". Längere Fußwege erfassen Sie bitte als eigenen Weg.</i> Wünsch Dir was ... Angenommen Sie hätten nach der Corona-Pandemie einen Wunsch frei: Wie würden Ihre Wege an einem typischen (Wochentag, wie oben) idealerweise aussehen? Welche Ziele bzw. Zwischenziele würden Sie dabei ansteuern und wie lange sollten die Wege dauern? Bitte denken Sie danach auch an den Rückweg. <i>Hinweis: Wenn Sie mehrere Verkehrsmittel auf dem Weg zu Ihrem Ziel nutzen, wählen Sie als Fahrtziel bitte "Umstieg". Längere Fußwege erfassen Sie bitte als eigenen Weg.</i>		
Ausprägung			
Genutztes Verkehrsmittel	(Zwischen-) Ziel	Dauer (in min)	Länge (in km)
• Zu Fuß • E-Bike / Pedelec • Fahrrad • Bus • Straßenbahn/ U-Bahn • Bahn • E-Auto • Elektrohybridauto • Auto (Verbrenner) • Motorrad • Roller / Moped / Mofa • E-Scooter • Car-Sharing • Bike-Sharing • Mitfahrgelegenheit • Shuttle-Bus • H-Bahn • Sonstiges • Wasserstoffauto • Mobilitäts-App • On-Demand Shuttles • Ride-Sharing	• Umstieg (z.B. Haltestelle / Bahnhof) • Eigene Universität • Andere Universität • Arbeit außerhalb der Universität • Einkauf • Freizeit / Privates • Schule / Kita • Zuhause • Sonstiges	Freies Textfeld	Freies Textfeld

Tabelle 5: Konstrukt, um die (Wunsch-) Wegekette zu erfassen

Hauptverkehrsmittel berechnet per Python-Skript

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, werden für jeden Streckenabschnitt der täglichen Mobilität vier Eingaben erhoben: Genutztes Verkehrsmittel, (Zwischen-) Ziel, Dauer (in Minuten), Strecke (in Kilometer). Dies ergibt zusammen mit der Anzahl der Wegabschnitte eines Weges eine große Datenmenge, welche sich je nach Anzahl der Wegabschnitte auch stark zwischen den Befragten unterscheiden kann. Dies hat einerseits den Vorteil, dass mit Hilfe dieses ausführlichen Datensatzes eine Vielzahl von Berechnungen durchgeführt werden kann, andererseits können derartige Berechnungen nicht oder nur schwerlich mit dem für den Großteil der statistischen Auswertung genutzten Programm SPSS durchgeführt werden.

Aus diesem Grund wurde das Hauptverkehrsmittel der Befragten mittels des in Abbildung 41 dargestellten Python-Skripts ermittelt, welches zusammen mit den Kollegen Julius Konrad und Fabian Adelt in der Programmierumgebung Jupyter Notebook entwickelt wurde. Hierbei wurde sich wiederum der Logik der MiD-Befragung (Nobis und Kuhnimhof 2018, S. 21) bedient: Sollte mehr als ein Verkehrsmittel auf dem berichteten Weg genutzt worden sein, dann ist das Hauptverkehrsmittel jenes, mit welchem die längste Strecke zurückgelegt wurde. Als Variation kann nach diesem Schema das Hauptverkehrsmittel jedoch nicht nur nach der zurückgelegten Strecke, sondern ebenso nach der im Verkehrsmittel verbrachten Zeit oder der häufigsten Anzahl der Nutzungen bestimmt werden.

Die Logik hinter dem genutzten Python-Skript (Abbildung 41) ist die folgende: Zunächst werden aus der bereits zuvor eingelesenen SPSS-Datei die entsprechenden Items der Wegeketten eingelesen und als Variablen definiert [1]. „vor“ bezeichnet hierbei die Items der erhobenen aktuellen Wegekette, „wunsch“ die Items der Wunschwegekette. „nach“ wurde im Rahmen dieser Arbeit hingegen nicht genutzt⁹.

Anschließend wird für jedes Fortbewegungsmittel zunächst eine leere Tabelle angelegt, in welcher in der darauffolgenden Berechnung die Distanzen, Zeiten und Anzahl an Umstiegen für das jeweilige Verkehrsmittel aufsummiert werden [2]. Anschließend werden etwaige fehlende Angaben durch eine null ersetzt und in einer neuen Zeile der Tabelle gespeichert [3]. Danach werden für das jeweilige Verkehrsmittel einer Wegekette die Dauer bzw. die Distanz der Reise aufaddiert [4].

⁹ Diese ungewöhnliche Benennung der Variablen entstammt dem Erhebungszeitpunkte der Umfrage: Mit „vor“ waren die Wegekette vor der Covid-19-Pandemie gemeint, also die „normale“ Mobilität und mit „nach“ die Wegeketten zum Pandemie-Zeitpunkt („nach“ der ersten Infektionswelle).

Basierend auf dieser verkehrsmittelspezifischen Liste kann dann das Verkehrsmittel mit der größten Nutzungsdistanz, Nutzungszeit und Anzahl an Verwendungen für jede der drei erhobenen Wegeketten identifiziert werden [5] und final als Datei ausgegeben werden [6].

```
vornachwunsch = {}

##### vor corona #####
vornachwunsch['vor'] = ['Q4A_1', 'Q4A_2', 'Q4A_3', 'Q4A_4', 'Q4A_5', 'Q4A_6', 'Q4A_7', 'Q4A_8',
    'Q4A_9', 'Q4A_10', 'Q4A_11', 'Q4A_12', 'Q4A_13', 'Q4A_14', 'Q4A_15', 'Q4A_16', 'Q4A_17', 'Q4A_18',
    'Q4A_19', 'Q4A_20']
techs = copy.deepcopy(global_tech_list_wish[1])
techs.remove('nan')

##### nach corona #####
vornachwunsch['nach'] = ['Q5_1', 'Q5_2', 'Q5_3', 'Q5_4', 'Q5_5', 'Q5_6', 'Q5_7', 'Q5_8', 'Q5_9',
    'Q5_10', 'Q5_11', 'Q5_12', 'Q5_13', 'Q5_14', 'Q5_15', 'Q5_16', 'Q5_17', 'Q5_18', 'Q5_19']

##### wunsch #####
vornachwunsch['wunsch'] = ['Q11A_1', 'Q11A_2', 'Q11A_3', 'Q11A_4', 'Q11A_5', 'Q11A_6', 'Q11A_7',
    'Q11A_8', 'Q11A_9', 'Q11A_10', 'Q11A_11', 'Q11A_12', 'Q11A_13', 'Q11A_14', 'Q11A_15']

for status, columnsall in vornachwunsch.items():

    for tech in techs:
        # print('tech: '+tech)
        data[[tech+'_time',tech+'_dist',tech+'_count']] = 0
        for col in columnsall:
            #clean value: Datenbereinigung.
            data[col+'_time'] = data[col+'_3'].fillna(0)
            data[col+'_dist'] = data[col+'_4'].fillna(0)

            data['istech'] = (tech == data[col+'_1_text']).astype(str)
            #print(data[col+'_time'])
            data[tech+'_time'] += data[col+'_time'].astype(int) * data['istech']
            data[tech+'_dist'] += data[col+'_dist'].replace(',','.').astype(float) * data['istech']
            data[tech+'_count'] += 1 * data['istech']
            #print(data[tech+'_time'].astype(int).describe)
            #replace 0 by NaN, 0-values should not be considered below when using idxmax
            data[[tech+'_time',tech+'_dist',tech+'_count']] = data[[tech+'_time',tech+'_dist',
                tech+'_count']].replace(0, np.nan)

        techtimes = [tech+'_time' for tech in techs]
        techdistances = [tech+'_dist' for tech in techs]
        techcounts = [tech+'_count' for tech in techs]

        data['maxTime_travelled_with_' + status] = data[techtimes].idxmax(axis=1)
        data['maxDistance_travelled_with_' + status] = data[techdistances].idxmax(axis=1)
        data['maxCount_travelled_with_' + status] = data[techcounts].idxmax(axis=1)

    # delete helper columns
    for tech in techs:
        # print('tech: '+tech)
        data.drop(columns=[tech+'_time', tech+'_dist', tech+'_count'],inplace=True)
```

Abbildung 41: Berechnung des Hauptverkehrsmittels anhand der erhobenen Wegekette

Strecke, Zeit und Umstiege der Wegekette im Vergleich und Bereinigung

Die erfassten Wegeketten mit ihren vier Angaben (Ziel, Verkehrsmittel, zurückgelegte Strecke, benötigte Zeit) ermöglichen nicht nur die Berechnung des Hauptverkehrsmittels, sondern auch die Ermittlung der insgesamt zurückgelegten Strecke und der dafür benötigten Gesamtzeit. Dazu wurden mithilfe eines SPSS-Prompts die Längen sowie die Zeitangaben aller Teilstrecken der erhobenen Wegeketten jeder befragten Person aufsummiert. Außerdem wurde auch die Anzahl der Wegstrecken auf ähnliche Weise erhoben. Nach einer manuellen Überprüfung der so berechneten Werte wurden zusätzliche Filter angewendet, um unplausible Eingaben aus der Auswertung auszuschließen. Ein Beispiel für eine unrealistische Angabe ist ein Teilstück mit einer Länge von 10.000 km – solche Ausreißer könnten die Mittelwerte erheblich verzerren. Schließlich wurden Wegeketten ausgeschlossen, die entweder eine gesamte Fahrdauer von mehr als 6 Stunden (360 Minuten) oder eine Gesamtlänge von über 1.000 km aufwiesen, da solche Werte für die Strecken eines typischen Wochentages als unrealistisch angesehen werden können. Mindestwerte wurden hingegen nicht gefiltert, da es durchaus vorkommen kann, dass befragte Personen am Erhebungstag das Haus nicht verlassen und somit weder eine angebbare Zeit oder Strecke zurücklegen.

5.2.3 Veränderungsbereitschaft/Zukunftsszenarien

Um zusätzlich zur individuell gewünschten Wegekette Determinanten der Veränderungsbereitschaft der Befragten zu erfassen, werden zwei Arten von Konstrukten verwendet. Einerseits sollen etwaige politische Handlungsoptionen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das eigene Mobilitätsverhalten evaluiert werden. Andererseits ist auch die Bereitschaft zur Verhaltensänderung von Interesse, weswegen den Befragten unterschiedliche Wechselszenarien präsentiert werden.

Die abgefragten politischen Handlungsoptionen (vgl. Tabelle 6) lassen sich größtenteils aus der im Theorieteil vorgestellten Notwendigkeit einer Reduzierung des Autoverkehrs und einer Steigerung des Fahrradverkehrs ableiten. Die konkreten Items orientieren sich an aktuellen politischen und wissenschaftlichen Forderungen und Maßnahmen, um einen nachhaltigeren Straßenverkehr zu begünstigen. Hierzu gehört der Ausbau von (separaten) Fahrradwegen (Landesregierung Nordrhein-Westfalen 2022, S. 1), die Möglichkeit von Kommunen, Vorrangspuren für Busse und Elektroautos zu etablieren (VeloCityRuhr 2020, S. 1; Doolan und Muntean 2014, S. 1011–1016), die Verknappung und Verteuerung des Parkraums im Rahmen eines Parkraummanagements (Agora Verkehrswende 2019, S. 7–9), Fahrradparkhäuser mit Lademöglichkeiten für E-Bikes (BMDV 2023, S. 1), kostenloser ÖPNV

Skala	Items	Ausprägung
Policy-Optionen	Welche dieser Maßnahmen könnten dazu beitragen, Ihre eigenen Fahrten zur Universität nachhaltiger zu gestalten? <i>- Mehrfachnennung möglich -</i> • Ausbau von separaten Radwegen abseits der Straßen • Ausbau von Radwegen an bestehenden Straßen durch Rückbau der Fahrspuren für PKW • Vorrangspuren für Busse und Elektroautos • Verknappung und Verteuerung des Parkraums • Fahrradparkhäuser mit Lademöglichkeiten für E-Bikes • Kostenloser ÖPNV mit Bus und Bahn • Verteuerung von Benzin und Diesel • Kostenloses Laden für E-Autos • On-demand-Busse, die nur verkehren, wenn sie benötigt werden • Sonstige, und zwar: • Meine Fahrten zur Universität sind bereits nachhaltig.	Ja (1) Nein (0)

Tabelle 6: Konstrukt, um nachhaltige Governance-Optionen zu identifizieren

mit Bus und Bahn (Deutschlandfunk Nova 2021), die Verteuerung von Benzin und Diesel (Bundesregierung 2024, S. 1), kostenloses Laden für Elektroautos (dpa 2024, S. 1) und On-demand-Busse, welche nur nach Bedarf agieren (Landesregierung Nordrhein-Westfalen 2020, S. 1).

Weiterhin wurden drei explorative Transformationsszenarien innerhalb von multiplen Diskussionsrunden des Forschungsgebiets entwickelt, welche alternative Nutzungsmuster für den typischen Arbeitsweg abfragen. Der Sinn derartiger Szenarien ist, den Befragten eine realistische Vorstellung davon zu geben, wie eine alternative Mobilitätsroutine aussehen kann und welche Folgen hieraus resultieren. Dieses in den Verhaltenswissenschaften übliche Befragungsformat (Jafarkarimi et al. 2016, S. 145–159) ist insofern notwendig, da Proband:innen schwerlich abstrakt, also ohne konkretes Beispiel, ihre Bereitschaft zur Nutzung multimodaler Verkehrswege oder Veränderungsbereitschaften einschätzen können.

In der Befragung (vgl. Tabelle 7) wird daher der mögliche alternative Arbeitsweg schrittweise vorgestellt, um die Aufmerksamkeit der Befragten auch bei längeren Szenariobeschreibungen aufrechtzuerhalten.

Skala	Items	Ausprägung
Wechsel-szenario 1	Stellen Sie sich bitte folgendes Szenario vor: 1) Sie wohnen etliche Kilometer von Ihrer Universität entfernt und fahren normalerweise mit dem PKW zur Arbeit. 2) Sie fahren zwei Kilometer bei halbwegs passablem Wetter mit dem Fahrrad zur nächsten Mobilstation, an der Busse und Bahnen verkehren. 3) Ihr Fahrrad, Ihren Fahrradhelm etc. verstauen Sie sich in einem Radparkhaus. 4) Eine Regionalbahn, in der Sie einen Sitzplatz haben und WLAN nutzen können, bringt Sie zu mit maximal einem Umstieg zum Zielort. 5) Von dort laufen Sie noch 500 Meter zur Uni/ zu Ihrem Arbeitsplatz. 6) Das Ganze dauert sieben Minuten weniger als die Fahrt mit dem PKW. Wie wahrscheinlich wäre es, dass Sie diese Option nutzen?	Sehr wahrscheinlich (5) Sehr unwahrscheinlich (0)
Wechsel-szenario 2	Ein weiteres Szenario: 1) Sie wohnen etliche Kilometer von Ihrer Universität entfernt und fahren normalerweise mit dem PKW zur Arbeit. 2) Sie bestellen per App zu einem beliebigen Zeitpunkt einen Shuttle-Bus. Dieser Shuttle-Bus mit 12 Sitzplätzen holt Sie an der nächsten Straßenkreuzung ab. 3) Er sammelt drei weitere Passagiere auf und transportiert Sie zur nächsten Mobilitätsstation, wo Busse und Bahnen verkehren. 4) Eine Regionalbahn, in der Sie einen Sitzplatz haben und WLAN nutzen können, bringt Sie mit maximal einem Umstieg zum Zielort. 5) Von dort Laufen Sie noch 500 Meter zur Uni / zu Ihrem Arbeitsplatz. 6) Das Ganze dauert sieben Minuten weniger als die Fahrt mit dem PKW. Wie wahrscheinlich wäre es, dass Sie diese Option nutzen?	Sehr wahrscheinlich (5) Sehr unwahrscheinlich (0)
Wechsel-szenario 3	Und noch ein letztes Szenario: Dieses Mal spielt Ihr Wohnort keine Rolle. 1) Über eine Ride-Sharing-App finden Sie Arbeitskolleg*innen, die mit ihrem Pkw die gleiche Strecke vom Wohn- zum Arbeitsort fahren wie Sie. 2) An manchen Tagen fahren Sie bei Ihren Kolleg*innen, an anderen Tagen nehmen Sie in Ihrem Pkw andere Personen mit. Sie sparen auf diese Weise Kosten. 3) Die Fahrzeit bleibt in etwa gleich. Wie wahrscheinlich wäre es, dass Sie diese Option nutzen?	Sehr wahrscheinlich (5) Sehr unwahrscheinlich (0)

Tabelle 7: Drei unterschiedliche Szenarien, um Verhaltensänderungen zu erfassen

Konkret wurden zwei Szenarien formuliert, welche die Nutzung einer intermodalen Wegeketten abfragen und so miteinander vergleichbar sind. In Szenario 1 wird der Arbeitsweg mit dem Fahrrad und der Bahn bestritten. In Szenario 2 wird der Arbeitsweg mit Shuttle-Bus und Bahn bestritten. In Szenario 3 wird hingegen der Arbeitsweg mit einem über eine App gebuchten Ride-Sharing-Angebot zurückgelegt. Alle drei Szenarien haben gemeinsam, dass sie bereits existierende Mobilitätsoptionen darstellen und somit auch praktisch umsetzbar und durch die Befragten leicht vorstellbar sind. Zudem kann durch Szenario 1 und 2 die Veränderungsbereitschaft hinsichtlich intermodaler Wegeketten und mit Szenario 3 die Veränderungsbereitschaft gegenüber kooperativer Mobilitätsansätze abgefragt werden.

5.3 Deskriptive Statistik

In diesem Kapitel wird die deskriptive Auswertung der Befragung vorgestellt, welche mittels SPSS und Excel erstellt wurde. Der zugehörige Codeplan der verwendeten Items findet sich unter *Befragung/Befragung-Codeplan.xlsx* im digitalen Anhang der Arbeit, welcher auf dem Portal TUDodata hochgeladen ist (Philipp et al. 2026).

In einem ersten Schritt wird die erhobene Stichprobe beschrieben (vgl. Kapitel 5.3.1). Anschließend werden die erhobenen U-Werte vorgestellt und für die Durchführung einer explorativen Clusteranalyse verwendet (vgl. Kapitel 5.3.2). Diese bildet den Grundstein für die weitere deskriptive Auswertung, da nun stets die gesamte Stichprobe wie auch die Clustergruppen in die Auswertung miteinbezogen werden und so eine detaillierte Beschreibung der Stichprobe ermöglichen. Darauf schließen sich in diesem Kapitel die Beschreibung des Hauptverkehrsmittels, sowohl berechnet aus der Wegekette (vgl. Kapitel 5.3.3), als auch basierend auf der SEU-Berechnung unter Verwendung der p-Werte, an (vgl. Kapitel 5.3.4). Anschließend werden die Veränderungsbereitschaft und die Einschätzung politischer Maßnahmen vorgestellt (vgl. Kapitel 5.3.5). An passenden Stellen wird auf die zu überprüfenden Hypothesen referiert und diese be- oder widerlegt.

5.3.1 Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt nahmen 10782 Probandinnen an der Umfrage teil. Die Frage nach dem Geschlecht beantworteten 10544 Befragte. 54,1 % dieser Teilnehmer:innen der Befragung identifizieren sich als weiblich, 45,3 % als männlich und 0,6 % als divers (Tabelle 8). Somit entspricht der Geschlechteranteil weitgehend dem gesamtdeutschen Durchschnitt der Studierenden und Beschäftigten an deutschen Universitäten (Statistisches Bundesamt 2023b, S. 1). Hinsichtlich der Statusgruppe sind 18,4 % der Befragten in der Forschung und Lehre

(F&L) und 13,5 % der Befragten in Technik und Verwaltung (T&V) angestellt. Den Großteil der Stichprobe stellen hingegen Studierende mit anteilig 68 % dar.

Dieser Anteil ist im direkten Vergleich zu der Statistik der Universitäten, z.B. der TU Dortmund (2024, S. 8), deutlich geringer, da hier die Angestellten aus Technik und Verwaltung und Forschung und Lehre zusammen nur grob 10 % der kompletten Universitätsbevölkerung darstellen (Technische Universität Dortmund (TUDo): 30.277 Studierende, 2578 Wissenschaftler, 1417 T&V, ähnliche Werte lassen sich auch für die Ruhruniversität Bochum (RUB) und die Universität Duisburg-Essen (UDE) identifizieren). Eine mögliche Erklärung hierfür kann sein, dass (Fest-) Angestellte der Universität einerseits eine größere emotionale Bindung zum Arbeitgeber besitzen und daher eher arbeitsplatzbezogene Umfragen ausfüllen. Ein alternativer Erklärungsansatz kann sein, dass Angestellte deutlich häufiger arbeitsbedingt zur Universität pendeln und somit der Arbeitsweg sehr relevant ist, wohingegen Studierende seltener zur Uni fahren müssen.

Bezüglich des Alters ist nur ein kleiner Anteil der Befragten jünger als 20 Jahre (6,2 %). Der Großteil ist hingegen zwischen 20 und 29 Jahren alt (60,3 %). Bezüglich der universitären Verteilung zeigt sich erfreulicherweise, dass alle drei Universitäten zu annähernd gleichen Anteilen vertreten sind.

Zusammenfassend kann, basierend auf den hier vorgestellten soziodemographischen Daten, also davon ausgegangen werden, dass die Umfragenstichprobe weitestgehend repräsentativ für die Universitätspopulation der Ruhrgebietsuniversitäten ist, wenngleich die Beschäftigten tendenziell leicht überrepräsentiert sind.

Geschlecht (n=10544)		Alter (in Jahren) (n=10692)		Statusgruppe* (n=10782)		Universität** (n=10705)	
Weiblich	54,1 %	Unter 20	6,2 %	F&L	18,4 %	TUDo	35 %
Männlich	45,3 %	20 bis 24	36,3 %	T&V	13,5 %	RUB	31,5 %
Divers	0,6 %	25 bis 29	24 %	Stud.	68 %	UDE	33,5 %
		30 bis 39	15,3 %				
		40 bis 49	7 %				
		50 bis 59	8,1 %				
		60+	3,1 %				

*Die Statusgruppen unterteilen sich in Forschung und Lehre (F&L), Technik und Verwaltung (T&V) sowie Studierende (Stud., auch WHK, SHK)

**Die drei Universitäten sind die technische Universität Dortmund (TUDo), die Ruhruniversität Bochum (RUB) und die Universität Duisburg-Essen (UDE)

Tabelle 8: Geschlecht, Alter, Statusgruppe und Universitätszugehörigkeit der Befragten

5.3.2 Personengruppen der universitären Mobilität basierend auf den U-Werten der SEU-Berechnung

In diesem Unterkapitel werden zunächst die verwendete Methodik der Clusteranalyse und entsprechende Gütekriterien dargestellt. Anschließend werden die mittels der Clusteranalyse ermittelte Clusterverteilung aufgezeigt und die U-Wertausprägungen der unterschiedlichen Cluster verglichen.

Two-Step-Clusteranalyse

Um die Hypothese zu überprüfen, ob unterschiedliche Mobilitätstypen existieren, bietet sich Backhaus et al. (2021, S. 490) folgend die Methode der Clusteranalyse an. Diese ermöglicht es, ähnliche Objekte zu gruppieren, wobei sich die gebildeten Gruppen jedoch möglichst stark voneinander unterscheiden sollen. Hierbei ist die Clusteranalyse als ein exploratives statistisches Mittel anzusehen, da neue, aber nicht eindeutige Lösungen geschaffen und durch den:die Wissenschaftler:in interpretiert werden.

Technisch existieren verschiedene Clusterverfahren, welche unterschiedliche Clusteralgorithmen und Distanzmaße verwenden. Prominent zu nennen sind beispielsweise partitionierende Verfahren (z.B. k-means) und hierarchische Verfahren (z.B. Ward). Aus der Vielzahl an zur Verfügung stehenden Verfahren wurde final das Two-Step-Clusterverfahren gewählt und angewandt, da es sich durch seine hohe Performanz für große Datensätze (hier $n=10782$) eignet. Zudem können im Two-Step-Verfahren Ausreißer automatisch erkannt und ausgeschlossen werden und resultierende Ergebnisse sind vergleichsweise leicht interpretierbar (Backhaus et al. 2021, S. 569).

Analog zu vorherigen Studien (Adelt et al. 2018) wurde die Selbsteinschätzungen der Proband:innen bezüglich ihrer Mobilitätspräferenzen (U-Werte) hinsichtlich der Kosten, der Geschwindigkeit, der Umweltfreundlichkeit, des Komforts, der Zuverlässigkeit und Sicherheit als Clustervariablen verwendet (Items Q7_1 bis Q7_6).

Variable:									
Priorität bei Fahrt zur Uni...	M	SD	1	2	3	4	5		
1. schnell	7,80	1,89							
2. kostengünstig	6,25	2,40	-,110**						
3. umweltfreundlich	5,93	2,65	-,340**	-,018					
4. komfortabel	4,69	2,43	-,240*	-,343**	-,390**				
5. sicher	6,24	2,38	-,254**	-,276**	-,162**	-,001			
6. zuverlässig	8,07	1,73	,129	-,150**	-,204**	-,118**	-,141**		

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 9: Korrelationstabelle U-Werte (jedes Item $n=10782$)

Die deskriptive Analyse zeigt, dass im Durchschnitt (M, Tabelle 9) insbesondere die Zuverlässigkeit (8,07) und Geschwindigkeit (7,80) relevant für die Befragten sind. Komfort (4,69) ist den Befragten hingegen am wenigsten wichtig. Kostengünstigkeit (6,25), Umweltfreundlichkeit (5,93) und Sicherheit (6,24) bewegen sich wertetechnisch dazwischen.

Die Variablen erfüllen zudem die von Backhaus et al. (2021, S. 496–497) genannten Anforderungen, um eine Verzerrung der Clusteranalyse zu verhindern: Wie die Operationalisierung (Kapitel 5.2.1) verdeutlicht, sind die Variablen relevant für die zu untersuchende Fragestellung und die Messbarkeit wurde bereits in der Vergangenheit erprobt. Es bestehen keine starken Korrelationen¹⁰ zwischen den einzelnen Variablen. Zudem zeigt die Höhe der Standardabweichung, dass eine Trennkraft der einzelnen Variablen gegeben ist (siehe Tabelle 9), weiterhin besitzen die Variablen das gleiche Skalenniveau.

Konkret wurden verschiedene Variationen der Two-Step-Clusteranalyse durchgeführt, in welchem die Clusteranzahl zwischen fünf und sieben Clustern sowie zwischen einer Rauschverarbeitung (für die Eliminierung von Ausreißern) zwischen fünf und 25 Prozent variiert wurde. Die resultierenden Clusterergebnisse wurden miteinander verglichen.

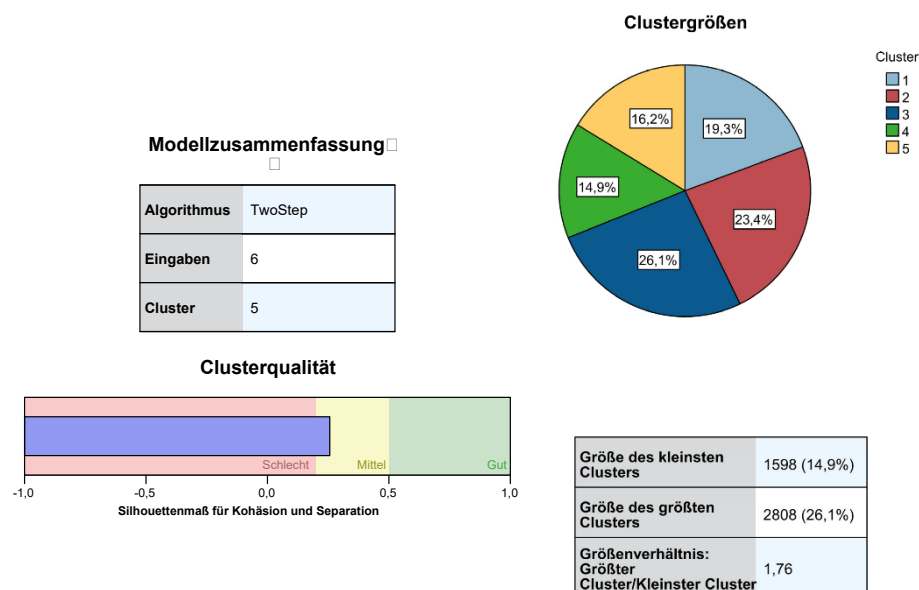


Abbildung 42: Darstellung der Clusterqualität und Clusterverteilung der SPSS Two-Step-Clusteranalyse (5 Cluster, 5 % Ausreißer)

¹⁰ Die signifikante maximale Effektstärke ist mit -0,39 unter der von Cohen (1992, S. 99) als stark angesehen Effektstärke von 0,5. Zwar zeigt sich, dass die meisten Variablen negativ miteinander korrelieren, dies ist jedoch unter anderem der in Kapitel 5.2.1 berichteten Punktgewichtung und dem entsprechenden Abwägungsprozess geschuldet.

Das am besten interpretierbare Ergebnis lieferte die Clusteranalyse (n=10782) mit fünf Clustern und einer fünf Prozent Rauschverarbeitung, welches SPSS folgend zumindest eine mittlere Clusterqualität besitzt. Die Clustergrößen variieren hierbei zwischen 14,9 und 26,1 Prozent der Fälle der Gesamtheit (vgl. Abbildung 42). Um die Güte und Robustheit der durchgeführten Clusteranalyse zu belegen (Backhaus et al. 2021, S. 531), wurden neben dem Aussortieren der Ausreißer weitere Variationen der Clusteranalyse mit anderen Clusteralgorithmen durchgeführt. Insbesondere die k-means-Methode kam zu einem annähernd vergleichbaren Ergebnis. Die Ward-Methode kam für die Cluster drei bis fünf zu ähnlichen Durchschnittswerten, Cluster eins und zwei vermischten sich hier jedoch im Vergleich zu den zuvor genannten Verfahren (vgl. Abbildung 85 im Anhang). Somit ist grundsätzlich eine Robustheit der hier berichteten explorativen Ergebnisse anzunehmen.

Deskriptive Beschreibung der Clustergruppen

Die mittels der Two-Step-Clusteranalyse identifizierten fünf Personengruppen sind in Tabelle 10 dargestellt. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Mobilitätspräferenzen (verfahrensbedingt) stark, wie der Vergleich der Clustergruppen mit den zuvor vorgestellten Mittelwerten der Clustervariablen zeigt. Im Nachfolgenden werden daher die unterschiedlichen Charakteristika der Clustergruppen vorgestellt und eine hierauf basierende Benennung vorgenommen, welche für die weitere Auswertung der Befragung und der Mobilitätssimulation MATSim (vgl. Kap. 6.2) beibehalten wird.

Der Ausreißercluster wird sowohl in dieser Auswertung als auch in den kommenden Auswertungen nicht beschrieben, da es sich hier um einige wenige Extremfälle (n=26) handelt, welche nicht zu den anderen Clustergruppen passen.

Dimension	Ausreißer	1	2	3	4	5	M.
schnell	0,9	-1,6	-0,8	1,0	0,8	0,8	7,8
kostengünstig	0,5	-0,6	0,5	0,9	-3,1	1,4	6,3
umweltfreundlich	-0,2	1,7	0,9	-2,2	-2,1	2,1	5,9
komfortabel	1,4	-1,6	0,8	0,3	2,8	-2,2	4,7
sicher	1,3	1,7	0,2	-0,6	1,4	-2,7	6,2
zuverlässig	-7,1	0,5	-1,9	0,8	0,5	0,5	8,1
Prozent	0,2	19,3	23,4	26,0	14,8	16,2	
Clusterbenennung	-	Risikoaverse Umweltbewusste	Indifferente	Pragmatische	Komfortorientierte	Umwelt- und Kostenbewusste	
n=	26	2081	2522	2808	1598	1747	10782

Tabelle 10: Abweichung der Cluster vom Durchschnittswert der jeweiligen Clustervariable

Der **ersten Clustergruppe** ist die Geschwindigkeit (-1,6) und der Komfort (-1,6) des Reisens im Vergleich deutlich unwichtiger als dem Durchschnitt. Dafür sind insbesondere das sichere (+1,7) und umweltfreundliche Reisen (+1,7) von hoher Bedeutung. Der Preis spielt weiterhin nur eine gering unterdurchschnittliche Rolle (-0,6). Somit wird die Clustergruppe folgend als **risikoaverse Umweltbewusste** bezeichnet und stellt einen Anteil von 19,3 % von der Gesamtstichprobe.

Die **zweite Clustergruppe der Indifferenten** besitzt hingegen im Vergleich zu den anderen Clustergruppen keine starken positiven Abweichungen vom Mittelwert. Lediglich die Umweltfreundlichkeit und der Komfort sind im Vergleich zum Durchschnitt leicht erhöht (+0,9 bzw. +0,8). Die Zuverlässigkeit ist den Indifferenten hingegen deutlich (-1,9) und die Geschwindigkeit leicht (-0,8) unwichtiger als dem Durchschnitt. Die Indifferenten stellen mit 23,4 % einen relativ hohen Anteil an der Gesamtstichprobe.

Die **dritte Clustergruppe** zeichnet sich durch eine im Vergleich deutlich geringere Priorisierung der Umweltfreundlichkeit (-2,2), sowie einer höheren Priorisierung von Geschwindigkeit (+1,0), geringeren Kosten (+0,9) und hohen Verlässlichkeit (+0,8) aus, weswegen sie im Folgenden als **Pragmatische** bezeichnet werden. Sie ist mit einem Anteil von 26,1 % aller Befragten die größte Akteursgruppe.

Der **vierte Cluster** zeigt die stärksten Abweichungen aller Clustergruppen vom Mittelwert auf. Insbesondere das kostengünstige Reisen ist den Clusterangehörigen weniger wichtig (-3,1), ebenso wie die Umweltfreundlichkeit (-2,1), wohingegen das komfortable Reisen (+2,8) äußerst wichtig ist. Weiterhin ist auch die Geschwindigkeit im Vergleich zumindest im geringen Ausmaß (+0,8) relevant. Aufgrund der starken Ausprägung werden die Angehörigen des Clusters als **Komfortorientierte** bezeichnet. Die Komfortorientierten sind mit einem Anteil von 14,9 % aller Befragten die kleinste Akteursgruppe.

Auch der **fünfte Cluster** besitzt vergleichsweise starke Abweichungen vom Mittelwert: Insbesondere die umweltfreundliche (+2,1) und kostengünstige (+1,4) Fortbewegung werden im Vergleich priorisiert. Dahingegen spielen Komfort (-2,2) und Sicherheit (-2,7) eine stark untergeordnete Rolle. Im Folgenden wird der Cluster daher als **Umwelt- und Kostenbewusste** bezeichnet. Die Umwelt- und Kostenbewussten stellen 19,3 % der Gesamtstichprobe.

Basierend auf den Ergebnissen der Clusteranalyse, kann zumindest der erste Teil von Hypothese F1:

Hypothese F1: Es existieren heterogene Mobilitäts-Akteurstypen, welche sich hinsichtlich ihrer subjektiven Einstellungen und Verkehrsmittelbewertungen unterscheiden.

bestätigt werden, da, wie die ausgeprägte Standardabweichung und die darauf basierenden Unterschiede zwischen den Clustergruppen verdeutlichen, durchaus starke Abweichungen hinsichtlich der U-Werte in der Erhebungsgesamtheit existieren. Die auf dieser Erkenntnis aufbauende Clusterlösung weist zudem eindeutige und gut interpretierbare Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Clustergruppen auf. Aussagen zur Verkehrsmittelbewertung lassen sich allerdings erst zu einem späteren Zeitpunkt der Analyse treffen (vgl. Kapitel 5.3.4).

5.3.3 Hauptverkehrsmittel der Wegekette

Die in diesem Unterkapitel präsentierten Ergebnisse resultieren aus der in Kapitel 5.2.2 vorgestellten Berechnung des Hauptverkehrsmittels. Es wird einerseits das aktuell von den Befragten genutzte Hauptverkehrsmittel sowie das Wunsch-Hauptverkehrsmittel hinsichtlich der zurückgelegten Strecke, der benötigten Zeit und der Anzahl der Wege vorgestellt. Anschließend folgt eine Betrachtung des Hauptverkehrsmittels nach Wegstrecke für die im vorherigen Kapitel ermittelten Akteursgruppen. Diese Analysen ermöglichen eine differenzierte Auswertung und helfen so, die unterschiedlichen Mobilitätsausprägungen der Akteursgruppen zu verdeutlichen. Abschließend wird die derzeitige mit der (zukünftig) gewünschte Wegekette hinsichtlich der zurückgelegten Strecke, der insgesamt benötigten Zeit und der Anzahl der Umstiege verglichen ($n=7484$ bis $n=9388$). Anzumerken ist, dass die in der Mobilitätsforschung übliche Auswertung nach der zurückgelegten Distanz naturgemäß Fahrzeuge mit hohen Geschwindigkeiten überproportional gewichtet, da diese in kurzer Zeit weitere Strecken zurücklegen können. Daher scheint eine Betrachtung des Hauptverkehrsmittels, mit welchem die längste Zeit gefahren (und so auch die längste Zeit darin verbracht) wird, ebenso sinnvoll. Eine zeitliche Betrachtung birgt natürlich ebenfalls analytische Probleme, da insbesondere für den Vergleich von Ist- und Wunschzustand oftmals gewünschte verkürzte Reisezeiten zu einer prozentualen Abnahme des Hauptverkehrsmittels führen. Aus diesem Grund wird das Hauptverkehrsmittel nach der verbrachten Zeit in dieser Arbeit nur vergleichend zu den anderen Berechnungsmethoden präsentiert. Tiefergehende Analysen nach Akteursgruppen werden für die temporale Betrachtung hingegen nicht vorgenommen, um den analytischen Umfang dieser Arbeit nicht überzustrapazieren. Sie bieten aber interessante Ansatzpunkte für die zukünftige Forschung.

Hauptverkehrsmittel (Distanz, Zeit, Anzahl Wege)

Die prozentualen Anteile des derzeitigen und des gewünschten Hauptverkehrsmittels ähneln sich hinsichtlich der verschiedenen Berechnungsmethoden nach der zurück gelegten Distanz, der verbrachten Zeit und der Anzahl der Wege (vgl. Tabelle 11). Abweichungen von mehr als drei Prozentpunkten zwischen den Ergebnissen der in der Wissenschaft dominierenden Distanz-Berechnung und den anderen Berechnungsmethoden sind in der Tabelle farblich hervorgehoben. Diese verdeutlichen, dass insbesondere Unterschiede hinsichtlich der Hauptverkehrsmittel Pkw, öffentlicher Verkehr (ÖV) und Fußweg zwischen den unterschiedlichen Berechnungsformen existieren. Hierbei ähneln sich die Abweichungen nach Berechnungsmethode zwischen derzeitiger und zukünftiger Wegekette stark, weswegen die folgende Auswertung analog für aktuelle und Wunschwegekette gültig ist:

Das Auto ist für einen geringeren Anteil der Stichprobe das Hauptverkehrsmittel, wenn es über die verbrachte Zeit sowie die Anzahl der Fahrten berechnet wird (z. B. Aktuell: 30% vs. 24% vs. 23%). Dies ist insofern erwartbar, als dass bei einer Pkw-Nutzung im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln keine Umstiege notwendig sind und so die Anzahl der Wege geringer ist. Der geringere Anteil des Autos nach der Fahrzeit kann dadurch erklärt werden, dass das Auto schneller Distanzen überwindet als andere Verkehrsmittel. Der öffentliche Verkehr (ÖV) ist hingegen hinsichtlich der Berechnung nach der Anzahl der Wege für nur 36% der Stichprobe der das Hauptverkehrsmittel. Das ist ein deutlich niedriger Anteil als die Berechnung nach Zeit oder Distanz. Dies kann ein Anzeichen dafür sein, dass der ÖV ebenso wie das Auto für weite Distanzen genutzt wird und häufiger bei einer geringen Anzahl an

	Aktuell			Wunsch		
	Distanz	Zeit	Anzahl Wege	Distanz	Zeit	Anzahl Wege
Pkw (Verbrenner)	30 %	24 %	23 %	10 %	9 %	8 %
Pkw (E, Hybrid, H2)	1 %	1 %	1 %	17 %	15 %	14 %
Motorrad/Roller	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %
Rad	11 %	10 %	13 %	20 %	20 %	22 %
E-Bike/E-Scooter	1 %	1 %	1 %	8 %	8 %	8 %
ÖV	49 %	50 %	36 %	33 %	34 %	24 %
Zu Fuß	7 %	12 %	26 %	7 %	11 %	19 %
Sharing, On-Demand	1 %	1 %	0 %	3 %	2 %	2 %
Sonstiges	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %
n=	7484	8465	8603	7772	8848	9388

Tabelle 11: Derzeitiges und Wunsch-Hauptverkehrsmittel errechnet nach der zurückgelegten aufsummierten Distanz, der aufsummierten Zeit und der Anzahl an Nutzungen in der Wege-kette. Rot markiert: Abweichungen von mehr als drei Prozentpunkten von der Distanz-Berechnung

Umstiegen verwendet wird. Abschließend zeigen sich die gravierendsten Unterschiede hinsichtlich der Fußwege als Hauptverkehrsmittel. Diese weisen nicht nur bei der Berechnung nach der Zeit (12 %), sondern noch deutlicher bei der Berechnung nach der Anzahl der Wege (26 %) prozentual deutlich höhere Anteile als Hauptverkehrsmittel im Vergleich zur Berechnung nach Distanz (7 %) auf. Dies ist jedoch ebenso plausibel, da Fußwege im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln langsamer sind und daher längere Zeiten in Anspruch nehmen. Zudem werden Fußwege oftmals für die Verkettung vieler kleiner Wegstrecken genutzt, die in den Analysen zumeist einzeln erfasst werden. Zusammengefasst zeigt sich für die hier präsentierte Stichprobe, dass zwar zwischen Zeit- und Distanzbetrachtung durchaus Abweichungen existieren, diese aber keine komplett widersprüchlichen Ergebnisse produzieren. Trotzdem verdeutlicht der Vergleich die Relevanz alternativer Berechnungsmethoden, da die prozentualen Anteile des jeweiligen Hauptverkehrsmittel durchaus changieren. So verzeichnet der Pkw in der Berechnung nach der zurück gelegten Distanz in dieser Stichprobe die höchsten Anteile und birgt somit die Gefahr überrepräsentiert zu sein. Das Gegenteil zeigt sich für die Fußwege, welche in den nach der zurückgelegten Distanz geringere Anteile verzeichnen, aber sowohl nach der aufgewendeten Zeit und der Anzahl der Wege für größeren prozentualen Anteil der Befragten ein Hauptverkehrsmittel darstellen und daher auch in der entsprechenden Planung und politischen Gesetzgebung entsprechend bedacht werden sollten.

Mit diesen einordnenden Worten erfolgt nun im weiteren Verlauf dieser Arbeit die Auswertung des Hauptverkehrsmittels nach der zurück gelegten Distanz, um – wie zuvor berichtet – die Vergleichbarkeit mit anderen wissenschaftlichen Studien sicherzustellen. Dies erfolgt in zwei Schritten: Zunächst wird das Hauptverkehrsmittel der derzeitigen und der gewünschten Zukunft detailliert dargestellt. Anschließend folgt eine Auswertung nach den unterschiedlichen Akteurstypen.

Das Kreisdiagramm stellt das gegenwärtige Hauptverkehrsmittel der Befragten (vgl. Abbildung 43) dar. Hierbei ist der öffentliche Verkehr (ÖV) für die Hälfte (50 %) der Befragten das Hauptverkehrsmittel und ergibt sich aus dem Verbund der folgenden Verkehrsmittel: Die Bahn ist für 25 Prozent, die Straßenbahn für 16 Prozent und der Bus für neun Prozent der Befragten das ÖV-Hauptverkehrsmittel.

Der private PKW ist hingegen mit 31 Prozent für deutlich weniger der Befragten das Hauptverkehrsmittel und insbesondere E- bzw. Hybridautos werden in aktuellen Wegeketten sehr selten genutzt (ein Prozent). Hinsichtlich der aktiven Verkehrsmittel zeigt sich, dass für sieben Prozent der Befragten der Fußweg, für elf Prozent das Fahrrad und für ein Prozent E-Bike oder E-Scooters das Hauptverkehrsmittel darstellen.

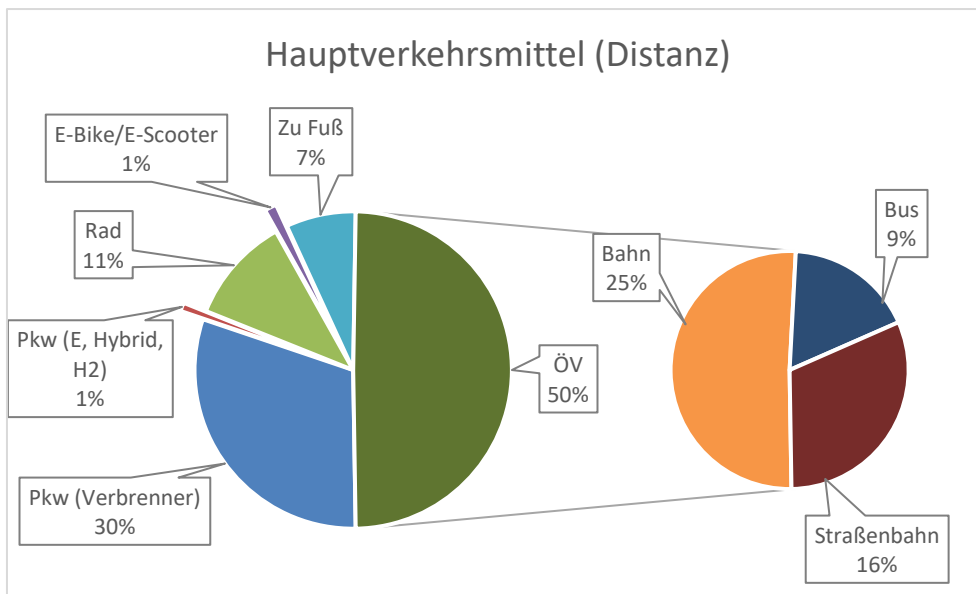


Abbildung 43: Aktuelles Hauptverkehrsmittel nach der zurückgelegten Distanz

Somit ist der öffentliche Verkehr das dominante Hauptverkehrsmittel der Stichprobe. Autos mit Verbrennungsmotor stellen hier den zweitgrößten Anteil dar. Aktive individuelle Verkehrsmittel wie E-Scooter, E-Bike und Fahrrad und Fußwege stellen hingegen den kleinsten Anteil mit 19 % dar. Zwar werden vereinzelt bereits Elektrofahrzeuge, E-Fahrräder und E-Scooter als Hauptverkehrsmittel genutzt, jedoch sind die Anteile im Vergleich zu dem unmotorisierten Gegenpart sehr gering.

Wunsch-Hauptverkehrsmittel

Das zweite Kreisdiagramm (vgl. Abbildung 44) zeigt die Anteile der Wunsch-Hauptverkehrsmittel der gesamten Stichprobe, basierend auf der erhobenen Wunschwegeskette. Der öffentliche Verkehr (ÖV) ist im Vergleich zum aktuellen Hauptverkehrsmittel (50 %) nur für 34 Prozent das Wunsch-Hauptverkehrsmittel. Hiervon stellen 18 Prozent die Bahn, elf Prozent die Straßenbahn und fünf Prozent der Busverkehr. Somit zeigt sich insgesamt ein deutlicher Rückgang der Präferenz für den öffentlichen Verkehr, welcher jedoch nicht spezifisch ein ÖV-Verkehrsmittel betrifft, da die Verteilung zwischen den ÖV-Verkehrsmitteln anteilig größtenteils vergleichbar zur aktuellen Wunschwegeskette ist. Lediglich der Busverkehrsanteil reduziert sich im Verhältnis leicht.

Hinsichtlich der zukünftigen Pkw-Nutzung zeigt sich ein geteiltes Bild: Einerseits ist der Anteil an konventionellen Fahrzeugen als Hauptverkehrsmittel deutlich geringer (von 30 % auf 11 %). Jedoch steigt der Anteil an Pkws mit alternativen Fahrzeugantrieben (E, Hybrid, H2) ebenso stark an (von einem Prozent hin zu gewünschten 18 %). Dies deutet auf ein starkes Interesse

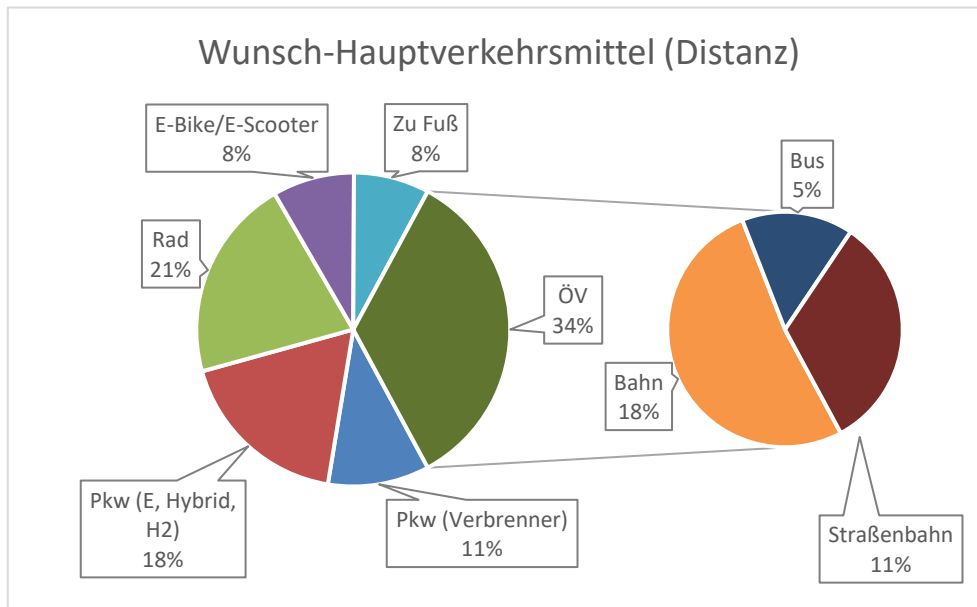


Abbildung 44: Gewünschtes Hauptverkehrsmittels nach der zurückgelegten Distanz

an alternativen umweltfreundlicheren Antriebskonzepten hin, aber verdeutlicht ebenso, dass die Befragten zukünftig nicht auf den motorisierten Individualverkehr verzichten wollen oder sich keine andere Zukunft vorstellen können. Hinsichtlich des Anteils der aktiven Verkehrsmittel als Hauptverkehrsmittels zeigt sich eine starke Zunahme: Der Wunschanteil des Fahrrads steigt von derzeitigen elf Prozent auf 21 Prozent und auch der Anteil der E-Bikes und E-Scooter steigt deutlich von vormals ein Prozent auf acht Prozent. Lediglich der Anteil der Fußwege bleibt mit einer minimalen Erhöhung um ein Prozent größtenteils gleich. Somit zeigt sich im Vergleich zum im vorherigen Unterkapitel berichteten Hauptverkehrsmittelverteilung ein Wunsch zur Nutzung von mehr individuellen und aktiveren Mobilitätsoptionen, welcher maßgeblich zu Lasten des ÖV-Anteils geht.

Hauptverkehrsmittel der Akteursgruppen

Die akteursgruppenspezifische Betrachtung des Hauptverkehrsmittels hinsichtlich der zurückgelegten Wegstrecke zeigt eindeutige Unterschiede in der Verkehrsmittelwahl der Akteursgruppen auf. Im Rahmen der hier präsentierten Auswertung werden nur derzeitige oder zukünftig gewünschte Hauptverkehrsmittel grafisch dargestellt und miteinander verglichen, welche für mindestens drei Prozent der Akteure der jeweiligen Akteursgruppe das Hauptverkehrsmittel sind. Die vollständigen Ergebnisse mit allen Prozentwerten aller erhobenen Verkehrsmittel nach Akteursgruppe lassen sich jedoch in Tabelle 51 im Anhang einsehen. Diese Limitierung hilft, die Übersichtlichkeit der Darstellung zu gewährleisten. Es entfallen (in besagter Tabelle rot markiert) daher sowohl Motorräder, Roller, Sharing und On-Demand-Angebote sowie

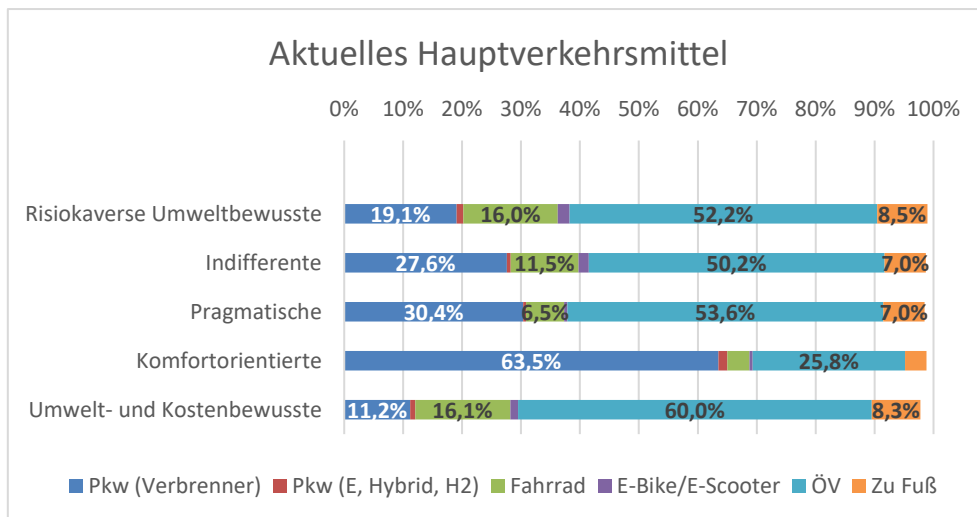


Abbildung 45: Derzeitiges Hauptverkehrsmittel nach Akteursgruppe

die Sonstiges-Kategorie. Hierdurch bedingt ergibt die Addition aller Hauptverkehrsmittel in den Abbildungen eine Summe, welche kleiner als 100 Prozent ist. E-Autos und-E-Bikes spielen für das aktuelle Hauptverkehrsmittel für alle Akteursgruppen eine untergeordnete Rolle, weswegen diese erst in der Wunsch-Hauptverkehrsmittel-Auswertung berichtet werden.

Der Vergleich des aktuellen Hauptverkehrsmittels zwischen den Akteursgruppen zeigt ein stark differenziertes Bild auf (vgl. Abbildung 45): Die Komfortorientierten zeigen mit 63,5 Prozent den größten Anteil der Autonutzung (Verbrenner) aller Akteursgruppen auf, wohingegen das Auto für Indifferente und Pragmatische nur einen prozentualen Anteil von 27,6 bzw. 30,4 Prozent ausmacht. Die geringste Autonutzung verzeichnen hingegen die risikoaversen Umweltbewussten (19,1 %) und die Umwelt- und Kostenbewussten (11,2 %).

Hinsichtlich des Anteils des ÖVs als Hauptverkehrsmittel ähneln sich risikoaverse Umweltbewusste (52.2 %), Indifferente (50,2 %), Pragmatische (53,6 %) und mit einem leicht höheren Anteil auch Umwelt- und Kostenbewusste (60 %). Von den Komfortorientierten nutzen hingegen nur gut ein Viertel den ÖV als Hauptverkehrsmittel (25,8 %). Das Fahrrad ist für 16 bzw. 16,1 Prozent der Befragten Umwelt- und Kostenbewussten und risikoaversen Umweltbewussten das Hauptverkehrsmittel. Mit 11,5 bzw. 6,5 Prozent der Indifferenten und der Pragmatischen ist das Fahrrad für diese Akteursgruppen deutlich seltener das Hauptverkehrsmittel. Am wenigsten wird das Fahrrad jedoch von den Komfortorientierten (3,8 %) als Hauptverkehrsmittel genutzt. Hinsichtlich des Fußweganteils am Hauptverkehrsmittel fallen abermals die Komfortorientierten auf: Nur für 3,7 Prozent diese Akteursgruppe ist der Fußweg das Hauptverkehrsmittel, wohingegen die anderen Akteursgruppen vergleichbare Anteile zwischen sieben und 8,5 Prozent verzeichnen.

Zusammengefasst unterscheiden sich die Akteursgruppen hinsichtlich ihrer Hauptverkehrsmittelwahl deutlich: Insbesondere die Komfortorientierten zeigen eine starke Autoaffinität hinsichtlich ihres Hauptverkehrsmittels und nutzen aktive Fortbewegungsmittel wie das Fahrrad oder Fußwege und auch den ÖV seltener. Aber auch die übrigen Akteursgruppen unterscheiden sich: So verzeichnen die umweltbewussten Akteursgruppen die höchste Fahrradnutzung und die geringste Autonutzung, wohingegen Indifferente und Pragmatische zwar einen ähnlich hohen Anteil des ÖVs als Hauptverkehrsmittel wie die Umweltbewussten verzeichnen, aber insbesondere Anteile des Fahrrads zu Gunsten der Autonutzung reduziert sind.

Bereits an dieser Stelle lässt sich der erste Teil von Hypothese F2 bestätigen:

Hypothese F2: Die unterschiedlichen Akteurstypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Mobilitätsroutinen. Diese sind nicht allein durch die SEU-Theorie-basierte Verkehrsmittelwahl zu erklären.

Weitere interessante Ergebnisse erbringt zudem der Vergleich von aktuellem und Wunsch-Hauptverkehrsmittel, unterschieden nach der Akteursgruppe, welcher im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.

Wunsch-Hauptverkehrsmittel der Akteursgruppen

Der Vergleich der aktuellen Wegekette (Abbildung 45) und der Wunschwegekette (Abbildung 46) verdeutlicht, dass die Gruppe der Umwelt- und Kostenbewussten das Auto (Verbrenner und E-Auto kombiniert) in nahezu unveränderten Anteilen als Hauptverkehrsmittel nutzt. Das herkömmliche Auto mit Verbrennungsmotor wird jedoch nahezu vollständig durch das E-Auto ersetzt, was auf eine starke Präferenz für die emissionsarmen Fahrzeuge hindeutet. Zudem verzeichnet diese Gruppe einen starken Anstieg der gewünschten Nutzung von Fahrrädern und E-Bikes, deren Anteil von 16 % auf

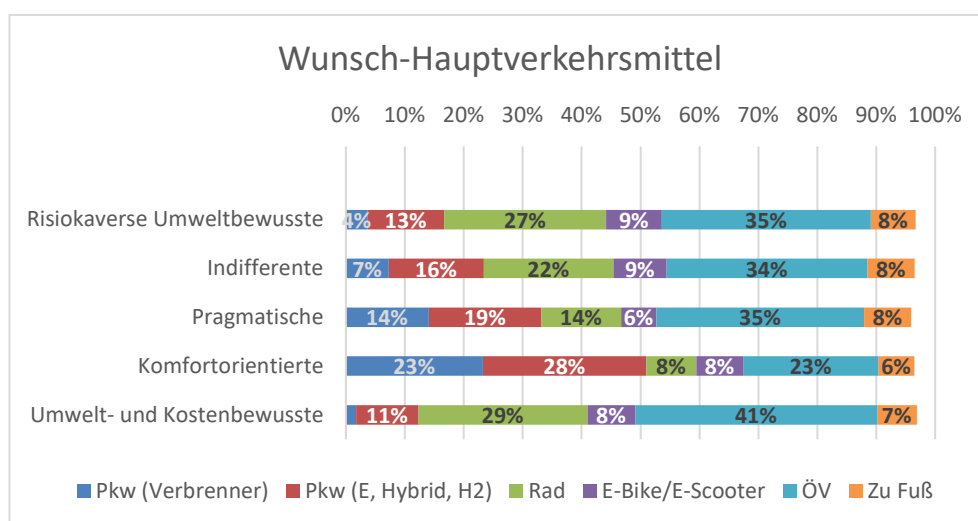


Abbildung 46: Wunsch-Hauptverkehrsmittel nach Akteursgruppe

37 % steigt. Gleichzeitig sinkt die Nutzung des öffentlichen Verkehrs (ÖV) von 60 % auf 41 %. Die Häufigkeit der Fußwegenutzung bleibt wie bei allen Akteursgruppen auf einem ähnlichen stabilen Niveau.

Bei den Komfortorientierten lässt sich eine leichte Reduktion des Autonutungsanteils von 63,5 auf 51 % beobachten. Dies signalisiert eine generelle Bereitschaft, den Pkw-Einsatz zu verringern, obwohl ein substanzieller Teil der Gruppe auch zukünftig Verbrennerfahrzeuge bevorzugt (23 %). Der Anteil der ÖV-Nutzung bleibt weitgehend konstant, während der Anteil des Fahrrads zunimmt (E-Bike und Fahrrad kombiniert: von 3,8 % auf 16 %).

Auch bei den Pragmatischen zeigt sich zwischen aktueller und Wunschwegeketten eine deutlich reduzierte Nutzung von Pkws mit Verbrennungsmotor (-16,4 Prozentpunkte), jedoch steigt der kombinierte Automobilanteil (Verbrenner + E) im Vergleich zur aktuellen Wegeketten (31,5 %) in der Wunschwegeketten geringfügig auf 33 % an. Insbesondere die Nutzung des öffentlichen Verkehrs nimmt in dieser Gruppe stark ab, von 53,6 % auf 35 %. Gleichzeitig ist ein erhebliches Potenzial für den Einsatz von Fahrrädern zu erkennen, deren Anteil von knapp über 6,5 % auf 20 % steigt.

Die Indifferenten verzeichnen einen deutlichen Zuwachs in der Nutzung von Fahrrädern und E-Bikes als Hauptverkehrsmittel, deren kombinierter Anteil von 12 % auf 31 % steigt. Die Nutzung des Autos als Hauptverkehrsmittels unabhängig von der Antriebstechnologie geht leicht zurück (-4,6 Prozentpunkte), wobei ein deutlicher Anstieg des E-Auto-Anteils zu beobachten ist. Der öffentliche Verkehr verliert auch in dieser Gruppe als Hauptverkehrsmittel erheblich an Bedeutung (-16,2 Prozentpunkte).

Die Veränderung der Hauptverkehrsmittelnutzung der risikoaversen Umweltbewussten zeigt eine leichte Reduzierung (knapp -2 Prozentpunkte) und Elektrifizierung der Autonutzung auf, somit wünscht sich im Vergleich zur aktuellen Wunschwegeketten nur noch ein kleiner Teil dieser Gruppe weiterhin Verbrenner zu fahren (vier Prozent). Zudem steigt auch in dieser Akteursgruppe sowohl die Fahrrad- (+11 Prozentpunkte) als auch die E-Bike-Nutzung (+7 Prozentpunkte) als Hauptverkehrsmittel stark an. Somit ähneln die risikoaversen Umweltbewussten der umwelt- und kostenbewussten Gruppe hinsichtlich ihres Wunsch-Hauptverkehrsmittels.

Es zeigt sich zusammenfassend, dass sowohl die Umwelt- und Kostenbewussten als auch die risikoaversen Umweltbewussten eine starke Präferenz für individuelle, aber emissionsarme Mobilität teilen. Alle Akteursgruppen wünschen sich einen geringeren Anteil des ÖVs als Hauptverkehrsmittel mit Ausnahme der Komfortorientierten, bei welchen der ÖV-Anteil gleichbleibt. Am Auto mit Verbrennungsmotor halten insbesondere die Komfortbewusst

ten und zu einem geringeren Anteil auch die Pragmatischen fest.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass das Mobilitätsverhalten je nach Nutzer:innengruppe erhebliche Unterschiede aufweist. Eine zielgruppenspezifische Betrachtung des Mobilitätsverhaltens kann hier helfen, in einem nächsten Schritt zielgruppenspezifische Lösungen zu entwickeln. Zudem zeigt die Analyse, dass insbesondere die Autonutzung und in Teilen auch die Fahrradnutzung sich nicht stark verändert, dafür jedoch eine starke Veränderung bei der gewünschten Antriebstechnologie sichtbar ist. Dies verdeutlicht, dass die Befragten offen gegenüber neuen Technologien sind, aber beispielsweise hinsichtlich ihrer Automobilität sich keine gravierende Veränderung wünschen.

Tabelle 12 verdeutlicht daher nochmal vertiefend die Anteile der konventionellen Antriebstechnologien des Fahrrads (Anteil Fahrrad) und des Autos (Anteil Verbrenner) an dem gegenwärtigen und dem gewünschten Hauptverkehrsmittel. Die Ergebnisse des Vergleichs zeichnen ein interessantes Bild: In der aktuellen Wegeketten spielt über alle Akteursgruppen hinweg die Elektromobilität nur eine geringfügige Rolle, die herkömmlichen Antriebe dominieren. Dies ändert sich jedoch in der Wunschwegekette:

Die Komfortorientierten verzeichnen in der Wunschwegekette im Vergleich zu den anderen Akteursgruppen die geringsten nicht-motorisierten Fahrradanteile (Wunsch – Anteil Fahrrad: 52 %). Gleichzeitig verzeichnen Sie die höchsten Verbrenner-Anteile (46 %) und somit im Umkehrschluss die geringsten E-Auto-Anteile an der Autonutzung. Die Elektrifizierung des Fahrrads und die damit einhergehenden Komfortgewinne scheint also ein entscheidender Treiber für die ebenso höheren Anteile als Hauptverkehrsmittel zu sein. Für das Auto hingegen zeigen die Komfortorientierten den geringsten Elektrifizierungswunsch aller Akteursgruppen (Veränderung Auto: -52 %p).

		Risiko- averse Umwelt- bewusste	Indif- ferente	Pragma- tiker	Komfortori- enterte	Umwelt- und Kosten- bewusste
Aktuell	Anteil Fahrrad	89 %	87 %	93 %	87 %	93 %
	Anteil Ver- brenner	95 %	98 %	99 %	98 %	93 %
Wunsch	Anteil Fahrrad	74 %	71 %	69 %	52 %	78 %
	Anteil Ver- brenner	22 %	31 %	42 %	46 %	14 %
Vergleich Aktuell/W Wunsch	Veränderung Fahrrad	-14 %p	-16 %p	-23 %p	-35 %p	-14 %p
	Veränderung Auto	-73 %p	-67 %p	-56 %p	-52 %p	-79 %p

Tabelle 12: Anteile des unmotorisierten Fahrrads und des Verbrenner-Autos an der Gesamtheit von Fahrrad + E-Bike und Verbrenner + E-Auto sowie die relative Veränderung zwischen derzeitiger und gewünschter Wegekette. Negative Werte bedeuten hier eine anteilige Reduzierung der nicht-elektrifizierten Verkehrsmittel

Denkbare Gründe hierfür könnten soziokulturelle Aspekte entlang, des Könnens, des Wissens und der Haltung sein, wie z. B. eine emotionale Verbundenheit zum Verbrennungsmotor.

Für die risikoaversen Umweltbewussten, die Indifferenten und umwelt- und kostenbewussten Akteursgruppen zeigt sich ein überwiegend miteinander vergleichbares Bild: Für das zukünftige Hauptverkehrsmittel spielt das E-Bike und somit die Reduzierung des herkömmlichen Fahrrads zwar anteilig eine größere Rolle, jedoch verbleibt die Veränderung zwischen den derzeitiger und Wunschwegekette in einem Bereich von nur 14 bis 16 Prozentpunkten. Die Reduzierung der Verbrennernutzung spielt für das Wunschhauptverkehrsmittel hingegen eine große Rolle mit einer Reduzierung um 67 bis 79 Prozentpunkten im Vergleich zum derzeitigen Stand. Somit stellt nur für verhältnismäßig wenige Befragte dieser Akteursgruppen die Elektrifizierung des Fahrrads eine Alternative dar. Die Elektrifizierung des Autos scheint hingegen für die Mehrheit eine echte Alternative zum herkömmlichen Verbrennungsmotor zu sein, wenngleich sich insgesamt die gewünschten Anteile der Autonutzung als Hauptverkehrsmittel nur marginal reduzieren. Die Pragmatischen stehen in dieser Betrachtung mit einer anteiligen Reduzierung des herkömmlichen Fahrrads und des Verbrenners um 23 bzw. 56 Prozentpunkten genau zwischen den beiden zuvor benannten Akteursgruppierungen.

Strecke, Zeit und Umstiege im Vergleich

Neben der Betrachtung, mit welchem Verkehrsmittel die aktuelle und die zukünftig gewünschte Wegekette zurückgelegt wird bzw. werden soll, erscheint die Betrachtung der hierfür benötigten Zeit, der zurückgelegten Strecke und die Anzahl der Wege (Legs) ebenso sinnvoll, um das Mobilitätsverhalten ganzheitlich zu charakterisieren und die wichtigsten Veränderungsparameter aufzuzeigen.

Tabelle 13 zeigt die Anzahl (n) der ausgefüllten Antworten und die Standardabweichung der berechneten Konstrukte. Hier fällt auf, dass die Standardabweichung groß ausfällt und daher starke Unterschiede in den einzelnen Werten der Stichprobe erwartbar sind. Tabelle 14 beinhaltet die entsprechenden Mittelwerte, Mediane sowie prozentuale Veränderungen zwischen Gegenwarts- und Wunschscenario in einer separaten Tabelle, um die visuelle Vergleichbarkeit zu verbessern.

	Aktuell Weg (km)	Wunsch Weg (km)	Aktuell Zeit (min)	Wunsch Zeit (min)	Aktuell Legs	Wunsch Legs
n	7471	7756	8437	8807	8464	8851
Std.-A.	56,0	50,5	49,3	43,5	2,4	1,8

Tabelle 13: Anzahl und Standardabweichung der aggregierten Werte (Dauer, Strecke und Anzahl der Wege (Legs)) der aktuellen und der Wunschwegekette

	Wegstrecke (in Km.)		Wegedauer (in Min.)		Anzahl Legs	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Aktuell	41	25	70	60	3,5	3
Wunsch	37	21	56	45	2,6	2
(Abweichung in %)	(-10 %)	(-16 %)	(-20 %)	(-25 %)	(-26 %)	(-33 %)

Tabelle 14: Aggregierte Werte (Dauer, Strecke und Anzahl) der einzelnen Wegabschnitte (Legs) der aktuellen und der Wunschwegkette

Aus den Daten ergibt sich, dass die durchschnittliche aktuelle Wegkette eines Tages aus 41 km Wegstrecke, 70 Minuten Fahrzeit und durchschnittlich 3,5 Umstiegen besteht. Die Median-Werte liegen deutlich unter den Mittelwerten, was dafür spricht, dass ein Großteil der Befragten hinsichtlich der Parameter ihrer Wegkette deutlich unter den berichteten Durchschnittswerten liegt bzw. dass einige wenige sehr weite und lange Strecken zurücklegen. Trotzdem weisen auch die Median-Werte ähnliche Differenzen wie die Durchschnittswerte auf: Die Wunschwegkettendauer pro Tag ist im Durchschnitt 14 Minuten und im Median 15 Minuten kürzer als die aktuelle Dauer der Wegkette. Zudem möchten die Befragten in einem Wunschszenario ebenso kürzere Wegstrecken zurücklegen (im Durchschnitt 37 statt 41 km bzw. 21 statt 25 km im Median) und die Anzahl der Wegabschnitte idealerweise von durchschnittlich 3,5 auf 2,6 reduzieren (im Median von 3 auf 2).

Der Vergleich der prozentualen Abweichung von Median und Mittelwert verdeutlicht die Unterschiede zwischen aktueller und Wunschwegkette: Die größte Differenz zeigt sich für die Anzahl der Wegabschnitte, (-26 % bis -33 %), gefolgt von der reduzierten Wegedauer (-20 % bis -25 %), während die Differenz bei der in der Wegkette zurückgelegten Strecke am geringsten ist (-10 % bis -16 %). Dies verdeutlicht, dass sich die Befragten insbesondere weniger Umstiege und Unterbrechungen in ihrer täglichen Wegkette wünschen und diese ebenso schneller zurücklegen wollen. Zwar ist die gewünschte Wegkette zwar auch streckentechnisch kürzer, jedoch sind die Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Zustand hier am geringsten.

Die Betrachtung der aggregierten Werte nach Akteursgruppen (vgl. Tabelle 15) zeigt hingegen nur wenig ausgeprägte Unterschiede zwischen den Gruppen, was darauf schließen lässt, dass die oben berichteten Wünsche nicht akteursgruppenspezifisch, sondern gegebenenfalls (wenn überhaupt) abhängig von anderen Einflussfaktoren sind.

Auffällig sind im direkten Vergleich nur zwei Werte, welche eine stärkere Abweichung vom zuvor berichteten Stichprobendurchschnitt (in der Tabelle rot markiert) verzeichnen: Die Umwelt- und Kostenbewussten würden überdurchschnittlich gerne die Strecke der Wegkette reduzieren und die Komfortorientierten haben ein überdurchschnittliches Interesse, die Anzahl der

	Aktuell Weg	Wunsch Weg	Aktuell Zeit	Wunsch Zeit	Aktuell Legs	Wunsch Legs
Risikoaverse Umweltbewusste	37	33	71	58	3,7	2,7
		-12 %		-17 %		-26 %
Indifferente	39	34	65	55	3,3	2,5
		-11 %		-16 %		-24 %
Pragmatische	44	41	72	56	3,6	2,6
		-7 %		-23 %		-29 %
Komfortorientierte	47	43	70	57	3,0	2,4
		-8 %		-19 %		-21 %
Umwelt- und Kostenbewusste	38	31	69	55	4,1	3,0
		-19 %		-20 %		-27 %
Gesamte Stichprobe:		-10 %		-20 %		-26 %

Tabelle 15: Aggregierte Durchschnittswerte (Dauer, Strecke und Anzahl der einzelnen Wegabschnitte (Legs)) der gesamten (Wunsch-)Wegekette nach Akteursgruppe. Fettgedruckt: Die prozentuale Abweichung zwischen aktueller und Wunschwegekette. Rot markiert: Abweichungen >4 Prozentpunkte von der Gesamtstichprobe)

Umstiege zu reduzieren. Eine mögliche Begründung für die Abweichungen ist jedoch nicht eindeutig auszumachen, könnte jedoch ein Ansatzpunkt sein, um die entsprechenden Akteursgruppen hin zu einer nachhaltigeren zukünftigen Wegekette zu bewegen.

Mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse des Wegekettenvergleichs kann der erste Teil von Hypothese F3 hier nur teilweise bestätigt werden:

Hypothese F3: Unter den unterschiedlichen Agentengruppen besteht ein unterschiedlich stark ausfallendes Mobilitäts-Veränderungspotenzial: **Die alltägliche Wegekette entspricht nicht der Wunschwegekette**, unterschiedliche Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen finden Zuspruch.

Weiterhin existieren deutliche Abweichungen zwischen aktueller und Wunschwegekette über alle Akteursgruppen hinweg. Insbesondere die Elektrifizierung bestehender Verkehrsmittel und die vermehrte Nutzung des Fahrrads lassen sich jedoch als Akteursgruppen-übergreifendes Veränderungspotenzial identifizieren. Auch den Wunsch nach weniger Wegabschnitten und schnelleren Reisezeiten teilen alle Akteursgruppen. Erwartungsgemäß existieren dennoch Unterschiede in der Höhe der Abweichungen – hier fallen die Komfortorientierten im Vergleich zu den anderen Akteursgruppen auf, welche beispielsweise die höchsten Verbrenner-Anteile in der Wunschwegekette verzeichnen oder speziell elektrifizierte E-Bikes wünschen.

5.3.4 Hauptverkehrsmittel nach SEU-Berechnung

Abseits der U-Werte (Mobilitätspräferenzen, vgl. Kapitel 5.3.2 und 4.1.2) sind die p-Werte (also Wahrscheinlichkeitswerte, mit einem bestimmten Verkehrsmittel seine Mobilitätsziele zu erreichen) essenzieller Bestandteil der SEU-Berechnung. In Tabelle 16 sind die erhobenen p-Werte (Skala 0-10) der Befragung für die unterschiedlichen Akteursgruppen dargestellt: Im direkten Vergleich erwarten die Befragten mit dem Auto ihre Wegstrecken am schnellsten (7,93) und am komfortabelsten (8,32) zurückzulegen. ÖV (Geschw.: 3,81, Komfort: 4,18) und Fahrrad (Geschw.: 3,59; Komfort: 4,15) werden hingegen als deutlich langsamer und unkomfortabler bewertet. Im Kontrast hierzu wird das Auto als teuerstes (3,24) und umweltschädlichstes (2,25) Verkehrsmittel wahrgenommen und das Fahrrad als das günstigste (8,71) und umweltfreundlichste Verkehrsmittel (9,44). Der ÖV hingegen bewegt sich hinsichtlich Kosten und Umweltfreundlichkeit zwischen den beiden anderen Verkehrsmitteln (Kosten.: 5,36; Umwelt: 7,35), wenngleich er auch als deutlich umweltfreundlicher als das Auto wahrgenommen wird. Hinsichtlich der Sicherheit werden Auto (6,79) und ÖV (6,49) ähnlich – leicht überdurchschnittlich – bewertet, das Fahrrad (4,37) wird als unsicherer wahrgenommen. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit sind Auto und Fahrrad mit 8,13 bzw. 8,05 gleichauf, der ÖV wird dagegen als stark unzuverlässig wahrgenommen (3,53). Zusammenfassend zeigt sich also, dass das Auto abseits der Kosten und fehlenden Umweltfreundlichkeit sehr gut bewertet wird. Der ÖV hingegen wird über die meisten p-Werte durchschnittlich bis schlecht bewertet und zeichnet sich nur durch eine hohe Umweltfreundlichkeit aus. Das Fahrrad hingegen wird als wenig schnell wahrgenommen, ist aber sonst durchschnittlich bis gut in den weiteren p-Dimensionen bewertet.

Mit den erhobenen und berichteten p- und U-Werten kann nun für die gesamte Stichprobe die Verkehrsmittelloption mit dem höchsten subjektiv wahrgenommenen Nutzen berechnet werden. Traditionell werden die p-Werte in der SEU-Berechnung in Prozent angegeben, da es sich um Wahrscheinlichkeiten der Zielerreichung mit dem jeweiligen Verkehrsmittel handelt. Dementsprechend müssen die zuvor vorgestellten p-Werte für die SEU-Berechnung noch in Prozent umgewandelt werden (0 = 0 %, 10 = 100 %)

p-Werte	Auto	ÖV	Fahrrad
Schnell	7,93	3,81	3,59
Kostengünstig	3,24	5,36	8,71
Umweltfreundlich	2,25	7,35	9,44
Komfortabel	8,32	4,18	4,15
Sicher	6,79	6,49	4,37
Zuverlässig	8,13	3,53	8,05

Tabelle 16: p-Werte des Autos, des ÖVs und des Fahrrads. Qualitative Einfärbung (n=10036-10580)

Die SEU-Berechnung wird hier nur einmalig detailliert dargestellt (vgl. Formeln unten), in den folgenden Berechnungen und Schritten wird selbstverständlich analog vorgegangen. Der Nutzen einer Verkehrsmittelalternative (SEU_{VM}) ergibt sich aus der Multiplikation der p- und U-Werte, also der individuellen Präferenzen (Geschwindigkeit, Umweltfreundlichkeit etc.) mit den verkehrsmittelabhängigen Wahrscheinlichkeiten das Ziel zu erreichen, den p-Werten sowie der anschließenden Addition der unterschiedlichen Dimensionen. Durch den Vergleich der bestehenden Verkehrsmittelalternativen kann dann das Verkehrsmittel mit dem größten Nutzen bestimmt werden.

$$SEU_{VM} = U_{VM,schnell} * p_{VM,schnell} + U_{VM,Kostengünstig} * p_{VM,Kostengünstig} + U_{VM,Umwelfreundlich} * p_{VM,Umwelfreundlich} + U_{VM,Sicher} * p_{VM,Sicher} + U_{VM,Zuverlässig} * p_{VM,Zuverlässig}$$

Für das Auto ergibt sich daher die folgende Berechnung mit den entsprechenden Werten aus Tabelle 9 und Tabelle 16 für die gesamte Population:

$$SEU_{Auto} = 7,8 * 79,3 \% + 6,25 * 32,4 \% + 5,93 * 22,5 \% + 4,69 * 83,2 \% + 6,24 * 67,9 \% + 8,07 * 81,3 \% = \mathbf{24,235}$$

Analog ergeben sich $SEU_{ÖV} = \mathbf{19,541}$ und $SEU_{Fahrrad} = \mathbf{25,007}$.

Somit müsste allein auf der SEU-Berechnung basierend ein Großteil der Befragten Fahrrad oder Auto fahren, der ÖV folgt nach Punkten mit einigem Abstand. Ein Blick in das vorherige Kapitel der tatsächlich absolvierten Wegeketten zeigt jedoch, dass dies nicht der Fall ist und hier der ÖV das maßgebliche Verkehrsmittel für eine Vielzahl der Befragten ist. Mutmaßliche Gründe für diese Divergenz können einerseits in der starken Verallgemeinerung durch die Berechnung eines einzelnen SEU-Wertes pro Verkehrsmittel für die komplette Stichprobe liegen, andererseits berücksichtigt die SEU-Berechnung beispielsweise keine (bzw. höchstens indirekt) geographischen, soziodemographischen und verkehrstechnischen Determinanten.

Die zuerst genannte differenziertere Auswertung wird im nachfolgenden Unterkapitel durch eine Betrachtung nach Akteursgruppen adressiert. Die zweitens genannte fehlende Betrachtung von Kontextfaktoren wird durch die Integration der SEU-Daten in MATSim im nachfolgenden Kapitel (vgl. Kapitel 6.1.3) adressiert. Beides führt somit dann zu einem realistischeren und sozialwissenschaftlich fundierteren Abbild der Mobilität des Ruhrgebiets.

SEU-Verkehrsmittelberechnung nach Akteursgruppen

Für die SEU-Berechnung nach Akteursgruppen existieren zwei Möglichkeiten: Einerseits kann dem Ansatz der klassischen SEU-Theorie gefolgt werden, welcher davon ausgeht, dass sich die U-Werte und p-Werte zwischen den Akteursgruppen unterscheiden. Diese Betrachtung sollte rein logisch ein differenzierteres und somit auch ein realistischeres Abbild der Population darstellen. Andererseits lässt die Forschung von Best (2006, S. 58–60) vermuten, dass die subjektiven Wahrscheinlichkeiten (p-Werte) weniger stark als die Präferenzen (U-Werte) zwischen den Gruppen variieren und daher potenziell weniger wichtig für die Erklärung des Verhaltens sein könnten. Daher scheint ein Vergleich der Abweichungen der p-Werte und der U-Werte zwischen den Akteursgruppen als sinnvoll.

Erstere sind für die drei Verkehrsmittel Auto, ÖV und Fahrrad in Tabelle 17 dargestellt. Wie ein erster Blick auf die p-Werte der Akteursgruppen zeigt, fallen die Unterschiede subjektiv eher gering aus.

Um die Stärke und Signifikanz der Werte zwischen den einzelnen Akteursgruppen zu identifizieren, wurde zusätzlich eine einfaktorielle Varianzanalyse (engl.: analysis of variance, kurz ANOVA) durchgeführt (vgl. Tabelle 18).

	p-Wert	Risioka- verse Umwelt- bewusste	Indiffe- rente	Pragmati- sche	Komfort- orientierte	Umwelt- und Kos- tenbe- wusste
Auto	schnell	7,66	7,61	8,18	8,46	7,78
	kostengünstig	2,91	3,37	3,54	3,67	2,57
	umweltfreundlich	1,91	2,38	2,56	2,75	1,50
	komfortabel	8,13	7,93	8,55	8,84	8,23
	sicher	6,56	6,54	7,09	7,52	6,27
	zuverlässig	7,95	7,74	8,40	8,58	8,05
ÖV	schnell	4,23	4,24	3,52	2,84	4,11
	kostengünstig	5,34	5,46	5,21	5,26	5,61
	umweltfreundlich	7,35	7,29	7,25	7,29	7,68
	komfortabel	4,55	4,62	3,91	3,04	4,65
	sicher	6,80	6,54	6,30	5,86	6,93
	zuverlässig	3,75	4,15	3,13	2,84	3,64
Fahrrad	schnell	3,99	3,91	3,17	2,67	4,18
	kostengünstig	8,77	8,55	8,68	8,71	8,92
	umweltfreundlich	9,52	9,39	9,40	9,36	9,56
	komfortabel	4,64	4,53	3,75	3,33	4,44
	sicher	4,46	4,57	4,31	3,99	4,43
	zuverlässig	8,30	7,85	7,94	7,73	8,46

Tabelle 17: Durchschnittliche p-Werte nach Akteursgruppen (vor Normalisierung auf einer Skala von 0 bis 1).

Variable	U	p-Auto	p-ÖV	p-Fahrrad
schnell	0,303	0,026	0,052	0,043
kostengünstig	0,363	0,025	0,004	0,003
umweltfreundlich	0,482	0,033	0,006	0,002 (n.s.)
komfortabel	0,432	0,023	0,064	0,040
sicher	0,377	0,032	0,021	0,006
zuverlässig	0,413	0,025	0,043	0,016

Alle berichteten Werte sind signifikant ($p < .001$) mit Ausnahme Umwelt/p-Fahrrad

Tabelle 18: Eta-Quadrat der Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) der p- und U-Werte zwischen den Akteursgruppen. Werte $>0,01$ zeigen einen kleinen, Werte $>0,06$ einen mittleren und $>0,14$ einen starken Effekt¹¹

Diese unterstützt grundsätzlich die Feststellung von Best, dass die U-Werte stärker variieren, da die Effektstärken für die U-Werte ausschließlich starke Effekte von 0,30 bis 0,48 aufzeigen. Dies verwundert jedoch nicht, da die

Maximierung der Unterschiede zwischen den Gruppen genau der Zweck der vorangegangenen Clusteranalyse war. Nichtsdestotrotz zeigen sich ebenso signifikante, wenngleich größtenteils schwache Effektstärken für die p-Werte.

Die einzigen Ausnahmen bestehen in der Komfortwahrnehmung des ÖVs, welche mit 0,064 zumindest eine mittlere Effektstärke erreicht und der Geschwindigkeitswahrnehmung des Fahrrads, welche mit 0,043 zwischen leichtem und mittlerem Effekt steht. Ein Blick in Tabelle 17 zeigt, dass Pragmatische und speziell Komfortorientierte den Komfort des ÖVs deutlich unterdurchschnittlich bewerten, wohingegen die restlichen Akteursgruppen jenen deutlich höher einschätzen. Hinsichtlich der Geschwindigkeit zeigt sich, dass abermals Pragmatische und insbesondere Komfortorientierte die Geschwindigkeit des Fahrrads geringer einschätzen. Alle anderen Akteursgruppen und besonders die Umwelt- und Kostenbewussten schätzen die Geschwindigkeit des Fahrrads hingegen überdurchschnittlich hoch ein.

Somit fallen zusammengefasst die akteursgruppenspezifischen Abweichungen der p-Werte der Methode geschuldet zwar deutlich geringer aus, sind aber trotzdem existent und können so theoretisch auch eine Auswirkung auf die SEU-Berechnung haben. Somit kann auch der zweite Teil der Hypothese F1 bestätigt werden: Zwar sind die Abweichungen hinsichtlich der Verkehrsmittelbewertung im Vergleich zu den berichteten U-Werten deutlich geringer, aber durchaus signifikant.

Hypothese F1: Es existieren heterogene Mobilitäts-Akteurstypen, welche sich hinsichtlich ihrer **subjektiven** Einstellungen und **Verkehrsmittelbewertungen unterscheiden**.

¹¹ Umgerechnet aus der Effektstärke nach Cohen (Methodenberatung Universität Zürich 2024, S. 1)

Akteursgruppe	SEU-Auto	SEU-ÖV	SEU-Fahrrad	1. Wahl		2. Wahl		3. Wahl	
Risikoaverse Umweltbewusste	23,42	20,49	25,98	100%	Fahrrad	90,14 %	Auto	78,85 %	ÖV
Indifferente	23,22	19,99	24,95	100%	Fahrrad	93,05 %	Auto	80,14 %	ÖV
Pragmatische	25,27	18,77	24,53	100%	Auto	97,08 %	Fahrrad	74,27 %	ÖV
Komfortorientierte	26,97	18,83	22,71	100%	Auto	84,22 %	Fahrrad	69,81 %	ÖV
Umwelt- und Kostenbewusste	22,56	19,66	26,85	100%	Fahrrad	84,02 %	Auto	73,24 %	ÖV
Durchschnittliche relative Abweichung zur 1. Wahl						89,70 %		75,26 %	

Tabelle 19: SEU-Berechnung nach Clustergruppen mit gruppenspezifischen U-Werten und starren p-Werten sowie die prozentuale Abweichung vom Bestwert der 2. und 3. Wahl

Um zu überprüfen, ob die unterschiedlichen p-Wert-Betrachtungen einen konkreten Einfluss auf die SEU-Berechnung haben, werden nachfolgend beide Varianten der SEU-Berechnung vorgestellt und miteinander verglichen: mit verallgemeinerten p-Werten (vgl. Tabelle 19) und mit aktorsgruppenspezifischen p-Werten (vgl. Tabelle 20).

Was zunächst auffällt, ist, dass beide Berechnungsvarianten zu dem gleichen Ergebnis kommen (in der jeweiligen Tabelle Spalte 1. Wahl): Für die risikoaversen Umweltbewussten, die Indifferenten und die Umwelt- und Kostenbewussten ergibt die SEU-Berechnung des Fahrrads den höchsten Nutzenwert. Hingegen ist für Pragmatische und Komfortorientierte das Auto die Handlungsoption mit dem größten Nutzen. Auch die zweitbeste Alternative ist für beide Berechnungsmöglichkeiten gleich: Das jeweils andere Verkehrsmittel (Auto oder Fahrrad) stellt die zweitbeste Option dar. Der ÖV stellt hingegen für alle Clustergruppen das Verkehrsmittel mit dem schlechtesten Nutzen dar, unabhängig von der Personengruppe und Berechnungsart. Daher scheint eine tiefergehende Betrachtung sinnvoll um die Unterschiede der Berechnungsarten detaillierter vergleichen zu können. Hierfür wird in der Spalte „2. Wahl“ der Tabellen angegeben, wie viele Nutzen-Punkte das zweitplatzierte Verkehrsmittel im Verhältnis zur ersten Wahl erreicht. Je höher die

Akteursgruppe	SEU-Auto	SEU-ÖV	SEU-Fahrrad	1. Wahl		2. Wahl		3. Wahl	
Risikoaverse Umweltbewusste	22,42	21,28	26,78	100%	Fahrrad	83,74 %	Auto	79,48 %	ÖV
Indifferente	22,56	20,97	25,24	100%	Fahrrad	89,41 %	Auto	83,10 %	ÖV
Pragmatische	26,35	17,78	23,79	100%	Auto	90,29 %	Fahrrad	67,48 %	ÖV
Komfortorientierte	29,08	16,02	20,72	100%	Auto	71,24 %	Fahrrad	55,09 %	ÖV
Umwelt- und Kostenbewusste	21,04	20,74	28,06	100%	Fahrrad	75,00 %	Auto	73,92 %	ÖV
Durchschnittliche relative Abweichung zur 1. Wahl						81,94 %		71,81 %	

Tabelle 20: SEU-Berechnung nach Clustergruppen mit gruppenspezifischen p- und U-Werten sowie die prozentuale Abweichung vom Bestwert der 2. und 3. Wahl

Prozentzahl des zweiten Verkehrsmittels ist, desto näher ist es dem Hauptverkehrsmittel nach Punkten.

Der Vergleich der prozentualen Punkteabweichung der 2. Wahl zeigt, dass die SEU-Berechnung mit gruppenspezifischen p- und U-Werten eindeutiger und somit mutmaßlich auch genauere Ergebnisse hervorbringt, da der durchschnittliche relative Abstand zur ersten Wahl deutlich höher ausfällt als bei der Berechnung mit gruppenspezifischen p-Werten (81,94 % zu 89,70 %) gleiches gilt für den Vergleich des durchschnittlichen relativen Abstands der 3. Wahl (71,81 % zu 75,26 %).

Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass eine Betrachtung von Variablen U- und fixen p-Werten durchaus ein vergleichbares Ergebnis erzielt, aber eine clustergruppen- oder sogar akteur:innengenaue Nutzung von p-Werten in der SEU-Berechnung statistisch schärfere Ergebnisse erzielen kann. Für den:die Forscher:in bedeuten diese Ergebnisse, dass sie:er zwischen statistischer Genauigkeit und entstehendem Arbeitsaufwand abwägen muss.

Vergleich Hauptverkehrsmittel zwischen SEU- Berechnung und Wegekettenermittlung nach Akteursgruppe

Wie in den vorherigen Unterkapiteln dargestellt, kann das Hauptverkehrsmittel auf zwei unterschiedliche Arten erhoben werden. Einerseits durch das Abfragen der realen Wegekette und andererseits durch die SEU-Berechnung. In einem nächsten Schritt soll ein Vergleich gezogen werden, um zu überprüfen, ob die beiden unterschiedlichen Ansätze ein vergleichbares Ergebnis erzielen.

Aufgrund der unterschiedlichen Erhebungs- bzw. Berechnungsmethoden des Hauptverkehrsmittels sind diese zunächst nicht direkt vergleichbar. Die SEU-Berechnung betrachtet aufgrund des beschränkten Erhebungsumfangs nur die drei Verkehrsmittel Auto, ÖV und Fahrrad, wohingegen die Wegekettenermittlung zusätzlich Fußwege und die Elektrifizierung der Verkehrsträger in die Hauptverkehrsmittelberechnung mit einbezieht. Um daher eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden die Verkehrsträger der Wegekette den drei Verkehrsträgern der SEU-Berechnung zugeordnet. Konkret bedeutet dies, dass Pkw (Verbrenner) und Pkw (E, Hybrid, Wasserstoff) zur Kategorie Pkw sowie Fahrrad und E-Bike/E-Scooter zur Kategorie Fahrrad zusammengefasst werden. Dies folgt der Logik, dass die Elektrifizierung der Verkehrsmittel zwar einzelne Aspekte des jeweiligen Fahrzeugs ändert, aber nicht die grundlegende Art und Weise der Fortbewegung. Die Werte des ÖVs werden unverändert verglichen und die Fußwege entfallen in dieser vergleichenden Betrachtung vollständig, da hierfür schlicht keine Datenbasis in der SEU-Berechnung existiert – eine Lücke, welche bei zukünftigen wissenschaftlichen Studien geschlossen werden sollte.

Die so zusammengefassten prozentualen Anteile für das derzeitige (aktuelle) und Wunsch-Hauptverkehrsmittel sowie die Punkte der SEU-Berechnung (mit gruppenspezifischen U- und p-Werten) findet sich in Tabelle 21. Die in der Tabelle rot markierten Werte sind die höchsten Werte für die jeweilige Akteursgruppe und stellen somit das Hauptverkehrsmittel der entsprechenden Berechnungsmethode dar.

Auf den ersten Blick existieren grundlegende Unterschiede zwischen den Ergebnissen der SEU-Berechnung und dem derzeitigen und gewünschten Hauptverkehrsmitteln der Wegekettene-rechnungen: In ersterer ist für

drei Akteursgruppen das Fahrrad und für zwei Akteursgruppen der Pkw das Verkehrsmittel mit dem größten Nutzen. In aktueller und Wunschwegekette hingegen ist der ÖV das am meisten genutzte Hauptverkehrsmittel für mindestens drei Akteursgruppen, hinzu kommen je nach Wegekette (aktuell bzw. Wunsch) der Pkw und das Rad als Hauptverkehrsmittel. Jedoch fällt auf, dass die prozentualen Abstände der Hauptverkehrsmittel der Wunschwegekette gering sind und sich oftmals nur um wenige Prozentpunkte unterscheiden. Wie das vorherige Kapitel gezeigt hat, zeigen sich hier die größten Unterschiede hinsichtlich der Motorisierung, weswegen eine detaillierte Betrachtung auch abseits des Hauptverkehrsmittels als notwendig erscheint.

Akteursgruppe		Pkw	ÖV	Rad
SEU	Risikoaverse Umweltbewusste	22,42	21,28	26,78
	Indifferente	22,56	20,97	25,24
	Pragmatische	26,35	17,78	23,79
	Komfortorientierte	29,08	16,02	20,72
	Umwelt- und Kostenbewusste	21,04	20,74	28,06
	Durchschnitt:	24,25	19,43	24,94
Aktuell	Risikoaverse Umweltbewusste	20 %	52 %	18 %
	Indifferente	28 %	50 %	13 %
	Pragmatische	31 %	54 %	7 %
	Komfortorientierte	65 %	26 %	4 %
	Umwelt- und Kostenbewusste	12 %	60 %	17 %
	Durchschnitt:	31 %	49 %	12 %
Wunsch	Risikoaverse Umweltbewusste	17 %	35 %	37 %
	Indifferente	23 %	34 %	31 %
	Pragmatische	33 %	35 %	20 %
	Komfortorientierte	51 %	23 %	16 %
	Umwelt- und Kostenbewusste	12 %	41 %	37 %
	Durchschnitt:	28 %	34 %	28 %

Tabelle 21: Auf die drei Verkehrsmittel (Pkw, ÖV und Fahrrad) reduzierte Darstellung der Hauptverkehrsmittel basierend auf der Wegekette (Aktuell u. Wunsch) sowie Ergebnisse der SEU-Berechnung mit spezifischen p- und U-Werten. Der höchste Zeilenwert, welcher das Hauptverkehrsmittel der jeweiligen Akteursgruppe darstellt, ist rot markiert

Um diese zu ermöglichen, wurde in einem nächsten Schritt analog zu der SEU-Ergebnisdarstellung des vorherigen Kapitels errechnet, wie hoch der Wert des zweit- und drittmeisten genutzten Hauptverkehrsmittels im Vergleich zum am meisten genutzten Verkehrsmittel (1. Wahl, in Prozent) ist (vgl. Tabelle 22). Zum Beispiel bevorzugen 37 % der risikoaversen Umweltbewussten das Fahrrad als Hauptverkehrsmittel. Der öffentliche Verkehr (ÖV) liegt mit 35 % nur knapp dahinter (vgl. Tabelle 21). Im Vergleich zum Fahrrad erreicht der ÖV damit 96 % des entsprechenden Anteils. Dies bedeutet, dass wenn die zweite (oder dritte) Wahl nur knapp hinter dem am meisten genutzten Verkehrsmittel liegt, hat diese Wahl einen hohen prozentualen Wert. Diese Art der Berechnung ermöglicht final, den Vergleich der unterschiedlichen Hauptverkehrsmittelberechnungsarten hinsichtlich der unterschiedlichen Akteursgruppen und die relativen Abweichungen zwischen den alternativen Hauptverkehrsmitteln zu bestimmen. Wichtig ist jedoch, darauf hinzuweisen, dass sich die Erhebungsarten des Hauptverkehrsmittels methodisch (Wegekette vs. SEU) und kategorisch (viele Fahrzeugkategorien vs. Auto, ÖV, Fahrrad) deutlich unterscheiden. Dadurch ist eine direkte Vergleichbarkeit zwar erschwert, jedoch können die nachfolgenden Ergebnisse durchaus interessante Tendenzen aufzeigen.

Die auf Basis der Tabelle erstellte Visualisierung in Form einer Netz-Darstellung der Hauptverkehrsmittel nach Akteursgruppe und Berechnungsart hilft, die Ergebnisse besser vergleichen zu können (vgl. Abbildung 47): Überraschend ist, dass sich insbesondere die Verteilung der SEU-Berechnung (Blau) und Wunsch-Hauptverkehrsmittelberechnung (Grün) über alle Akteursgrup-

Akteursgruppe		1. Wahl		2. Wahl		3. Wahl	
SEU	Risikoaverse Umweltbewusste	100 %	Fahrrad	84 %	Pkw	79 %	ÖV
	Indifferente	100 %	Fahrrad	89 %	Pkw	83 %	ÖV
	Pragmatische	100 %	Pkw	90 %	Rad	67 %	ÖV
	Komfortorientierte	100 %	Pkw	71 %	Rad	55 %	ÖV
	Umwelt- und Kostenbewusste	100 %	Fahrrad	75 %	Pkw	74 %	ÖV
Aktuell	Risikoaverse Umweltbewusste	100 %	ÖV	39 %	PKW	35 %	Rad
	Indifferente	100 %	ÖV	56 %	PKW	26 %	Rad
	Pragmatische	100 %	ÖV	57 %	PKW	13%	Rad
	Komfortorientierte	100 %	Pkw	40 %	ÖV	7 %	Rad
	Umwelt- und Kostenbewusste	100 %	ÖV	29 %	Rad	20 %	Pkw
Wunsch	Risikoaverse Umweltbewusste	100 %	Fahrrad	96 %	ÖV	45 %	Pkw
	Indifferente	100 %	ÖV	91 %	Rad	69 %	Pkw
	Pragmatische	100 %	ÖV	94 %	Pkw	55 %	Rad
	Komfortorientierte	100 %	PKW	45 %	ÖV	32 %	Rad
	Umwelt- und Kostenbewusste	100 %	ÖV	89 %	Rad	30 %	Pkw

Tabelle 22: Höhe der Abweichung der zweiten und dritten Wahl (in Prozent) des Hauptverkehrsmittels und des nach SEU-Berechnung besten Verkehrsmittels nach der jeweiligen Akteursgruppe

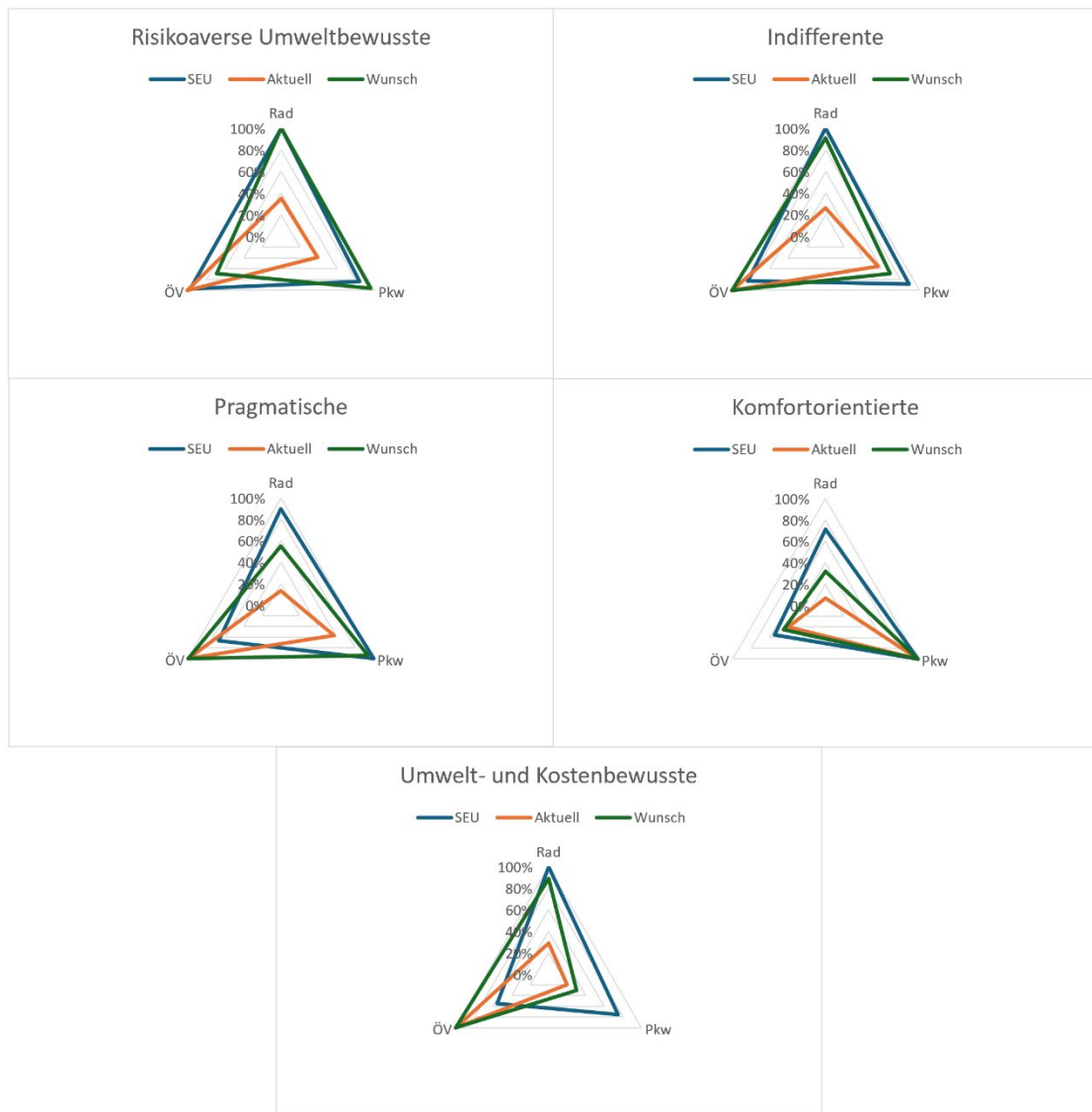


Abbildung 47: Spinnennetz-Darstellung der relativen Hauptverkehrsmittelanteile (SEU, Aktuell, Wunsch) nach Akteursgruppe

pen überwiegend ähneln und somit ein konträres Bild zur alleinigen Betrachtung des Hauptverkehrsmittels zeichnet. Besonders stark ist diese Ausprägung für die risikoaversen Umweltbewussten und die Indifferenten, welche sich in ihrer Hauptverkehrsmittelwahl stark ähneln. Hier sind die Ergebnisse der SEU- und Wunschberechnung fast identisch mit jeweils gleichwertigen Anteilen der drei Verkehrsträger. Im Kontrast hierzu steht die aktuelle Wegeketten, welche überwiegend die Nutzung des ÖVs als Hauptverkehrsmittel aufzeigt.

Für die Komfortorientierten lässt sich über alle Berechnungsarten eine Zentrierung auf das Auto als Hauptverkehrsmittel beobachten, jedoch zeigt die Wunschwegeketten-Berechnung leichte und die SEU-Berechnung stärkere Tendenzen, das Fahrrad als ein alternatives Hauptverkehrsmittel zu nutzen. Dies steht im Kontrast zu den Ergebnissen der aktuellen Wegeketten, in welcher das Fahrrad für die Komfortorientierten keine Rolle spielt. Sowohl für

Pragmatische als auch Umwelt- und Kostenbewusste ist in der aktuellen Wegeketten mit deutlichem Abstand der ÖV das Hauptverkehrsmittel. Beide eint, dass sowohl in der SEU- als auch in der Wunschberechnung das Fahrrad einen deutlich höheren, fast gleichwertigen Stellenwert wie der ÖV besitzt. Unterschiede zeigen sich hingegen bei der PKW-Nutzung: Bei den Pragmatischen ist diese in der Wunsch- und SEU-Berechnung ebenbürtig zum ÖV. Für die Umwelt- und Kostenbewussten spielt der Pkw hingegen nur in der SEU-Berechnung eine stärkere Rolle als Hauptverkehrsmittel.

Somit zeigt sich zusammenfassend über alle Akteursgruppen hinweg, dass sich überraschenderweise die Berechnung des Hauptverkehrsmittels nach SEU- und Wunschwegeketten teils stark ähneln. Die tatsächlich beschriebene aktuelle Wegeketten unterscheidet sich hingegen stark und ist maßgeblich durch die dominante Position des ÖVs gekennzeichnet. Somit kann auch der zweite Teil der Hypothese F2 als bestätigt angesehen werden.

Hypothese F2: Die unterschiedlichen Akteurstypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Mobilitätsroutinen. **Diese sind nicht allein durch die SEU-Theorie-basierte Verkehrsmittelwahl zu erklären.**

Zudem kann auch der erste Teil von Hypothese F3 bestätigt werden, da einerseits das Hauptverkehrsmittel der Wunschwegeketten stark von dem Hauptverkehrsmittel der aktuellen Wegeketten abweicht und zusätzlich deutlich schnellere Wegeketten mit weniger Umstiegen von den Befragten gewünscht werden.

Hypothese F3: Unter den unterschiedlichen Agentengruppen besteht ein unterschiedlich stark ausfallendes Mobilitäts-Veränderungspotenzial: **Die alltägliche Wegeketten entspricht nicht der Wunschwegeketten**, unterschiedliche Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen finden Zuspruch.

Weiterhin ergibt sich daraus die Frage, warum sich SEU- und Wunschberechnung so stark ähneln. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass beide Erhebungsarten die materielle Dimension nicht mit einbeziehen, also den Ausbaustatus der Infrastruktur und entsprechende Interaktionen der Verkehrsmittel untereinander (z.B. Staus, Schienenengpässe, Parkplatzsuche, reale Distanzen). Weiterhin zeigt sich auch eine insgesamt ausgeglichene Verteilung der Verkehrsmittelanteile für die Wunsch- und SEU-Berechnung. Dies verdeutlicht, dass die unterschiedlichen Akteursgruppen sich durchaus vorstellen können Verkehrsmittel abseits der aktuellen ÖVs zu nutzen. Aus beiden Erkenntnissen ergibt sich ein Verkehrsmittelwechsellpotenzial, weg vom ÖV und hin zu Fahrrad und Pkw. Im Sinne der Nachhaltigkeit wäre daher insbesondere eine Förderung des Fahrrads und der entsprechenden Infrastruktur gesellschaftlich wünschenswert.

5.3.5 Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen

Die Betrachtung alternativer Mobilitätsszenarien sowie die Einordnung der Effekte möglicher Governance-Maßnahmen auf das eigene Mobilitätsverhalten können, in Kombination mit der zuvor vorgestellten Analyse der Wunschwegekette, Rückschlüsse auf die Zukunftsvorstellungen und Mobilitätswechselbereitschaft der Befragten ermöglichen. Dadurch lassen sich wirksame Maßnahmen identifizieren, die von den Proband:innen gewünscht werden, um ihre zukünftige Mobilität nachhaltiger zu gestalten.

Wechselszenarien

Hinsichtlich der Wechselbereitschaft der Befragten für die drei abgefragten Szenarien,

- Szenario 1: Fahrrad – Radparkhaus – ÖPNV (statt Pkw-Fahrt)
- Szenario 2: Shuttle Bus – Radparkhaus – ÖPNV (statt Pkw-Fahrt)
- Szenario 3: Ride-Sharing mit App (statt Pkw-Fahrt)

zeigt sich ein uneinheitliches Bild (vgl. Abbildung 48, Tabelle 23): Das erste Szenario wird von den Befragten mit einem Mittelwert von knapp 4 (5er-Lickert-Skala) als eine mögliche zukünftige Mobilitätsalternative wahrgenommen, zu welcher ein Wechsel vorstellbar ist. Das zweite Szenario erfährt mit 3,4 nur eine leicht positive Zustimmung und das dritte Szenario eine gänzlich neutrale Bewertung. Der direkte Vergleich zwischen Szenario 1 und Szenario 2 ist besonders spannend, da hier nur eine Variable verändert wurde – der Weg der ersten Meile bis zum ÖPNV. Hier scheint das Fahrrad mit einer entsprechenden sicheren Fahrrad-Infrastruktur eine beliebtere Option zu sein, als die Option einen Shuttle-Bus zu nehmen. Ein denkbarer Grund hierfür könnte in der höheren zeitlichen Flexibilität aufgrund der

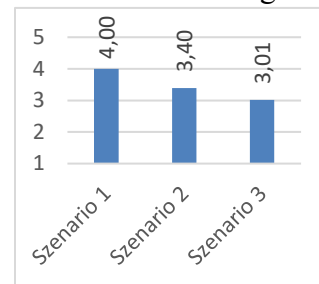


Abbildung 48: Säulendiagramm der Mittelwerte der drei Szenarien

	Szenario 1: Fahrrad		Szenario 2: Shuttle		Szenario 3: Mitfahr-gelegenheit	
	MW	Std.-A.	MW	Std.-A.	MW	Std.-A.
Risikoaverse Umweltbewusste	4,27	1,06	3,52	1,25	3,01	1,34
Indifferente	4,11	1,11	3,53	1,19	3,11	1,28
Pragmatische	3,79	1,26	3,30	1,32	3,01	1,32
Komfortorientierte	3,32	1,41	3,02	1,39	2,78	1,39
Umwelt- und Kostenbewusste	4,46	0,93	3,56	1,33	3,11	1,33
Gesamt	4,00	1,22	3,40	1,28	3,01	1,33

Tabelle 23: Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (Std.-A.) für die drei Mobilitätsszenarien und unterteilt nach Akteursgruppen (n= Szenario 1: 10443, Szenario 2: 10441, Szenario 3: 10427)

stetigen Verfügbarkeit des eigenen Fahrrads liegen oder auch der Vertrautheit mit dem Verkehrsmittel geschuldet sein. Zudem entspricht die höhere Beliebtheit des Fahrrads als Mobilitätsoption den bereits zuvor berichteten Ergebnissen der anderen Auswertungen. Die geringeren Werte von Szenario drei hingegen lassen sich einerseits durch die fehlenden Zeitgewinne im Vergleich zu den anderen Szenarien begründen – hier ist die Mitfahrgelegenheit gleich schnell wie das Auto – oder sie könnten eine generell geringe Bereitschaft signalisieren, mit anderen Personen ein gemeinsames Verkehrsmittel zu nutzen. Trotzdem zeigt sich zusammengefasst über alle Szenarien hinweg zumindest eine leicht positive Tendenz und keine allgemeine Abneigung, alternative Wegeketten absolvieren zu wollen.

Zudem zeigt die Standardabweichung eine deutliche Streuung von 1,22 bis 1,33. Auch bei einer getrennten Betrachtung der einzelnen Akteursgruppen bleibt die Streuung auf einem vergleichbar hohen Niveau. Die Akteursgruppenbildung führt somit nicht zu einer deutlich geringeren Streuung innerhalb der Gruppen. Dies weist darauf hin, dass die Akteursgruppen hinsichtlich der betrachteten Variablen weiterhin eine ähnliche interne Heterogenität aufweisen. Jedoch zeigt der Vergleich der Abweichung vom Durchschnittswert Divergenzen zwischen den Akteursgruppen auf (Abbildung 49): Die Komfortorientierten zeigen die größten Abweichungen aller Akteursgruppen auf. Sie sind gegenüber allen drei Mobilitäts-Veränderungs-Szenarien weniger aufgeschlossen als die Gesamtheit der Stichprobe. Hierbei ist das Fahrrad-Szenario (1) das unbeliebteste Szenario (-0,67), gefolgt von dem zweiten Szenario (-0,37) und dem dritten Szenario (-0,23). Auch bei den Pragmatischen ist das erste Szenario unbeliebter, wenngleich die Abweichung im Vergleich weniger stark ausfällt (-0,2). Bei der umwelt- und kostenbewussten Akteursgruppe

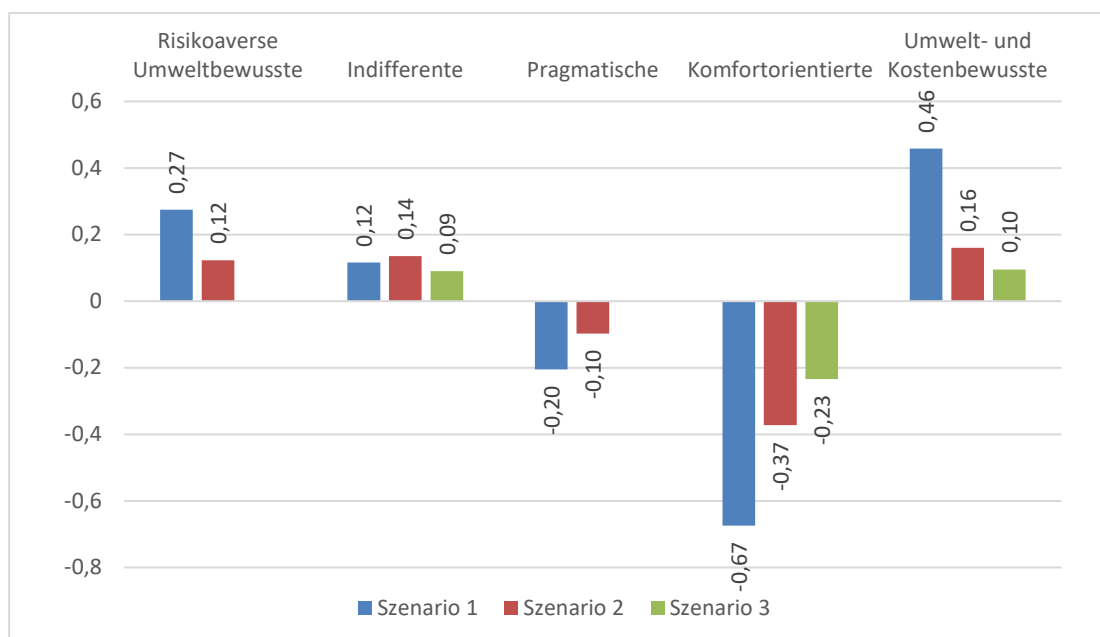


Abbildung 49: Abweichung vom Mittelwert der drei Mobilitätsszenarien unterteilt nach den Akteursgruppen

zeigt sich hingegen eine gegenteilige Abweichung im Vergleich zu den Komfortorientierten: Insbesondere das erste Szenario findet bei der Akteursgruppe Anklang (+0,46), wenngleich die übrigen Szenarien ebenso – wenn auch weniger stark – positiv vom Durchschnitt abweichen (+0,16 bzw. 0,1). Auch die risikoaversen Umweltbewussten stehen insbesondere dem ersten Szenario positiver gegenüber (+0,27) und zeigen leicht positive Tendenzen für das zweite Szenario (+0,12). Die Indifferenten stehen im Vergleich zur Gesamtstichprobe allen Wechselszenarien positiv gegenüber (+0,09 bis +0,14), zeigen jedoch nur sehr schwache Abweichungen vom Stichprobendurchschnitt und werden somit ihrer Gruppenbenennung gerecht.

Governance-Maßnahmen

Die Einschätzungen der Befragten dazu, welche Governance-Maßnahmen zu einer nachhaltigeren Gestaltung ihrer eigenen Fahrten zur Universität beitragen könnten, zeigen für die Gesamtstichprobe ein differenziertes Bild (vgl. Tabelle 24): Gut die Hälfte der Befragten (55,3 % bzw. 52,6 %) betrachten die kostenlose Bereitstellung des ÖPNV sowie den Ausbau separater Radwege als geeignete Maßnahmen, um ihre Mobilität nachhaltiger zu gestalten. Mit einer Zustimmungsrate von 34,2 % folgt der Ausbau von Radwegen entlang bestehender Straßen. Maßnahmen zur Elektrifizierung werden hingegen von 25,6 % bis 21,2 % der Befragten als nachhaltigkeitssteigernd wahrgenommen. Hierzu zählen die Bereitstellung von Fahrradparkhäusern mit E-Bike-Lademöglichkeiten, Vorrangspuren für E-Mobilität und das kostenlose Laden von E-Autos. 15,8 % der Befragten empfinden hingegen, dass ihre Fahrten zur Universität bereits nachhaltig sind. Die am wenigsten populären Maßnahmen sind On-Demand-Busse (13,5 %) sowie Maßnahmen, die das Autofahren schlechter stellen, zum Beispiel durch die Verteuerung von Kraftstoffen oder durch die Verknappung sowie Verteuerung von Parkplätzen.

Somit zeigt sich, dass stichprobenübergreifend der kostenlose ÖPNV und der Ausbau von Fahrradwegen – in jeglicher Form – die beliebtesten Maßnahmen darstellen. Maßnahmen zur Förderung der E-Mobilität werden von knapp 25 % der Befragten als sinnvoll angesehen. Es ist jedoch auffällig, dass das kostenlose Laden von E-Autos nicht die gleiche Zustimmungsrate erfährt wie der kostenlose ÖPNV. Auch die geringe Zustimmung für On-Demand-Busse ist überraschend und könnte auf fehlende Erfahrungswerte oder bereits gemachte negative Erfahrungen zurückzuführen sein. Maßnahmen, die den Mobilitätsstandard senken oder verteuern, sind wie zu erwarten am wenigsten beliebt.

Akteursgruppenspezifische Betrachtung der Governance-Maßnahmen

Die Betrachtung der Maßnahmen nach Akteursgruppen zeigt ein differenziertes Bild (vgl. Tabelle 24): Die Komfortorientierten weisen bei fast allen erfragten Maßnahmen unterdurchschnittliche Zustimmungswerte auf und zeigen auch meisten die starken Abweichungen (in der Tabelle fett markiert) vom Gesamtdurchschnitt auf. Insbesondere der Ausbau von Radwegen entlang bestehender Straßen (-13,5 Prozentpunkte) sowie die Verteuerung von Kraftstoffen und die Verknappung bzw. Verteuerung von Parkplätzen weisen die stärksten negativen Abweichungen auf. Einzig das kostenlose Laden von E-Autos erfährt in dieser Gruppe eine überdurchschnittliche Zustimmung im Vergleich zur Gesamtstichprobe. Somit sind alle Maßnahmen, die der Automobilität schaden könnten, negativer bewertet.

Die Umwelt- und Kostenbewussten zeigen hingegen eine überdurchschnittliche Zustimmung zu fast allen erfragten Maßnahmen, insbesondere zu solchen, die das Autofahren erschweren (jeweils +6,2 Prozentpunkte). Der Ausbau von Radwegen entlang bestehender Straßen erfährt hingegen eine unterdurchschnittliche Zustimmung, was auf eine starke Präferenz für separate Fahrradwege zurückzuführen sein könnte.

Maßnahme	Insg.	Risiko-averse Umweltbewusste	Indifferente	Pragmatische	Komfortorientierte	Umwelt- und Kostenbewusste
Kostenloser ÖPNV mit Bus und Bahn	55,3 %	-2,1 %p	+2,0 %p	+2,2 %p	-7,2 %p	2,7 %p
Ausbau separater Radwege	52,6 %	+3,6 %p	+2,4 %p	-6,1 %p	-8,2 %p	+8,9 %p
Ausbau Radwege an bestehenden Straßen	34,2 %	+4,8p	+3,7 %p	-9,5 %p	-13,5 %p	-2,8 %p
Fahrradparkhäuser mit Lademöglichkeiten für E-Bikes	25,6 %	+2,7 %p	+2,4 %p	-5,5 %p	-4,2 %p	+5,7 %p
Vorrangspuren E-Mobilität	23,2 %	-0,7 %p	+1,0 %p	-1,3 %p	-2,0 %p	+3,2 %p
Kostenloses Laden für E-Autos	21,2 %	-2,9 %p	+0,7 %p	+1,0 %p	+8,3 %p	-5,8 %p
Fahrten zur Universität bereits nachhaltig	15,8 %	+3,9 %p	+0,4 %p	-2,2 %p	-7,2 %p	+3,8 %p
On-demand-Busse, die nur verkehren, wenn benötigt	13,5 %	-1,1 %p	+0,8 %p	+0,8 %p	-0,5 %p	-0,7 %p
Verteuerung von Benzin und Diesel	11,1 %	+2,8 %p	+0,6 %p	-4,6 %p	-3,8 %p	+6,2 %p
Verknappung und Verteuerung des Parkraums	9,6 %	+1,0 %p	+1,4 %p	-4,3 %p	-3,2 %p	+6,2 %p

Tabelle 24: Auswertung möglicher Governance-Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit des eigenen Arbeitswegs sowohl insgesamt (in Prozent) und nach Clustergruppen (Abweichung vom Durchschnitt in Prozentpunkten). Fett markierte Werte stellen Abweichungen >30 % im Vergleich zum Erhebungsdurchschnitt dar (n=10131)

Die Pragmatischen fallen durch eine deutlich unterdurchschnittliche Zustimmung zu Maßnahmen auf, die das Autofahren erschweren (Verteuerung von Kraftstoffen und Verknappung von Parkraum, -4,3 bzw. -4,6 Prozentpunkte). Zudem werden Maßnahmen, die das Fahrrad attraktiver machen, unterdurchschnittlich häufig als förderlich für die eigene nachhaltige Mobilität angesehen.

Die Indifferenten bewerten, ebenso wie bei den zuvor berichteten Szenarien, den nachhaltigen Effekt auf das eigene Mobilitätsverhalten der Governance-Maßnahmen leicht überdurchschnittlich. Jedoch weisen sie abermals für fast alle Maßnahmen die geringsten Abweichungen vom Gesamtdurchschnitt der Stichprobe auf.

Die risikoaversen Umweltbewussten zeigen ebenso wie die Indifferenten weniger starke Abweichungen im Vergleich zur Gesamtstichprobe auf. Sie stimmen jedoch Fahrradmaßnahmen im Vergleich zur gesamten Stichprobe tendenziell häufiger zu und lehnen Maßnahmen ab, die das Autofahren fördern würden. Ebenso wie die Umwelt- und Kostenbewussten empfinden sie ihre Fahrten bereits als überdurchschnittlich nachhaltig.

Übergreifend zeigt sich somit, dass die Komfortorientierten den Einfluss der Governance-Maßnahmen auf ihr Mobilitätsverhalten als deutlich weniger effektiv als der Durchschnitt bewerten. Die Pragmatischen zeigen ähnliche, aber leicht abgeschwächte Tendenzen auf. Im Gegensatz dazu sehen die Umwelt- und Kostenbewussten alle Maßnahmen als überdurchschnittlich effektiv für die Steigerung der Nachhaltigkeit ihres individuellen Mobilitätsverhaltens an. Risikoaverse Umweltbewusste und insbesondere Indifferente weisen die geringsten Abweichungen vom Durchschnitt auf. Somit kann der zweite Teil von Hypothese F3 als bestätigt angesehen werden.

Hypothese F3: Unter den unterschiedlichen Agentengruppen besteht ein unterschiedlich stark ausfallendes Mobilitäts-Veränderungspotenzial: Die alltägliche Wegekette entspricht nicht der Wunschwegekette, unterschiedliche Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen finden Zuspruch.

5.4 Diskussion und Zwischenfazit der Befragung

Basierend auf der weitreichenden (n=10782) sowie technisch und organisatorisch entsprechend aufwändigen Befragung der Beschäftigten und Studierenden der drei Ruhrgebietsuniversitäten, konnte ein umfassendes Panel gewonnen werden. Teil des gesamten Fragebogens, welcher im Rahmen des InnaMoRuhr-Projekts kollaborativ entwickelt wurde, waren neben den erhobenen soziodemografischen Daten eine Vielzahl von Items und Konstrukten. Für 39 der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Items wurden die Operati-

onalisierung und die entsprechenden Ergebnisse beschrieben. In diesem Kapitel erfolgt nun die Diskussion der Ergebnisse, indem diese zusammengefasst und wissenschaftlich sowie hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Realpolitik eingeordnet werden. Die Nummerierung mittels eckiger Klammern „[x]“ der identifizierten wissenschaftlichen und realpolitischen Implikationen erlaubt eine Zusammenfassung aller Erkenntnisse in der am Ende des Kapitels stehenden Tabelle 26.

5.4.1 Ergebnisse und wissenschaftliche Einordnung

Die Auswertung der soziodemographischen Daten zeigt, dass die gewonnene Stichprobe als weitgehend repräsentativ für die Universitätspopulation der Ruhrgebietsuniversitäten angesehen werden kann. Die Auswertung der erhobenen Items konnte weiterhin ein vielschichtiges Bild des Mobilitätsverhaltens der Befragten zeichnen, indem insbesondere individuelle Mobilitätspräferenzen sowie die aktuelle und die Wunschwegekette berichtet wurden.

Hinsichtlich der **U-Werte** zeigt sich, dass stichprobenübergreifend den Befragten Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit am wichtigsten sind, wohingegen der Komfort als am wenigsten wichtig bewertet wird. Dies ist insofern spannend, als dass es nicht direkt mit der Reihenfolge der TRMCD von Schneider (2013, S. 129) übereinstimmt (vgl. Kapitel 4.1.1). In dieser ist die Sicherheit die wichtigste Verkehrsmitelegenschaft und danach folgen Aspekte der Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit. Ein möglicher Grund hierfür kann darin liegen, dass die Verkehrsmittel in Deutschland bereits als sicher wahrgenommen werden und daher eine explizite Priorisierung durch die Befragten nicht erfolgt.

Weiterhin werden in der präsentierten Befragung die Verkehrsmittel unterschiedlich hinsichtlich ihrer **p-Werte** bewertet:

- Das Fahrrad wird als zuverlässig, kostengünstig sowie als sehr umweltfreundlich und eher langsam wahrgenommen.
- Der ÖV wird als langsam und wenig zuverlässig, aber dafür als umweltfreundlich wahrgenommen.
- Das Auto wird als schnell, komfortabel, aber teuer und wenig umweltfreundlich wahrgenommen.

Somit zeigt sich, dass die subjektiven Verkehrsmitelegenschaften überwiegend mit den Ergebnissen anderer Studien übereinstimmen (Woods und Masthoff 2017, S. 219) und auch logisch herleitbar sind. Allein die Geschwindigkeitsbewertung von Auto und Fahrrad scheint hier ggf. subjektiv verzerrt durch die Befragten, da das Fahrrad im urbanen Raum für kurze Wege oftmals das schnellste Verkehrsmittel ist, weil beispielsweise die Parkplatzsuche entfällt (Tranter 2012, S. 71–72).

Um eine nachhaltigere Mobilität zu fördern, sollten daher Anreize geschaffen werden, die Menschen dazu motivieren, das Fahrrad im Alltag auszuprobieren [1]. Beispiele hierfür sind Informationskampagnen oder Fahrradfahrstunden im Rahmen des Pkw-Führerscheins.

Hinsichtlich des mittels der Wegekette erhobenen **Hauptverkehrsmittels** konnte gezeigt werden, dass zwar Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Berechnungsarten (nach Strecke, Zeit und Umstiegen) existieren, die Ergebnisse aber trotzdem größtenteils vergleichbar sind. Aus diesem Grund wurde sich in der Auswertung auf die in der Wissenschaft dominierende Berechnung nach der zurückgelegten Strecke konzentriert. Hierdurch sind jedoch Fußwege in der Wegekette unterrepräsentiert, welche einen nicht unerheblichen Anteil der individuellen Mobilität ausmachen und in den vergangenen Jahren eine zunehmende Relevanz verzeichneten (infas et al. 2025, S. 141). Für die weitere sozialwissenschaftliche Mobilitätsforschung wäre es daher wünschenswert, auch die zeitliche Relevanz der Verkehrsmittel [2] mehr in den Fokus zukünftiger Auswertungen zu stellen und ebenso p-Werte für Fußwege in einer zukünftigen Befragung zu erheben [3].

In der Gegenwart ist für die Universitätspopulation, der Hauptverkehrsmittelanalyse folgend, der ÖV das meistgenutzte Transportmittel, gefolgt vom Auto und dem Rad. Auch in der Wunschwegekette ist der ÖV weiterhin das meist genutzte Hauptverkehrsmittel für die Befragten - jedoch mit einem deutlich geringeren Anteil, welcher durch einen höheren Anteil des Fahrrads ausgeglichen wird. Somit scheinen die Befragten insbesondere ÖV-Strecken durch Fahrradstrecken ersetzen zu wollen. Der Autoanteil bleibt unverändert. Zwar ist die vermehrte Nutzung von aktiven Verkehrsmitteln unter ökologischen Gesichtspunkten begrüßenswert, jedoch idealerweise auf Kosten der Autonutzung und nicht der deutlich nachhaltigeren ÖV-Nutzung. Mögliche Gründe für die Reduzierung der ÖV-Nutzung, neben den berichteten geringeren p-Werten, können in negativen Erfahrungen mit dem Verkehrsmittel liegen, z.B. hinsichtlich nachlassender Zufriedenheit bei Pünktlichkeit, Linien- und Streckennetz, Sicherheit und Informationen (VRR 2025, S. 1). Ebenso könnte sie das Resultat der Erhebungszeitpunktes – während der Covid-19-Pandemie – und der damit verbundenen reduzierten ÖV-Nutzung sein. Zudem entspricht die Reduzierung der ÖV Nutzung in der Wunschwegekette nicht der tatsächlichen Entwicklung wie der kürzlich veröffentlichte MiD-Bericht zeigt: Hier wird eine Stabilisierung der ÖV-Nutzung identifiziert, möglicherweise begründet durch den Erfolg des Deutschlandtickets (infas et al. 2025, S. 19).

Weiterhin zeigt sich anhand der Wunschwegekette ein starker Wunsch nach elektrifizierten Hauptverkehrsmitteln – sowohl von E-Autos als auch von E-Fahrrädern. Passend hierzu zeigt sich auch in den aktuellen Neuzulassungen

von E-Autos eine deutliche (wenn auch für die deutschen Nachhaltigkeitsziele nicht ausreichende) Zunahme (Agora Verkehrswende 2026, S. 1). Hier wäre es für die zukünftige Forschung aufschlussreich, wie sich die p-Werte zwischen keiner (Fahrrad) bzw. klassischer (Auto) und elektrischer Motorisierung (Fahrrad und Auto) unterscheiden, um zu identifizieren, welche Faktoren E-Autos attraktiver erscheinen lassen [4]. Generell wünschen sich die Befragten zudem insbesondere weniger Umstiege und schnellere Verbindungen für Ihre Mobilität der Zukunft – Wünsche, die hauptsächlich durch stadtpolitische Infrastrukturmaßnahmen umgesetzt werden könnten [5].

Der Vergleich des **Hauptverkehrsmittels nach SEU-Berechnung** mit dem derzeitigen Hauptverkehrsmittel und dem Wunschhauptverkehrsmittel zeigt zudem, dass sich die Ergebnisse der SEU-Berechnung und das Wunschhauptverkehrsmittel ähneln. Jedoch ist das tatsächlich genutzte Hauptverkehrsmittel oftmals ein anderes. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass SEU-Werte idealisierte Wunsch-Verkehrsmittelvorstellungen umfassen, nicht aber die Restriktionen der tatsächlichen alltäglichen Mobilität hinreichend abbilden [6]. Um ein realistischeres Modell der Verkehrsmittelwahl zu entwickeln, bieten sich daher wissenschaftlich zwei Möglichkeiten: Einerseits können Kontextfaktoren, welche die Diskrepanz zwischen Einstellungen und Handeln begründen, identifiziert werden (siehe hierzu bspw. Weyer und Hoffmann 2025, 1–23). Andererseits kann, wie im zweiten Schritt dieser Dissertation vorgenommen, die SEU-Berechnung durch die Integration in eine Simulation, um relevante Kontextfaktoren, welche die Verkehrsmittelwahl beeinflussen, erweitert werden.

Hinsichtlich der **Wechselszenarien und der Governance-Maßnahmen** konnte gezeigt werden, dass unter den Befragten eine leicht überdurchschnittliche Wechselbereitschaft hin zu einer intermodalen Wegeketten, insbesondere unter Verwendung des Fahrrads, besteht. Das Szenario einer Mitfahrgelegenheit war im Vergleich zwischen den Szenarien das unbeliebteste, verzeichnete aber trotzdem eine durchschnittliche Bewertung und keine grundsätzliche Ablehnung. Bezüglich der Governance-Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit des Arbeitswegs wurden speziell der kostenlose ÖPNV und der Ausbau separater Radwege von mehr als der Hälfte der Befragten als effektiv wahrgenommen [7]. Am wenigsten effektiv wurde hingegen die Verknappung von Parkraum und die Verteuerung von Kraftstoffen angesehen. Somit zeigt sich abermals eine Präferenz der Befragten für die Förderung des Fahrrads als Verkehrsmittel und die Bereitschaft, das Fahrrad auch für die erste und letzte Meile zu nutzen. Dabei sind die Maßnahmen mit hohen Zustimmungswerten insbesondere Maßnahmen, welche andere Verkehrsmittel explizit nicht schlechter stellen. Hingegen sind Maßnahmen, die nicht nachhaltige Verkehrsmittel sanktionieren, weniger populär. Bemerkenswert ist zudem die geringe Beliebtheit von On-demand-Bussen bzw. Shuttles, welche

im Kontrast zur umfassenden Forschung, zur Implementation von Pilotprojekten und zu politischen Bestrebungen in diesem Bereich steht (Itani et al. 2024, S. 183–197). Hier wäre es aus wissenschaftlicher Sicht, wünschenswert, Gründe für diesen Widerspruch zu identifizieren [8].

Akteursgruppen

Ein wichtiger Bestandteil der vorliegenden Auswertung war die differenzierte aktorsgruppenspezifische Betrachtung, welche durch eine Two-Step-Clusteranalyse umgesetzt wurde. Hierfür wurden die U-Werte, also die individuellen Mobilitätspräferenzen, verwendet. Final konnten fünf Akteursgruppen identifiziert werden: Risikoaverse Umweltbewusste, Indifferente, Pragmatische, Komfortorientierte sowie Umwelt- und Kostenbewusste. Die Benennung ergab sich aus den jeweiligen Abweichungen vom Durchschnittswert der U-Werte von der Stichprobe. Basierend auf dieser Einteilung, wurden die zuvor berichteten Items zusätzlich aktorspezifisch ausgewertet. Die Abweichungen vom Stichprobendurchschnitt werden in Tabelle 25 stark kondensiert dargestellt:

Die **risikoaversen Umweltbewussten** nutzen aktuell das Auto unterdurchschnittlich und das Rad überdurchschnittlich oft als Hauptverkehrsmittel. Das Gleiche gilt auch für die Wunschwegekette. Für die zukünftige Elektrifizierung des Autos ist diese Akteursgruppe überdurchschnittlich offen ebenso wie für zukünftige Governance-Maßnahmen. Das Fahrrad wird, basierend auf der SEU-Berechnung, im Vergleich zu den anderen Akteursgruppen überdurchschnittlich hoch bewertet.

		Risiko- averse Umweltbe- wusste	Indiffe- rente	Pragmati- sche	Komfort- orientierte	Umwelt und Kos- tenbe- wusste
Aktuelle Wegekette	Auto	-	0	0	++	--
	ÖV	0	0	0	--	0
	Rad	+	0	0	-	+
Wunsch- wegekette	Auto	-	-	0	++	--
	ÖV	0	0	0	-	+
	Rad	+	0	-	-	+
Wunsch- Elektrifi- zierung	Auto	+	0	-	-	+
	Rad	-	0	0	++	-
SEU-Ver- gleich	Auto	0	0	+	++	0
	ÖV	0	-	-	--	0
	Rad	+	+	0	0	++
Wechselszenarien		0	0	0	-	+
Governance-Maßnahmen		+	0	-	--	++

Tabelle 25: Zusammenfassung der Ergebnisse nach Akteursgruppen. Subjektive Wertung des Autors basierend auf den vorgestellten Ergebnissen des Kapitels. Zwei Zeichen (Plus/Minus): Starke Abweichung vom Durchschnitt. Ein Zeichen: Leichte Abweichung vom Durchschnitt. 0: Keine Abweichung

Die **Indifferenten** zeigen hingegen keine starke Abweichung vom Durchschnitt hinsichtlich des aktuellen und des gewünschten Hauptverkehrsmittels, der Elektrifizierung der Verkehrsmittel und etwaiger Governance-Maßnahmen sowie Wechselszenarien. Allein das Auto soll in der Wunschwegekette etwas weniger als Hauptverkehrsmittel genutzt werden. Das Fahrrad bewerten sie leicht überdurchschnittlich und den ÖV leicht unterdurchschnittlich.

Ebenso wie die Indifferenten zeigen auch die **Pragmatischen** keine nennenswerten Abweichungen vom Durchschnitt hinsichtlich des Hauptverkehrsmittels der aktuellen und der Wunschwegekette sowie den Wechselszenarien auf. Lediglich das Fahrrad möchten die Pragmatischen in der Wunschwegekette etwas weniger nutzen. Im Gegensatz zu den Indifferenten schätzen sie den Effekt von Governance-Maßnahmen zur Förderung der eigenen nachhaltigen Mobilität geringer als der Stichprobendurchschnitt ein und möchten das Auto unterdurchschnittlich oft elektrifizieren.

Die **Komfortorientierten** zeigen die größten Abweichungen aller Akteursgruppen auf: Sie nutzen derzeit stark überdurchschnittlich das Auto und stark unterdurchschnittlich den ÖV als Hauptverkehrsmittel. Auch in ihrer Wunschwegekette wird das Auto stark überdurchschnittlich als Hauptverkehrsmittel genutzt. Dies passt zu ihrer SEU-Bewertung der Verkehrsmittel, in welcher das Auto stark überdurchschnittlich und das Fahrrad stark unterdurchschnittlich bewertet wird. Etwaigen Governance-Maßnahmen und Wechselszenarien stehen die Komfortorientierten überdurchschnittlich kritisch gegenüber, dafür stehen sie der zukünftigen Elektrifizierung des Rads überdurchschnittlich positiv gegenüber.

Auch die **Umwelt- und Kostenbewussten** zeigen starke Abweichungen: So ist in dieser Akteursgruppe das Fahrrad überdurchschnittlich oft das Hauptverkehrsmittel, sowohl in der aktuellen als auch in der Wunschwegekette. Das Auto ist hingegen stark unterdurchschnittlich oft das Hauptverkehrsmittel. Bezüglich der SEU-Berechnung zeigt sich (zur Wegekette passend) eine überdurchschnittlich hohe Bewertung des Fahrrads. Die Umwelt- und Kostenbewussten sind zudem die Akteursgruppe, welche am offensten für Mobilitätsveränderungen ist mit überdurchschnittlichen Zustimmungswerten für die Wechselszenarien und stark überdurchschnittlicher Zustimmung für Governance-Maßnahmen. Hinsichtlich der zukünftigen Elektrifizierung ihrer Wegekette stellt das E-Auto eine überdurchschnittlich und das E-Bike eine unterdurchschnittlich beliebte Option dar.

Die Auswertung der Akteursgruppen zeigt zusammenfassend, dass die Komfortorientierten und die Umwelt- und Kostenbewussten gesellschaftliche Gegenpole einer nachhaltigen Transformation der Mobilität sind. Erstere stehen alternativen Zukunftsvisionen kritisch gegenüber und bevorzugen das Auto und andere motorisierte Verkehrsmittel. Letztere präferieren das Fahrrad und

sind offen für Veränderung. Die Elektrifizierung des Autos stellt hingegen eine technische Möglichkeit für die Umwelt- und Kostenbewussten dar, die eigene Mobilität nachhaltiger zu gestalten. Pragmatische und Indifferente weisen hingegen nur geringere Abweichungen vom Stichprobendurchschnitt auf. Die risikoaversen Umweltbewussten sind tendenziell offen für nachhaltige Veränderungen, allerdings in einem geringeren Maße als die Umwelt- und Kostenbewussten.

Diese Ergebnisse verdeutlichen eine bestehende Nachhaltigkeitsungerechtigkeit, da insbesondere die Akteursgruppen, welche mutmaßlich hauptverantwortlich für die Emissionen sind, ihre Mobilität nicht ökologischer gestalten wollen oder können. Mögliche Gründe hierfür können sein, dass sozioökonomisch Bessergestellte generell nicht willens sind, ihr Verhalten ökologischer zu gestalten (Duncan et al. 2025, S. 1–15) oder die Infrastruktur einen Verkehrsmittelwechsel schlicht nicht zulässt (Rammler et al. 2019, S. 6). Dies unterstreicht die zuvor identifizierte Problematik einer bestehenden sozial-ökologischen Ungerechtigkeit der Mobilität im Ruhrgebiet und kann zu Konflikten führen (vgl. Kapitel 2.3.4, Neckel 2018b, S. 60–72). Dies sollte sowohl in der Mobilitätspolitik als auch in der weiteren Forschung berücksichtigt werden [9].

5.4.2 Limitationen

Wie jede empirische Untersuchung weist auch die beschriebene Befragung methodische und inhaltliche Limitationen auf, die nachfolgend reflektiert und in Tabelle 26 die Implikationen ergänzen. Eine erste Limitation liegt in der untersuchten Stichprobe, welche projektbedingt ein rein universitäres und somit kein für die gesamte Gesellschaft repräsentatives Abbild darstellt. Nichtsdestotrotz konnte durch den direkten Zugang zu Proband:innen über die Rektorate eine beachtliche Stichprobe gesammelt und umfassende empirisch valide Ergebnisse generiert werden. Daher kann die Fragebogenstruktur und Methodik als Grundlage für weitere wissenschaftliche Untersuchungen mit einer allgemeineren Umfragepopulation dienen. Durch eine heterogenere Stichprobe wären stärkere Ausdifferenzierungen beispielsweise in den Akteursgruppen, aber ggf. auch in der Wechselbereitschaft erwartbar [10].

Eine zweite Limitation ergibt sich aus der Art der Generierung des Befragungs-Samples per E-Mail-Einladung. Hierdurch besteht methodisch die Gefahr, dass überwiegend Mobilitätsinteressierte sich an den Umfragen beteiligen. Dem wurde in Form der Incentivierung, einer direkten Ansprache und offizieller Anrede durch die Rektorate versucht entgegenzuwirken.

Eine weitere Limitation liegt im Untersuchungszeitpunkt der Befragung: Die Befragung wurde während einer drastischen Veränderung des Mobilitätsverhaltens in Folge der Covid-19-Pandemie durchgeführt. Aus diesem Grund

konnten die Teilnehmer nicht nach ihrer tatsächlichen Mobilität befragt werden, sondern mussten gebeten werden sich an die „normale“ Vor-Corona-Mobilität zu erinnern. Dies kann zu einer Abweichung des typischen Antwortverhaltens führen. Zudem wurde die Studie nicht als eine Längsschnittstudie geplant, weswegen der Effekt der Covid-19-Pandemie auf das als normal wahrgenommene Mobilitätsverhalten im Pandemieverlauf nicht bewertet werden kann.

Abschließend wäre es für weitere Studien wünschenswert, sowohl mehr unterschiedliche Wechselszenarien zu erfragen und die Akteursgruppen genauer, zum Beispiel auch anhand von soziodemographischen Merkmalen und latenten Einstellungen wie dem Umweltbewusstsein, zu charakterisieren – dies hätte hier allerdings den analytisch möglichen Umfang der Arbeit überschritten. Trotzdem ermöglichte die durchgeführte Befragung die Beantwortung der zuvor formulierten Forschungshypothesen, deren Ergebnisse anschließend kurz zusammengefasst werden. Zudem werden zusätzliche Implikationen für die im nächsten Kapitel folgende agentenbasierte Simulation gewonnen.

Wissenschaftliche Implikationen	Realpolitische Implikationen
[2] Verkehrsmittel sollten nicht nur nach der zurückgelegten Strecke, sondern auch nach der genutzten Zeit bewertet werden.	[1] Mehr Fahrradmobilität wird durch die Befragten gewünscht, daher sollten entsprechende Anreize zur Fahrradnutzung umgesetzt werden.
[3] Zukünftige Forschung sollte p-Werte für Fußwege erheben.	[5] Allgemein wünschen sich die Befragten weniger Umstiege und schnellere Verbindungen. Hier sind zukünftig städtebauliche und Infrastrukturmaßnahmen wünschenswert.
[4] Zukünftige Forschung sollte p-Werte für elektrifizierte und nicht-elektrifizierte Verkehrsmittel erheben.	[7] Die Befragten erachten einen Ausbau separater Radwege und einen kostenlosen ÖPNV als förderlich, um die eigene Mobilität nachhaltiger zu gestalten.
[6] Es ist wissenschaftlich notwendig, Kontextfaktoren in die Verkehrsmittelentscheidung miteinzubeziehen.	[9] Derzeit besteht aus sozialökologischer Nachhaltigkeitsperspektive eine Mobilitätsungerechtigkeit zwischen den Befragten. Hier können akteursspezifische Maßnahmen helfen, eine gerechtere Mobilität zu fördern.
[8] Es besteht ein Mismatch zwischen On-demand-Interesse und entsprechenden Implementationsbemühungen.	
[10] Eine Anwendung der Befragung auf eine heterogene Stichprobe wäre wissenschaftlich wünschenswert.	

Tabelle 26: Wissenschaftliche und realpolitische Implikationen, welche sich aus der Befragung ergeben

5.4.3 Hypothesen und Ausblick

Basierend auf den hier beschriebenen Erkenntnissen konnten die im vorherigen Kapitel formulierten Hypothesen (F1-F3) weitgehend bestätigt werden (vgl. Tabelle 27 und vgl. Abbildung 50): Als Akteur:innen des Straßenverkehrs existieren heterogene Mobilitätstypen, welche sich sowohl hinsichtlich ihrer subjektiven Einstellungen als auch hinsichtlich ihrer Verkehrsmittelbewertung, wenngleich schwächer, unterscheiden (Risikoaverse Umweltbewusste, Indifferente, Pragmatische, Komfortorientierte, Umwelt und Kostenbewusste). Die unterschiedlichen Akteurstypen besitzen zudem unterschiedliche Mobilitätsroutinen, welche sich nicht allein durch die SEU-Berechnung erklären lassen und in Abbildung 50 durch die jeweilige stark vereinfachte Hauptverkehrsmittelnutzung dargestellt werden. Zudem unterscheiden sich die Akteurstypen auch hinsichtlich ihrer Offenheit für konkrete Wechselszenarien und der Bewertung der Effektivität von Governance-Maßnahmen.

Wie die zukünftig gewünschte Hauptverkehrsmittelnutzung in Abbildung 50 stark vereinfacht verdeutlicht, besteht über die gesamte Stichprobe hinweg ein Mobilitätsveränderungspotenzial in Form einer höheren Fahrradadaption zu Lasten der ÖV-Nutzung, die Autonutzung und Fußwege verbleiben konstant.

Somit zeigt sich hinsichtlich der Art des nachhaltigen Transformationspotenzials in der Stichprobe ein zweiseitiges Bild: Einerseits sind die Befragten durchaus bereit, ihr Mobilitätsverhalten zu transformieren und alternative ökologische Mobilitätsformen wie das Fahrrad vermehrt in ihre Wegeketten zu integrieren und E-Autos anstatt Verbrennern zu nutzen. Andererseits zeigt sich eine geringere Akzeptanz für nachhaltige, aber den Status Quo sanktionierende Governance-Maßnahmen und keine nennenswerte Reduzierung der generellen Autonutzung. Die gewünschte Elektrifizierung und der Widerstand gegen transformative Governance-Maßnahmen und die Bevorzugung der Individualmobilität lassen sich dem Konzept der ökologischen Modernisierung zuordnen, indem auf technologische Lösungen ohne eine grundsätzliche Veränderung der eigenen Verhaltensweisen gesetzt wird.

Bedeutung für das weitere Vorgehen dieser Arbeit

Weiterhin helfen die Erkenntnisse aus der Umfrage, die nachfolgend simulativ zu überprüfenden Hypothesen zu schärfen und weiterzuentwickeln (vgl. Abbildung 50): Hinsichtlich Hypothese S1 ergibt sich durch den vorgenommenen Vergleich vom tatsächlich genutzten aktuellen Hauptverkehrsmittel und der SEU-Berechnung, dass die sozialwissenschaftliche Handlungstheorie alleine nicht die tatsächlich Verkehrsmittelwahl darstellen kann. Somit er-

scheint eine Erweiterung bzw. Kombination der SEU-Berechnung um mobilitätsspezifische sozioökonomische Einflussfaktoren und physisch-infrastrukturelle Aspekte (z. B. Straßeninfrastruktur) sinnvoll, um ein realistisches Modell der Verkehrsmittelwahl zu erstellen. In diesem Sinne verspricht die in dieser Arbeit umgesetzte Kombination aus verkehrstechnischer Simulation und sozialwissenschaftlicher Handlungstheorie weiterhin gewinnbringende Ergebnisse.

Zudem gilt es, Möglichkeiten zu identifizieren, welche die im Rahmen der Befragung identifizierte grundsätzliche nachhaltige Transformationsbereitschaft aufgreifen und eine nachhaltige Veränderung des Mobilitätsverhaltens abseits einer reinen ökologischen Modernisierung bewirken. Hier ist ferner interessant, wie die unterschiedlichen Akteursgruppen auf Governance-Maßnahmen reagieren und ob die Maßnahmen zu einer sozialökologisch gerechteren Mobilität führen können.

Die Ergebnisse der Befragung verdeutlichen, dass für die im weiteren Verlauf der Arbeit durchgeführte Simulation eines nahezu kostenlosen ÖV-Tickets und höherer Spritpreise (Hypothesen S2 und S3) sowohl eine von den Befragten als effektiv als auch eine als ineffektiv wahrgenommene Governance-Maßnahme ausgewählt wurde. Der Vergleich dieser subjektiven Einschätzung der Befragten mit den Ergebnissen der Simulation verspricht daher interessante Ergebnisse.

Weiterhin kristallisierte sich in der Befragung überraschenderweise der hohe Stellenwert des Fahrrads in den Mobilitätswünschen der Proband:innen heraus. Daher erscheint eine Ergänzung der bestehenden Simulationshypothesen sinnvoll, um den Effekt auf das Mobilitätsverhalten durch fahrradzentrierte Governance-Maßnahmen evaluieren zu können. Großen Zuspruch erfuhr in der Befragung der Ausbau der Fahrradinfrastruktur (separate Fahrradwege, neue Schutzstreifen sowie Fahrradabstellmöglichkeiten). Daher wird das bekannte Hypothesen-Modell ad hoc um die Hypothese S3.5 erweitert:

Die Kennzeichnung von Fahrradwegen sowie der Ausbau von separaten Fahrradwegen und Fahrradabstellanlagen können helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.

Nr.:	Hypothese	Belegt?
F1	Es existieren heterogene Mobilitäts-Akteurstypen, welche sich hinsichtlich ihrer subjektiven Einstellungen und Verkehrsmittelbewertungen unterscheiden.	Ja
F2	Die unterschiedlichen Akteurstypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Mobilitätsroutinen. Diese sind nicht allein durch die SEU-Theorie-basierte Verkehrsmittelwahl zu erklären.	Ja
F3	Unter den unterschiedlichen Agentengruppen besteht ein unterschiedlich stark ausfallendes Mobilitäts-Veränderungspotenzial: Die alltägliche Wegekette entspricht nicht der Wunschwegekette, unterschiedliche Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen finden Zuspruch.	Teils
S1	Die Anreicherung bzw. Kombination bestehender verkehrstechnischer Simulationen durch eine sozialwissenschaftliche Handlungstheorie und empirisch erhobene Wegeketten ermöglicht eine detailliertere Abbildung von (nicht-linearen) meso- und makroskopischen Effekten.	?
S2	Es ist anzunehmen, dass die Einführung eines 9-Euro-Tickets zu einer nachhaltigeren Mobilität beitragen kann.	?
S3	Ebenso kann die Reduktion der MIV-Förderung helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.	?
S3,5	Die Kennzeichnung von Fahrradwegen sowie der Ausbau von separaten Fahrradwegen und Fahrradabstellanlagen können helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern (NEU).	?
S4	Die Kombination der beiden Effekte kann die Effektivität der Maßnahmen sogar noch weiter steigern.	?
S5	Die Wunschwegekette der Befragten führt zu einer nachhaltigeren Zukunft.	?

Tabelle 27: Zu überprüfende Hypothesen dieser Arbeit

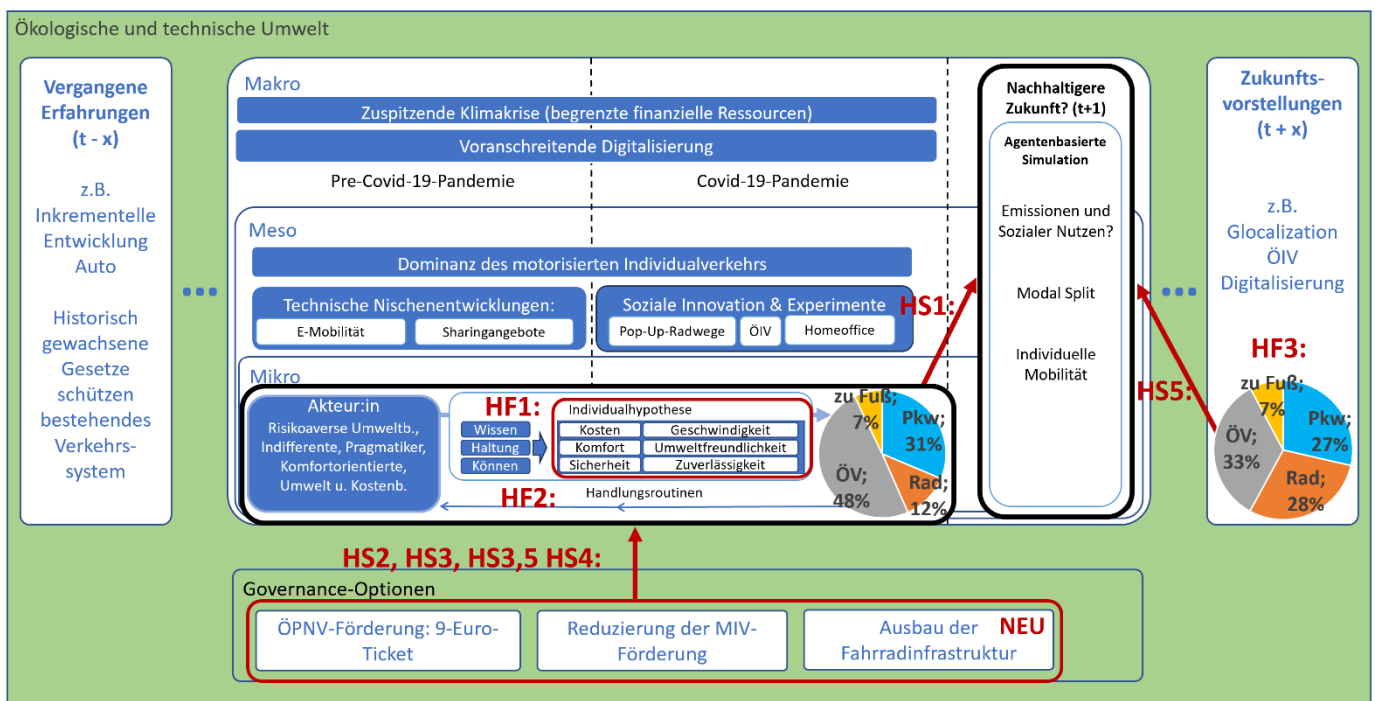


Abbildung 50: Hypothesensynthese basierend auf dem SMNT der Mobilität, erweitert um Hypothese S3,5 und Ergebnisse der Befragung (vgl. Abbildung 86)

6 Simulation möglicher Transformationsszenarien des Personenverkehrs mittels MATSim

Das nachfolgende Kapitel leistet nun im Sinne einer Soziologie der Nachhaltigkeit (vgl. Kapitel 1.3) einen vorwiegend praktisch-politischen Beitrag, indem – aufbauend auf den vorangegangenen deskriptiv-analytischen Ergebnissen – eine agentenbasierte Mobilitätssimulation des Ruhrgebiets entwickelt wird. In Kapitel 4.2 wurden bereits das wissenschaftliche Potenzial von agentenbasierten Simulationen in den Sozialwissenschaften diskutiert und relevante Mobilitätssimulationen vorgestellt.

In diesem Kapitel werden zunächst die den wissenschaftlichen Diskurs dominierende Simulation MATSim und das verwendete Ruhrgebietsszenario, welches im Rahmen des Forschungsprojektes Nemo (NEMO 2020, S. 1) entwickelt wurde und als Grundlage dieser Arbeit dient, präsentiert (vgl. Kapitel 6.1). Anschließend folgt sowohl die theoretische als auch technische Implementation des in dieser Arbeit umgesetzten InnaMoRuhr-Szenarios (vgl. Kapitel 6.2). Hierauf aufbauend wird die Implementierung der Experimente (vgl. Kapitel 6.3) sowie die Experimentauswertung beschrieben (vgl. Kapitel 6.4). Abschließend erfolgt die kritische Diskussion der Simulationsergebnisse (vgl. Kapitel 6.5).

6.1 Der Simulator MATSim und das Nemo-Szenario

Der Verkehrssimulator MATSim (MATSim 2026, S. 1) wurde als Open-Source-Software von dem Physiker und Informatiker Kai Nagel an der ETH Zürich entwickelt und seit 2004 in Kooperation mit Kay W. Axhausen, welcher an der Technischen Universität Berlin tätig war, weiterentwickelt. Die agentenbasierte Simulationssoftware basiert auf der Programmiersprache Java und ermöglicht es, durch schnelle Algorithmen auch umfassende Simulationen mit einer Vielzahl von simultan agierenden Agenten durchzuführen. Ein typischer Simulationsdurchlauf besteht aus der Simulation eines ganzen Tages, an welchem die Agenten einen Tagesplan abarbeiten. Das heißt, sie müssen unterschiedliche Aktivitäten zu unterschiedlichen Uhrzeiten erledigen und sich hierfür dann im Ort- und Straßennetzwerk fortbewegen. Um die Aktivitäten, wie beispielsweise den Arbeitsplatz, den Supermarkt oder Freizeitangebote zu erreichen, sind die Agenten daher auf Verkehrsmittel angewiesen, um sich in dem Netzwerk zu bewegen. Hierbei kann es beispielsweise zu Verzögerungen aufgrund von Staus etc. kommen, welche dann zu einem schlechteren Tages-Score führen. Auf diese Weise werden unterschiedliche



Abbildung 51: Eigene Visualisierung des MATSim-Straßennetzwerks des Ruhrgebiets (Grau) mit Simunto auf Basis von OpenStreetMap (Lizenz: ODbL)

Tagespläne wiederholt durchgespielt, bewertet und variiert. Nach einer Vielzahl von Simulationsdurchläufen können dann die individuell besten Tagespläne (in Abhängigkeit von den zeitgleich agierenden anderen Agenten) identifiziert werden, welchen den eigenen Nutzen maximieren. Das die Simulation rahmende Netzwerk kann hierbei sehr simpel gestrickt sein und aus wenigen Knoten und Kanten bestehen, ebenso können aber auch ganze Städte und Metropolregionen (Abbildung 51) abgebildet werden (Horni et al. 2025, S. 3–4).

Aus technischer Sicht verläuft ein typischer Simulationsdurchlauf wie folgt (vgl. Abbildung 52): Zunächst wird die ursprüngliche Verkehrslast in Form der Tagespläne der Agenten in die Simulation eingespeist. Basierend hierauf läuft die Verkehrssimulation (mobsim), in welcher sich die Agenten durch das Straßennetzwerk bewegen, unterschiedliche Verkehrsmittel nutzen und sich gegenseitig durch ihr Mobilitätsverhalten beeinflussen. Anschließend erfolgt eine Bewertung (scoring) der durchlaufenen Tagespläne basierend auf der tatsächlichen bei einer Aktivität verbrachten Zeit und dem aus der Verkehrsmittelnutzung resultierenden Nutzenverlust. Nach der Tagessimulation und der darauffolgenden Bewertung des absolvierten Tagesplans kann ein Agent seine Tagespläne um neue Variationen bestehender Pläne ergänzen und schlecht bewertete Tagespläne verwerfen (replanning). Durch die Wiederholung eben dieser drei Schritte kommt es zu einer quasi-evolutionären Anpassung, in welcher die Agenten zufällig ihre Pläne variieren und gut bewertete Tagespläne erhalten bleiben, bis ein Simulationsoptimum gefunden

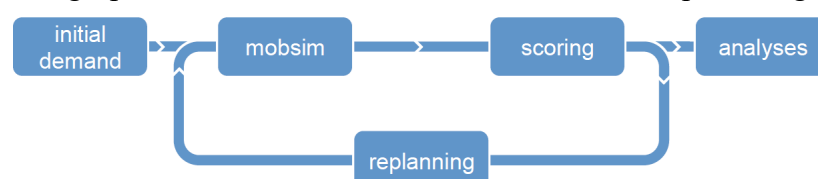


Abbildung 52: Simulationsschritte in MATSim - „MATSim cycle“ genannt (Darstellung von Horni et al. 2025, S. 3 – CC BY 4.0)

ist. In diesem nutzt dann jeder Agent die individuell besten Tagespläne. Die Entwicklung des simulierten Modal Splits sowie das Optimum lassen sich dann im letzten Schritt mittels der durch MATSim ausgegebenen Daten analysieren.

In den folgenden Unterkapiteln wird das verwendete Grundszenario vorgestellt und die hier nur kurz dargestellten Aspekte des Scorings und des Replannings vertiefend beschrieben und vorgenommene Änderungen an der Funktionsweise erklärt.

6.1.1 Das Nemo-Szenario: Netzwerk und Population

Die hier präsentierten Arbeiten bauen auf dem MATSim-Szenario des Ruhrgebiets auf, welches im Rahmen des wissenschaftlichen Projektes Neue Em-scher Mobilität (NEMO 2020, S. 1) entwickelt wurde. Dieses ist als Git-Repository unter der GPL 2.0-Lizenz frei verfügbar (Laudan et al., S. 1). Um das Szenario zu nutzen, wurde das entsprechende Projekt über Git bezogen und zunächst als Maven-Projekt in Eclipse eingebunden. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde jedoch aufgrund der besseren Git-Einbindung auf die Programmierungsumgebung IntelliJ gewechselt. Eine ausführliche Anleitung hierfür findet sich auf der MATSim-Projektwebsite (MATSim 2025, S. 1).

Das der Simulation zugrundeliegende Infrastruktur-Netzwerk wurde durch das Nemo-Team, wie für MATSim üblich, mittels frei verfügbarer Karten der OpenStreetMap-Database (OSM) erstellt (OpenStreetMap 2026, S. 1). Es umfasst 126.815 Knoten und 224.512 Kanten und bildet damit ganz Nordrhein-Westfalen ab (Ziemke et al. 2019a, S. 391).

Die Agenten der Simulationen wurden unter Rückgriff auf die Ergebnisse des Zensus 2011 wie auch der 2011 erfassten Pendlerstatistik der Bundesagentur für Arbeit initial erzeugt. Anhand der zugrundeliegenden Studien können die sozioökonomischen Charakteristika der Bevölkerung hinreichend realitätsnah den einzelnen synthetischen Agenten zugewiesen werden. In einem nächsten Schritt generierten Kaddoura et al. (2020, S. 363–365) mittels der Software „Comprehensive Econometric Microsimulator for Daily Activity-Travel Patterns“ kurz CEMDAP, basierend auf den zuvor ermittelten sozioökonomischen Eigenschaften der Agenten mehrere sinnvolle Tagespläne je Agent (Ziemke et al. 2015, S. 117–125). Eine Kalibrierung dieser synthetischen Bevölkerung erfolgt in Form von anpassbaren Konstanten, welche das Scoring der Tagespläne beeinflussen. Diese werden so angepasst, dass die simulierte Verkehrsmittelnutzung größtenteils sowohl den real erhobenen Verkehrszähl-daten als auch den tatsächlichen zurückgelegten Wegen nach Distanz und Verkehrsmittel entsprechen. Hierfür wurde die in dieser Arbeit schon oft zitierte Studie Mobilität in Deutschland 2017 genutzt (Kaddoura et al. 2020, S.

363–365), welche die größte bundesweit durchgeführte Mobilitätsstudie ist und somit der Simulationsvalidierung Gewicht gibt.

In dem Nemo-Szenario können die Agenten auf den motorisierten Individualverkehr (car), auf das Fahrrad (bike), Fußwege (walk), Mitfahrgelegenheiten (ride) und den ÖV (pt) zurückgreifen. Hierbei müssen – der Realität entsprechend – sowohl mit dem MIV als auch mit dem Fahrrad zurückgelegte Wege am Ende des Tages am gleichen Punkt enden, an dem Sie angefangen haben. Das ÖV-Netz ist fahrplangenau durch die Verwendung von General-Transit-Feed-Specification-Daten, kurz GTFS-Daten, abgebildet. Diese stellen den Soll-Fahrplan dar und werden beispielsweise durch den Regionalverband Ruhr (2021, S. 1) bereitgestellt. Jedem Verkehrsmittel werden spezifische an die Realität angelehnte Kosten bzw. Nutzenparameter zugewiesen, welche im Unterkapitel Scoring weiter vorgestellt werden.

6.1.2 Mobilitätssimulation

In MATSim stehen unterschiedliche Mobilitätssimulationen zur Verfügung. In der genutzten Nemo-MATSim-Version wird standardmäßig die QSim-Mobilitätssimulation verwendet, welche ein Warteschlangensystem (Queues) nutzt, um große Verkehrsflüsse effizient abzubilden. Fährt ein Agent von einer Kreuzung auf eine Straße, reiht er sich als letztes Fahrzeug in die Schlange aller wartenden Fahrzeuge ein, die auf der Straße fahren. Eine Weiterfahrt auf die nächste Straße oder den nächsten Straßenabschnitt ist erst möglich, wenn die folgenden drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- Der Agent muss mindestens die Zeit in der Schlange gewartet haben, die er oder sie bräuchte, um die Strecke der Straße ohne anderweitige Behinderungen zurückzulegen.
- Weiterhin muss sich der Agent am Anfang der Warteschlange befinden.
- Die nächste Straße muss frei sein.

Hierbei besitzt jede Straße eine Kapazitätsgrenze, welche definiert, wie viele Fahrzeuge auf ihr gleichzeitig stehen können. Unterschiedliche Fahrzeuge bzw. Fortbewegungsmittel besitzen dabei unterschiedliche Kapazitätsgrößen. Zusätzlich gibt es ein Limit, wie viele Autos gleichzeitig eine Straße verlassen können, jedoch kein Limit bezüglich der maximalen Anzahl an Fahrzeugen, die auf eine Straße fahren können. Durch diese beschriebenen Mechaniken können auch Staus hinreichend simuliert werden (Horni et al. 2025, S. 5–6).

6.1.3 Scoring - Bewertung der Tagespläne

Um die ausgeführten Agentenpläne am Ende eines simulierten Tages zu bewerten, wird in MATSim standardmäßig die folgende Scoring-Funktion verwendet (Horni et al. 2025, S. 100):

$$S_{plan} = \sum_{q=0}^{N-1} S_{act,q} + \sum_{q=0}^{N-1} S_{trav,mode(q)}$$

Hierbei setzt sich der Nutzen eines Tagesplans (S_{plan}) aus der Summe der Teil-Nutzen aller Aktivitäten (S_{act}) und der daraus resultierenden Fahrten ($S_{trav,mode}$) des Plans zusammen. Erstere sind positiv, letztere zumeist negativ (Horni et al. 2025, S. 101). Der Nutzen einer Aktivität (q) setzt sich wie folgt zusammen:

$$S_{act,q} = S_{dur,q} + S_{wait,q} + S_{late.ar,q} + S_{earl.dp,q} + S_{sort.dur,q}$$

$S_{dur,q}$ ist hierbei der zeitabhängige Nutzen der Aktivität, welcher erst nach einer anfänglichen (kurzen) Zeitspanne positiv ist und bei zunehmender Länge der Aktivität weniger stark steigt. $S_{wait,q}$ ist der Nutzen der Wartezeit, zum Beispiel, weil der Arbeitsplatz noch nicht geöffnet ist. $S_{wait,q}$ wird aus technischen Gründen zumeist als 0 angenommen und entfällt daher aus der Berechnung. Der negative Nutzen ($S_{late.ar,q}$) resultiert aus einer verspäteten Ankunft und ist abhängig von der Höhe der Verspätung. Gleiches gilt für den negativen Nutzen $S_{earl.dp,q}$, welcher aus einer verfrühten Abfahrt resultiert. $S_{sort.dur,q}$ resultiert aus einer zu kurzen Aktivitätslänge, wird aber ohne entsprechenden empirischen Hintergrund zumeist als 0 angenommen.

⇒ Zusammengefasst basiert der Nutzen einer Aktivität also auf der ausgeführten Länge einer Aktivität und wird durch ein zu spätes Ankommen bzw. ein zu frühes Verlassen des Arbeitsplatzes reduziert.

Der Nutzen eines auf die Aktivität folgenden Weges (q) setzt sich hingegen aus folgender Formel zusammen (Horni et al. 2025, S. 103):

$$\begin{aligned} S_{trav,q} = & C_{mode(q)} + \beta_{trav,mode(q)} * t_{trav,q} + \beta_m * \Delta m_q \\ & + (\beta_{d,mode(q)} + \beta_m * \gamma_{d,mode(q)}) * d_{trav,q} + \beta_{transfer} \\ & * x_{transfer,q} \end{aligned}$$

Die Variablen, ihre Funktion, ihr englischer Name sowie ihre typische Ausprägung (positiv oder negativ) sind in Tabelle 28 zusammengefasst. Die im Nemo-Szenario gesetzten Werte für die Variablen finden sich in Tabelle 29.

Der Formel folgend bedeutet dies, dass der Nutzen eines Weges sich zunächst aus einer verkehrsmittelabhängigen Konstanten errechnet. Hinzu wird der negative Nutzen in Abhängigkeit von der Reisezeit addiert, ebenso wie

Variable	Funktion	Name
$C_{mode(q)}$	Verkehrsmittelabhängige Konstante	Mode-specific constant
$\beta_{trav,mode(q)}$	Grenznutzen des Verkehrsmittels in Zeitabhängigkeit (-)	Marginal utility of time spent traveling
$t_{trav,q}$	Reisezeit zwischen Aktivitäten	Travel time
β_m	Grenznutzen des Geldes (+)	Marginal utility of money
Δm_q	Veränderung des Budgets durch Ticket oder Maut (- / 0)	Change in monetary budget
$\beta_{d,mode(q)}$	Grenznutzen der Distanz des Verkehrsmittels (- / 0)	Marginal utility of distance
$\gamma_{d,mode(q)}$	Verkehrsmittelabhängige Kosten der Wegstrecke (- / 0)	Mode specific monetary distance rate
$d_{trav,q}$	Gereiste Distanz zwischen q und q+1	Distance traveled
$\beta_{transfer}$	ÖV-Umstiegs-Nutzen (-)	Transfer penalties
$x_{transfer,q}$	Umstieg (Ja/Nein)	Transfer variable

Tabelle 28: Variablen der Nutzenfunktion des Weges in Deutsch und Englisch sowie ihre typische Ausprägung (Horni et al. 2025, S. 103)

der negative Nutzen durch fixe Ausgaben wie Ticket- oder Mautkosten. Hinzu kommt der negative Nutzen, der aus den distanzabhängigen Kosten des Verkehrsmittels und dem distanzabhängigen Verkehrsmittelnutzen resultiert. Zuletzt wird in Folge eines Umstiegs ein negativer Nutzen addiert.

- ⇒ Zusammengefasst setzt sich der Fahrtnutzen also aus den fixen und variablen Kosten des Verkehrsmittels sowie dem negativen Nutzen basierend auf der aufgewendeten Zeit und zurückgelegten Distanz und einer Umsteigestrafe zusammen.

Für die Implementation im Rahmen des InnaMoRuhr-Projektes wird die beschriebene Scoring-Funktion des Weges angepasst und um eine abgewandelte Version der aus dem Simulator SimCo bekannten SEU-Berechnung nach Esser erweitert (vgl. Kapitel 6.2).

	Daily Monetary Constant	Mode-specific constant	Marginal Utility of Traveling_util_hr	Monetary DistanceRate
Auto	-5,3	0	0	-0,0002
Mitfahrt	-	0	0	-0,0002
ÖNPV	-2,15	-2	-1	-
Fahrrad	-	-0,5	-0,75	-
Zu Fuß	-	0	-3	-
Zu Fuß Transit	-	-	0	-
Non-network-walk	-	-	0	-

Tabelle 29: Scoring-Variablen der einzelnen Verkehrsmittel im Nemo-Ruhrgebiets-Szenario

6.1.4 Replanning

Das Replanning der Tagespläne wird durch sog. Innovationsstrategien umgesetzt, welche dazu dienen, Abweichungen von bestehenden Tagesplänen zu generieren und hierdurch eine evolutionäre Veränderung des Mobilitätsverhaltens über mehrere Wiederholungen der Tagespläne bzw. Tagesdurchläufe sicherzustellen.

Hierfür existieren im Rahmen des verwendeten Szenarios verschiedene (de-)aktivierbare Optionen. Jede Option besitzt eine Gewichtung, auf deren Grundlage die jeweilige prozentuale Auswahlwahrscheinlichkeit im Replanning-Prozess generiert wird. Die folgenden Replanning-Innovationen sowie die angegebenen Gewichtungen sind Teil des Nemo-Szenarios, werden aber auch für die in dieser Arbeit vorgestellten Simulationen genutzt¹²:

- Zeit-Innovation: Dupliziert einen bestehenden Tagesplan, verändert die Endzeiten der Aktivitäten (*TimeAllocationMutator*). Die Option hat für die ersten 400 Iterationen ein Gewicht von **0,05** und wird danach deaktiviert.
- Routen-Innovation (*ReRoute*): Dupliziert einen bestehenden Tagesplan und verändert die gewählte Route im Verkehrsnetz. Wird nach 400 Iterationen ebenso deaktiviert und hat ein Gewicht von **0,05**.
- Verkehrsmittel-Innovation (*SubtourModeChoice*): Dupliziert einen bestehenden Tagesplan, verändert für eine Fahrt des Tagesplans (leg) das Verkehrsmittel. Dies geschieht in der Standard-Konfiguration für das Auto und den ÖPNV, in dem Nemo-Szenario hingegen auch für Rad und Fußwege. Zu Beginn hat diese Option ein Gewicht von **0,10**, wird jedoch nach 200 Iterationen auf **0,05** reduziert und wird nach insgesamt 400 Iterationen komplett deaktiviert.
- Plan-Auswahl (*changeExpBeta*), welche schlicht einen bestehenden Plan, basierend auf den vorherigen Bewertungen, auswählt und mit **0,85** gewichtet ist.

Um die prozentuale Auswahlwahrscheinlichkeit zu berechnen, werden die einzelnen Gewichtungen addiert und anschließend jeweils durch diese aufaddierte Summe geteilt. Für die ersten Iterationen ergibt sich $0,05 + 0,05 + 0,10 + 0,85 = 1,05$ und für die letzten Iterationen $0,05 + 0,85 = 0,90$. Pro Agenten

¹² Hierfür wurden die entsprechenden Strategien *TimeAllocationMutator*, *ReRoute* und *changeExpBeta* in der Config-Datei („*MATSim\Config-Dateien*“, digitaler Anhang) des jeweiligen Szenarios dupliziert und angepasst. Für *SubtourModeChoice* funktionierte dies hingegen nicht, da die InnaMoRuhr-Agenten technisch separate Verkehrsmittel nutzen. Hier wurde eine eigene *SubtourModeChoice* für InnaMoRuhr-Agenten in der *RunRuhrgebietSzenario.java* (ab Zeile 270, Digitaler Anhang „*MATSim\Java-Dateien*, digitaler Anhang) implementiert.

existiert eine maximale Anzahl an verfügbaren Plänen, hier 4. Wird diese überschritten, werden überschüssige Pläne mit einem niedrigen Score gelöscht.

6.2 Das InnaMoRuhr-Szenario – Erweiterungen und Implementation

Im Rahmen des InnaMoRuhr-Szenarios wurde eine vollständig neue Subpopulation in das bestehende Nemo-Szenario integriert, welche eine erweiterte Scoring-Funktion verwendet. Hierfür wurden in einem ersten Schritt, basierend auf der in der Umfrage erhobenen Wegekette, Tagespläne für die neue Subpopulation generiert (vgl. Kapitel 6.2.1) und realistisch skaliert (vgl. Kapitel 6.2.2). Zusätzlich wurde das bestehende Scoring für die neue Subpopulation um einen SEU-Kalkulations-Term erweitert (vgl. Kapitel 6.2.3). Anschließend werden die Kalibrierung (vgl. Kapitel 6.2.4) und die Implementierung relevanter Auswertungsparameter beschrieben (vgl. Kapitel 6.2.5). Das Kapitel abschließend werden die (programmier-) technische Implementierung dargestellt und die essenziellen Code-Funktionen in Python und MATSim/ Java kurz zusammengefasst (vgl. Kapitel 6.2.6).

6.2.1 Tagespläne

Das Hinzufügen der InnaMoRuhr-Agenten in das Nemo-Szenario wurde in MATSim durch die Implementation einer Subpopulation realisiert. Hierfür wurde im Rahmen des InnaMoRuhr-Projekts eine Plandatei erstellt, welche alle Pläne der einzelnen Agenten enthält. Die minimalen inhaltlichen Voraussetzungen, die MATSim an einen Tagesplan hierfür stellt, sind:

- Wenn mehrere Pläne für einen Agenten existieren, muss ein Plan als aktiv markiert sein.
- Alle Aktivitäten des Plans haben definierte Endzeiten.
- Der Ort einer Aktivität wird über Koordinaten und/oder OSM-Links (also definierten Straßen) festgelegt.
- Wegabschnitte erfordern zwingend:
 - Ein festgelegtes Verkehrsmittel.
 - Die exakte Route im Netzwerk ist notwendig, wird aber von MATSim errechnet, wenn nicht angegeben.
 - Die Angabe der Reisezeit ist optional, da sie bei fehlender Angabe in MATSim ebenso errechnet wird.

Um nun die Subpopulation zu erstellen, wird für jeden zu erstellenden Agenten aus der in der Befragung erhobenen Wegekette ein Plan erzeugt.

Hierfür werden aus den Wegeketten die Aktivitäten und die jeweiligen Verkehrsmittel, um die Aktivitäten zu erreichen, sowie die entsprechenden Zeitangaben entnommen. Die Identifizierung der Koordinaten bzw. Knotenpunkte im Netzwerk der Aktivitäten gestaltet sich hingegen kompliziert:

- Zunächst muss das Zuhause und somit der Start- und Endpunkt des jeweiligen Agenten im Netzwerk identifiziert werden. Hierfür wird basierend auf der in der Befragung angegebenen Postleitzahl eine zufällige Straße (Link) aus dem jeweiligen Postleitzahlenbereich gezogen.
- Für die Aktivität Work kann eine zufällige Straße (Link) aus dem Einzugsgebiet der Universität des jeweiligen Agenten gezogen werden, da anzunehmen ist, dass die jeweilige Universität sowohl für die Studierenden als auch die Angestellten der Hauptarbeitsort ist.
- Für andere Aktivitäten wie „Freizeit“ wurden hingegen in der Befragung keine Koordinaten erhoben. Aus diesem Grund müssen diese approximiert werden. Hierfür werden zwei Kreise um den letzten bekannten Start und Endpunkt des jeweiligen Routenabschnittes mit der aus der Befragung gewonnen Distanz als Radius gezogen. Aus der Schnittmenge der beiden Kreise wird ein Knoten als Zwischenziel identifiziert (eine ausführliche Beschreibung erfolgt in Kapitel 6.2.6).

Die genauen Routen zu den so identifizierten Knoten im Netzwerk werden abschließend von MATSim berechnet. Da nur ein Plan für jeden Agenten erzeugt wird, ist dieser zwangsläufig der aktive Plan. Abschließend wurde in den verwendeten Tagesplänen die Zugehörigkeit zu der jeweiligen Clustergruppe gespeichert. Diese ermöglicht dann sowohl das agentengruppenspezifische Scoring der Tagespläne als auch eine agentengruppenspezifische Auswertung der Simulationsergebnisse. Die so erstellten Tagespläne werden abschließend in einer XML-Datei gespeichert, damit sie von MATSim genutzt werden können.

```

<person id="IMR_ude_000293_RUB_indifferent_MA_Forschung_21">
  <attributes>
    <attribute name="subpopulation" class="java.lang.String">InnaMoRuhr</attribute>
    <attribute name="age" class="java.lang.Integer">3</attribute>
    <attribute name="sex" class="java.lang.Double">2.0</attribute>
    <attribute name="agenttype" class="java.lang.String">indifferent</attribute>
    <attribute name="university" class="java.lang.String">RUB</attribute>
    <attribute name="status" class="java.lang.String">MA_Forschung</attribute>
  </attributes>
  <plan selected="yes">
    <activity type="home_30600.0" link="236379790004f" x="398922.1506346348" y="5682000.956489071" end_time="08:28:04" />
    <leg mode="pt" >
      <attributes>
        <attribute name="routingMode" class="java.lang.String">pt</attribute>
      </attributes>
    </leg>
    <activity type="work_28200.0" link="5261541890001f" x="379602.9375007063" y="5700953.338145704" end_time="16:51:30" />
    <leg mode="pt" >
      <attributes>
        <attribute name="routingMode" class="java.lang.String">pt</attribute>
      </attributes>
    </leg>
    <activity type="home_3600.0" link="236379790004f" x="398922.1506346348" y="5682000.956489071" end_time="17:53:11" />
  </plan>
</person>

```

Abbildung 53: Exemplarische Plandatei des InnaMoRuhr-Szenarios in MATSim

In Abbildung 53 ist exemplarisch der Tagesplan eines Agenten dargestellt, der mittels der zuvor beschriebenen Methode erstellt wurde. Die vollständige Plandatei besteht aus 42.437 solcher Einträge, da für jeden simulierten Agenten mindestens ein Tagesplan zu Beginn der Simulation bestehen muss (vgl. digitaler Anhang (Philipp et al. 2026), *MATSim/Tagespläne/IMR.all_plans_combined.xml.gz*). Der in der Abbildung dargestellte Agent hat die ID (Identifikationsnummer) „IMR_ude_000293_RUB_indifferent_MA_Forschung_21“. Die ID verschriftlicht bereits einige Agenteneigenschaften, wie Universitäts- und Agentengruppenzugehörigkeit, welche später für die Auswertung der Simulationsergebnisse genutzt werden (vgl. Kapitel 6.2.6). Für die Simulation selbst spielt die ID hingegen keine Bedeutung, hier sind die ebenso in der Plandatei definierten Attribute der Agenten entscheidend. Hierzu gehören unter anderem die Zugehörigkeit zu der Subpopulation „subpopulation“ (hier: „InnaMoRuhr“). Diese ist unter anderem für das Scoring und eine spätere Auswertung relevant. Gleiches gilt für den Agententypen „agenttype“ und den Universitätsstandort des Agenten „university“. Zudem werden Geschlecht und Alter für eine etwaige Auswertung hinterlegt.

An die Attribute anschließend wird der eigentliche „plan“ mit seinen Aktivitäten und Wegstrecken definiert. Hierbei wurde wie oben beschrieben nur maximal ein Plan pro Agent ausgewählt: „plan selected“. Jedoch können die Agenten bis zu vier Pläne besitzen, welche in der laufenden MATSim-Simulation erzeugt werden. Der Agent „IMR_ude_000293_RUB_indifferent_MA_Forschung_21“ startet seinen Plan mit der Aktivität „home_30600“, also von zuhause aus. Hierbei ist der Ort der Aktivität sowohl über die Koordinatenangaben („x“, „y“), als auch den relevanten OpenStreet-Map-Link („link“) definiert. Zeitlich wird die geplante Dauer einer Aktivität über den Namen definiert: Die Zahl gibt die Anzahl der benötigten Sekunden

an. Für die Aktivität home_34200 ist die benötigte Zeit entsprechend 9,5 Stunden:

$$34\,200\,s * \frac{1\,min}{60\,s} * \frac{1\,h}{60\,min} = 9,5\,h$$

Die sich hieran anschließende Aktivität „Arbeit“ („work_28200“) dauert dementsprechend fast acht Stunden und wird mit dem ÖV („pt“) erreicht. Nach der Arbeit fährt der Agent mit dem ÖV wieder nach Hause.

6.2.2 Skalierung

In das bestehende Nemo-Szenario des Ruhrgebiets, in welchem sich bereits über 42.437 Agenten im Netzwerk bewegen, wird im Rahmen dieser Arbeit die InnaMoRuhr-Subpopulation (vgl. Tabelle 30) mit ihren entsprechenden Tagesplänen eingefügt. Allerdings wird diese nicht im vollen Umfang implementiert, sondern ein 20-prozentiges Abbild der realen Universitätspopulation erzeugt. Der Grund hierfür ist, dass eine originalgetreue Simulation von 135.353 Agenten (entsprechend der tatsächlichen Anzahl der Studierenden und Beschäftigten) zu einem enormen Rechenaufwand geführt hätte, da sich die zu simulierende Population hierdurch fast vervierfacht hätte. Mittels des im vorherigen Kapitel beschriebenen Vorgehens konnten insgesamt 4916 Tagespläne erzeugt werden, welche jedoch nicht ausreichen, um das 20-prozentige Abbild der Universitätspopulation darzustellen. Daher müssen für die unterschiedlichen Statusgruppen zusätzliche Tagespläne erstellt werden.

Dies geschieht durch das zufällige Duplizieren von bestehenden Tagesplänen der Statusgruppe. Für das Jahr 2020 sind in Tabelle 30 die Anzahl der Beschäftigten in Forschung und Lehre (F&L), Technik und Verwaltung (T&V)

Universität	Art*	Anzahl**	20 %-Skalierung	Pläne Fragebogen	Faktor
Technische Universität Dortmund	F&L	2.912	582	330	1,76
	Stud	33.440	6688	1179	5,67
	T&V	1.435	287	255	1,13
Ruhruniversität Bochum	F&L	3.670	734	356	2,06
	Stud	42.599	8.520	979	8,70
	T&V	2.491	498	266	1,87
Universität Duisburg-Essen	F&L	4324	865	269	3,21
	Stud	42.925	8585	1048	8,19
	T&V	1.557	311	234	1,33
Gesamt:		135.353	27.070	4916	

* F&L: Wissenschaftliches Personal, Stud: Studierende, T&V Mitarbeiter:innen in Technik und Verwaltung

** Die Anzahl der Universitätsangehörigen wurde anhand offizieller Zahlen der Universitäten im Jahre 2020 bestimmt (TU Dortmund 2021, S. 8; RUB 2021, S. 1; UDE 2021, S. 1).

Tabelle 30: Anzahl der für die Simulation genutzten Pläne sowie die entsprechenden Skalierungsfaktoren für die unterschiedlichen Gruppen der Universitätsangehörigen

und die Anzahl der Studierenden für alle drei Ruhrgebietsuniversitäten dargestellt. Die Skalierung wurde wie folgt vorgenommen: Die Technische Universität Dortmund besitzt 2.912 Mitarbeiter:innen in Forschung und Lehre. Um ein 20-Prozent-Abbild dieser Statusgruppe zu simulieren, müssen daher 582 Tagespläne dieser Statusgruppe erstellt werden. Aus der im vorherigen Kapitel präsentierten Umfrage konnten jedoch nur 330 vollständig ausgefüllte und für die Simulation brauchbare Mobilitätspläne für die genannte Statusgruppe extrahiert werden. Aus diesem Grund werden also 252 zusätzliche Pläne (Faktor 1,76) als zufällige Kopie bereits vorhandener Pläne der Statusgruppe erstellt. Somit stellt der Skalierungsfaktor ein gewisses Gütekriterium dar: Ein geringer Faktor zeigt eine proportional realistischere Abbildung der jeweiligen Statusgruppe an. Durch die Skalierung sollen insgesamt 27.070 Agenten zusätzlich zu den bestehenden 42.346 Agenten erzeugt werden.

6.2.3 Erweiterung des bestehenden Scorings

Variable	Bedeutung
SEU-Theorie	
SEU (A_i)	Der größte, subjektiv wahrgenommene Nutzen einer Handlungsalternative (A)
U	Subjektive Bewertung
O	Erwartetes Ergebnis
p	Wahrscheinlichkeit der individuellen Zielerreichung
n	Anzahl der zur Verfügung stehenden Optionen
MATSim-Adaption	
SEU _{plan}	Subjektiv wahrgenommene Nutzen aller getroffenen Mobilitätsentscheidungen eines Tages
t _{rel,q}	Relative Nutzungsdauer eines Verkehrsmittels der Wegekette
b	Gewichtungsfaktor zwischen MATSim- und SEU-Scoring

Tabelle 31: Variablen der SEU-Formel (in Anlehnung an Adelt et al. 2018, S. 13; zit. n. Philipp und Adelt 2018, S. 24, ergänzt um MATSim-spezifische Variablen)

Um MATSim um eine sozialwissenschaftliche Handlungskomponente zu erweitern, soll die MATSim Scoring-Funktion um den in SimCo bereits erfolgreich angewandten handlungstheoretischen Ansatz erweitert werden (Philipp und Adelt 2018, S. 25–50; Adelt und Hoffmann 2017, S. 37–43). Dieser basiert auf dem SEU-Modell nach Esser (1999, S. 344–345), welches bereits in Kapitel 4.1.2 vorgestellt wurde¹³. Die ursprünglichen Variablen der SEU-Formel sowie die Ergänzungen im Rahmen der MATSim-Implementation sind in Tabelle 31 dargestellt.

$$SEU(A_i) = \sum_{j=1}^n p_{ij} * U(O)_j$$

¹³ Ein Agent entscheidet sich stets für die Alternative (A) mit dem größten subjektiv wahrgenommenen Nutzen aller Alternativen (i). Dieser setzt sich zusammen aus einer Multiplikation der Bewertung eines erwarteten Ergebnisses U(O) mit der Wahrscheinlichkeit der individuellen Zielerreichung p.

Jedoch kann der SimCo-SEU-Ansatz nicht direkt in MATSim übertragen werden, denn die Mobilitätsentscheidung der Agenten in SimCo erfolgt (anders als in MATSim) in Echtzeit: Der größte wahrgenommene Nutzen einer Verkehrsmittelooption, um eine Strecke (i) zurückzulegen, ergibt sich aus der Multiplikation der Bewertung des erwarteten Ergebnisses $U(O)$ mit den verkehrsmittelspezifischen Wahrscheinlichkeiten, das Ziel zu erreichen (p). Der Vergleich unterschiedlicher Alternativen erlaubt nun dem simulierten Agenten in SimCo, das individuell beste Verkehrsmittel für die ihm vorliegende Strecke auszuwählen.

Aus diesem Grund ist keine direkte Übertragung in MATSim möglich, da die Agenten in MATSim festen Tagesplänen folgen und somit keine Mobilitätsentscheidung in der laufenden Simulation eines Tages treffen können. Vielmehr wird der Tag, wie im vorherigen Abschnitt vorgestellt, retroperspektiv bewertet. Eine andere Form der Implementation des SEU-Entscheidungsmodells ist jedoch trotzdem nachträglich über das Scoring möglich:

Hierfür wird an die in Kapitel 6.1 beschriebene MATSim-Scoring-Funktion, welche sowohl die Aktivität als auch die genutzten Verkehrsmittel nach monetärem und zeitlichem Nutzen bewertet, ein weiterer additiver Term der SEU-Kalkulation angehängt.

In diesem wird – im Gegensatz zur SimCo-SEU-Formel – nicht die einzelne Verkehrsmittelentscheidung bewertet, sondern es werden alle bereits getroffenen Verkehrsmittelentscheidungen eines Tages SEU_{plan} bewertet:

$$SEU_{plan} = \sum_{q=1}^{N-1} p_{qj} * U(O)_j * t_{rel,q}$$

Hierfür werden für jedes genutzte Verkehrsmittel q die unterschiedlichen p- und U-Werte multipliziert und somit hinsichtlich der subjektiven Zielerreichung bewertet. Da Verkehrsmittel im Laufe eines Tagesplans unterschiedlich lang und auch wiederholt genutzt werden können, werden die einzelnen Wege anhand der jeweiligen relativen Nutzungsdauer prozentual gewichtet ($t_{rel,q}$).

Eine Kombination der ursprünglichen Scoring-Funktion von MATSim mit dem zuvor vorgestellten SEU-Scoring ergibt somit das final in dieser Arbeit genutzte InnaMoRuhr-MATSim-Scoring:

$$S_{plan} = \sum_{q=0}^{N-1} S_{act,q} + \sum_{q=0}^{N-1} S_{trav,mode(q)} + b * \sum_{q=0}^{N-1} p_{qj} * U(O)_j * t_{rel,q}$$

Die Bewertung eines Tagesplans setzt sich also aus der ursprünglichen Bewertung der Aktivitäten und der Wegekette zusammen, wird nun aber um eine subjektive Bewertung der genutzten Verkehrsmittel ergänzt. Zusätzlich

lässt sich die Formel über einen Faktor (b) gewichten, um das Verhältnis zwischen ursprünglichem und ergänztem Scoring anzupassen. Dies ist im Basisszenario jedoch nicht vorgesehen, der Faktor ist also 1.

Für ihre Verkehrsmittelwahl können die unterschiedlichen Agententypen (benannt nach den Akteurstypen: Risikoaverse Umweltbewusste, Indifferente, Pragmatische, Komfortorientierte, Umwelt- und Kostenbewusste) auf die Verkehrsmittel Auto, Fahrrad, Fußweg und ÖPNV zurückgreifen. Die Mitfahrgelegenheit als Verkehrsmitteloption bleibt hingegen den ursprünglichen Agenten des Ruhrgebietsszenarios vorbehalten, da für die InnaMoRuhr-Population diesbezüglich keine ausreichende Datenbasis in der Befragung erhoben wurde.

Die bereits im Rahmen der Clusteranalyse vorgestellten Selbsteinschätzungen (und Clustervariablen) – wie etwa hinsichtlich der Wichtigkeit von Komfort oder Geschwindigkeit – sind die U-Werte. Die Einschätzung bzw. die Bewertung der Verkehrsmittel sind die p-Werte. Tabelle 32 fasst besagte Werte zusammen, wie sie in der Befragung erhoben wurden. Grau hinterlegt sind hier die U-Werte, die p-Werte des jeweiligen Verkehrsmittels sind der jeweiligen Agentengruppe zugeordnet. Für die SEU-Berechnung werden die erfragten p-Werte auf einer Skala von 0 bis 1 normalisiert. Dies geschieht in der laufenden Simulation (vgl. Kapitel 6.2.6).

Agentengruppe	Verkehrsmittel	G	K	U	S	Ke	Z
Risikoaverse	-	6,21	3,13	7,63	7,98	5,62	8,58
Umweltbewusste	Auto	7,66	8,13	1,91	6,56	2,91	7,95
	Fahrrad	3,99	4,64	9,52	4,46	8,77	8,30
	ÖPNV	4,23	4,55	7,35	6,80	5,34	3,75
Indifferente	-	6,98	5,45	6,87	6,46	6,76	6,19
	Auto	7,61	7,93	2,38	6,54	3,37	7,74
	Fahrrad	3,91	4,53	9,39	4,57	8,55	7,85
	ÖPNV	3,52	3,91	7,25	6,30	5,21	3,13
Pragmatische	-	8,79	4,95	3,73	5,64	7,11	8,87
	Auto	8,18	8,55	2,56	7,09	3,54	8,40
	Fahrrad	3,17	3,75	9,40	4,31	8,68	7,94
	ÖPNV	7,97	8,39	2,06	7,19	3,07	8,07
Komfortorientierte	-	8,57	7,46	3,82	7,6	3,16	8,53
	Auto	8,46	8,84	2,75	7,52	3,67	8,58
	Fahrrad	2,67	3,33	9,36	3,99	8,71	7,73
	ÖPNV	2,84	3,04	7,29	5,86	5,26	2,84
Umwelt- und Kostenbewusste	-	8,56	2,49	8,01	3,56	7,7	8,6
	Auto	7,78	8,23	1,50	6,27	2,57	8,05
	Fahrrad	4,18	4,44	9,56	4,43	8,92	8,46
	ÖPNV	4,11	4,65	7,68	6,93	5,61	3,64
Alle	-						
	Zu Fuß	1,5	4,5	10,0	8,0	9,5	8,5

G: Geschwindigkeit, K: Komfort, U: Umweltfreundlichkeit, S: Sicherheit, KE: Kosteneffektivität, Z: Zuverlässigkeit

Tabelle 32: U-Werte (grau hinterlegt) und p-Werte der Agenten nach Agentengruppe, basierend auf Clusteranalyse

Da im Fragebogen nur die Bewertung der Verkehrsmittel Auto, Fahrrad und ÖPNV abgefragt wurden, mussten die p-Werte für die Fußwege geschätzt werden – dies geschah basierend auf einer Gruppendiskussion innerhalb des Forschungsgebiets Techniksoziologie der TU Dortmund. Hierfür wurde sich an den bestehenden durchschnittlichen p-Werten der restlichen Verkehrsmittel orientiert: Fußwege sind das umweltfreundlichste Verkehrsmittel, da außer dem Körper keine zusätzliche Technik benötigt wird, daher wird die Umweltfreundlichkeit höher als die des Fahrrads festgelegt. (Bewertung: 10). Gleichzeitig sind Fußwege auch die mit Abstand langsamste Fortbewegungsart (Bewertung 1,5). Die Sicherheit (Bewertung: 8), Kosteneffektivität (Bewertung: 9,5) sowie Zuverlässigkeit (Bewertung: 8,5) sind grundsätzlich als hoch anzusehen, da keine zusätzlichen Kosten anfallen, Fahrten nicht ausfallen können und die Sicherheit auf einem Bürgersteig gegeben ist. Der Komfort von Fußwegen ist hingegen schwerer einzuschätzen, wurde jedoch mit 4,5 ähnlich zum Komfort der anderen aktiven Fortbewegungsart Fahrrad fahren bewertet.

Der mit der angepassten Formel ermittelte Score des finalen Tagesplans eines jeden Agenten (SEU-Scoring + MATSim-Scoring) wird für die Auswertung der Experimente genutzt, um analysieren zu können, wie der Nutzen der Agenten sich im Rahmen der Experimente entwickelt. Dieser wird in den Ergebnisdateien gespeichert und kann mit einem einfachen Python-Skript nach Agentengruppe ausgegeben werden.

6.2.4 Kalibrierung

Um ein möglichst realistisches virtuelles Abbild der InnaMoRuhr-Population für die Simulation zu schaffen, wurde in einem finalen Schritt das InnaMoRuhr-Szenario anhand der zuvor vorgestellten Umfragedaten maßgeblich von Julius Konrad, einem Kollegen des Fachgebiets, kalibriert. Aus diesem Grund wird die umfängliche Kalibrierung hier nur kurz zusammengefasst. Für die Kalibrierung wurden kleinere Anpassungen am InnaMoRuhr-Szenario erprobt, damit der final simulierte Modal Split möglichst ähnlich dem Modal Split der Befragung ist.

Hierfür wurden die folgenden fünf Anpassungen in unterschiedlichen Kombinationen und Intensitäten erprobt:

- Fußwege: Lineare Reduzierung des p-Faktors mit zunehmender Weglänge
- Fahrrad: Lineare Reduzierung des p-Faktors mit zunehmender Weglänge
- ÖPNV: Lineare Reduzierung des p-Faktors mit zunehmender Weglänge

- ÖPNV: Lineare Reduzierung des p-Faktors mit zunehmender Anzahl Umstiege
- ÖPNV: Lineare Reduzierung des p-Faktors mit zunehmender Fahrt-dauer
- Anpassung der Straßenkapazität
- Anpassung der Verkehrsmittelgröße

Insgesamt wurden hierfür 37 MATSim-Simulationsdurchläufe in zehn Versuchsreihen vorgenommen. Die entsprechenden Anpassungen für den jeweiligen Versuchsdurchlauf finden sich in der Datei Kalibrierung-Anpassen.xlsx im MATSim-Verzeichnis des digitalen Anhangs (Philipp et al. 2026). Tabelle 33 stellt die so identifizierten finalen Parametervariationen dar, welche zu dem besten Ergebnis führten: Der p-Faktor für Fußwege wird ab einer Länge von 0,5 km (p-Faktor = 100 Prozent) linear reduziert, bis er bei einer Länge ab 1,5 km (p-Faktor

= 0 Prozent) komplett entfällt. Ähnlich verhält es sich für Fahrradwege, für welche der p-Faktor ab einer Länge von 12,5 km linear reduziert wird und ab einer zurückgelegten

Verkehrsmittel	p-Faktor	Anpassungsbereich/ Veränderung
Fußweg	1-0	0,5 km - 1,5 km
Fahrrad	1-0	12,5 km - 20 km
ÖPNV (1)	1-0	20 min - 90 min
ÖPNV (2)	1-0	1 - 3 Umstiege
Straßenkapazität	-	150 %
Verkehrsmittelgröße	-	Standard

Tabelle 33: Finale Anpassungen zur Kalibrierung des InnaMoRuhr-Szenarios

Strecke von 20 km komplett entfällt. Für den ÖPNV hingegen wird der p-Faktor sowohl mit zunehmender Dauer der Fahrt reduziert als auch in Folge der getätigten Umstiege. Sollte beides gleichzeitig der Fall sein, z. B., dass die Fahrt mit dem ÖPNV länger als 20 Minuten dauert und mehr als einen Umstieg erfordert, werden die Faktoren multipliziert.

Dauert die Fahrt mit der Bahn beispielsweise 55 Minuten (p-Faktor: 0,5) und es muss zweimal umgestiegen werden (p-Faktor = 0,5) ist der final für die Trip-Bewertung genutzte p-Faktor $0,5 \cdot 0,5 = 0,25$. Durch diese Anpassung konnte insbesondere verhindert werden, dass viele Agenten noch unrealistisch lange mit einem der genannten Verkehrsmittel unterwegs waren.

Weiterhin bewegen sich durch das Hinzufügen der InnaMoRuhr-Agenten circa 50 % mehr Agenten im unverändert großen Netzwerk des Nemo-Szenarios. Daher wurde zunächst erfolglos die Änderung der Verkehrsmittelgröße erprobt (Verkürzung der Autolänge), um eine realistische Netzwerkkapazität für zusätzliche Agenten zu ermöglichen. Dies führte jedoch zu einer erhöhten Staubildung. Daher wurde dem erhöhten Mobilitätsaufkommen final mit einer Erhöhung der Straßenkapazität um 50 % Rechnung getragen.

InnaMoRuhr-Population					
	Fahrrad	Auto	ÖPNV	Mitfahrer:in	Zu Fuß
Befragung	10,5 %	23,1 %	58,3 %	0,6 %	7,5 %
10_6	9,5 %	22,4 %	58,6 %	0,5 %	9,0 %
Abweichung	1,0 %	0,7 %	0,3 %	0,1 %	1,5 %
Summe Abweichungen: 3,6 %			Maximum Abweichung 1,5 %		
Nemo-Population					
Nemo	7,8 %	40,0 %	21,1 %	17,9 %	13,3 %
Nemo + InnaMoRuhr	11,8 %	38,2 %	17,6 %	17,9 %	14,4 %
Abweichung	4,0 %	1,8 %	3,5 %	0,0 %	1,1 %
Summe Abweichungen: 10,4 %			Maximum Abweichung 4,0 %		

Tabelle 34: Vergleich der InnaMoRuhr-Population und der Nemo-Population im kalibrierten Szenario mit der Befragung bzw. dem Ursprungsszenario

Mittels der beschriebenen Anpassungen entspricht der Modal Split im kalibrierten Szenario 10_6 nahezu dem Modal Split der Befragung (vgl. Tabelle 34 - oben). Die summierten absoluten Beträge ergeben eine totale Abweichung von 3,6 Prozentpunkten und eine maximale Abweichung pro Verkehrsmittel von 1,5 Prozentpunkten.

Auch der Modal Split der Nemo-Population (vgl. Tabelle 34 - unten) bleibt trotz des Hinzufügens der InnaMoRuhr-Population weitestgehend stabil. Zwar fällt hier die summierte Abweichung mit 10,4 Prozentpunkten bzw. die maximale Abweichung eines Verkehrsmittels mit 4 Prozentpunkten höher aus. Jedoch ist dies insofern zu vernachlässigen, als dass der relevante Forschungsgegenstand dieser Arbeit die InnaMoRuhr-Population ist und die Nemo-Population lediglich als „Hintergrundrauschen“ dient.

6.2.5 Auswertung

Zusätzlich zu dem zuvor vorgestellten Scoring wird in diesem Kapitel die Implementierung der Emissionsberechnung vorgestellt, um die Experimente nach ihrer ökologischen Wirkung bewerten zu können. Zudem wird die Nutzung des Hochleistungsrechners LIDO der TU Dortmund beschrieben, auf dem die Simulationsexperimente durchgeführt wurden.

Emissionserweiterung

Um die Experimente hinsichtlich ihres Nachhaltigkeitseffekts bewerten zu können, werden – zusätzlich zum Modal Split – einerseits die ausgestoßenen Emissionen und andererseits der erzielte Tagesscore pro Kopf erhoben. Hierdurch können dann die sozialen und ökologischen Auswirkungen von Eingriffen bewertet werden. Für die Berechnung der Emissionen wurde auf die Vorarbeiten von Kickhöfer (2016b, S. 247–252) und Hülsmann et al. (2011, S. 144–166) zurückgegriffen, welche maßgeblich an der auf GitHub

Warme Emissionen	Kalte Emissionen
Fahrtgeschwindigkeit	Fahrtgeschwindigkeit
Beschleunigung	Zurückgelegte Strecke
(An-) Haltedauer	Parkzeiten
Straßensteigung	Umgebungstemperatur
Fahrzeugeigenschaften	Fahrzeugeigenschaften

Tabelle 35: Relevante Daten für die Emissionsberechnung eines Fahrzeugs nach Kickhöfer (2016b, S. 249). Nicht durchgestrichene Daten werden von der MATSim-Emissionserweiterung genutzt, durchgestrichene hingegen nicht

(MATSim Emissions Contribution 2025, S. 1) verfügbaren Emissions-Contribution mitgewirkt haben. Diese MATSim-Erweiterung funktioniert wie folgt:

Um die Schadstoffemissionen möglichst realitätsnah zu berechnen, wird zwischen anfallenden warmen und kalten Emissionen unterschieden. Erstere entstehen bei einem (warmen) laufenden Motor, also während der Fahrt. Letztere entstehen hingegen bei einem (kalten) Motor(-start). Tabelle 35 stellt, basierend auf der Arbeit von Kickhöfer (2016b, S. 249) relevante Einflussfaktoren für den jeweiligen Emissionstypen dar. Die von der Emissionserweiterung genutzten MATSim-Daten umfassen die Fahrtgeschwindigkeit, die zurückgelegte Strecke, (An-) Haltedauern, Parkzeiten sowie Fahrzeugeigenschaften. Straßensteigung, Beschleunigung und Umgebungstemperatur sind in der Tabelle durchgestrichen, da sie nicht Teil der in der Simulation berechneten Daten sind. Daher werden diese drei Rahmenbedingungen als null bzw. als durchschnittlich in den Berechnungen angenommen.

Um die tatsächlichen Emissionsdaten von Fahrzeugen für die Auswertung zu nutzen, greift die Erweiterung auf die lizenzpflichtige HBEFA-Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (INFRAS 2025, S. 1) zurück, welche zwischen vier unterschiedlichen Verkehrszuständen unterscheidet. Mittels der von MATSim bereitgestellten Daten kann jedoch nur zwischen den zwei Zuständen „freie Fahrt“ und „Stop&Go-Verkehr“ unterschieden werden. Für die Nutzung der Emissionserweiterung wurde die zum damaligen Zeitpunkt aktuellste Version 4.2 der Datenbank beschafft (Jahr: 2022). Eine weitere Einschränkung ist, dass nur die Emissionen des Autos in die Berechnung mit einfließen, nicht aber die des ÖVs. Dies ist aber insofern kein Problem, als dass das ÖV-Netz sowie die Taktung über aller Experimente unverändert bleiben, also in Relation auch keine veränderten Emissionen einfallen. Weiterhin kann das Fahrrad als größtenteils emissionslos angenommen werden.

LIDO

Da die Simulation von 50.000 Agenten in 500 Simulationsdurchläufen eine enorme Rechenleistung benötigt, war es unerlässlich, dass die Simulation nicht auf einem herkömmlichen PC, sondern auf dem universitätseigenen

Hochleistungsrechner LIDO läuft. Dieser ist ein Linux-HPC-Cluster (TU Dortmund 2025, S. 1). Hierdurch kann eine Versuchsreihe in einem Tag simuliert werden. Der Simulationsdurchlauf eines Experiments dauert circa 20 Stunden, eine Experimentreihe hat zumeist 11 einzelne Simulationsdurchläufe. Durch die enorme Rechenleistung von Lido können jedoch eine Vielzahl an Simulationsdurchläufen parallel berechnet werden und so Simulationszeiten von Experimentreihen drastisch verkürzt werden.

6.2.6 Technische Implementierung

Die Beschreibung der technischen Implementierung unterteilt sich in drei Bereiche: zuerst wird die Erstellung der Tagespläne sowie das hierfür benötigte Python-Skript vorgestellt. In einem nächsten Schritt werden die Anpassungen und Erweiterungen des Quellcodes von MATSim beschrieben, um das SEU-Scoring zu ermöglichen. Zuletzt werden relevante Änderungen dargestellt, die die Auswertung der Simulation ermöglichen. Alle beschriebenen Dateien finden sich der Übersicht halber gruppiert in entsprechend beschrifteten Unterordnern als Duplikate im digitalen Anhang dieser Arbeit (Philipp et al. 2026). Zusätzlich ist ebenso die funktionale Ordnerstruktur mit den entsprechenden Dateien unter *MATSim/MATSim-Ruhrgebiet* zu finden.

Tagespläne

Die technische Erstellung der Tagespläne mittels eines Python-Skripts wurde in enger Kooperation mit zwei Mitarbeitern des Fachgebiets, Julius Konrad und Fabian Adelt, erarbeitet. Die relevanten Code-Passagen befinden sich hauptsächlich in den beiden Dateien *innamoruhr_helper.py* und *Tagesplane.ipynb* (im digitalen Anhang unter *MATSim/Python-Dateien*) und greifen sowohl auf OSM-Daten als auch auf die zuvor berichteten Befragungsdaten zurück, welche durch das nachfolgend vorgestellte Python-Skript kombiniert werden.

In Abbildung 54 werden die maßgeblichen Funktionen sowie ihr Inhalt als schematischer Ablauf (von oben nach unten) dargestellt. Dabei geben die weißen Kästen stets den Dateinamen an, unter welchem die Funktion bzw. die Daten zu finden sind. Der Dateiname wird in den folgenden Erklärungen nicht immer explizit genannt, kann aber jederzeit aus der Abbildung entnommen werden. Zusätzlich sind die relevanten Schritte in der Abbildung nummeriert.

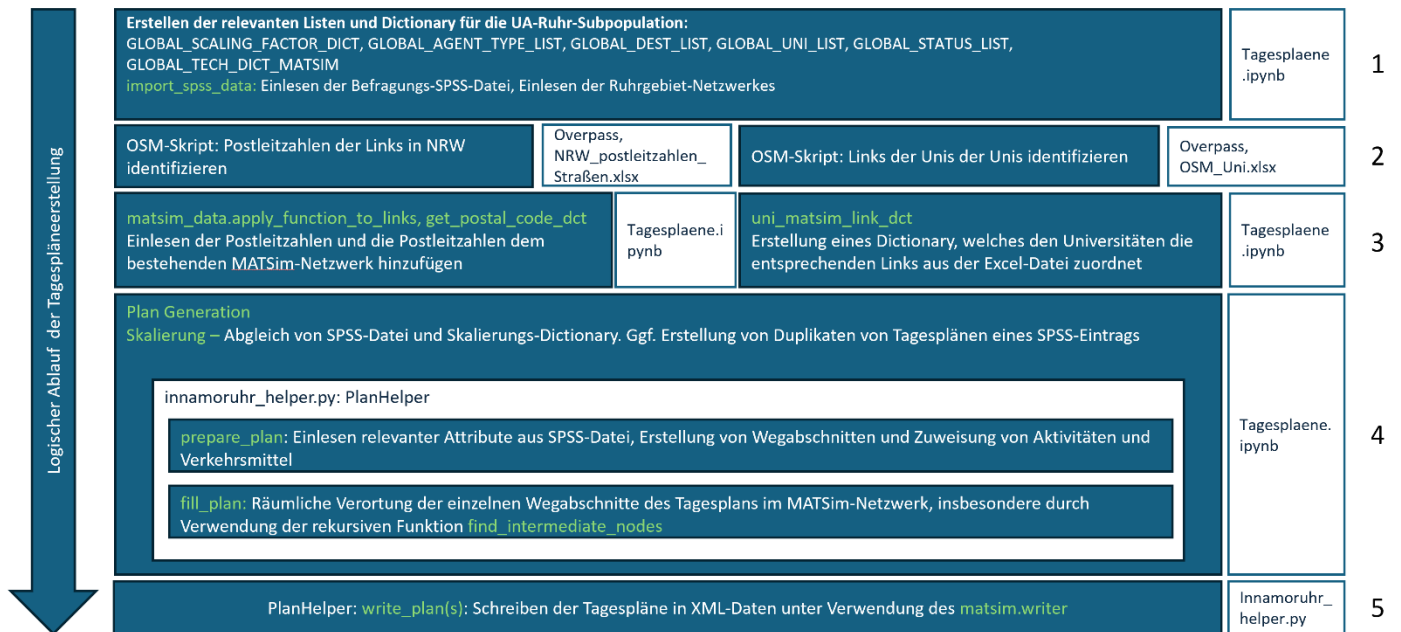


Abbildung 54: Logischer Ablauf der Funktionen der Tagesplanerstellung sowie deren Verortung

Im ersten Schritt (1) werden die für die Tagesplanerstellung relevanten Listen bzw. Dictionaries¹⁴ erstellt. In diesen werden sowohl die Verkehrsmittel als auch die Universitäten, Aktivitäten, Statusgruppen, Agententypen und Skalierungsfaktoren für eine proportionale Verteilung der Agenten definiert. Anschließend wird die SPSS-Datei der Befragung mit der Funktion `import_spss_data` importiert. Dabei werden die zuvor definierten Listen genutzt, um die in der SPSS-Datei enthaltenen Zahlenwerte in die korrekte Bezeichnung der Variablen umzubenennen, also umzucodieren. Zusätzlich wird das MATSim-Netzwerk mithilfe dieser Funktion eingelesen. Diese Daten dienen als Grundlage für die weiteren Berechnungen.

Um die neuen InnaMoRuhr-Agenten möglichst realitätsnah im Netzwerk verteilen zu können, wird auf die in der Befragung angegebene Postleitzahl zurückgegriffen. Das Problem bei dieser Vorgehensweise besteht jedoch darin, dass das Nemo-Szenario standardmäßig keine Postleitzahlen den unterschiedlichen Straßen im Netzwerk (links) zuordnet.

<pre> 1 [out:csv(:,type, ::id, name, postal_code, highway)]; 2 area[name="Nordrhein-Westfalen"]; 3 rel(area)[boundary=postal_code] 4 [postal_code=="44139"]; 5 map_to_area; 6 foreach->.d{ 7 (.d);out; 8 way(area.d)[highway=residential];out; 9 }; </pre>	<pre> 1 @type @id name postal_code highway 2 area 3601085955 44139 3 way 5084495 Große Heimstraße residential 4 way 8455812 Ruhrallee residential 5 way 9724020 An der Buschmühle residential 6 way 17983654 Landgrafenstraße residential 7 way 22973895 Gutenbergstraße residential 8 way 23029041 Elisabethstraße residential 9 way 23029042 Südrandweg residential </pre>
---	--

Abbildung 55: Overpass Turbo Skript und Ausgabe des Skripts

¹⁴ Dictionaries (bzw. Hashmaps in Java) sind Datenstrukturen, die zur Speicherung von Schlüssel-Wert-Paaren (Key-Value-Pairs) genutzt werden. Durch den Aufruf des jeweiligen Schlüssels wird der jeweils zugeordnete Wert ausgegeben.

Aus diesem Grund wurde in einem zweiten Schritt (2) mittels eines Overpass-Skripts (OSM Wiki 2025, S. 1) eine Liste aller Straßen und ihrer jeweiligen IDs in einem Postleitzahlengebiet generiert (vgl. Abbildung 55). Hierfür wurde das online Datenfilterungs-Werkzeug <https://overpass-turbo.eu/> (2025, S. 1) genutzt, mit dem Daten aus der OpenStreetMap extrahiert werden können. Dieser Prozess wurde für jedes PLZ-Gebiet in NRW wiederholt, wodurch eine Excel-Liste mit über 300.000 Einträgen erstellt wurde. Da das Nemo-Ruhrgebiets-Netzwerk ebenfalls auf OSM-Daten basiert, können in einem dritten Schritt (3) anhand der identischen Link-IDs den MATSim-Links die entsprechenden Postleitzahlen zugeordnet werden. Dies geschieht mithilfe der Funktionen **matsim_data.apply_function_to_links** und **get_postal_code_dct**, welche zusätzlich die Excel-Tabelle um fehlerhafte Einträge und doppelte Straßen-IDs bereinigen.

Des Weiteren ist auch die Lage des Arbeitsortes wichtig, um die Tagespläne korrekt zu generieren. Da in der Befragung ausschließlich Universitätsangehörige befragt wurden, wurden die jeweiligen Universitäten als Arbeitsorte der InnaMoRuhr-Population angenommen. Hierfür wurde erneut mit einem vergleichbaren OSM-Skript gearbeitet, um die relevanten Straßen im Einzugsgebiet der Ruhrgebietsuniversitäten zu identifizieren. Die so erstellten Link-Listen werden anschließend in dem Dictionary **uni_matsim_link_dct** gespeichert, welches dann für die nachfolgend beschriebene Funktion **fill_plan** verwendet wird.

Im vierten Abschnitt (4) Plan Generation in „Tagesplaene.ipynb“ werden basierend auf den beschriebenen Vorarbeiten die Tagespläne erstellt, welche anschließend mithilfe der Funktion **write_plans** in eine XML-Datei geschrieben werden. Dabei erfolgt auch die realistische Skalierung der Agentenpopulation (vgl. Kapitel 6.2.2) mittels der zuvor definierten Skalierungsliste: Für jede:n einzelnen Befragte:n werden die Statusgruppe und die Universitätszugehörigkeit aus der SPSS-Datei abgerufen. Auf der Grundlage des dazugehörigen Skalierungsfaktor werden dann eine oder mehrere Kopien des individuellen Tagesplans erstellt. Da die Skalierungstabelle (Tabelle 30, S. 163) keine ganzen Zahlen enthält, wird zusätzlich mit Wahrscheinlichkeiten gearbeitet: Ist beispielsweise der Skalierungsfaktor 2,9, so werden von jedem SPSS-Eintrag einer bestimmten Statusgruppe pro Universität garantiert zwei Kopien erstellt; zudem wird eine dritte Kopie mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % erzeugt. Durch die große Anzahl von fast 5000 bestehenden Wegeketten der

Befragung kann trotz dieser zufälligen Berechnung hierdurch eine realistisch skalierte MATSim-Population¹⁵ erstellt werden.

Für die eigentliche Erstellung der individuellen Tagespläne, welche anschließend skaliert werden, wird zunächst die Funktion **prepare_plan** in der Datei **innamoruhr_helper.py** aufgerufen. In dieser Funktion werden zuerst relevante Informationen aus der SPSS-Datei dem Tagesplan jedes Agenten zugewiesen (z. B. ID, Statusgruppe, Alter, Geschlecht, Agententyp). Anschließend werden dem Tagesplan schrittweise die einzelnen Wege der erhobenen Wegekette hinzugefügt. Dabei wird sicherheitshalber überprüft, ob das Ende des vorherigen Weges auch der Startpunkt des aktuellen Weges ist. ÖPNV-Wege, die in der Befragung mit einem Umstieg angegeben wurden, werden hierbei MATSim-konform zu einem einzigen Weg kombiniert. Danach erfolgt eine Überprüfung, ob der Tagesplan zuhause endet. Falls dies nicht der Fall ist, wird ein letzter Routenabschnitt mit dem Heimweg hinzugefügt. Abschließend weist die Funktion **prepare_plan** noch übergreifende Tagesplaneigenschaften (wie Postleitzahl und Universitätszugehörigkeit) dem Tagesplan zu – jedoch ausschließlich basierend auf den Befragungsdaten und ohne Berücksichtigung von Koordinaten.

Im Anschluss wird im Abschnitt „Plan Generation“ die Funktion **fill_plan** aufgerufen. Zunächst wird geprüft, ob der Home-Link mit dem Universitäts-Link übereinstimmt, da dies Probleme bei der Generierung des Tagesplans verursachen kann. Sollte dies zutreffen, wird ein alternativer Link aus dem Universitätseinzugsgebiet ausgewählt (Funktion: **correct_pt_distance**). Weiterhin werden unrealistische Distanzangaben für ÖPNV-Wege bereinigt und eine passende Distanz für den Heimweg berechnet, falls dieser in **prepare_plan** hinzugefügt wurde.

Als Nächstes werden die einzelnen Wegabschnitte der erzeugten Tagespläne räumlich im MATSim-Netzwerk verortet, also den vorher abstrakten Wegketten, bestehend aus aneinandergereihten Knoten, reale Koordinaten zugeordnet: Hierfür werden zunächst geografisch bekannte Orte/Knoten (zuhause und besuchte Universitäten) die entsprechenden bekannten Koordinaten zugewiesen (Funktion: **fill_home_uni_links_nodes**). Zwischen diesen bekannten Punkten liegen jedoch, basierend auf der Wegekette, eine bestimmte Anzahl an Aktivitäten (z. B. Einkäufe oder Freizeitaktivitäten), für welche keine Koordinaten aus dem MATSim-Netzwerk in den Befragungsdaten vorhanden

¹⁵ Entgegen der in Kapitel 6.2.2 theoretisch anvisierten Anzahl von 27.070 zusätzlichen Plänen hatte die so final erstellte Datei *IMR.all_plans_combined.xml* (im digitalen Anhang unter *MATSim/Tagesplaene*) jedoch nur 25.683 Pläne und stellt somit statt einem 20-prozentigen Abbild ein 19-prozentiges Abbild dar. Diese leichte Abweichung ist erst im Zuge der Auswertung der Experimente aufgefallen, macht aber für diese keinen Unterschied, da stets die gleiche Population für alle Experimente genutzt wurde und die relative Skalierung nach Statusgruppen nachgewiesenermaßen erhalten geblieben ist (vgl. Tabelle 52 im Anhang).

sind. Daher identifiziert die Funktion **calculate_next_nodes** zunächst Knotenpunkte der Wegstrecke, denen MATSim-Koordinaten fehlen. Für die Bestimmung der Koordinaten dieser Abschnitte wird anschließend die rekursive Funktion **find_intermediate_nodes** aufgerufen:

Diese Funktion besteht aus drei funktionalen Bestandteilen:

1. Sollte die errechnete Distanz im MATSim-Netzwerk zwischen den bekannten Start- und Zielpunkten (Wegstrecke) größer als die in der Wegekette angegebenen Distanz aus der Befragung sein, kann ein direkter Weg zwischen den Punkten angenommen werden, da keine Umwege gefahren werden (vgl. Abbildung 56). Deshalb wird in diesem Fall zunächst überprüft, ob genug Knoten auf der direkten Wegstrecke existieren. Falls dies der Fall ist, werden passende Knoten für die unterschiedlichen Wegabschnitte ausgewählt. Grundlage hierfür sind die in der Befragung angegebenen Distanzen. Diese werden als Ergebnis der Funktion direkt ausgegeben. Damit ist die Kalkulation der Knoten bzw. Koordinaten für diesen einfachsten Fall abgeschlossen.

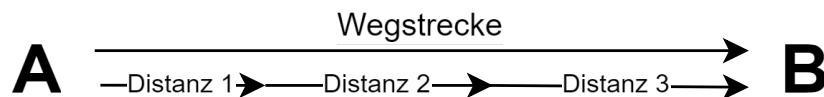


Abbildung 56: **find_intermediate_nodes** funktionaler Bestandteil 1

2. Sollte hingegen die in der Befragung angegebene Distanz größer als die direkte Wegstrecke im MATSim-Netzwerk sein, ist anzunehmen, dass für die weiteren Aktivitäten ein Umweg gefahren wird. Um einen passenden Punkt im MATSim-Netzwerk zu identifizieren, wird ein unbekannter Anfangs- oder Endpunkt eines zufälligen Wegabschnitts aus dem gesamten Plan ausgewählt. Dieser ist in der Abbildung 57 „Position“ benannt. Anschließend wird die jeweilige Distanz von „Position“ zum letzten bekannten Anfangs- (A) und Endpunkt (B) der Wegstrecke berechnet. Danach werden zwei Ringe um den ersten bekannten und den letzten bekannten Punkt mit einem Radius der jeweiligen Distanz gezogen. Auf der Schnittmenge der beiden Ringe wird

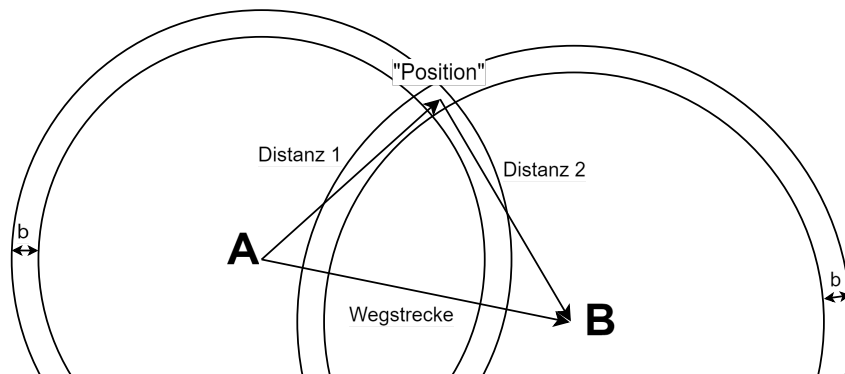


Abbildung 57: **find_intermediate_nodes** funktionaler Bestandteil 2

dann ein zufälliger Knoten im MATSim-Netzwerk identifiziert. Hierfür wird die Breite (b) der Ringe schrittweise erhöht bis mindestens ein entsprechender Knoten identifiziert wurde.

3. Wenn hingegen Start- und Endpunkt dieses zufälligen Wegabschnittes gleich sind, zum Beispiel wenn der Agent zuhause startet und ebenso dorthin zurückkehrt, sollen Knoten im MATSim-Netzwerk identifiziert werden, welche in einem Ring um den Startpunkt liegen (vgl. Abbildung 58). Hierfür werden die Distanzen aller Wegabschnitte zwischen den beiden geografisch bekannten Punkten aufaddiert und durch zwei geteilt, um die ungefähre Länge von Hin- und Rückweg darzustellen. Abermals wird die Breite (b) des Ringes stetig vergrößert, bis ein entsprechender Punkt gefunden wurde.

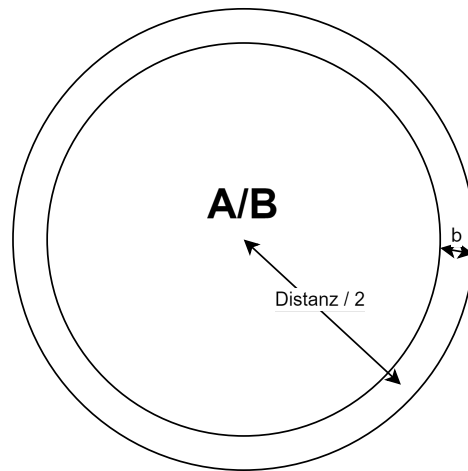


Abbildung 58: `find_intermediate_nodes` funktionaler Bestandteil 3

Anschließend ruft sich die Funktion **find_intermediate_nodes** selbst auf, allerdings zweimal mit den zwei neu entstanden Routenteilen, von A bis „Position“ und von „Position“ bis B, und unterteilt so die gesamte Route in immer kleinere Teilstücke, bis allen Wegabschnitten des Tagesplans Koordinaten im MATSim-Netzwerk zugewiesen wurden. Das Problem wird also rekursiv, durch das wiederholte Durchlaufen und Unterteilen eines großen Problems gemäß einer Divide-and-Conquer-Strategie in immer kleinere Teilprobleme gelöst. Die Tagespläne-Generierung abschließend (5) werden die so erstellten Tagespläne mit den zugewiesenen Aktivitäten, Verkehrsmitteln und geografischen Daten der Zwischenstopps in einem MATSim-kompatiblen Format gespeichert. Hierfür wird die Funktion **write_plans** aufgerufen, welche durch den wiederholten Aufruf der Funktion **write_plan** und der Übergabe der zuvor generierten Tagesplan-Eigenschaften die diversen Tagespläne für die Agenten in einer XML-Datei speichert. Dabei wird insbesondere auf die Funktion des `matsim.writers` zurückgegriffen, welcher Teil der MATSim-Python-Tools ist (Rakow et al. 2025a, S. 1).

Scoring-Funktion und Kalibrierung

Die Implementierung der Scoring-Funktion sowie die damit einhergehende Kalibrierung des Szenarios ist maßgeblich in drei Java-Klassen umgesetzt:

InnaMoRuhrScoring.java, InnaMoRuhrScoringFactory.java und SEUScoringParameters.java, welche sich im digitalen Anhang (Philipp et al. 2026) dieser Arbeit befinden (*MATSim/Java-Dateien*). Die logischen Zusammenhänge zwischen den Dateien sind in Abbildung 59 dargestellt und werden nachfolgend beschrieben:

Um ein verändertes Scoring für die InnaMoRuhr-Agenten zu ermöglichen, wird die Klasse ScoringFunctionFactory angepasst, welche in MATSim dazu dient, jedem Agenten eine eigene Scoring-Funktion zuzuweisen, welche sich aus verschiedenen Teil-Scoring-Funktionen zusammensetzt.

Dies geschieht in der Datei InnaMoRuhrScoringFactory.java mittels der `@Override`-Annotation, welche das bestehende ScoringFunction-Objekt überschreibt. Jedoch werden hierbei die bestehenden Funktionen der ursprünglichen ScoringFunction übernommen, da das InnaMoRuhr-Scoring nur eine Ergänzung der bestehenden Scoring-Funktion darstellt (vgl. Kapitel 6.2.3). Die Neuerungen der neuen Scoring-Funktion ist hingegen die folgende Erweiterung: Sollte der Agent der Subpopulation InnaMoRuhr angehören, wird ein neues Objekt „InnaMoRuhrScoring“ der bestehenden Scoring-Funktion hinzugefügt. Hierfür müssen unter anderem die agentenspezifischen p- und U-Werte mitübergeben werden. Sowohl die Funktionsweise des Einlesens der p- und U-Werte als auch die Funktionsweise des neuen Objekts „InnaMoRuhrScoring“ werden in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben:

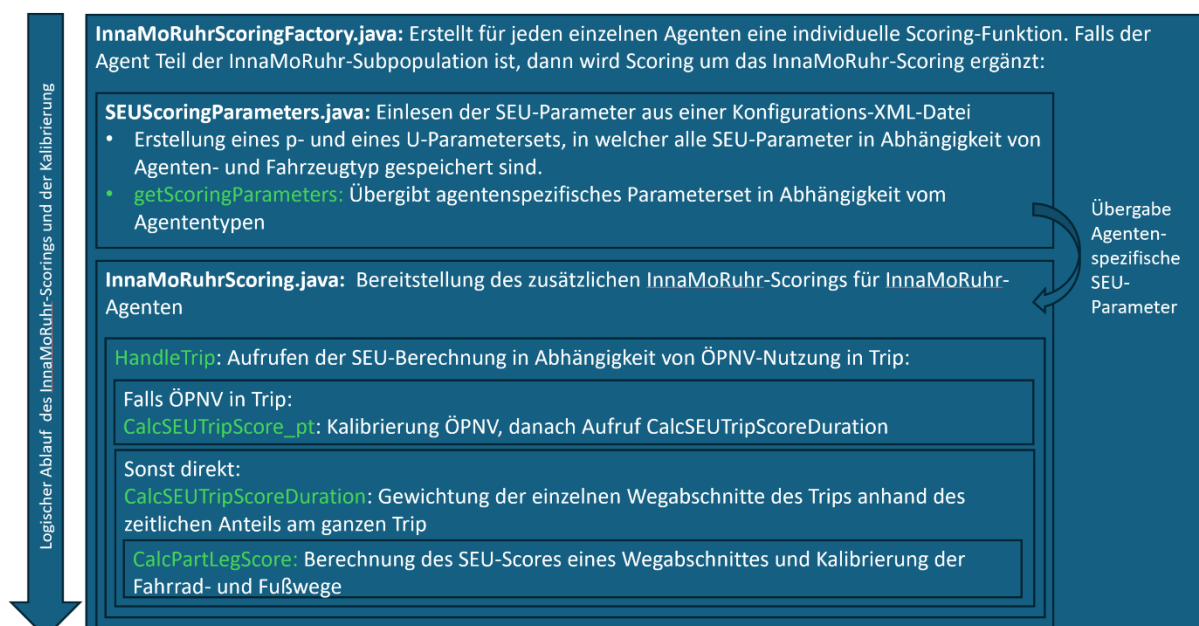


Abbildung 59: Logischer Ablauf des InnaMoRuhr-Scorings und der Kalibrierung

```

<!DOCTYPE config SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/config_v2.dtd">
<config>
  <module name="SEUScoringParameters">
    <parameterset type="uParameterSet">
      <param name="speed" value="6.21"/>
      <param name="comfort" value="3.13"/>
      <param name="ecofriendliness" value="7.63"/>
      <param name="safety" value="7.98"/>
      <param name="costeffectiveness" value="5.62"/>
      <param name="reliability" value="8.58"/>

      <param name="subpopulation" value="InnaMoRuhr" />
      <param name="agenttype" value="ecoriskaverse"/>
      <param name="baseFactor" value="1"/>
    </parameterset>

    ...

    <parameterset type="pParameterSet">
      <param name="speed" value="7.66"/>
      <param name="comfort" value="8.13"/>
      <param name="ecofriendliness" value="1.91"/>
      <param name="safety" value="6.56"/>
      <param name="costeffectiveness" value="2.91"/>
      <param name="reliability" value="7.95"/>

      <param name="subpopulation" value="InnaMoRuhr" />
      <param name="mode" value="car_IMR"/>
      <param name="agenttype" value="ecoriskaverse"/>
    </parameterset>
  </module>
</config>

```

Abbildung 60: Spezifikation der U-Werte (oben) und p-Werte (unten, Ausschnitt) in der Konfigurationsdatei als Input für die Scoring-Funktion

Die p- und U-Werte werden in einem ersten Schritt aus einer XML-Datei, welche der allgemeinen Konfiguration der Simulation dient, eingelesen. Die entsprechenden Dateien für die jeweiligen Experimente finden sich unter *MATSim/Config-Dateien* im digitalen Anhang (Philipp et al. 2026). Die Werte der Simulation werden dem Modul „SEUScoringParameters“ entnommen, in welchem für jeden der fünf Agententypen die jeweiligen U-Werte im „uParameterSet“ definiert sind. Abbildung 60 zeigt dies beispielhaft für den risikoaversen umweltbewussten Agententyp im oberen Teil der Abbildung. In der gleichen Datei, im gleichen Modul werden zudem die p-Parameter über das „pParameterset“ gesetzt. Für jeden Fahrzeugtyp existiert für jeden Agententyp ein pParameterset. Einer dieser 30 Einträge ist im unteren Teil von Abbildung 60 für das Auto dargestellt.

Damit diese in der XML-Datei festgelegten Parameter auch von der Simulation eingelesen werden, wurde die Klasse SEUScoringParameters in das Modul `org.matsim.ruhrgebiet.scoring` implementiert, die von der MATSim-Klasse `ConfigGroup` erbt: Hierdurch ist die Klasse SEUScoringParameters Bestandteil der MATSim-Config und wird so automatisch zu Beginn der Simulation aufgerufen. In dieser Klasse werden zunächst zwei Klassen `UParameterSet` bzw. `PParameterset` für die p- und U-Werte angelegt, welche zusätzlich zu den p- bzw. U-Parametern auch die Subpopulation, das Verkehrsmittel (für die p-Werte) und den Agententyp speichern. Alle diese Variablen sind zunächst leer. Mit der Funktion `createParameterset` werden dann neue U- und p-Parameterset-Objekte erstellt. Gelesen werden die Variablen der Sets durch

die **@StringGetter** und **@StringSetter**, welche eigens für diese Anwendung von MATSim vorgesehen werden. Beispielhaft sind nachfolgend der Setter und Getter für den U-Wert Komfort dargestellt. Insbesondere der Setter ist für die InnaMoRuhr-Implementation relevant, aber der Getter muss zwangsläufig mit angegeben werden.

```
@StringSetter("comfort")
public double setcomfort(double ucomfort) {
    final double old = this.comfort;
    this.comfort = ucomfort;
    return old;
}

@StringGetter("comfort")
public double getcomfort() {
    return this.comfort;
}
```

Mittels der Funktion **getScoringParameters**, werden dann in Abhängigkeit vom Agententypen Hashmaps (welche ähnlich zu den Dictionaries in Python sind) die U- und p-Parametersets an die aufrufende Scoring-Funktion zurückgegeben, damit dort damit gerechnet werden kann.

Die grundsätzliche Funktionsweise von **getScoringParameters** ist die folgende: Zunächst wird überprüft, ob bereits eine Hashmap existiert. Falls dies nicht der Fall sein sollte, wird eine neue Hashmap erstellt: Mittels einer For-Schleife wird für jedes der zuvor eingelesenen Parametersets ein Eintrag in der Hashmap mit den fünf unterschiedlichen Agententypen und dem dazugehörigen Parameterset erstellt. Im Falle des p-Parametersets handelt es sich jedoch um eine doppelt verschachtelte Hashmap, da auch das Verkehrsmittel berücksichtigt wird. Die Struktur ist daher entsprechend: Agententyp -> Verkehrsmittel -> p-Parameterset. Mittels dieses Ansatzes werden die Hashmaps für die U- und p-Parametersets nur einmal zu Beginn der Simulation erstellt, da diese sich im Laufe der Simulation nicht ändern und hierdurch sowohl die benötigte Rechenleistung als auch die Simulationsdauer reduziert werden kann. Anschließend wird das entsprechende Parameterset abhängig vom Agententypen des aktuellen Agenten als Resultat der Funktion zurückgegeben und so für die Nutzung in der *InnaMoRuhrScoring.java* vorbereitet.

Die **InnaMoRuhrScoring.java** implementiert dann die zusätzliche Scoring-Funktion für alle InnaMoRuhr-Agenten. Hierfür wird eine Klasse *InnaMoRuhrScoring* erstellt, welche von der abstrakten Klasse *TripScoring* erbt. Abstrakt bedeutet hier, dass alle Funktionen des *TripScorings* in der neuen Klasse implementiert werden müssen (also nicht übernommen werden). Durch den Aufruf der Klasse werden bereits alle agentenspezifischen Parameter übergeben. Dazu gehören insbesondere die allgemeinen MATSim-Parameter sowie die p-Parameter und die U-Parameter.

In der Funktion **handleTrip** wird zunächst die Anzahl der Wegabschnitte berechnet, welche mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt wurden. Zudem wird ebenso die aufaddierte Dauer der ÖV-Wegabschnitte berechnet. Anschließend wird die Funktion **calcSEUTripScore_pt** aufgerufen, falls der ÖV für mindestens einen Abschnitt der Wegstrecke genutzt wurde. In dieser Funktion werden dann die in Kapitel 6.2.4 beschriebenen score-technischen Restriktionen des ÖVs (Kalibrierung) umgesetzt. Hierfür werden zwei abschnittsweise lineare Funktionen genutzt, welche einerseits die Anzahl der ÖV-Wegabschnitte wie auch die aufsummierte Dauer des ÖV-Weges als Input erhalten und jeweils einen Kalibrierungsfaktor zwischen 1 und 0 ausgeben. Die so erhaltenen Faktoren werden zuerst miteinander und anschließend mit dem vollständigen SEU-Tripscore multipliziert. Dieser wird in der Funktion **calcSEUTripScoreDuration** berechnet. Falls kein ÖV-Wegabschnitt in dem gesamten Trip zurückgelegt wurde, wird die Funktion **calcSEUTripScoreDuration** direkt durch **handleTrip** aufgerufen.

In dieser Funktion wird zunächst die gesamte Dauer des Trips berechnet, also die aufaddierte Dauer aller Wegabschnitte des Trips. Anschließend wird die „fragmenttime“ berechnet, die der zeitanteiligen Gewichtung eines jeden Wegabschnitts des gesamten Trips dient. Darauf aufbauend wird in der Funktion **calcPartLegScore** der SEU-Score für jeden einzelnen Wegabschnitt berechnet und mit der fragmenttime multipliziert. Der SEU-Score wird durch die Addition (tmpScore) des Multiplikationsergebnisses der zueinander gehörenden p- und U-Parameterpaare gebildet (z.B. speed, comfort, usw.):

```
tmpScore += restrictPValue(normalizationPValues(pparameterset.getspeed()) * p_distance_factor)
           * uparameterset.getspeed();
```

Hierbei werden die p-Werte entsprechend der SEU-Formel normalisiert und mit dem p_distance_factor multipliziert. Der p_distance_factor wird hierbei genutzt, um die in Kapitel 6.2.4 angesprochenen score-technischen Restriktionen (Kalibrierung) von Fahrrad- und Fußwegen vorzunehmen. Dies geschieht abermals unter der Verwendung von abschnittsweise linearen Funktionen in Abhängigkeit von der Länge des jeweiligen Wegabschnitts. Abschließend wird der p-Wert nochmal auf Werte zwischen 0 und 1 eingeschränkt, um die Anforderung der SEU-Formel zu erfüllen und anschließend mit dem entsprechenden U-Parameter multipliziert.

Auswertung – Lido

Für die Auswertung der im nächsten Kapitel vorgestellten Experimente sind insbesondere zwei Aspekte von Relevanz: Einerseits die Berechnung der Si-

mulationsergebnisse auf dem universitätseigenen Großrechner Lido und andererseits die Berechnung der Emissionen und des nach Agentengruppen unterteilten Modal Splits.

Für die Berechnung der Simulation auf Lido wird die kompilierte MATSim-Java-Datei auf Lido per FileZilla abgelegt. Gleiches gilt für die Slurm-Dateien (im digitalen Anhang: *MATSim/Slurm-Dateien*), welche mittels des Slurm-Workload-Managers die relevanten Simulationsdateien und Abläufe aufrufen. Pro Slurm-Datei werden zwei MATSim-Experimente parallel auf Lido gestartet, indem die entsprechenden Speicherorte der Java-Version, der MATSim-Version und der jeweiligen Experiment-Konfiguration angegeben werden. Weiterhin wird die maximal erwartete Laufzeit (42 Std.), die Anzahl an Knoten (1) und an Prozessorkernen (10) sowie die benötigte Menge des Arbeitsspeichers angegeben (60 GB). Zudem lässt sich eine E-Mail-Adresse für Status-Updates und der Name der Ergebnisdatei festlegen.

Nachdem die MATSim-Datei und die relevanten Scenario- und Slurm-Dateien auf Lido übertragen wurden, können anschließend mittels PuTTY eine SSH-Verbindung zu Lido aufgebaut und die entsprechenden Slurm-Dateien händisch gestartet werden. Die Ergebnisse werden abschließend per FileZilla vom Server abgerufen und weiterverarbeitet.

Auswertung – Emissionen

Für die Emissionsberechnung der Simulationsdurchläufe wurde zusammen mit den Kolleg:innen Fabian Adelt und Lisa Böse die bestehende Emissionserweiterung von Kickhöfer (2016a, S. 247–252) für das InnaMoRuhr-Szenario adaptiert. Hierfür wurden mehrere Dateien angepasst, welche jedoch meist nur um kleine Code-Fragmente ergänzt wurden:

RunGenerationAirPollutionAgent_PerID.java, *GenerateAirPollutionAgentPollution_PerID.java*, *VehicleEmission-nalyzer.java* *Emission-experiments.txt*, *RunOfflineAirPollutionAnalysis.java* (zu finden im digitalen Anhang unter *MATSim/Java-Dateien*).

Die Emissionsberechnung kann mit zeitlichem Abstand zur eigentlichen Simulation durchgeführt werden, da sie auf die aus der Simulation resultierende Events-Datei zurückgreift. In dieser werden alle Events des letzten Simulationsdurchlaufs gespeichert. Die maßgeblich für InnaMoRuhr angepassten Dateien der Emissionsberechnung und ihre logischen Verschachtelungen sind in Abbildung 61 dargestellt. Die komplette Emissionserweiterung ist jedoch deutlich umfangreicher.

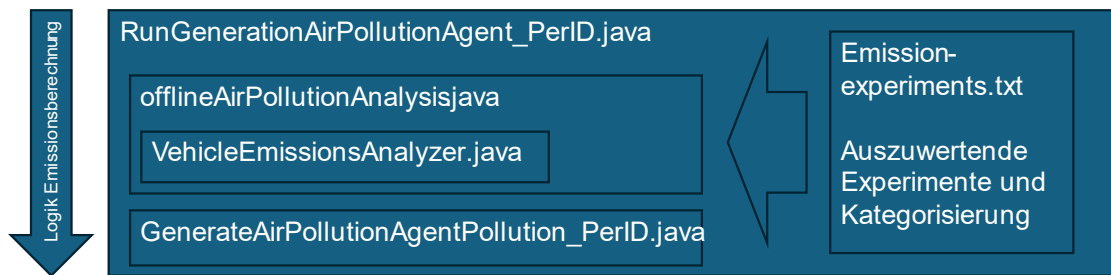


Abbildung 61: Logischer Ablauf der InnaMoRuhr-Emissionsberechnung

Um eine Emissionsberechnung zu starten, wird zunächst die `RunGenerationAirPollutionAgent_PerID.java`-Datei aufgerufen und beim Aufruf die `Emission-experiments.txt` als Argument mitübergeben. In dieser sind die Namen der zu untersuchenden Experimente aufgelistet (z.B. „output_IMR_full_combined_10-6_diss_PT_costs_130“). Zudem wird der Speicherort der Experimente als Argument mitübergeben. Die Argumente hinsichtlich der Nummer des Simulationsdurchlaufs sowie hinsichtlich der Frage, nach welcher Logik das Ergebnis der Emissionsberechnung gruppiert werden soll (z.B. nach Agententyp), sind hingegen optionale Argumente – standardmäßig werden die gesamten Emissionen der Populationen (Nemo, InnaMoRuhr) und nach Agentengruppen ausgegeben. Die Ergebnisdateien der Emissionsberechnung werden standardmäßig im jeweiligen Ordner des untersuchten Experiments abgelegt. Weiterhin wird in der `RunGenerationAirPollutionAgent_PerID.java` auch der Speicherort der genutzten HBEFA-Datei definiert. Die aktuelle Version wurde hierfür mittels des auf der HBEFA-Website verfügbaren Microsoft-Access-Programms exportiert und garantiert so aktuelle Emissionswerte.

Die Main-Klasse der `RunGenerationAirPollutionAgent_PerID.java` ruft die `offlineAirPollutionAnalysis.java` auf. Hier werden Emissions-Events basierend auf den Events-Dateien der jeweiligen Experimente erstellt. Letztere enthalten alle absolvierten Strecken und Aktivitäten der Agenten. Erstere enthalten nach der erfolgreichen Emissionsberechnung die korrespondierenden Fahrzeugemissionen je genutztem Fahrzeugtyp. Hierfür schreibt die `offlineAirPollutionAnalysis`-Klasse zunächst die HBEFA-Straßentypen in das MATSim-Netzwerk, basierend auf der durchschnittlichen gefahrenen Geschwindigkeit und der Anzahl an Spuren. Damit diese Berechnung auch für das InnaMoRuhr-Szenario funktioniert, wurden die in der Simulation von InnaMoRuhr-Agenten genutzten Fahrzeugtypen `car_IMR` und `bike_IMR` ergänzt und die entsprechenden HBEFA-Fahrzeugklassen zugewiesen.

Anschließend können dann die verursachten Emissionen, basierend auf der Art der gefahrenen Straßen und dem durch die Agenten genutzten Fahrzeugtyp berechnet und anschließend als CSV-Dateien ausgegeben werden. Hier-

für wird die Funktion **runFromSkript** der Klasse `GenerateAirPollutionAgentPollution_PerID.java` aufgerufen, welche anschließend die Funktion **wri-teEmissions** aufruft. Diese ruft unter anderem den `VehicleEmissionsAnaly-zer.java` auf, in welchem in der Funktion **processVehicle** die Emissionen nach Fahrzeug auf der Grundlage der zuvor erstellten Emissions-Events der Simulation berechnet werden. Diese können dann sowohl getrennt nach In-naMoRuhr- und Nemo-Population und/oder nach Agentengruppen gruppiert ausgegeben werden. Abschließend werden die so erstellten Ergebnisse in ei-ner CSV-Datei gespeichert und können per Excel weiterverarbeitet werden.

Hierfür werden die erstellten CSV-Dateien der Experimente in separate Excel-Seiten einer Excel-Mappe importiert. Diese bestehen zum einen aus der vergangenen Zeit (angegeben in Sekunden) und zum anderen aus den Emissionen der Nemo-

AA	AB	AC	AD
Sekunden	Stunden	Gruppe	Co2
3	0,00083333	nemo	692894.8051891917
3600		1 IMR	1690.2369143437788
7200		2 nemo	1346974.170432873
7200		2 IMR	34053.2662570865
1080		0,3 nemo	2046042.1476214342
10800		3 IMR	328475.72512529086
14400		4 nemo	3309611.248509699
14400		4 IMR	1409624.4652176043

Abbildung 62: Exzerpt des CSV-Imports in Excel

bzw. IMR-Population in dem jeweiligen Zeitraum (vgl. Abbildung 62). An-schließend werden mit der folgenden Excel-Formel die Emissionen pro Ta-gesstunde nach Agentengruppen aufaddiert gespeichert.

=WENNFEHLER(SVERWEIS(\$AG16&\$AH\$2;WAHL
({1.2};\$AB:\$AB&\$AC:\$AC;\$AD:\$AD);2;0);0)}

Konkret sucht die Formel nach der Kombination einer konkreten Zeit und der Agentengruppe in einer Matrix (WAHL-Befehl) und gibt den zu der Kombi-nation gehörenden Emissionswert aus. Falls kein Wert gefunden wurde, gibt die Formel mittels WENNFEHLER eine 0 zurück. Für die Auswertung der Emissionen nach Agentengruppe wird die Funktion leicht angepasst. Die Emissionen des gesamten Tages je Experiment können so im Zeitverlauf dar-gestellt und ebenso als Gesamt-Tagesemissionen verglichen werden.

Auswertung – Modal Split

Zwar gibt MATSim standardmäßig einige Diagramme als Teil der Simulation aus, jedoch sind diese für die Bewertung der Experimentdurchläufe nur sehr eingeschränkt nutzbar. Daher wurde in der Datei `Auswertung.ipynb` (im digi-talen Anhang unter *MATSim/Python-Dateien* zu finden) ein Python-Skript geschrieben, welches basierend auf den Plänen des letzten Simulationsdurch-laufs den Modal Split berechnet.

Dies geschieht in dem Abschnitt „Investigate Plans“, in welchem zunächst die Namen der auszuwertenden Experimente in eine Liste „exps“ eingetragen werden. Mittels des MATSim-Plan Readers werden die Pläne anschließend abhängig vom Experimentnamen in einem Dictionary „plans“ gespeichert.

Dieses Dictionary wird nach Agenten mit dem Zusatz „IMR“ im Namen (bzw. der ID) durchsucht, da diese in der Tagesplanerstellung entsprechend benannt wurden (vgl. Kapitel 6.2.1, Abbildung 53). Anschließend wird das resultierende Dictionary an IMR-Agenten „IMR_persons“, welches den Namen des Agenten sowie seine jeweiligen Pläne beinhaltet, separat gespeichert.

In dem Abschnitt „Start to investigate data“ wird für jede Agenten-ID in einem Dictionary „IMR_plans_dct“ sowohl der Score für jeden Agenten, das Verkehrsmittel als auch die zurück gelegte Distanz pro Simulationsdurchlauf gespeichert. Hierfür werden die zuvor gespeicherten individuellen Pläne ausgelesen. Anhand dieses Dictionary können dann das Hauptverkehrsmittel und der Score des Experiments berechnet werden: Hier wird für jedes Experiment und jeden Agenten im Dictionary IMR_plans_dct eine Schleife durchlaufen. Für jeden Agenten wird eine Liste (dist_list) initialisiert, um die Länge der Verwendungen jeder Verkehrsmethode zu zählen. Hierfür werden alle Distanzen der absolvierten Strecken sortiert nach Verkehrsmittel aufaddiert. Zusätzlich wird der Score des Tagesplans gespeichert. Nach dem Durchlauf durch alle Etappen wird der Index des maximalen Wertes über die Verkehrsmittelliste ermittelt (d. h., mit welchem Verkehrsmittel der Agent insgesamt die größte Distanz zurückgelegt hat). Anschließend wird das untersuchte Experiment, die Agenten-ID, der Hauptverkehrsmodus, der Score und der Agententyp einer weiteren Liste hinzugefügt.

Final wird die Liste in eine tabellenartige Struktur, einen Dataframe, übertragen. In dieser werden die Spalten als Experiment, Identifikationsnummer (ID), Hauptverkehrsmittel, Score, Agententyp definiert. Die Zeilen bestehen aus den unterschiedlichen Agenten. Basierend auf dieser Datenstruktur werden Statistiken wie die Anteile der Hauptverkehrsmittel bei den verschiedenen Agententypen berechnet. Zudem wird ein weiterer Dataframe erstellt, welcher in Abhängigkeit von Experiment und Agententyp auf ähnliche Art den durchschnittlichen Score berechnet. Abschließend werden die drei Dataframes in drei Excel-Dateien für die weitere Auswertung exportiert.

6.3 Experiment Implementierung

Im Folgenden wird die technische Implementierung der Experimente beschrieben, welche eine Überprüfung der Simulationshypothesen ermöglicht. Für die Experimente 1 - 4 werden Änderung der p-Werte in den jeweiligen Szenario-Dateien des jeweiligen Experimentdurchlaufs umgesetzt, auf welche MATSim dann für die Simulation zugreift. Diese sind im digitalen Anhang (Philipp et al. 2026) der Arbeit in dem Ordner „*MATSim\Config-Dateien*“ abgelegt und nach dem jeweiligen Experimentdurchlauf benannt, z.B. „*IMR.config-full-combined-population-10.6_diss_carcosts40*“. Für das fünfte Experiment hingegen werden die Wunschtagespläne der Befragten simuliert, welche ähnlich zu den zuvor berichteten MATSim-Tagesplänen erstellt wurden (vgl. Kapitel 6.2.6).

6.3.1 Experiment 0: Vergleich der Simulation mit und ohne zusätzlicher SEU-Berechnung

Um die erste Hypothese S1

Die Anreicherung bzw. Kombination bestehender verkehrstechnischer Simulationen durch eine sozialwissenschaftliche Handlungstheorie und empirisch erhobene Wegekettens ermöglicht eine detailliertere Abbildung von (nicht-linearen) meso- und makroskopischen Effekten.

zu überprüfen bzw. zu belegen, kann einerseits auf die zuvor präsentierte technische Implementation zurückgegriffen werden, welche zeigt, dass eine sozialwissenschaftlich fundierte Verkehrssimulation umsetzbar ist. Andererseits erscheint ein Vergleich zwischen aktivierter SEU-Berechnung und deaktivierter SEU-Berechnung ebenso sinnvoll, um die initialen Auswirkungen der Veränderung des Scorings und der damit einhergehenden Kalibrierung zu verstehen. Somit werden zwei Simulationsdurchläufe durchgeführt:

- Die Verwendung der neuen InnaMoRuhr -Population mit den entsprechenden neuen Tagesplänen, aber ohne das neue SEU-Scoring.
- Die Verwendung der neuen InnaMoRuhr -Population mit den entsprechenden neuen Tagesplänen mit dem neuen SEU-Scoring.

Technisch wurde dieses Experiment umgesetzt, indem die U-Werte in der entsprechenden Config-Datei auf 0 gesetzt wurden, wodurch die komplette SEU-Berechnung 0 ergibt (vgl. Kapitel 6.2.3) und somit entfällt.

6.3.2 Experiment 1: Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs

Um die zweite Simulationshypothese S2

Es ist anzunehmen, dass die Einführung eines 9-Euro-Tickets zu einer nachhaltigeren Mobilität beitragen kann.

zu überprüfen, werden Änderungen an den p-Werten der SEU-Berechnung vorgenommen. Die wahrgenommene Kosteneffektivität des ÖVs wird hierfür schrittweise über elf Experimentdurchläufe vom Standardszenario (1,0 = 100 %) um jeweils 10-Prozentpunkte erhöht, bis der ursprüngliche Wert verdoppelt ist (2,0 = 200 %). Damit kann die Wahrnehmung eines stark reduzierten Ticketpreises dargestellt werden. Die genauen Werte der einzelnen Simulationdurchläufe können Tabelle 36 entnommen werden.

Agenten- gruppe	Eingriffstiefe (Kosteneffektivität ÖV)										
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Risikoaverse											
Umweltbe- wusste	5,34	5,87	6,41	6,94	7,48	8,01	8,54	9,08	9,61	10,15	10,68
Indifferente	5,21	5,73	6,25	6,77	7,29	7,82	8,34	8,86	9,38	9,90	10,42
Pragmatische	3,07	3,38	3,68	3,99	4,30	4,61	4,91	5,22	5,53	5,83	6,14
Komfortori- entierete	5,26	5,79	6,31	6,84	7,36	7,89	8,42	8,94	9,47	9,99	10,52
Umwelt- und Kostenbe- wusste	5,61	6,17	6,73	7,29	7,85	8,42	8,98	9,54	10,10	10,66	11,22

Tabelle 36: Angepasste p-Werte des ersten Experiments – Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs

6.3.3 Experiment 2: Senkung der Kosteneffektivität des Autos

Um die dritte Hypothese S3

Ebenso kann die Reduktion der MIV-Förderung helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.

zu simulieren, wird hingegen die wahrgenommene Kosteneffektivität des Autos reduziert. Dies geschieht ähnlich wie in der ersten Experimentreihe in elf Experimentdurchläufen jedoch mit einer Reduktion der entsprechenden p-Werte des Autos um 10 Prozentpunkte pro Experimentdurchlauf bis zu einer vollständigen Reduktion auf 0 (vgl. Tabelle 37).

Agentengruppe	Eingriffstiefe (Kosteneffektivität Auto)										
	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Risikoaverse Umweltbewusste	2,91	2,62	2,33	2,04	1,75	1,46	1,16	0,87	0,58	0,29	0,00
Indifferente	3,37	3,03	2,70	2,36	2,02	1,69	1,35	1,01	0,67	0,34	0,00
Pragmatische	3,54	3,19	2,83	2,48	2,12	1,77	1,42	1,06	0,71	0,35	0,00
Komfortorientierte	3,67	3,30	2,94	2,57	2,20	1,84	1,47	1,10	0,73	0,37	0,00
Umwelt- und Kostenbewusste	2,57	2,31	2,06	1,80	1,54	1,29	1,03	0,77	0,51	0,26	0,00

Tabelle 37: Angepasste p-Werte des zweiten Experiments – Senkung der Kosteneffektivität des Autos

6.3.4 Experiment 3: Steigerung des Fahrradkomforts

Um die Hypothese S3,5

Die Kennzeichnung von Fahrradwegen sowie der Ausbau von separaten Fahrradwegen und Fahrradabstellanlagen können helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.

zu simulieren, wird angenommen, dass alle genannten Maßnahmen der Hypothese sich auf den wahrgenommenen Komfort des Fahrradfahrens auswirken, beispielsweise durch die erhöhte Sichtbarkeit in Form einer besseren Beschilderung oder der stressfreien Fahrt auf breiteren Fahrradwegen, welche auch das gemeinsame Fahrradfahren ermöglicht sowie komfortabler Möglichkeiten des Abstellens des Fahrrads. Daher wird der p-Wert Komfort des Fahrrads wie bei den vorherigen Experimenten hierfür schrittweise über elf Experimentdurchläufe (vgl. Tabelle 38) vom Standardszenario (1,0 = 100 %) um jeweils 10-Prozentpunkte erhöht, bis der ursprüngliche Wert verdoppelt ist (2,0 = 200 %).

Agentengruppe	Eingriffstiefe (Komfortsteigerung Fahrrad)										
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Risikoaverse Umweltbewusste	4,64	5,01	5,57	6,03	6,50	6,96	7,42	7,89	8,35	8,82	9,28
Indifferente	4,53	4,98	5,44	5,89	6,34	6,80	7,25	7,70	8,15	8,61	9,06
Pragmatische	3,75	4,13	4,50	4,88	5,25	5,63	6,00	6,38	6,75	7,13	7,50
Komfortorientierte	3,33	3,66	4,00	4,33	4,66	5,00	5,33	5,66	5,99	6,33	6,66
Umwelt- und Kostenbewusste	4,44	4,88	5,33	5,77	6,22	6,66	7,10	7,55	7,99	8,44	8,88

Tabelle 38: Angepasste p-Werte des dritten Experiments - Komfortsteigerung des Fahrrads

6.3.5 Experiment 4: Kombination

Die Hypothese S4

Die Kombination von Governance-Optionen kann die Effektivität der Maßnahmen sogar noch weiter steigern.

zielt darauf ab, den Effekt der Kombination von Governance-Maßnahmen bewerten zu können. Daher werden für die Überprüfung der Hypothese die Eingriffe des ersten und zweiten Experiments kombiniert, also die p-Werte der Kosteneffektivität schrittweise gesenkt und die Kosteneffektivität des ÖVs schrittweise erhöht. Dies geschieht dementsprechend abermals über elf Experimentdurchläufe vom Standardszenario (1,0 = 100 %). Die Kosteneffektivität des ÖVs wird erhöht bis zu einer Verdoppelung des ursprünglichen Wertes (2,0 = 200 %). Die Kosteneffektivität des Autos hingegen wird um jeweils 10-Prozentpunkte reduziert bis diese 0 % ist (vgl. Tabelle 39).

Agentengruppe	Eingriffstiefe (Kosteneffektivität ÖV/ Kosteneffektivität Auto)										
-Auto	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
-ÖV	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Risikoaverse Umweltbewusste											
-Auto	2,91	2,62	2,33	2,04	1,75	1,46	1,16	0,87	0,58	0,29	0,00
-ÖV	5,34	5,87	6,41	6,94	7,48	8,01	8,54	9,08	9,61	10,15	10,68
Indifferente											
-Auto	3,37	3,03	2,70	2,36	2,02	1,69	1,35	1,01	0,67	0,34	0,00
-ÖV	5,21	5,73	6,25	6,77	7,29	7,82	8,34	8,86	9,38	9,90	10,42
Pragmatische											
-Auto	3,54	3,19	2,83	2,48	2,12	1,77	1,42	1,06	0,71	0,35	0,00
-ÖV	3,07	3,38	3,68	3,99	4,30	4,61	4,91	5,22	5,53	5,83	6,14
Komfortorientierte											
-Auto	3,67	3,30	2,94	2,57	2,20	1,84	1,47	1,10	0,73	0,37	0,00
-ÖV	5,26	5,79	6,31	6,84	7,36	7,89	8,42	8,94	9,47	9,99	10,52
Umwelt- und Kostenbewusste											
-Auto	2,57	2,31	2,06	1,80	1,54	1,29	1,03	0,77	0,51	0,26	0,00
-ÖV	5,61	6,17	6,73	7,29	7,85	8,42	8,98	9,54	10,10	10,66	11,22

Tabelle 39: Angepasste p-Werte des vierten Experiments – Steigerung Kosteneffektivität des ÖVs und Senkung Kosteneffektivität des Autos

6.3.6 Experiment 5: Wunschwegekette

Für die Implementierung der fünften Simulationshypothese S5:

Die Wunschwegekette der Befragten führt zu einer nachhaltigeren Zukunft.

werden im Gegensatz zu den anderen Experimenten nicht die p-Werte angepasst. Vielmehr wird eine zweite InnaMoRuhr-Population basierend auf der im Fragebogen erfragten Wunschwegekette erzeugt. Tabelle 40 fasst die bereits in Kapitel 5.3.3 dargestellten Unterschiede zwischen aktueller und Wunschwegekette zusammen, welche die Basis der Tagesplanerstellung sind. Größte Unterschiede sind der deutlich höhere Anteil an Fahrradwegen in den Tagesplänen und die reduzierte ÖV-Nutzung bei gleichbleibender – wenn auch elektrischer – Autonutzung.

Verkehrsmittel	Modal Split (Weg)	
	Aktuell	Wunsch
Pkw (Verbrenner)	30 %	10 %
Pkw (E, Hybrid, H2)	1 %	17 %
Motorrad/Roller	0 %	1 %
Rad	11 %	20 %
E-Bike/E-Scooter	1 %	8 %
ÖV	49 %	33 %
Zu Fuß	7 %	7 %
Sharing, On-Demand	1 %	3 %
Sonstiges	0 %	0 %
n=	7484	7772

Tabelle 40: Modal Split berechnet aus aktueller und Wunschwegekette

Für die technische Umsetzung wurde analog zur beschriebenen Tagesplan-Erstellung in Kapitel 6.2.6 vorgegangen: Um weiterhin ein realistisches Abbild der Universitätspopulation zu erstellen, wurden in einem ersten Schritt die Skalierungsfaktoren angepasst, da sich die Anzahl der verwendbaren Wunschwegeketten von denen der aktuellen Wegekette im Fragebogen unterscheiden (vgl. Tabelle 41).

Dieser Ansatz führte jedoch zu einer insgesamt zu großen Wunschkpopulation, in welcher einige Agentengruppen unterrepräsentiert waren

Universität	Art*	Anzahl**	Anzahl IMR-Pläne (Skal: 19 %)	Anzahl Pläne Wunsch Fragebogen	Faktor	Berechnete Pläne
Technische Universität Dortmund	F&L	2.912	549	391	1,40	577
	Stud	33.440	6281	1376	4,56	6407
	T&V	1.435	271	284	0,95	279
Ruhruniversität Bochum	F&L	3.670	692	371	1,87	691
	Stud	42.599	8102	1220	6,64	8278
	T&V	2.491	480	308	1,56	473
Universität Duisburg-Essen	F&L	4324	823	323	2,55	857
	Stud	42.925	8195	1161	7,06	8411
	T&V	1.557	290	251	1,16	320
Gesamt:		135.353	25.683	5685		26.293

* F&L: Wissenschaftliches Personal, Stud: Studierende, T&V Mitarbeiter:innen in Technik und Verwaltung

Tabelle 41: Skalierungsfaktoren für Wunschwegekette der unterschiedlichen Gruppen der Universitätsangehörigen

(26.293>25.683)¹⁶. Aus diesem Grund wurde ein zweiter Durchlauf mit leicht höheren Skalierungswerten durchgeführt und anschließend die daraus resultierende zu große Wunschartpopulation auf die gewünschte Größe (25.683) und gleiche Verteilung der Statusgruppen reduziert. Hierdurch wird die Vergleichbarkeit zu der Standard-Population in der Auswertung sichergestellt (vgl. Kapitel 6.2.4). Technisch umgesetzt wurde die Reduktion der Population mit dem Python-Skript „Reduce Wish Population“ in der *Tagesplaene.ipynb*. In diesem wird zunächst die gewünschte Wunsch-Agentenverteilung nach Statusgruppe in einem Dictionary angelegt und in einem nächsten Schritt mit der Ausgangswunschpopulation für jede Statusgruppe verglichen. Wenn zu wenig Tagespläne für eine Statusgruppe in der Ausgangswunschpopulation vorhanden sind, wird ein Fehler ausgegeben. Wenn zu viele Tagespläne in der Ausgangswunschpopulation vorhanden sind, wird die Differenz, also die Anzahl der überschüssigen Pläne, gespeichert. Zuletzt wird zufällig für jede Statusgruppe der Ausgangspopulation eine Anzahl an Tagesplänen in Höhe der identifizierten Differenz ausgewählt und diese aus der Ausgangspopulation entfernt. Die finalen Wunsch-Tagespläne sind im digitalen Anhang (Philipp et al. 2026) unter *MATSim/Tagesplaene/Wunschweges_kette_passende_groesse_kombiniert_none_gefixed.xml.gz* abgelegt.

Somit werden final zwei Simulationsdurchläufe durchgeführt:

- Die Verwendung der InnaMoRuhr -Population mit den Tagesplänen aus der aktuellen Wegekette.
- Die Verwendung der InnaMoRuhr -Population mit den Tagesplänen aus der Wunschweges_kette.

6.4 Experimentalauswertung

Die hier präsentierte Auswertung basiert auf den in Kapitel 6.2.6 beschriebenen Auswertungsmethoden, welche anschließend mittels Excel weiter verdichtet und visualisiert wurden. Alle hier präsentierten Ergebnisse und Grafiken finden sich auch in der Datei „Aggregierte_Ergebnisse_MATSim.xlsx“ im Ordner *MATSim/Ergebnisse* des digitalen Anhangs dieser Arbeit. Für die Auswertung wird insbesondere auf die Veränderung des Modal Splits, die

¹⁶ Der Grund hierfür liegt in den nicht vollständig oder fehlerhaft ausgefüllten Wegekettendaten der Befragung, welche bei der Tagesplanerstellung teils zufällig zu einem vollständigen Tagesplan ergänzt werden (vgl. Kapitel 6.2.1). Teilweise können jedoch keine validen Lösungen gefunden werden und der Tagesplan wird verworfen. Bei einem höherem Skalierungsfaktor wird hingegen wiederholt versucht, aus dem Tagesplan eine funktionierende Wegekette zu erstellen. Das kann je nach zufällig ausgewählten Etappen manchmal funktionieren, obwohl es beim Testdurchlauf zur Bestimmung der Grundpopulation nicht funktioniert hat – hierdurch ergeben sich insbesondere für große Skalierungsfaktoren dann zu große Populationen.

Veränderung der ausgestoßenen Emissionen sowie den daraus resultierenden gesellschaftlichen Nutzen eingegangen. Abschließend werden die Hypothesen bestätigt bzw. widerlegt. Im sich anschließenden Kapitel 6.5 werden die Ergebnisse der Experimente zusammengefasst und die unterschiedlichen Eingriffsarten miteinander verglichen sowie diskutiert.

Im Zuge der Experimentauswertung werden in diesem Teil der Arbeit die englischen Namen der Agentengruppen verwendet. Diese wurden für die Simulation gewählt, damit die Agentengruppen auch für ein internationales wissenschaftliches Publikum verständlich kategorisiert sind. Zugleich ist die englische Titulierung schlicht kürzer, was eine kompaktere grafische Auswertung ermöglicht. Tabelle 42 stellt die unterschiedlichen Clustergruppen sowie ihre deutsche und englische Benennung gegenüber.

Das im Nemo-Szenario implementierte Verkehrsmittel Ride (Mitfahrgelegenheit) wird in den Auswertungen nicht betrachtet, da nur sehr marginale Veränderungen aus den Experimenten resultierten und die zusätzliche Betrachtung die Darstellungen unübersichtlicher gestalten würde. Einzige Ausnahme ist das fünfte Experiment, da in den Wunschwegeketten eine höhere Nutzung der Mitfahrgelegenheiten gewünscht wurde und auch eine nennenswerte Veränderung der Nutzung zu verzeichnen ist.

Name Clustergruppe (Deutsch)	Name Simulation (Englisch)
Risikoaverse Umweltbewusste	ecoriskaverse
Indifferente	indifferent
Pragmatische	pragmatic
Komfortorientierte	comfort
Umwelt- und Kostenbewusste	ecopennypincher

Tabelle 42: Benennung der Clustergruppen in Deutsch und Englisch

6.4.1 Experiment 0: Vergleich der Simulationen mit und ohne zusätzlicher SEU-Berechnung

Das Experiment null dient dazu, einerseits das Basisszenario („SEU on“) darzustellen, auf welchem die weiteren Experimentreihen aufbauen und andererseits die Auswirkung der zusätzlichen SEU-Berechnung zu evaluieren im Vergleich zum Szenario ohne SEU-Berechnung („SEU off“). Hierfür wird zusätzlich ein direkter Vergleich mit der Nutzung der Hauptverkehrsmittel aus der Befragung vorgestellt.

Modal Split

Hinsichtlich des Modal Splits (vgl. Abbildung 63) zeigt sich, dass die zusätzliche SEU-Berechnung und die damit einhergehende Kalibrierung hilft, einen realistischeren Modal Split abzubilden: Bei der Umsetzung der InnaMoRuhr-Population ausschließlich auf Grundlage der Wegeketten – also ohne SEU-Berechnung und ohne Kalibrierung (im Folgenden „ohne SEU“ bzw. in der Abbildung „off“) – liegt der Fahrradanteil im Modal Split bei 18 %. Damit ist er deutlich höher als der in der Befragung ermittelte Anteil von 12 %. Mit der SEU-Berechnung verzeichnet das Fahrrad hingegen einen Anteil von neun Prozent am Modal Split und ist damit deutlich näher an den Werten der Befragung. Gleiches gilt für das Auto, welches in der Simulation ohne SEU im Vergleich zur Befragung stark unterrepräsentiert ist (11 % gegen 31 %). Die Hinzunahme der SEU-Berechnung konnte hingegen den Anteil des Autos auf 23 % erhöhen, kann aber die 31 % der Befragung trotzdem nicht erreichen. Auch hinsichtlich der Fußwege konnte die Hinzunahme der SEU-Berechnung helfen, einen deutlich realistischeren Modal Split zu erzielen. So konnten die Fußwege von 24 % auf 7 % reduziert werden und liegen somit deutlich näher an den Ergebnissen der Befragung (9 %). Allein bei der ÖV-Nutzung verschlechtert die Hinzunahme der SEU-Berechnung die Realitätsnähe des Modal Splits, indem es die ÖV-Nutzung von 47 % auf 58 % erhöht und somit zu einer stärkeren Abweichung vom Modal Split der Befragung (50 %) führt. Verkehrsmittelübergreifend zeigt sich jedoch, dass durch die Implementation der SEU-Berechnung eine realitätsnähere Simulation ermöglicht wird und eine alleinige Simulation der Wegekette nicht zu realitätsnahen Ergebnissen führt.

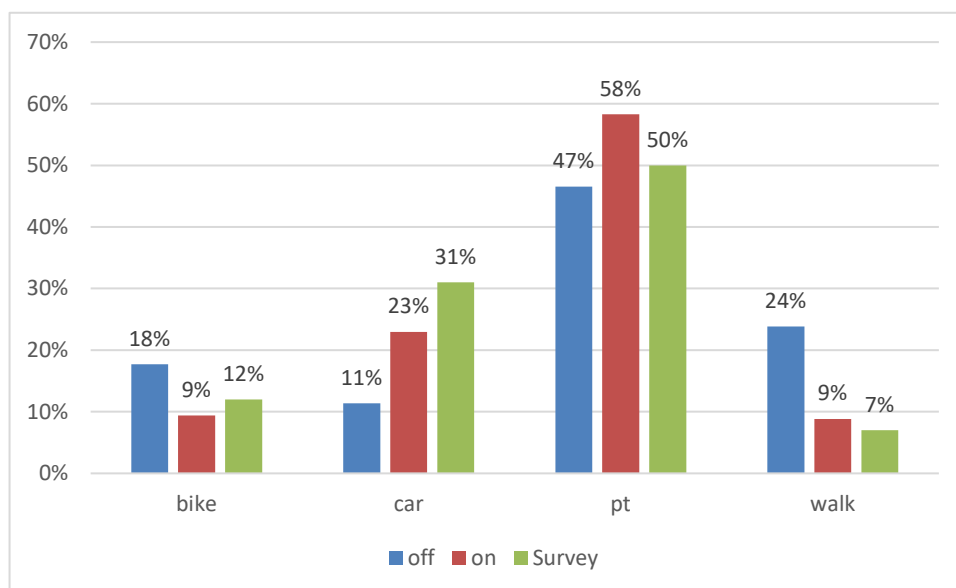


Abbildung 63: Modal Split des Basis-Szenarios ohne (off) und mit (on) SEU-Berechnung im Vergleich zum Modal Split der Befragung (Survey)

Die Betrachtung der Veränderung des Modal Splits nach Agentengruppen (vgl. Abbildung 64) zeigt, dass die Komfortorientierten durch die Einführung der SEU-Berechnung ihre Autonutzung am stärksten erhöhen (von 18 % auf 41 %) und ihre Fahrradnutzung zusammen mit den Pragmatischen am stärksten reduzieren (von 15 % auf 2 % bzw. von 18 % auf 4 %). Zudem sind die Komfortorientierten die einzige Agentengruppe, die ihre ÖV-Nutzung nicht nennenswert steigert. Alle anderen Agentengruppen steigern ihre ÖV-Nutzung hingegen in einem vergleichbaren Maß von knapp 45 % auf 60 %. Die Umwelt- und Kostenbewussten reduzieren hingegen ihre Fahrradnutzung und steigern ihre Autonutzung am wenigsten (mit SEU: 15 % Fahrrad und 12 % Auto). Gleiches gilt in etwas stärkerer Form auch für die risikoaversen Umweltbewussten (mit SEU: 14 % Fahrrad und 17 % Auto). Indifferente und besonders die Pragmatischen steigern hingegen ihre Autonutzung und reduzieren die Fahrradnutzung in einem stärkeren Maß. Die Fußwege erfahren hingegen über alle Agentengruppen hinweg eine vergleichbare Reduzierung. Insbesondere die Komfortbewussten reduzieren mit der SEU-Berechnung den Anteil der Fußwege als Hauptverkehrsmittel (5 %) und stehen damit im Kontrast zu den Umwelt- und Kostenbewussten mit dem höchsten Anteil (11 %). Somit zeigen sich hier bereits deutliche Unterschiede zwischen den Agentengruppen, wenngleich sich die übergreifenden Tendenzen der gesamten Population sich erwartungsgemäß auch in den einzelnen Agentengruppen widerspiegeln.

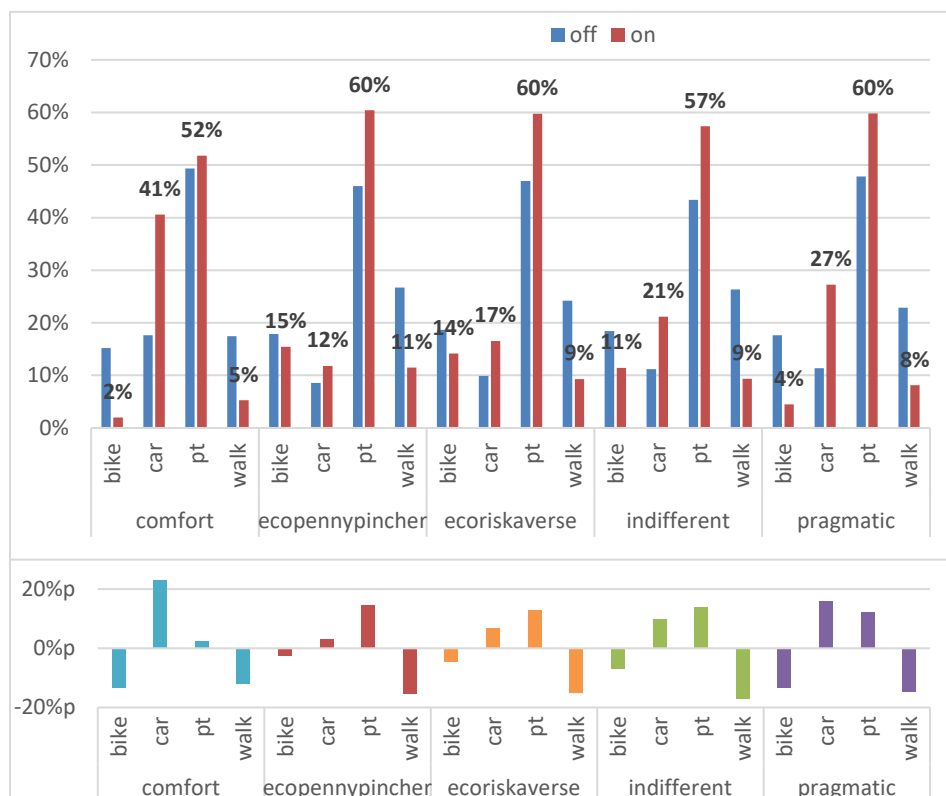


Abbildung 64: Oben: Modal Split des Basis-Szenarios ohne (off/blau) und mit (on/rot) zusätzlicher SEU-Berechnung nach Agentengruppe; angegebene Prozentwerte mit SEU-Berechnung. Unten: Abweichung zwischen den beiden Szenarien in Prozentpunkten

Abseits der Veränderungen zwischen den Simulationsarten zeigt sich, dass im Basisszenario, also mit aktivierter SEU-Berechnung, die Komfortorientierten mit 41 % die höchste Autonutzung verzeichnen. Die geringste Autonutzung verzeichnen hingegen die Umwelt- und Kostenbewussten mit zwölf Prozent, gefolgt von den risikoaversen Umweltbewussten mit 17 %. Indifferente und Pragmatische verzeichnen mit 21 % bzw. 27 % eine höhere Nutzung, wenngleich diese noch deutlich geringer ist als die Autonutzung der Komfortorientierten.

Die ÖV-Nutzung ist bei allen Agentengruppen hoch mit 57 - 60 %, lediglich die Komfortorientierten nutzen den ÖV im Vergleich mit 52 % weniger. Für elf Prozent der Umwelt- und Kostenbewussten und neun Prozent der risikoaversen Umweltbewussten sind Fußwege das Hauptverkehrsmittel. Dem gegenüber stehen die Komfortorientierten mit einem Anteil von fünf Prozent. Indifferente und Pragmatische bewegen sich dazwischen (9 % bzw. 8 %). Das Fahrrad wird von den Komfortorientierten fast gar nicht (2 %) genutzt. Am meisten wird es von dem Umwelt- und Kostenbewussten (15 %) und den risikoaversen Umweltbewussten genutzt (14 %). Dazwischen bewegen sich abermals die Indifferenten (11 %) und Pragmatischen (9 %).

Zusammengefasst verzeichnen insbesondere die Komfortorientierten eine deutlich höhere Autonutzung zu Lasten der aktiven Verkehrsmittel (Fahrrad/Fußwege). Den Gegenpol stellen hingegen die Umwelt- und Kostenbewussten dar, welche die höchste Fahrrad-, ÖV- und Fußwegnutzung verzeichnen. Die risikoaversen Umweltbewussten zeigen ein ähnliches, aber weniger extremes Mobilitätsverhalten auf. Die Pragmatischen und Indifferenten bewegen sich hingegen mit ihrem Modal Split zwischen den umweltbewussten Gruppen und den Komfortorientierten.

Emissionen

Tabelle 43 stellt die ausgestoßenen Emissionen nach Agentengruppen für das Basisszenario (mit SEU-Berechnung) und das Szenario ohne SEU-Berechnung dar, gewichtet nach der jeweiligen Populationsgröße. Zunächst ist der starke Anstieg der gesamten Emissionen durch die Implementation der SEU-

Emissionen	SEU off	SEU on	Veränderung (%)
Agentengruppen (kg/Kopf)			
Komfortorientierte	1,98	4,33	218,13 %
Umwelt- und Kostenbewusste	0,83	1,18	142,78 %
Risikoaverse Umweltbewusste	0,99	1,70	172,26 %
Indifferente	1,23	2,36	192,43 %
Pragmatische	1,25	2,71	217,07 %
Gesamt (kg)	31.242	60.932	195,03 %

Tabelle 43: Emission (in kg und kg pro Kopf) mit und ohne SEU-Berechnung. Gesamt und nach Agentengruppen

Berechnung ersichtlich. Dieser ist jedoch nicht verwunderlich, da, wie in Kapitel 6.2.5 beschrieben, die Emissionen maßgeblich durch die Autonutzung bestimmt werden. Der deutliche Anstieg der Emissionen um insgesamt 195,03 % ist dadurch zu erklären, dass sich auch die Autonutzung von 11 % auf 23 % mehr als verdoppelt hat. Jedoch ist auffällig, dass sich die Emissionen im Verhältnis nicht ganz verdoppeln. Auch wenn die genaue Ursache dafür aufgrund der Komplexität der Simulation nicht im Rahmen dieser Auswertung bestimmbar ist, könnten mögliche Gründe hierfür ein besserer Verkehrsfluss sein, da sich Staus auch auf die berechneten Emissionen auswirken. Hinsichtlich der Agentengruppen zeigt sich, dass die komfortorientierten Agenten mit deutlichem Abstand die höchsten Emissionen pro Kopf (4,33 kg) verzeichnen. Hingegen verursachen die Umwelt- und Kostenbewussten (1,18 kg) sowie die risikoaversen Umweltbewussten (1,7 kg) die geringsten Emissionen. Dazwischen befinden sich die Indifferenten (2,36 kg) und Pragmatischen (2,71 kg).

Nutzen

Der Nutzen steigt erwartungsgemäß für alle Agentengruppen an (vgl. Tabelle 44), da, wie in Kapitel 6.2.3 beschrieben, die SEU-Berechnung zur bestehenden Nutzenberechnung addiert wird. Die meisten Agentengruppen verzeichnen nur eine geringe Abweichung von knapp zwei Prozentpunkten von dem aggregierten Mittelwert (Gesamt: 37,9%). Nur die Kosten- und Umweltbewussten verzeichnen einen deutlich höheren Nutzenanstieg (43,58%). Dies kann dadurch verursacht sein, dass sich ihre subjektive Verkehrsmiteinschätzung auch in der simulierten Verkehrsmittelwahl besser umsetzen lässt.

Hierfür spricht auch, dass diese Agentengruppe die geringsten Veränderungen in ihrer Verkehrsmittelwahl unternehmen musste. Auffällig ist zudem, dass die Agentengruppen mit dem höchsten Anteil an aktiven Verkehrsmitteln, also die umweltbewussten Agentengruppen, auch den höchsten Nutzen insgesamt verzeichnen. Hier könnte ein vertiefender Blick auf die etwaigen Gründe in zukünftigen Auswertungen lohnenswert sein, da so ein höherer Nutzen mit reduzierten Emissionen kombiniert werden kann. Sollte dieser Zusammenhang beispielsweise durch die Infrastruktur oder die Länge der

	SEU off	SEU on	Veränderung (%)
Komfortorientierte	88,75	120,48	35,74 %
Umwelt- und Kostenbewusste	92,92	133,42	43,58 %
Risikoaverse Umweltbewusste	92,24	127,36	38,07 %
Indifferente	91,86	124,24	35,26 %
Pragmatische	90,40	123,97	37,14 %
Gesamt	91,29	125,89	37,90 %

Tabelle 44: Nutzen nach Aktivierung der SEU-Berechnung: gesamt und nach Agentengruppe

Wegstrecke begründet sein, würde dies dazu beitragen, neue nachhaltige Governance-Optionen induktiv zu entwickeln.

Zusammengefasst kann also die erste Hypothese S1

Die Anreicherung bzw. Kombination bestehender verkehrstechnischer Simulationen durch eine sozialwissenschaftliche Handlungstheorie und empirisch erhobene Wegeketten ermöglicht eine detailliertere Abbildung von (nicht-linearen) meso- und makroskopischen Effekten.

bestätigt werden, da differenzierte und realitätsnähere Simulationsergebnisse durch die Integration von SEU-Berechnung und realen Wegeketten erzielt werden konnten. Zudem wurde im Zuge der Experimentauswertung das Basisszenario ausführlich vorgestellt, welches die Grundlage für die nachfolgenden Experimente darstellt.

6.4.2 Experiment 1: Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs

Im ersten Experiment wird schrittweise die wahrgenommene Kosteneffektivität des ÖVs in Schritten von je 10 Prozentpunkten auf maximal 200 % erhöht.

Modal Split

Abbildung 65 stellt die Veränderung des Modal Splits dar: In der Abbildung entspricht der Wert 100 (%) auf der x-Achse dem im vorherigen Experiment beschriebenen Basisszenario („mit SEU“). Der Wert 200 (%) stellt eine Verdopplung des p-Werts dar. Es fällt auf, dass sich der Modal Split nur sehr geringfügig (um weniger als einen Prozentpunkt) ändert, mit einer leichten Erhöhung der ÖV-Nutzung zu Lasten der Autonutzung und der zurückgelegten Fußwege. Auch die Betrachtung der Verkehrsmittelnutzung nach Agentengruppen zeigt nur eine geringfügige Veränderung (vgl. Abbildung 66): Die Fahrradnutzung schwankt leicht und zeigt mit zunehmender Eingriffstiefe keine eindeutigen Tendenzen auf. Die Autonutzung nimmt insbesondere bei

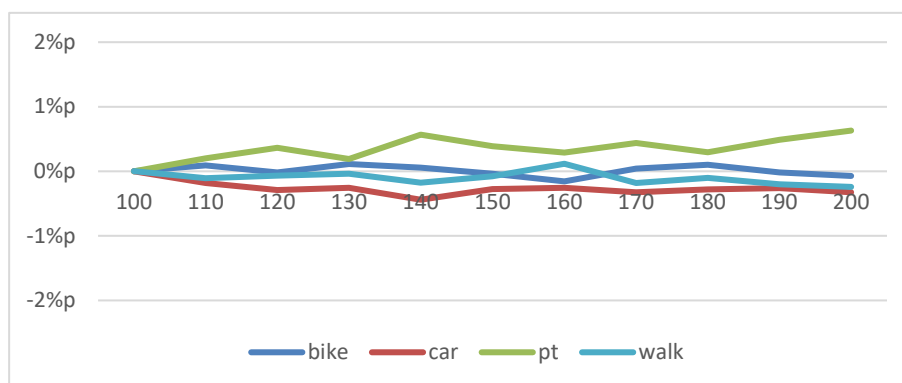


Abbildung 65: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs auf 200 %

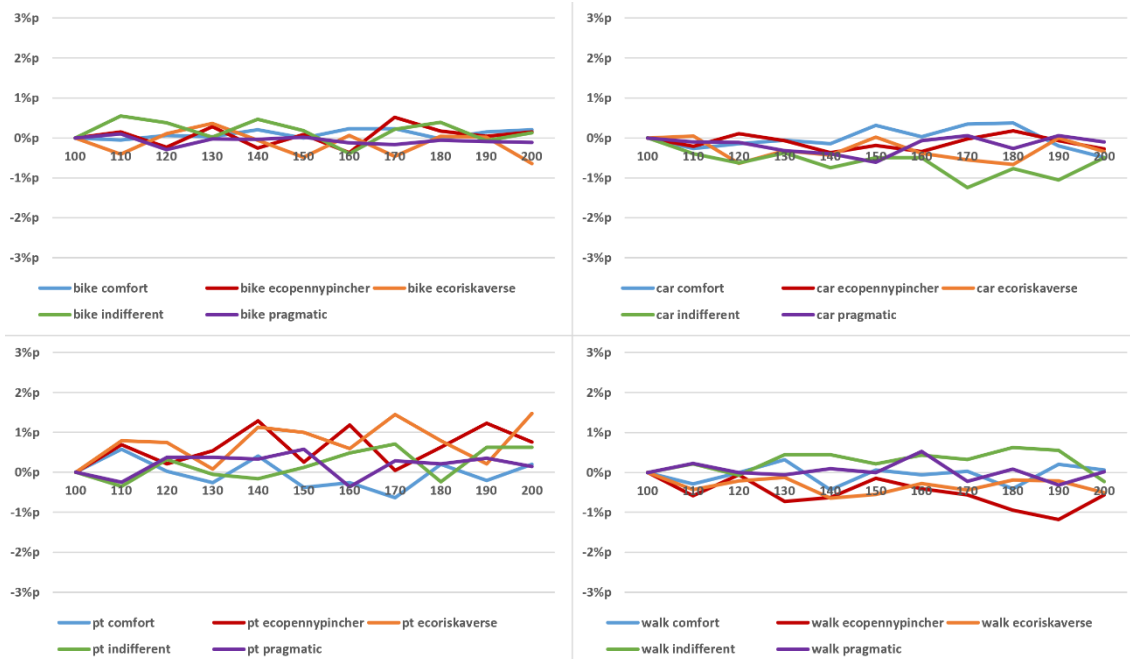


Abbildung 66: Veränderung der Verkehrsmittelnutzung der Agentengruppen (in Prozentpunkten) bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs auf 200 %

den Indifferenten (-1,2 Prozentpunkte bei einer Eingriffstiefe von 170 %) und in einem geringeren Ausmaß bei risikoaversen Umweltbewussten ab, wohingegen die Autonutzung bei den Komfortorientierten teilweise sogar ansteigt (+0,3 Prozentpunkte bei 170 %).

Die ÖV-Nutzung steigt tendenziell bei den beiden umweltbewussten Agentengruppen an, wohingegen bei den Komfortorientierten die ÖV-Nutzung teilweise abnimmt. Die Veränderung des Anteils der Fußwege am Modal Split fällt für die meisten Agentengruppen gering aus, nur die Umwelt- und Kostenbewussten reduzieren diese nennenswert. Zusammengefasst lässt sich aber insbesondere im Vergleich zu den anderen Experimenten kein substantieller Wandel im Modal Split feststellen.

Emissionen

Die ausgestoßenen Emissionen (vgl. Abbildung 67, unten) werden durch die Erhöhung der wahrgenommenen Kosteneffektivität des ÖVs nur geringfügig reduziert. Die höchste Reduktion um knapp 1,5 Prozentpunkte lässt sich als Folge der Erhöhung auf 120 % feststellen. Erhöhungen hierüber hinaus haben hingegen einen gegenläufigen Effekt: Die Emissionen steigen auf das Niveau des Basisszenarios. Insbesondere die risikoaversen Umweltbewussten und die Indifferenten verursachen bis zu knapp fünf Prozentpunkte weniger Emissionen pro Kopf bei einer Eingriffstiefe von 170 % bzw. 180 % (vgl. Abbildung 67, oben). Dem stehen die Umwelt- und Kostenbewussten gegenüber, welche teils knapp über drei Prozentpunkte mehr Emissionen

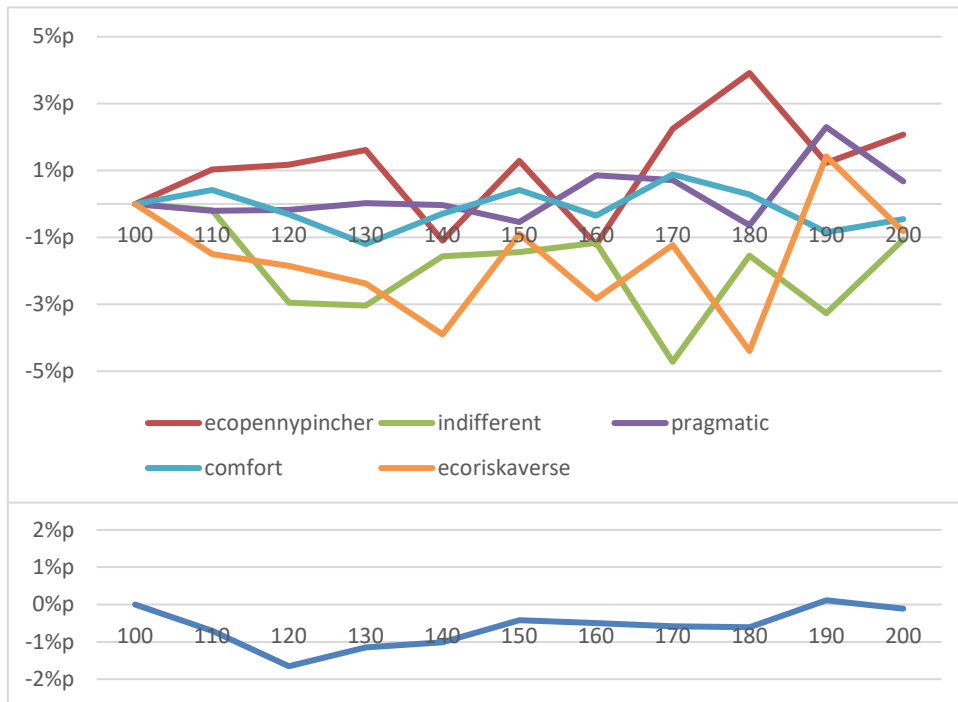


Abbildung 67: Veränderung der Emissionen bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität der ÖV. Unten: Veränderung der gesamten Emissionen. Oben: Veränderung der Emissionen nach Agentengruppen

verursachen. Übergreifend sind stärkere Schwankungen bei höheren Eingriffstiefen zu beobachten und erschweren die eindeutige Interpretation des Ergebnisses.

Nutzen

Abbildung 68 (oben) zeigt den resultierenden Nutzen der unterschiedlichen Agentengruppen infolge der Erhöhung der subjektiven Kosteneffektivität. Auch hier fallen die Unterschiede für diese Eingriffsform eher gering aus und bewegen sich größtenteils in einem Bereich von knapp drei Prozentpunkten Abweichung. Es zeigt sich, dass insbesondere die Umwelt- und Kostenbewussten und in einem geringeren Ausmaß auch die Pragmatischen eine konstante Steigerung ihres Nutzens mit zunehmender Eingriffsstärke verzeichnen, wohingegen die Komfortorientierten trotz der zusätzlichen Addition der SEU-Berechnung zum Scoring einen stark oszillierenden Nutzen mit teils sogar Nutzenverlusten verzeichnen. Die risikoaversen Umweltbewussten wie auch die Indifferenten verzeichnen einen nennenswerten Nutzenzuwachs hingegen erst ab einer Eingriffstiefe von größer als 160 %, davor ist der Nutzen zumeist geringer als im Basisszenario. Dies spiegelt sich im gesamtgesellschaftlichen Nutzen (Abbildung 68, unten) wider, welcher erst ab einer Eingriffstiefe von 130 % positiv wird und nahelegt, dass nur eine radikale Kostenreduktion überhaupt einen gesellschaftlichen Nutzen bringt.

Zusammenfassend kann Hypothese S2

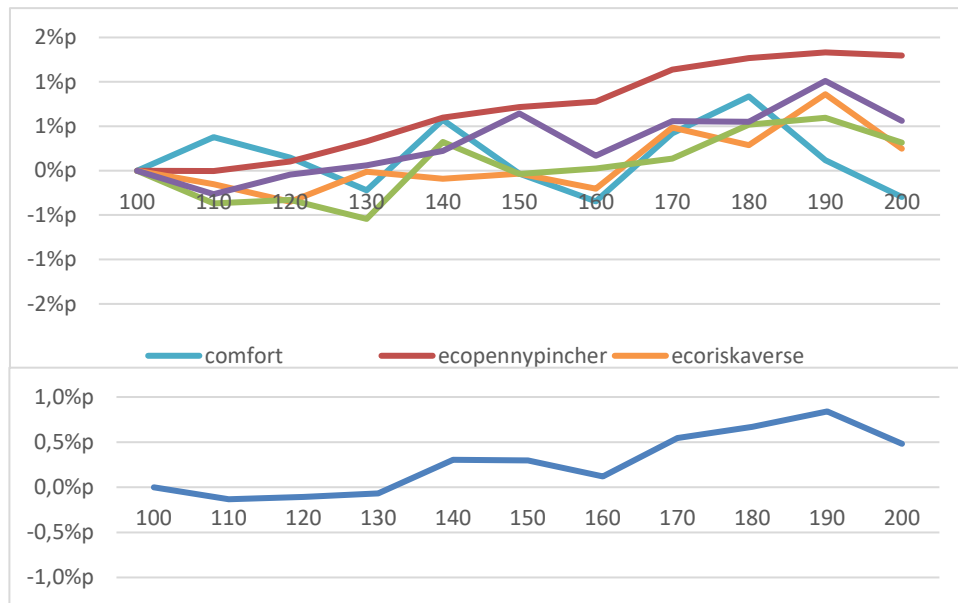


Abbildung 68: Veränderung des Nutzens bei einer Erhöhung der Kosteneffektivität der ÖVs – Oben: Insgesamt. Unten: Nach Agentengruppen

Es ist anzunehmen, dass die Einführung eines 9-Euro-Tickets zu einer nachhaltigeren Mobilität beitragen kann.

nicht bestätigt werden. Zwar führen geringe Steigerungen der subjektiven Kosteneffektivität des ÖVs zu leicht reduzierten Emissionen, jedoch sinkt gleichzeitig auch der gesellschaftliche Nutzen. Letzterer steigt erst bei höheren Eingriffstiefen, diese führen jedoch zu geringeren Emissionsreduzierungen.

6.4.3 Experiment 2: Senkung der Kosteneffektivität des Autos

Im zweiten Experiment wird schrittweise die wahrgenommene Kosteneffektivität des Autos in Schritten von je 10 Prozentpunkten von 100 % auf 0 % reduziert.

Modal Split

Die Reduzierung der Kosteneffektivität des Autos führt zu einer eindeutigen, wenn auch mit zunehmender Eingriffsstärke sich abschwächenden reduzierten Autonutzung um etwas mehr als einen Prozentpunkt (vgl. Abbildung 69): Ab einer Reduzierung auf weniger als 40 % verbleibt der Modal Split größtenteils unverändert. Dem gegenüber stehen eine entsprechende Erhöhung der Fahrradnutzung um mehr als einen Prozentpunkt und eine marginal erhöhte ÖV-Nutzung bei geringeren Eingriffstiefen, welche bei höheren Eingriffstiefen jedoch wieder gegen null tendiert. Der Anteil der Fußwege am Modal Split bleibt hingegen, wenn auch mit leichten Schwankungen, größtenteils unverändert.

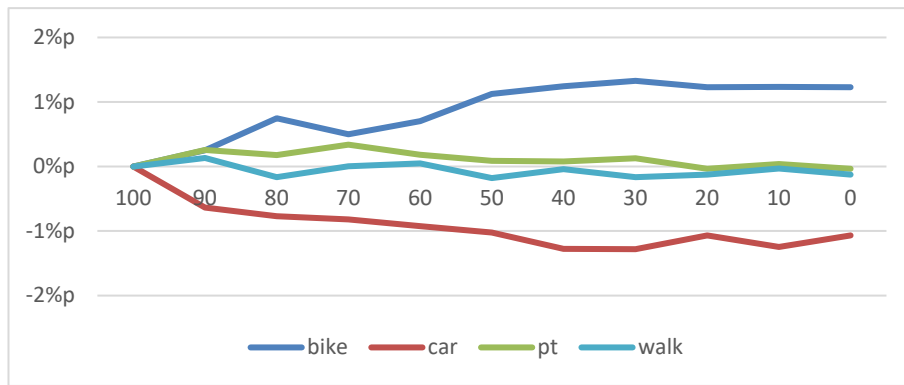


Abbildung 69: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer schrittweisen Senkung der wahrgenommen Kosteneffektivität des Autos auf 200 % vom Basis-Szenario

Abbildung 70 verdeutlicht die Veränderung der Verkehrsmittelnutzung nach Agentengruppen. Insbesondere senken die Pragmatischen (bis zu drei Prozentpunkte), aber auch die Indifferenten (bis zu zwei Prozentpunkte) ihre Autonutzung und steigern ihre Fahrradnutzung (+2,5 Prozentpunkte bzw. 2 Prozentpunkte).

Die Komfortbewussten hingegen reduzieren ihre ÖV-Nutzung (bis zu 1,3 Prozentpunkte) und steigern ihre Autonutzung (bis zu knapp über einem Prozentpunkt). Dies legt den Schluss nahe, dass die Komfortorientierten frei gewordene Straßenkapazitäten nutzen und trotz subjektiv steigender Preise das Auto allen anderen Verkehrsmitteln vorziehen. Die umweltbewussten Agentengruppen (Umwelt- und Kostenbewusste und risikoaverse Umweltbewusste) verändern hingegen ihr Mobilitätsverhalten kaum (um weniger als einen Prozentpunkt) über alle Eingriffstiefen.

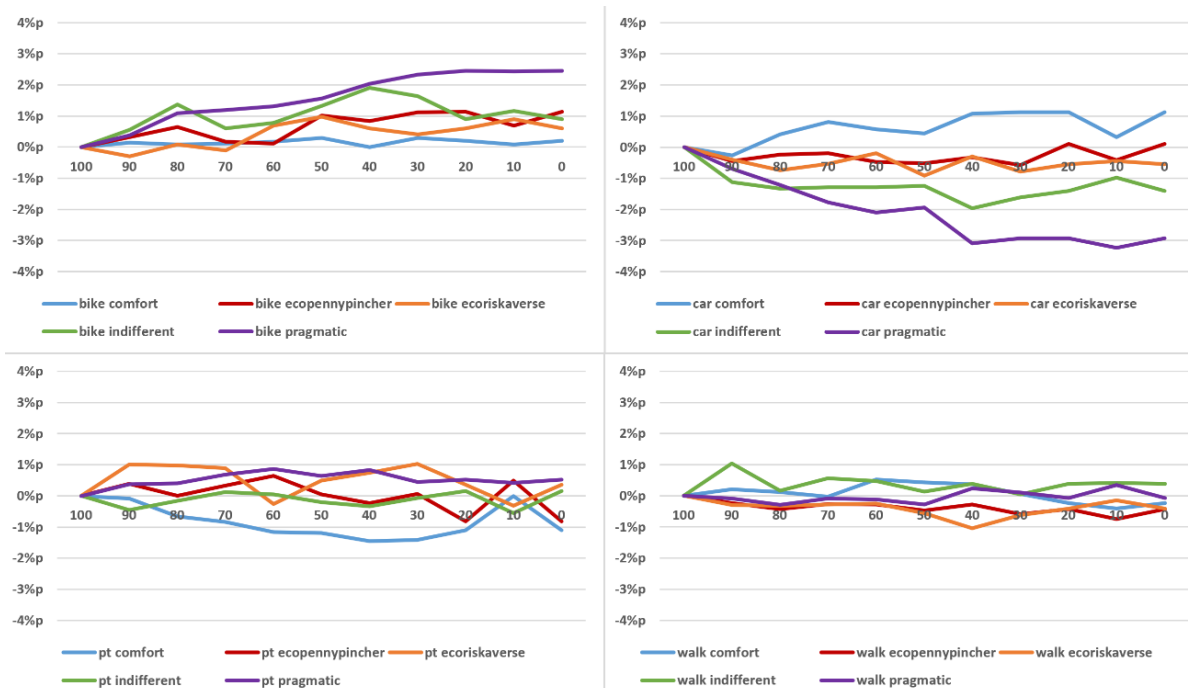


Abbildung 70: Veränderung der Verkehrsmittelnutzung der Agentengruppen (in Prozentpunkten) bei einer schrittweisen Senkung der Kosteneffektivität des Autos auf 0%

Emissionen

Die gesamten Emissionen (vgl. Abbildung 71, unten) können durch den Eingriff um bis zu drei Prozentpunkte reduziert werden, hierbei wird ein starker Effekt bereits früh bei einer Reduktion auf 70 % erzielt. Weitere Reduzierungen der Kosteneffektivität führen hingegen zu keinen zusätzlichen Emissions einsparungen, zudem nimmt der Effekt bei höheren Eingriffstiefen ab einer Reduktion auf unter 20 % wieder ab. Eine Betrachtung der Emissionsreduzierung nach Agentengruppe zeigt, dass fast alle Agentengruppen einen geringeren Emissionsausstoß verzeichnen (vgl. Abbildung 71, oben). Einzige Ausnahme sind die Umwelt- und Kostenbewussten, deren Emissionsausstoß pro Kopf mit steigender Eingriffstiefe um den Nullpunkt stark schwankt, sowie die Komfortorientierten, deren Emissionen in Folge der gesteigerten Autonutzung um etwas mehr als einen Prozentpunkt steigen. Warum die Emissionen der Umwelt- und Kostenbewussten zumindest prozentual leicht steigen, lässt sich durch die zuvor berichtete Verkehrsmittelnutzung hingegen nicht eindeutig bestimmen, da die Autonutzung nicht maßgeblich steigt. Mögliche Gründe hierfür könnten sein, dass diese Agentengruppe das Auto bereits am wenigsten nutzt und sich daher kleine Verhaltensänderungen bereits stark auf die prozentuale Veränderung auswirken oder dass die hier präsentierten Ergebnis immer den Anteil des Hauptverkehrsmittels am Modal Split berichten – dieser kann gleichbleiben, während die gefahrenen Personenkilometer sich verändern. Eine weitere mögliche Erklärung kann in einem

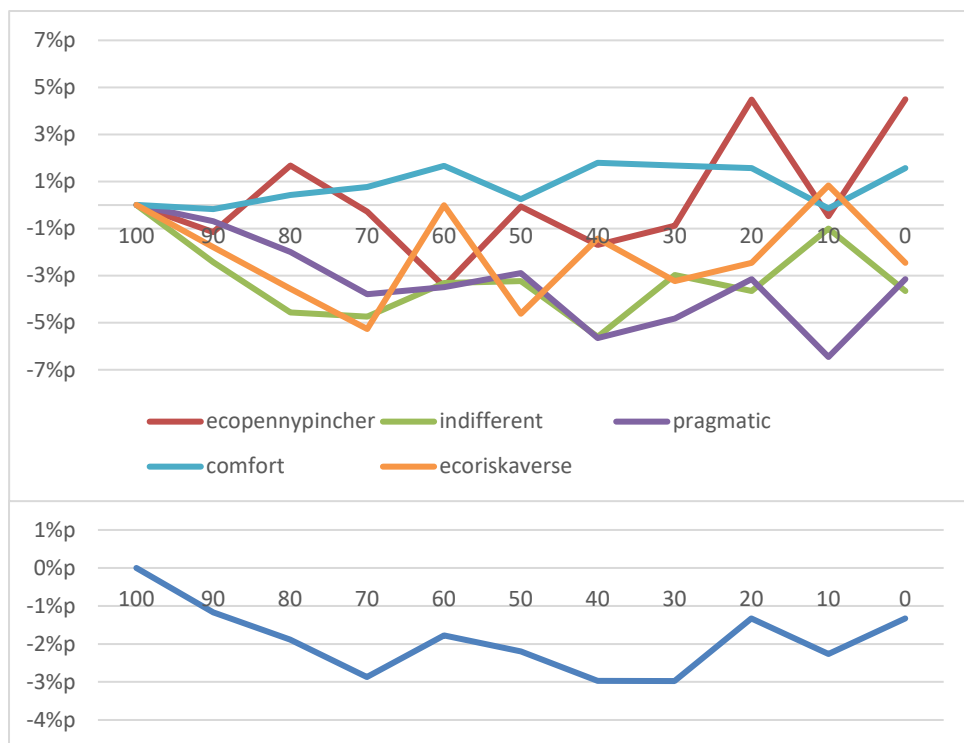


Abbildung 71: Veränderung der Emissionen bei einer Reduzierung der Kosteneffektivität des Autos – Unten: Veränderung der gesamten Emissionen. Oben: Veränderung der Emissionen nach Agentengruppen

veränderten Autonutzungsmuster liegen, da Emissionen auch durch Staus und Stop-and-Go-Verkehr beeinflusst werden.

Nutzen

Hinsichtlich des Nutzens lässt sich über die gesamte Population (vgl. Abbildung 72, unten) und alle Eingriffstiefen eine leichte Reduktion um circa 0,5 Prozentpunkte feststellen. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als dass die SEU-Parameter reduziert wurden, welche sich rechnerisch direkt auf den Score auswirken. Daher lässt sich die im Verhältnis kleine Nutzenreduktion im Vergleich zur vorher berichteten deutlich stärkeren Emissionsreduktion als durchaus positiv bewerten. Der Nutzen sinkt insbesondere für Pragmatische um etwas mehr als einen Prozentpunkt und für Indifferente um bis zu 1,5 Prozentpunkte (vgl. Abbildung 72, oben), also jene Agentengruppen, welche ihr Verkehrsmittel in Folge der Eingriffe gewechselt haben. Ein Grund hierfür könnte sein, dass der Nutzen des ursprünglich verwendeten Verkehrsmittels in Folge der Governance-Eingriffe reduziert wurde, weswegen die Agenten auf ein anderes Verkehrsmittel wechseln, welches einen besseren Nutzen erzielt. Jedoch ist dieser höhere Nutzen trotzdem geringer als der Nutzen des ursprünglich genutzten Verkehrsmittels ohne den entsprechenden Governance-Eingriff. Die Umwelt- und Kostenbewussten erfahren im Gegensatz zu den zuvor genannten Agentengruppen keine eindeutigen Nutzenverluste durch die Governance-Maßnahme.

Die berichteten Ergebnisse zeigen, dass in der Realität Push-Maßnahmen potentiell zu gesellschaftlichen Konflikten führen können, da ein Nutzenverlust von den unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen akzeptiert werden muss.

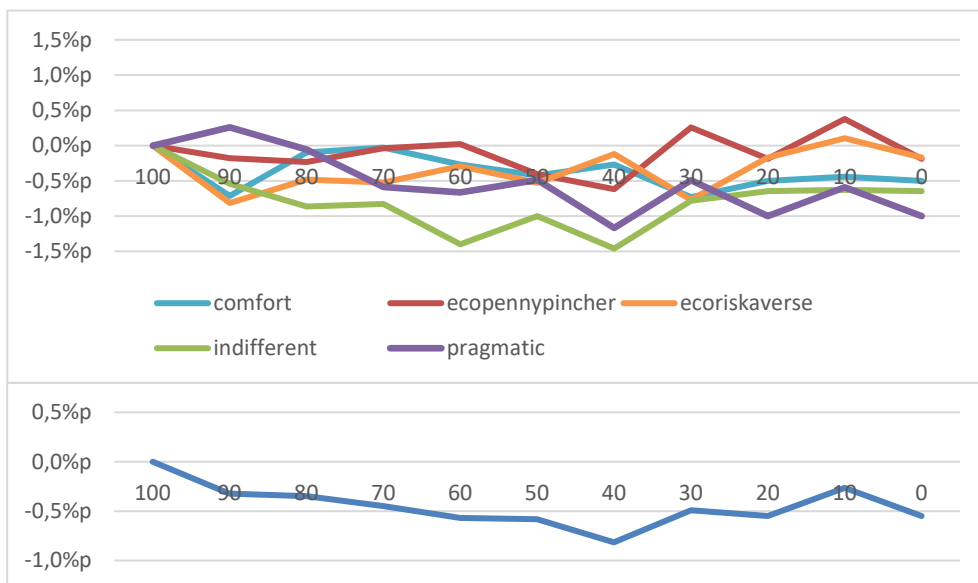


Abbildung 72: Veränderung des Nutzens bei einer Reduzierung der Kosteneffektivität der Autos – Oben: Insgesamt. Unten: Nach Agentengruppen

Zusätzlich verdeutlicht die Simulation, dass unterschiedliche Agentengruppen unterschiedlich stark betroffen sind und dies zu weiteren Konflikten bzw. einer Polarisierung innerhalb der Gesellschaft führen kann.

Zusammengefasst kann die dritte Simulationshypothese S3

Ebenso kann die Reduktion der MIV-Förderung helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.

überwiegend bestätigt werden. Der Eingriff führt zu reduzierten Emissionen, aber ebenso zu einem reduzierten Nutzen der Population, wenngleich die Nutzenreduktion geringer als die Emissionsreduktion ist. Somit verbessert der Eingriff die ökologische, aber verschlechtert die soziale Nachhaltigkeit leicht. Zwar lässt sich theoretisch zusätzlich argumentieren, dass eine reduzierte Autonutzung indirekt beispielsweise die Lebensqualität in Städten erhöht und so durchaus einen Einfluss auf die soziale Dimension der Nachhaltigkeit hat, jedoch sind derartige indirekte Effekte noch nicht in das hier präsentierte Szenario integriert.

6.4.4 Experiment 3: Steigerung des Fahrradkomforts

Im dritten Experiment wird der wahrgenommene Komfort des Fahrrads in Schritten von je 10 Prozentpunkten von 100 % auf 200 % erhöht.

Modal Split

Hinsichtlich des Modal Splits (vgl. Abbildung 73) zeigt sich, dass die Erhöhung des Fahrradkomforts maximal zu einer Steigerung der Fahrradnutzung um fast zwei Prozentpunkte führt. Zwar leidet darunter in sehr geringem Maße auch die Nutzung von ÖV und Fußwegen, jedoch reduziert sich insbesondere die Autonutzung um knapp über einen Prozentpunkt. Die Betrachtung der jeweiligen Verkehrsmittelnutzung nach Agentengruppe (vgl. Abbildung 74) offenbart, dass vornehmlich die Pragmatischen ihre Fahrradnutzung

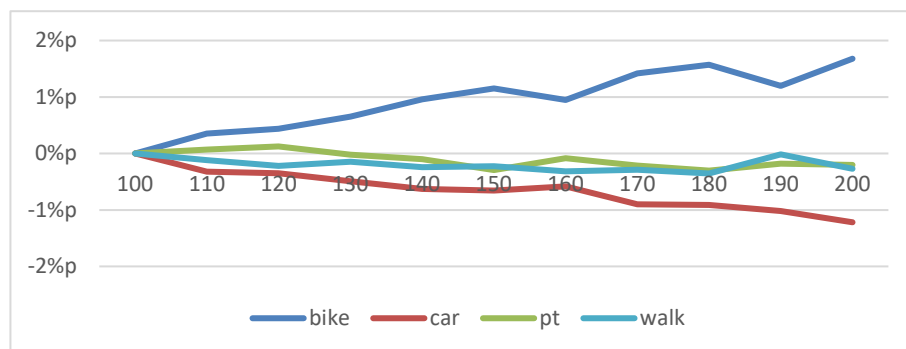


Abbildung 73: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer schrittweisen Steigerung des Fahrradkomforts auf 200 % vom Basis-Szenario

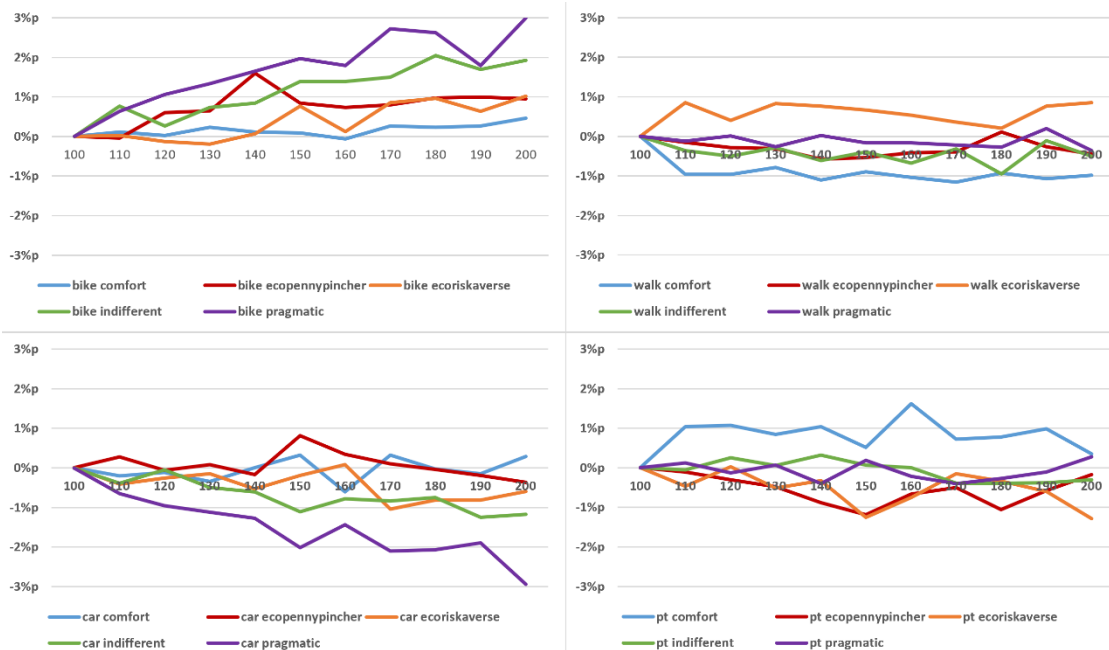


Abbildung 74: Veränderung des Modal Splits nach Agentengruppen (in Prozentpunkten) bei einer schrittweisen Steigerung des Fahrradkomforts auf 200 % vom Basis-Szenario

um bis zu drei Prozentpunkte bei maximaler Eingriffstiefe steigern und entsprechend ihre Autonutzung um bis zu drei Prozentpunkte senken. Im Gegensatz dazu stehen die Komfortorientierten, welche zwar teils eine minimale Steigerung der Fahrradnutzung verzeichnen (maximal +0,5 Prozentpunkte), hierfür aber nicht auf die Autonutzung verzichten, sondern vielmehr Fußwege reduzieren und ÖV-Wege erhöhen. An zweiter Stelle folgen die Indifferenten, die ihre Fahrradnutzung bei einer Eingriffstiefe von 200 % um bis zu zwei Prozentpunkte erhöhen und ihre Autonutzung und Fußwege entsprechend reduzieren. Die ÖV-Nutzung steigt hingegen zunächst, fällt mit höheren Eingriffstiefen dann jedoch wieder ab. Die beiden umweltbewussten Agentengruppen steigern bei maximaler Eingriffstiefe ihre Fahrradnutzung ähnlich stark (+1 Prozentpunkt), jedoch reagieren Umwelt- und Kostenbewusste bereits bei niedrigeren Eingriffstiefen und steigern gleichzeitig ihre Autonutzung leicht. Hierfür reduzieren sie die Fußwege und die ÖV-Nutzung. Die risikoaversen Umweltbewussten reduzieren hingegen Auto- und ÖV-Nutzung und steigern dafür den Anteil der Fußwege und des Fahrrads um jeweils einen Prozentpunkt.

Emissionen

Hinsichtlich der Emissionen (vgl. Abbildung 75, unten) führt der veränderte Modal Split zu einer Reduktion der Emissionen um insgesamt bis zu 2,6 Prozentpunkte (bei 190 %). Unerwartet ist jedoch, dass bei einer Eingriffstiefe von 160 % die Emissionsreduktionen im Vergleich zum Basisszenario gegen null tendieren. Der Darstellung des Pro-Kopf-Emissionsausstoßes nach

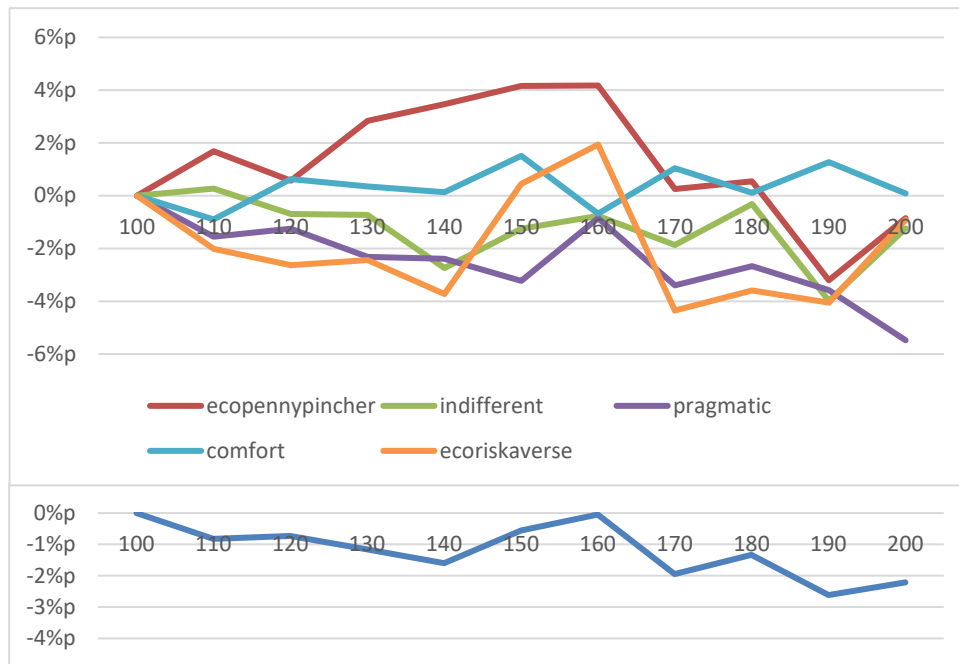


Abbildung 75: Veränderung der Emissionen bei einer Erhöhung des Komforts des Fahrrads – Unten: Veränderung der gesamten Emissionen. Oben: Veränderung der Emissionen nach Agentengruppen

Agentengruppen (vgl. Abbildung 75, oben) folgend, liegt dies maßgeblich daran, dass die beiden umweltbewussten Agentengruppen mehr Emissionen als im Basisszenario ausstoßen, aber auch Pragmatische und Indifferente ihren Emissionsausstoß im Vergleich zu schwächeren Eingriffstiefen steigern. Da der Modal Split der gesamten Population sich jedoch für diese Eingriffstiefe nur marginal ändert (vgl. Abbildung 73), kann nicht allein die Verkehrsmittelwahl den veränderten Emissionsausstoß erklären. Sie ist wahrscheinlich das Resultat des tatsächlichen Verkehrsgeschehens (möglicherweise Zunahme kurzer Wegstrecken und Abnahme langer Wegstrecken mit dem Auto, was zu mehr Emissionen führen könnte.)

Der Vergleich der Agentengruppen zeigt jedoch abermals, dass die Komfortorientierten ihre Emissionen für fast alle Eingriffstiefen (mit Ausnahme von 110% und 160 %) im Gegensatz zum Basisszenario leicht steigern. Ebenso steigern die Umwelt- und Kostenbewussten die Pro-Kopf-Emissionen bei höheren Eingriffstiefen teils stark um bis zu vier Prozentpunkte, ein Effekt, der jedoch mit höheren Eingriffstiefen ab 170 % wieder ausgeglichen wird. Insbesondere die Agentengruppen der Indifferenten und Pragmatischen und zu großen Teilen auch der risikoaversen Umweltbewussten reduzieren ihre Pro-Kopf-Emissionen bei höheren Eingriffstiefen um drei bis vier Prozentpunkte und tragen so maßgeblich zu den Emissionsreduzierungen der Gesamtpopulation bei.

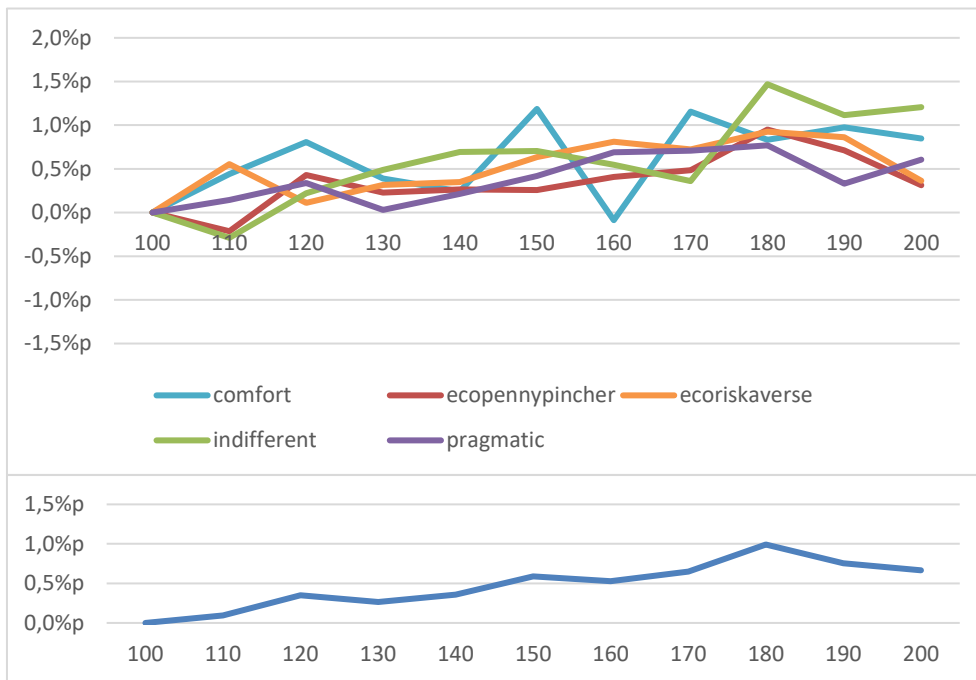


Abbildung 76: Veränderung des Nutzens bei einer Erhöhung des Komforts des Fahrrads – Oben: Insgesamt. Unten: Nach Agentengruppen

Nutzen

Hinsichtlich des gesamtgesellschaftlichen Nutzens (vgl. Abbildung 76, unten) lässt sich bis zu einer Eingriffstiefe von 180 % tendenziell eine stetig steigende Erhöhung um bis zu einen Prozentpunkt feststellen. Ab 180 % fällt dann der Nutzen wieder leicht auf ein Plus von knapp 0,6 Prozentpunkten, verbleibt jedoch noch deutlich im positiven Bereich. Mit leichten Schwankungen gilt dies für alle Agentengruppen (vgl. Abbildung 76, oben). Spannend ist lediglich der stärker schwankende Nutzen der Komfortorientierten, welcher bei einer Eingriffstiefe von 160 % kurzzeitig unter den Nutzen des Basisszenarios fällt. Der Grund hierfür liegt mutmaßlich in der reduzierten Autonutzung, welche sonst eigentlich von dieser Agentengruppe präferiert wird.

Zusammengefasst lässt sich dennoch ein durchweg positives Fazit ziehen, da durch die insgesamt gesteigerte Fahrradnutzung die ausgestoßenen Emissionen reduziert werden konnten und der gesamtgesellschaftliche Nutzen steigt.

Somit kann Hypothese S3,5

Die Kennzeichnung von Fahrradwegen sowie der Ausbau von separaten Fahrradwegen und Fahrradabstellanlagen können helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.

zusammenfassend bestätigt werden.

6.4.5 Experiment 4: Kombination

Im Rahmen des vierten Experiments wurden die Eingriffe vom ersten und zweiten Experiment, also der schrittweisen Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs (von 100 % auf 200 %) und der Reduzierung der Kosteneffektivität des Autos (von 100 % auf 0 %) kombiniert, um die Auswirkungen des kombinierten Effektes im Vergleich zu den rechnerisch aufsummierten Effekten der Einzeleingriffe zu erforschen. Durch die Kombination der Eingriffe besitzen die nachfolgend vorgestellten Graphen zwei Werte der X-Achse.

Modal Split

Hinsichtlich des Modal Splits (vgl. Abbildung 77) zeigt sich, dass durch den kombinierten Eingriff sowohl die Fahrradnutzung als auch die ÖV-Nutzung gesteigert werden konnten. Erstere steigt mit zunehmender Eingriffstiefe um knapp über einen Prozentpunkt an, zweite steigt früh auf 0,5 Prozentpunkte und verbleibt auf dem Niveau mit zunehmender Eingriffsstärke. Bei maximaler Eingriffstiefe sinkt die Nutzung unerwarteterweise wieder auf das Ursprungsniveau. Die Fußwege reduzieren sich mit zunehmender Eingriffsstärke (bis zu 0,5 Prozentpunkte) leicht und die zurückgelegten Wege mit dem Auto (bis zu 1,5 Prozentpunkte) stärker. Hinsichtlich der Veränderung des Mobilitätsverhaltens nach Agentengruppen (vgl. Abbildung 78) zeigen sich für die Fußwege insbesondere im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln nur geringfügige Unterschiede: Am stärksten steigen die Fußwege der Indifferenten an. Hingegen reduzieren die Umwelt- und Kostenbewussten den Anteil der Fußwege am Modal Split am stärksten. Diese Veränderungen sind jedoch im Vergleich zu den anderen Verkehrsmitteln gering.

Die übergreifend stärkste Veränderung des Mobilitätsverhaltens einer Agentengruppe verzeichnen die Pragmatischen. Diese steigern ihre Fahrradnutzung bei maximaler Eingriffsstärke um über zwei Prozentpunkte und redu-

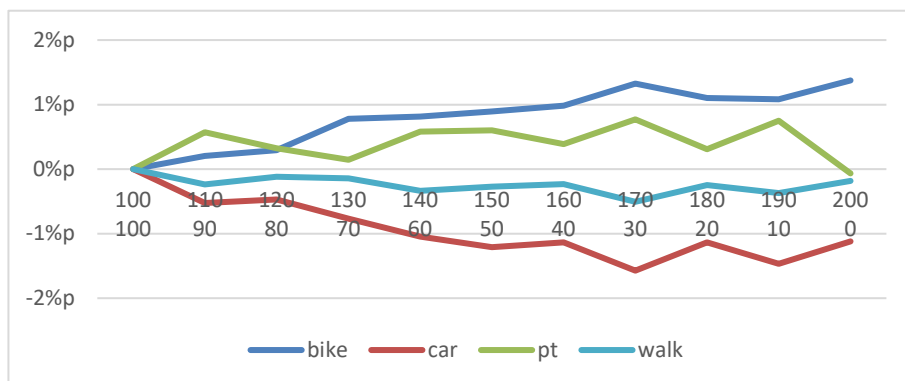


Abbildung 77: Veränderung des Modal Splits in Prozentpunkten bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der wahrgenommen Kosteneffektivität (Auto) auf 200 % vom Basis-Szenario

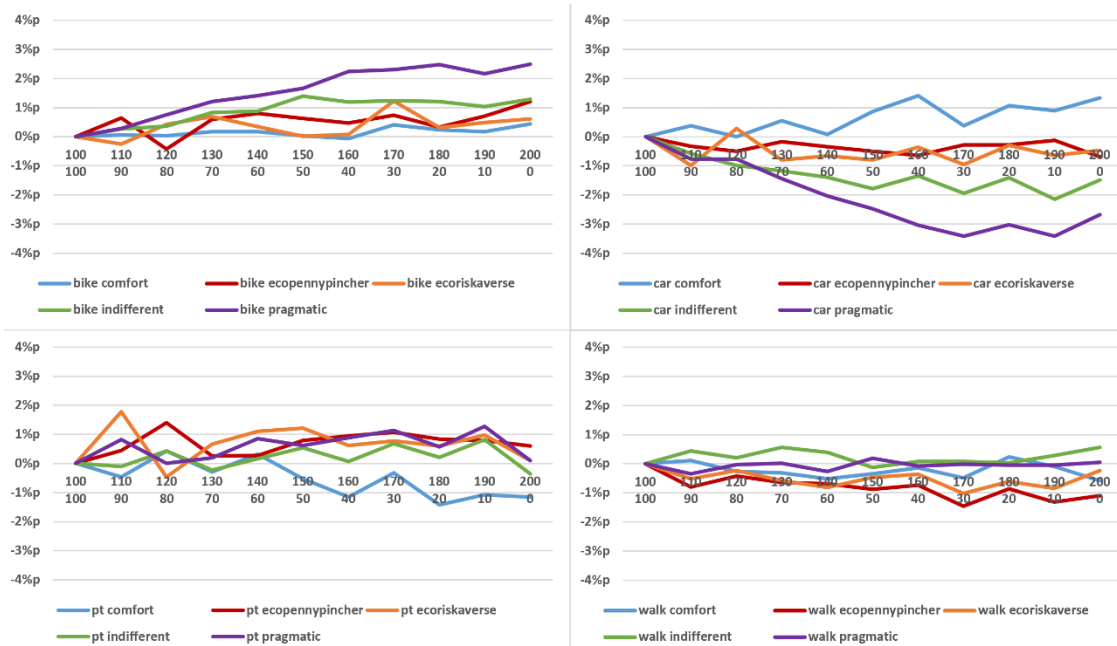


Abbildung 78: Veränderung des Modal Splits nach Agentengruppe (in Prozentpunkten) bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der Wahrgenommen Kosteneffektivität (Auto) auf 200 % vom Basis-Szenario

zieren ihre Autonutzung teilweise um mehr als drei Prozentpunkte. Die Komfortorientierten steigern hingegen ab einer Eingriffstiefe von 140 % ihre Autonutzung deutlich und senken ihre ÖV-Nutzung um bis zu einen Prozentpunkt. Die Indifferenten steigern ihre Fahrradnutzung bis zu einer Eingriffstiefe von 150 % um bis zu 1,4 Prozentpunkte und reduzieren dafür ihre Autonutzung um bis zu zwei Prozentpunkte. Die zwei umweltbewussten Agentengruppen reagieren hingegen am geringsten auf die Eingriffe und verbleiben größtenteils bei einer Veränderung des Modal Splits um maximal einen Prozentpunkt.

Emissionen

Basierend auf dem angepassten Modal Split reduzieren sich die ausgestoßenen Emissionen für alle Eingriffstiefen (vgl. Abbildung 79, unten: Simulated (Car Costs – PT Costs)). Zusätzlich zeigt die Abbildung den mathematisch kombinierten Effekt (Calculated manually), welcher aus der Addition der Prozentpunktveränderungen der einzelnen Simulationsexperimente (Experiment 2: Steigerung Kosteneffektivität ÖV und Experiment 3: Senkung Kosteneffektivität des Autos) hervorgeht. Zunächst fällt auf, dass sich das simulierte und das berechnete Ergebnis grundsätzlich ähneln. Jedoch ist für geringe Eingriffstiefen (110-130 %) der simulierte Effekt schwächer als die Summe der Effekte der Einzelexperimente. Für höhere Eingriffstiefen ähneln sich hingegen die Effekte, wenngleich das simulierte Ergebnis deutlicher schwingt.

Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass simulierte, kombinierte Eingriffe nicht-lineare Effekte haben und tendenziell zu stärkeren Auswirkungen führen können. Hinsichtlich der Betrachtung der simulierten Emissionen nach Agentengruppen (vgl. Abbildung 79, oben) zeigt sich, dass insbesondere die Komfortorientierten ihren Emissionsausstoß steigern (im Maximum knapp unter vier Prozentpunkten). Demgegenüber stehen die starken Reduzierungen des Emissionsausstoßes von bis zu sechs Prozentpunkten der indifferenten und pragmatischen Agentengruppen. Die Veränderung des Pro-Kopf-Emissionsausstoßes der umweltbewussten Agentengruppen schwingt hingegen um den Nullpunkt und zeigt keine eindeutigen Tendenzen auf.

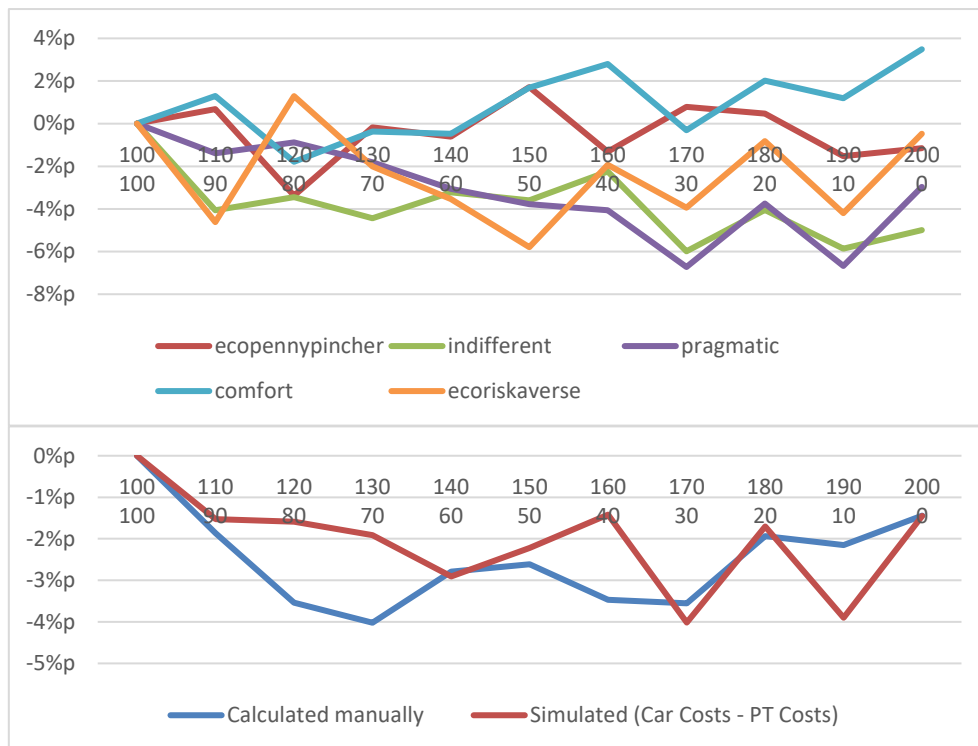


Abbildung 79: Veränderung der Emissionen bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der Kosteneffektivität (Auto) – Unten: Ergebnis des Experiments sowie manuelle Kombination der Effekte der Einzelerperimente 1 und 2. Oben: Nach Agentengruppen

Nutzen

Hinsichtlich des Nutzens, welcher sich aus der simulierten Kombination der Maßnahmen (Simulated (Car Costs – PTCosts)) ergibt, zeigt sich (vgl. Abbildung 80, unten) nur eine geringfügige Veränderung: Für geringe Eingriffstiefen (bis 130 %) sinkt der Nutzen zunächst um bis zu knapp 0,3 Prozentpunkte, mit weiter steigenden Eingriffstiefen steigt der Nutzen um knapp 0,7 Prozentpunkte im Vergleich zum Basisszenario. Dies ist bemerkenswert, da die Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs tendenziell zu höheren und die Senkung der Kosteneffektivität des Autos tendenziell zu geringeren SEU-Werten führen müsste. Es scheint daher, dass mit höherer Eingriffstiefe die positiven Nutzeneffekte überwiegen. Der Vergleich des simulierten Ergebnisses mit den manuell addierten Einzelergebnissen der jeweiligen Experimente (Calculated manually) zeigt, dass der Nutzen der simulierten Kombination weniger stark fällt und auch für hohe Eingriffstiefen höher als die aufsummierten Einzeleffekte (Calculated manually) ausfällt. Lediglich bei einer Eingriffsstärke von 190 % überwiegen letztere kurzzeitig.

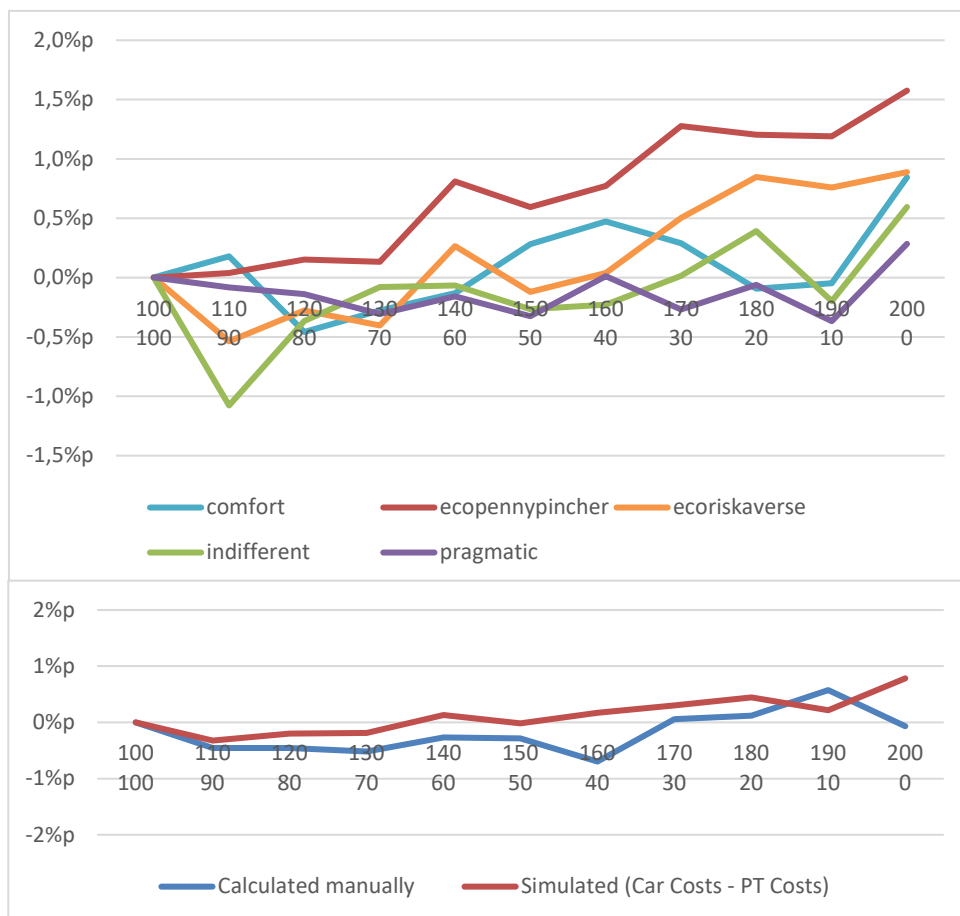


Abbildung 80: Veränderung des Nutzens bei einer kombinierten schrittweisen Steigerung (ÖV) bzw. Senkung der Kosteneffektivität (Auto) – Unten: Ergebnis des Experiments sowie manuelle Kombination der Effekte der Einzelerperimente 1 und 2. Oben: Nach Agentengruppen

Hinsichtlich des Nutzens nach Agentengruppen (vgl. Abbildung 80, oben) zeigt sich, dass insbesondere die umweltbewussten Agentengruppen mit Nutzenzugewinnen zwischen 0,8 und über 1,5 Prozentpunkten am stärksten profitieren. Hingegen verzeichnen Indifferente und Pragmatische bis zu einer Eingriffsstärke von 180 % einen Nutzenverlust. Die Komfortorientierten zeigen hingegen keine klaren Tendenzen und schwanken mit ihrem Nutzen um den Nullpunkt, verzeichnen aber tendenziell für höhere Eingriffstiefen höhere Werte.

Zusammengefasst lässt sich die Hypothese S4

Die Kombination von Governance-Optionen kann die Effektivität der Maßnahmen sogar noch weiter steigern.

basierend auf diesem Experiment daher nicht bestätigen, denn die Kombination der Governance-Optionen erzielt ein tendenziell ähnliches Ergebnis zu der mathematischen Addition der Effekte der Einzelexperimente ohne klare Abweichungen: Der Nutzen ist im Vergleich zur manuellen Berechnung etwas höher, während die Emissionseinsparungen etwas geringer ausfallen. Dies deutet jedoch zugleich darauf hin, dass die Kombination mehrerer Governance-Maßnahmen Teil einer sinnvollen Verkehrspolitik sein kann, da sich die einzelnen Maßnahmen nicht nachteilig gegenseitig beeinflussen.

6.4.6 Experiment 5: Wunschwegekette

Für das fünfte und letzte hier präsentierte Experiment wurde auf eine Anpassung der SEU-Parameter ähnlich zu den vorherigen Experimenten verzichtet. Vielmehr wird das Basisszenario (mit den tatsächlichen Wegeketten) mit dem Wunsch-Szenario (mit den entsprechenden Wunschwegeketten) verglichen (vgl. Kapitel 6.3.6).

Modal Split

Hinsichtlich des Modal Splits (vgl. Abbildung 81 und Tabelle 45) zeigt sich im Vergleich zwischen dem Basisszenario (Wish off) und dem Wunschscenario (Wish on) eine deutliche Zunahme des Anteils des Fahrrads (+3,2 %) am Modal Split, welcher der Reduktion der ÖV-Nutzung entspricht (-3,2 %). Weiterhin nehmen Fußwege ab (-1,2 Prozentpunkte). Dafür nehmen die Inanspruchnahme von Mitfahrgelegenheiten (+1 Prozentpunkte) und die Autonutzung leicht zu (+0,3 Prozentpunkte). Im Vergleich zur Veränderung des Modal Splits, basierend auf den Wegeketten der Befragung, zeigt sich, dass die Veränderungstendenzen aus der Befragung tendenziell in abgeschwächter Form in den Ergebnissen der Simulation wiederzufinden sind. Jedoch fallen die Effekte deutlich kleiner aus als in der Befragung. Zudem steigt die Autonutzung in der Simulation leicht und steht somit im Kontrast zu der in der Befragung gewünschten reduzierten Autonutzung. Derartige Abweichungen lassen sich durch die zusätzlichen Restriktionen des Mobilitätsverhaltens durch die (nicht) vorhandene Infrastruktur, das tatsächliche Mobilitätsgeschehen sowie den subjektiven Einstellungen gegenüber den Verkehrsmitteln begründen: So bringt der Wunsch, alle Wege mit dem Fahrrad zurückzulegen beispielsweise wenig, wenn der Arbeitsplatz hierfür zu weit entfernt liegt. Ebenso mögen die Befragten zwar deutlich weniger ÖV fahren wollen, jedoch kann dieser basierend auf den Rahmenbedingungen das beste Verkehrsmittel für die Route sein.

Verkehrsmittel	Wish off	Wish on	Veränderung	Veränderung: Aktuelle zu Wunschwegekette
bike	9,3 %	12,5 %	3,2 %p	16 %p
car	22,8 %	23,1 %	0,3 %p	-4 %p
pt	58,4 %	55,2 %	-3,2 %p	-16 %p
ride	0,5 %	1,5 %	1,0 %p	2 %p
walk	9,0 %	7,8 %	-1,2 %p	0%p

Tabelle 45: Modal Split im Standardszenario (Wish Off) und dem Wunschwegekettenzenario (Wish on) sowie die Veränderung des Modal Splits zwischen aktueller und Wunschwegekette (basierend auf Tabelle 40)

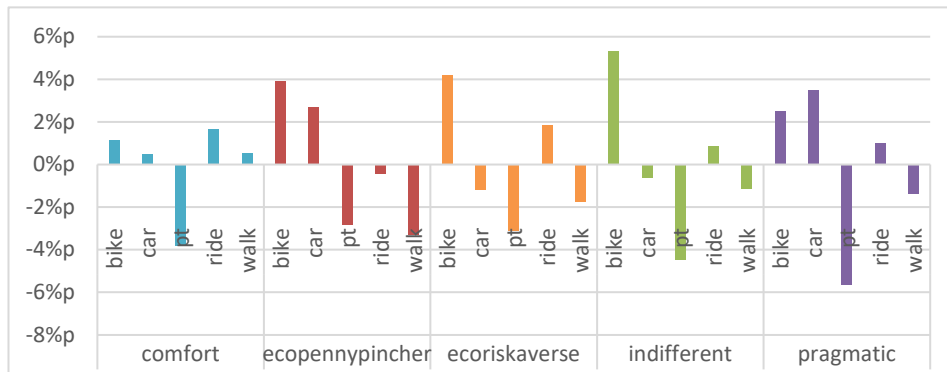


Abbildung 81: Veränderung des Modal Splits (in Prozentpunkten) zwischen dem Basisszenario und dem Wunschwegekettenzenario

Hinsichtlich der Veränderung der Verkehrsmittelnutzung der unterschiedlichen Agentengruppen zeigen sich deutliche Unterschiede: Die Pragmatischen reduzieren ihre ÖV-Nutzung (-5,6 Prozentpunkte) am stärksten und fahren vermehrt Rad (+2,5 Prozentpunkte) und Auto (+3,5 Prozentpunkte). Die Indifferenten reduzieren am zweitstärksten ihre ÖV-Wege (-4,5 Prozentpunkte), aber nutzen das Fahrrad deutlich öfter (+5,3 Prozentpunkte). Die restlichen drei Agentengruppen reduzieren ähnlich stark ihre ÖV-Nutzung (-3,1 – -3,8 Prozentpunkte). Hierbei nutzen die Komfortorientierten alle anderen Verkehrsmittel etwas mehr. Die Umwelt- und Kostenbewussten reduzieren zusätzlich noch ihre Fußwege um 3,3 Prozentpunkte und nutzen Formen der Individualmobilität, also das Auto und Fahrradwege deutlich stärker. Die risikoaversen Umweltbewussten reduzieren in geringem Maße ihre Fußwege und Autonutzung und steigern hierfür insbesondere ihre Fahrradwege (+4,2 Prozentpunkte) sowie die Nutzung von Mitfahrgelegenheiten (+1,9 Prozentpunkte).

Emissionen

Hinsichtlich der gesamten Emissionen (vgl. Tabelle 46) zeigt sich eine deutliche Steigerung von knapp 18 %. Der Grund hierfür ist nicht direkt aus der Verkehrsmittelnutzung ersichtlich, da die Autonutzung nicht drastisch zunimmt. Eine mögliche Begründung könnte sein, dass sich die Art der Autonutzung (Stau, kürzere Strecken etc.) geändert hat, welche zu höheren

Emissionen	Wish off	Wish on	Veränderung
Agentengruppen (kg/Kopf)			
comfort	4,33	4,62	6,75 %p
ecopennypincher	1,18	1,87	58,08 %p
ecoriskaverse	1,70	1,85	8,38 %p
indifferent	2,36	2,80	18,82 %p
pragmatic	2,71	3,22	18,95 %p
Gesamt (kg)	60.932,85	71.879,03	17,96 %

Tabelle 46: Emission (in kg und kg pro Kopf) für das Basisszenario (Wish off) und das Wunsch-Szenario (Wish on): Gesamt und nach Agentengruppe

Emissionen führt – hier wäre es abermals wünschenswert, für zukünftige Auswertungen auch die zurückgelegten Personenkilometer zu betrachten, um präzisere Begründungen zu identifizieren. Hinsichtlich der Agentengruppen zeigt sich, dass speziell die Umwelt- und Kostenbewussten die ausgestoßenen Emissionen pro Kopf stark steigern. Hierbei bleiben sie jedoch auch nach diesen Steigerungen die Agentengruppe, welche die wenigsten Emissionen ausstößt (vgl. Tabelle 43). Die geringsten Emissionssteigerungen verzeichnen die Komfortorientierten (+6,75 Prozentpunkte) und die risikoaversen Umweltbewussten (+8,38 Prozentpunkte).

Jedoch bleiben die Komfortorientierten weiterhin mit weitem Abstand die Agentengruppe, welche die meisten Emissionen pro Kopf verursacht. Indifferente und Pragmatische steigern beide die durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen um knapp 19 Prozentpunkte. Dies verwundert zusätzlich, da die Indifferenten ihre Autonutzung reduzieren und die Pragmatischen ihre Autonutzung steigern.

Nutzen

Auch hinsichtlich des Nutzens zeigt sich ein nicht nachhaltiges Ergebnis (vgl. Tabelle 47): So sinkt der Pro-Kopf-Nutzen durchschnittlich um 2,2 Prozentpunkte. Insbesondere sind hiervon die umwelt- und kostenbewussten (-5 Prozentpunkte) sowie die indifferenten Agenten (-4,2 Prozentpunkte) betroffen. Die geringsten Nutzeneinbußen verzeichnen die komfortorientierten Agenten (-0,6 Prozentpunkte). Risikoaverse Umweltbewusste und Pragmatische bewegen sich hingegen dazwischen mit -1,2 Prozentpunkten bzw. -1,6 Prozentpunkten.

Zusammenfassend kann daher die fünfte Simulationshypothese

Die Wunschwegekette der Befragten führt zu einer nachhaltigeren Zukunft.

simulativ nicht bestätigt werden. Jedoch konnte im Rahmen des Experiments der Wunsch nach einem höheren Anteil an E-Autos im Modal Split nicht simuliert werden. Der Studie von Negri und Bieker (2025, S. 1–6) zufolge verursachen E-Autos über ihren Lebenszyklus für den aktuellen und prognostizierten Strom-Mix der EU mindestens 73 % weniger Emissionen. Würden die

Nutzen	Wish off	Wish on	Veränderung (Prozentpunkte)
comfort	120,48	119,69	-0,6 %
ecopennypincher	133,42	126,72	-5,0 %
ecoriskaverse	127,36	125,85	-1,2 %
indifferent	124,24	119,07	-4,2 %
pragmatic	123,97	121,99	-1,6 %
Gesamt	125,89	122,60	-2,2 %

Tabelle 47: Nutzen Gesamt und nach Agentengruppe für das Grundszenario (Wish Off) und das Wunschwegekettenszenario (Wish on)

Agenten ihrem Wunsch entsprechend 50 % aller Autofahrten mit einem E-Auto zurücklegen, würden die Emissionen der Wunschwegekette im Vergleich zur aktuellen Wegekette um knapp 25 % geringer ausfallen, wie die folgende Beispielrechnung verdeutlicht:

$$71.879 \div 2 = 35.946 \rightarrow 35.946 * 0,27 = 9.705,42 \rightarrow 35.946 + 9.705,42 = 45.651,42 \rightarrow 45.651,42 \div 60.932,85 = 75 \%$$

Um die Emissionen des Wunsch szenarios mit 50 % Elektroautos und 73 % geringeren Emissionen über den Lebenszyklus zu berechnen werden zunächst alle beeinflussbaren Emissionen identifiziert. Durch einen 50-prozentigen E-Auto-Anteil am motorisierten Individualverkehr der gewünschten Zukunft sind die Hälfte aller angefallenen Emissionen im Wunsch szenario beeinflussbar: 35.946 kg CO₂ (Einheit wird in der weiteren Rechnung nicht angegeben). Bei einer vollständigen Umstellung reduzieren sich diese um 73 % (100 % - 73 % = 27 %), also auf 9.705,42. Die Addition zu den unveränderlichen Emissionen durch Verbrenner-Autos (insg. 45.651) ergibt für das Wunsch szenario mit der Berücksichtigung von E-Autos eine Reduzierung der Emissionen um 25 % im Vergleich zum Standardszenario (60.932,85).

6.5 Diskussion und Zwischenfazit der Simulation

Dieses Kapitel diskutiert die verschiedenen explorativen Ergebnisse der durchgeführten Experimentreihen und ordnet sie wissenschaftlich vergleichend ein. Hierfür werden zunächst die relevanten Ergebnisse der einzelnen Experimente und deren Hypothesenbezug vorgestellt, die sich trotz linearer Eingriffe zumeist nicht-linear verändern. Anschließend werden sowohl die resultierende Emissionsentwicklung als auch die resultierende Nutzenentwicklung der unterschiedlichen Experimente miteinander verglichen und bewertet. Abschließend werden die Auswirkungen der Governance-Maßnahmen auf die Agentengruppen hinsichtlich Modal Split, Emissionen und Nutzen experimentreihenübergreifend verglichen. Parallel werden während der hier präsentierten Diskussion ebenso wie in Kapitel 5.4 wissenschaftliche und realpolitische Implikationen identifiziert. Die Nummerierung eben dieser mittels eckiger Klammern „[x]“ erlaubt eine übersichtliche Zusammenfassung aller Implikationen in der am Ende des Kapitels abgebildeten Tabelle 50.

6.5.1 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

Hinsichtlich der ersten **Simulationshypothese (S1)** konnte im Rahmen des Simulationsexperiments gezeigt werden (vgl. Tabelle 48), dass sowohl die Integration von realen Wegeketten als auch die SEU-Berechnung die bestehende MATSim-Simulation sinnvoll erweitern. Durch die Berücksichtigung

des erfragten Wohnortes (PLZ) und des Arbeitsplatzes konnte eine realitätsnähere MATSim-Population geschaffen werden, welche zumindest teilweise die MATSim-typischen Limitationen einer schwierigen Kalibration und Validierung der (geographischen) Aktivitätswahl (Rakow et al. 2025b, S. 738) adressiert.

Zudem konnte gezeigt werden, dass die fünf identifizierten Agentengruppen sich in ihrem Mobilitätsverhalten deutlich unterscheiden und eine differenziertere Betrachtung des Mobilitätsverhaltens ermöglichen: Besonders stark ist hierbei der Unterschied zwischen umwelt- und kostenbewussten Agenten, welche hauptsächlich aktive Verkehrsmittel wie das Fahrrad nutzen oder zu Fuß gehen, und den Komfortbewussten, welche fast keine aktiven Verkehrsmittel nutzen. Hierdurch verursachen letztere auch einen fast viermal höheren Pro-Kopf-Emissionsausstoß [1]. Derartig starke Unterschiede können und sollten im Sinne einer nachhaltigen und gerechten Mobilitätspolitik bedacht werden und entsprechende Governance-Maßnahmen zielgruppenspezifisch gewählt werden. Zudem legen die Ergebnisse des Experiments nahe, dass die Nutzung aktiver Verkehrsmittel nicht nur zu reduzierten Emissionen führt, sondern auch den Nutzen steigert. Dies ist insbesondere spannend, da die MATSim-Simulation die erweiterten positiven Nebeneffekte der aktiven Mobilität, wie eine bessere allgemeine Gesundheit oder ein besserer gesellschaftlicher Zusammenhalt (Ding et al. 2024, 790–798), nicht in die Nutzenberech-

Nr.:	Hypothese	Belegt?
F1	Es existieren heterogene Mobilitäts-Akteurstypen, welche sich hinsichtlich ihrer subjektiven Einstellungen und Verkehrsmittelbewertungen unterscheiden.	Ja
F2	Die unterschiedlichen Akteurstypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Mobilitätsroutinen. Diese sind nicht allein durch die SEU-Theorie-basierte Verkehrsmittelwahl zu erklären.	Ja
F3	Unter den unterschiedlichen Agentengruppen besteht ein unterschiedlich stark ausfallendes Mobilitäts-Veränderungspotenzial: Die alltägliche Wegekette entspricht nicht der Wunschwegekette, unterschiedliche Wechselszenarien und Governance-Maßnahmen finden Zuspruch.	Teils
S1	Die Anreicherung bzw. Kombination bestehender verkehrstechnischer Simulationen durch eine sozialwissenschaftliche Handlungstheorie und empirisch erhobene Wegeketten ermöglicht eine detailliertere Abbildung von (nicht-linearen) meso- und makroskopischen Effekten.	Ja
S2	Es ist anzunehmen, dass die Einführung eines 9-Euro-Tickets zu einer nachhaltigeren Mobilität beitragen kann.	Teils
S3	Ebenso kann die Reduktion der MIV-Förderung helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.	Teils
S3,5	Die Kennzeichnung von Fahrradwegen sowie der Ausbau von separaten Fahrradwegen und Fahrradabstellanlagen können helfen, eine nachhaltigere Mobilität zu fördern.	Ja
S4	Die Kombination der beiden Effekte kann die Effektivität der Maßnahmen sogar noch weiter steigern.	Nein
S5	Die Wunschwegekette der Befragten führt zu einer nachhaltigeren Zukunft.	Nein

Tabelle 48: Zu überprüfende Hypothesen dieser Arbeit. Simulationshypothesen rot umrahmt

nung miteinbezieht. Daher sollte die zukünftige MATSim-gestützte Forschung untersuchen, welche Faktoren (z. B. Infrastruktur) die Nutzung aktiver Verkehrsmittel weiter unterstützen [2].

Hinsichtlich der **zweiten Simulationshypothese (S2)** konnte gezeigt werden, dass die Einführung eines 9-Euro-Tickets, beispielhaft umgesetzt durch die Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs, zu keinem substantiellen Wandel im Mobilitätsverhalten führt. Hierdurch ist auch der nur geringfügige Effekt auf die ausgestoßenen Emissionen zu begründen, welcher zudem mit zunehmender Eingriffsstärke abnimmt. Der Nutzen ist darüber hinaus für geringere Eingriffstiefen negativ und für stärkere Eingriffstiefen höher als im Vergleichsszenario. Dieses Ergebnis steht im Einklang zu den Erkenntnissen von Kębłowski et al. (2025, S. 262–267), welche durch einen kostenlosen ÖPNV keinen Wandel des Modal Splits erwarten, jedoch könne Mobilitätsarmut und soziale Ungleichheit verringert werden. Andere aktuelle Studien betonen jedoch sowohl die großen Potenziale des Deutschland-Tickets, das Mobilitätsverhalten zu verändern, als auch die Bedeutung des Deutschlandtickets für die Stabilisierung des ÖPNVs nach der Covid-19-Pandemie (z.B. Lutz und Rollin 2025, S. 50; infas et al. 2025, S. 19). Für zukünftige wissenschaftliche MATSim-Experimente zum kostenlosen ÖV oder dem Deutschlandticket könnte daher auswertungstechnisch ein größerer Fokus auf Gerechtigkeitsaspekte gelegt werden und an der Parametrisierung gearbeitet werden – ggf. ist nicht der hier untersuchte wahrgenommene Preis des Deutschlandtickets der ausschlaggebende Parameter, sondern andere Aspekte wie beispielsweise der erhöhte Komfort durch das Entfallen des Ticketkaufes [3].

Hinsichtlich der **dritten Simulationshypothese** konnte gezeigt werden, dass die Senkung der Kosteneffektivität des Autos, zum Beispiel als Resultat einer Reduktion der MIV-Förderung, zu einer reduzierten Autonutzung und einer gesteigerten Nutzung von Fahrrad und ÖV führt. Der veränderte Modal Split führt zu reduzierten Emissionen, aber auch gleichzeitig einem reduzierten Nutzen. Dies passt zu früheren Ergebnissen von Steiner und Cludius (2010, S. 7) hinsichtlich der deutschen Ökosteuer, welche half, die Emissionen zu reduzieren. Die Autor:innen warnten jedoch davor, dass höhere Einkommen die ökologischen Vorteile einer Ökosteuer wieder teilweise oder ganz aufheben können. Weiterhin legt die Betrachtung der Agentengruppen in dem Experiment nahe, dass freigewordene Autokapazitäten auf der Straße durch die Komfortbewussten genutzt werden und so noch stärkere Emissionsreduktionen verhindert werden. Auch Khanna et al. (2025, S. 599) zeigen für Deutschland, dass Menschen unterschiedlich aufsteigende Benzinkosten reagieren und ihr Verhalten entsprechend unterschiedlich verändern. Relevante Einflussfaktoren sind der Studie zufolge das Einkommen, die Anzahl der Mitglieder im Haushalt, die ÖPNV-Qualität und die räumliche Verortung des

Wohnortes. In diesem Sinne wäre es wünschenswert für die weitere Forschung, die bereits identifizierten Gruppen anhand weiterer soziodemographischer Variablen ausführlicher zu charakterisieren, um hierdurch eine bessere Vergleichbarkeit zu anderen Studien und der tatsächlichen Mobilität ziehen zu können [4].

Hinsichtlich der **Simulationshypothese 3,5** konnte gezeigt werden, dass die Steigerung des Fahrradkomforts zu einer gesteigerten Fahrradnutzung sowie zu reduzierten Emissionen und einem gesteigerten Nutzen führt und somit die ökologische und soziale Dimension gleichzeitig verbessert. Im Zuge der zuvor diskutierten Vorteile der aktiven Mobilität unterstreicht die Experimentreihe die Effektivität der Governance-Option eines erhöhten Fahrradkomforts.

Die Überprüfung der **vierten Simulationshypothese (S4)** zeigte, dass die Kombination von Maßnahmen zu einem ähnlichen Effekt führt wie die Simulation der Einzelmaßnahmen – jedoch ist der Effekt insgesamt gedämpfter, also weniger stark in seiner Ausprägung. Sollte dieser Effekt ein grundsätzliches Phänomen sein, hätte dies mobilitätspolitische Implikationen: So können beispielsweise negative Nutzeneffekte, welche durch die Reduzierung der Kosteneffektivität des Autos auftreten, durch Pull-Eingriffe wie der Steigerung der Kosteneffektivität des ÖVs reduziert werden. Daher sollte im Rahmen weiterer Experimente wissenschaftlich überprüft werden, ob es sich um ein allgemeines Phänomen handelt und der Effekt auch für andere Governance-Eingriffe besteht [5].

Zuletzt wurde im Rahmen der **fünften Simulationshypothese (S5)** überprüft, ob die in der Befragung erfragten Wunschwegeketten zu einer nachhaltigen Zukunft führen. Dies ist rein simulativ nicht der Fall, denn im Rahmen der Adaption der Wunschwegeketten steigt die Autonutzung leicht an. Ebenso steigen die Emissionen im Vergleich zu den anderen Eingriffen stark an (knapp +18 %), während der Nutzen der Agenten deutlich sinkt (-2,2 %). Aus diesem Grund ist die Wunschwegекette auch im nachfolgenden experimentübergreifenden Vergleich (vgl. Kapitel 6.5.2, 6.5.3 und 6.5.4) nicht berücksichtigt, da die Abweichungen deutlich stärker als bei den SEU-basierten Experimenten sind und so die visuelle Vergleichbarkeit letzterer einschränken würde.

Der höhere Emissionsausstoß ist hierbei nicht allein durch den Modal Split zu erklären. Denkbar ist, dass aufgrund der vermehrten Nutzung des Autos statt des ÖVs Straßen überlastet sind und hierdurch der Nutzen aller sinkt und gleichzeitig die Emissionen steigen, somit führte der Wunsch nach einer höheren Individualmobilität zu einer gesamtgesellschaftlich weniger wünschenswerten Realität. Daher wäre es für weitere Experimente zielführend, abseits des Hauptverkehrsmittels auch die Personenkilometer für zukünftige

Auswertungen zu berechnen, um eine plausible Begründung für dieses Resultat zu identifizieren und die hier aufgestellten Vermutungen empirisch zu belegen [6].

Ebenso wurde in den hier durchgeführten Experimenten der starke Wunsch der Befragten nach der Nutzung von E-Mobilitätsangeboten nicht berücksichtigt, welche aber durchaus einen nennenswerten Beitrag zu Emissionsreduktion leisten können (vgl. Beispielrechnung in Kapitel 6.4.6). Die Simulation von E-Autos in der MATSim-Community ist bereits fortgeschritten und bezieht teils auch die dazugehörige Ladeinfrastruktur mit ein (vgl. z. B. Hörl et al. 2025, S. 1–4) und sollte daher für zukünftige Experimente in das Inna-MoRuhr-Szenario integriert werden [7].

6.5.2 Experimentübergreifender Vergleich – Emissionen

Der experimentübergreifende Vergleich der ausgestoßenen Emissionen (vgl. Abbildung 82) und des Nutzens (vgl. Kapitel 6.5.3) hilft einerseits, die Effektivität der Maßnahmen untereinander zu vergleichen und andererseits experimentübergreifende Phänomene zu identifizieren. Zunächst lässt sich hinsichtlich der Emissionen positiv konstatieren, dass alle getesteten Eingriffe tendenziell zu reduzierten Emissionen führen können. Jedoch zeigt sich ebenso, dass insbesondere für geringere Eingriffstiefen (bis zu einer Eingriffsstärke von 130 % bzw. 140 %) stärkere Emissionsreduzierungen resultieren. Die darüberhinausgehende Erhöhung des Fahrradkomforts und der Kosteneffektivität des ÖVs (ab 150 % bzw. 130 %) führt hingegen wieder zu einer Zunahme der Emissionen. Jedoch sinken die Emissionen bei der weiteren Erhöhung des Fahrradkomforts (ab 170%) wieder stark, wohingegen sich die Emissionen für die Erhöhung der ÖV-Kosteneffektivität wieder dem Ausgangsszenario annähern. Somit führt die Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs im Gegensatz zu den anderen getesteten Eingriffen nach der initialen Reduzierung zu keinen nennenswerten Emissionseinsparungen.

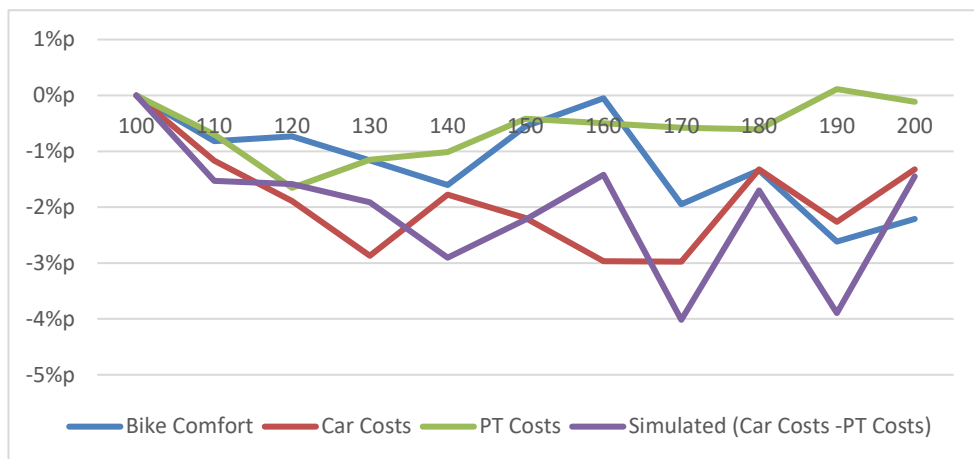


Abbildung 82: Experimentübergreifender Vergleich der Emissionen nach Eingriffstiefe

Hinsichtlich der Effektivität der Einzelmaßnahmen zeigt sich, dass insbesondere die Senkung der Kosteneffektivität des Autos die höchsten Emissionsreduzierungen bis zu einer Eingriffstiefe von 180% verursacht. Am zweiteffektivsten ist die Steigerung des Fahrradkomforts, während die Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs den geringsten Effekt auf die Emissionen hat [8]. Die Kombination der Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs und der Reduzierung der Kosteneffektivität des Autos ist speziell für höhere Eingriffstiefen effektiver, gleichzeitig schwanken die Ergebnisse bezüglich der Emissionsreduzierung auch stärker.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass leichte Eingriffsstärken experimentübergreifend helfen, die ausgestoßenen Emissionen nennenswert zu reduzieren. Realpolitisch wäre es daher ebenso sinnvoll, eine Vielzahl unterschiedlicher Governance-Eingriffe mit weniger starker Eingriffstiefe durchzuführen, um die Emissionen möglichst stark zu reduzieren [9]. Mit steigender Eingriffstiefe sinken die Emissionen zwar oftmals weiter, jedoch zum Teil deutlich schwächer bzw. oszillieren die Werte stärker (z.B. bei der Senkung der Kosteneffektivität des Autos oder in Kombination mit der Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs). Hierfür lässt sich in den hier durchgeführten Auswertungen jedoch keine direkte Ursache identifizieren. Daher wäre es für die weitere Forschung perspektivisch sinnvoll, die Ursache hierfür zu untersuchen. Für höhere Eingriffstiefen ist insbesondere das ÖV-Ticket (in Form eines fast kostenlosen ÖVs) nicht geeignet, um die Emissionen nennenswert zu senken. Hingegen sind die anderen getesteten Governance-Eingriffe durchaus dazu geeignet.

Eine nennenswerte analytische Leerstelle, welche bereits in der Szenario-Implementation (vgl. Kapitel 6.2.5) der Emissionsberechnung genannt wurde, ist, dass im derzeitigen Implementationsstand nur die Emissionen des Autos berechnet werden. Hier wäre es wünschenswert, zukünftig auch die Emissionen anderer Verkehrsmittel zu berücksichtigen. Zudem wäre es ebenso wissenschaftlich wünschenswert, den Effekt der Luftverschmutzung und den Lärm der Verkehrsmittel in der Nutzenberechnung zukünftig zu berücksichtigen [10]. Erste Ansätze wurden beispielsweise für die Berechnung der Lärmemissionen und der Verortung im Netzwerk erfolgreich in MATSim simuliert (Zwick et al. 2021, S. 1–17).

6.5.3 Experimentübergreifender Vergleich – Nutzen

Der experimentübergreifende Vergleich des Nutzens (vgl. Abbildung 83) zeigt, dass sich der Nutzen im Vergleich zu den zuvor berichteten Emissionen deutlich geringfügiger verändert: max. ein Prozentpunkt im Vergleich zu bis zu vier Prozentpunkten bei den Emissionen. Somit ließe sich für realpoliti-

sche Eingriffe beispielsweise argumentieren, dass leichte Nutzenverluste aufgrund der Verringerung der Kosteneffektivität des Autos die stärkeren Emissionseinsparungen aufwiegen [11].

Darüber hinaus zeigen sich klarer abgrenzbare Unterschiede zwischen den Nutzen-Ergebnissen der Experimentreihen im Vergleich zu den Emissionsergebnissen: Der direkte Vergleich zwischen den beiden SEU-steigernden Eingriffen zeigt, dass die Erhöhung des Fahrradkomforts bis zu einer Eingriffstiefe von 180 % einen höheren gesellschaftlichen Nutzen als die Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs zur Folge hat, obwohl technisch beide Experimente ähnlich umgesetzt wurden. Dies ist besonders deutlich für geringere Eingriffsstärken bis 130 %. Dem gegenüber steht die Reduzierung der Kosteneffektivität des Autos, die zu einer deutlichen Nutzenreduzierung führt, welche sich jedoch mit höheren Eingriffstiefen ab 160 % abschwächt. Hier scheint ein experimentspezifischer Sweetspot bei 170 % zu existieren, in welchem die Emissionen deutlich reduziert sind und der Nutzenverlust nicht sehr stark ist. Die Einzelmaßnahmen zusammenfassend ist die Steigerung des Fahrradkomforts die effektivste Governance-Maßnahme zur Nutzensteigerung, gefolgt von der Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs. Die Senkung der Kosteneffektivität hat hingegen einen negativen Nutzeneffekt [12].

Die Kombination aus einer höheren Kosteneffektivität des ÖV und einer niedrigeren Kosteneffektivität des Autos wirkt sich zunächst leicht negativ auf den Nutzen aus. Ab einer Eingriffstiefe von 140 % wird der Effekt jedoch positiv. Der Nutzen bleibt dabei geringer als bei einer Verbesserung des Fahrradkomforts und einer Senkung der ÖV-Kosten. Dies ist unter der Berücksichtigung der ausgestoßenen Emissionen interessant, da durch die Kombination der Maßnahmen ähnliche Emissionseinsparungen wie bei der Verteuerung des Autos erzielt werden, aber negative Nutzeneffekte reduziert werden [13].

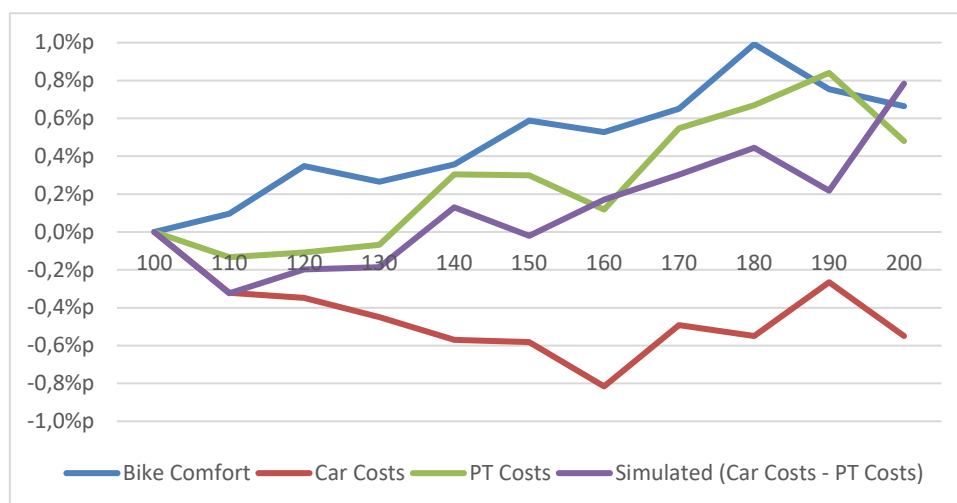


Abbildung 83: Experimentübergreifender Vergleich des Nutzens für die unterschiedlichen Eingriffstiefen

Basierend auf dem hier unternommenen Nutzen- und Emissionsvergleich der unterschiedlichen Einzelmaßnahmen können nun die effektivsten der simulierten Governance-Maßnahmen identifiziert werden und in das SMNT der Mobilität integriert werden (vgl. Abbildung 84): Die Erhöhung des Fahrradkomforts führt zu den höchsten Nutzenzugewinnen aller Experimente und hat gleichzeitig auch nennenswerte Emissionsreduzierungen zur Folge. Die Erhöhung der Kosten des Autos führt zwar zu einem stärker reduzierten Emissionsausstoß, reduziert aber den gesamtgesellschaftlichen Nutzen im Vergleich am stärksten.

Die Reduzierung der Kosten des ÖVs führt hingegen bei höheren Eingriffstiefen zu Nutzenzugewinnen, hat aber nur einen geringfügigen Einfluss auf die Emissionen. Somit ist die Erhöhung des Fahrradkomforts, basierend auf den hier durchgeführten Experimenten, übergreifend die effektivste Maßnahme zur Förderung nachhaltiger Mobilität [14]. Durch die Gegenläufigkeit der Effekte einer Erhöhung der Autokosten und einer Senkung der ÖV-Kosten ist der direkte Vergleich der beiden Governance-Optionen schwieriger zu bewerten. Da jedoch die Senkung der ÖV-Kosten zumindest eine leichte Emissionsreduzierung mit deutlich steigendem Nutzen kombiniert, ist dieser Eingriff unter der Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten die zweitbeste Option. Somit verbleibt die ökologisch beste Option der Erhöhung der

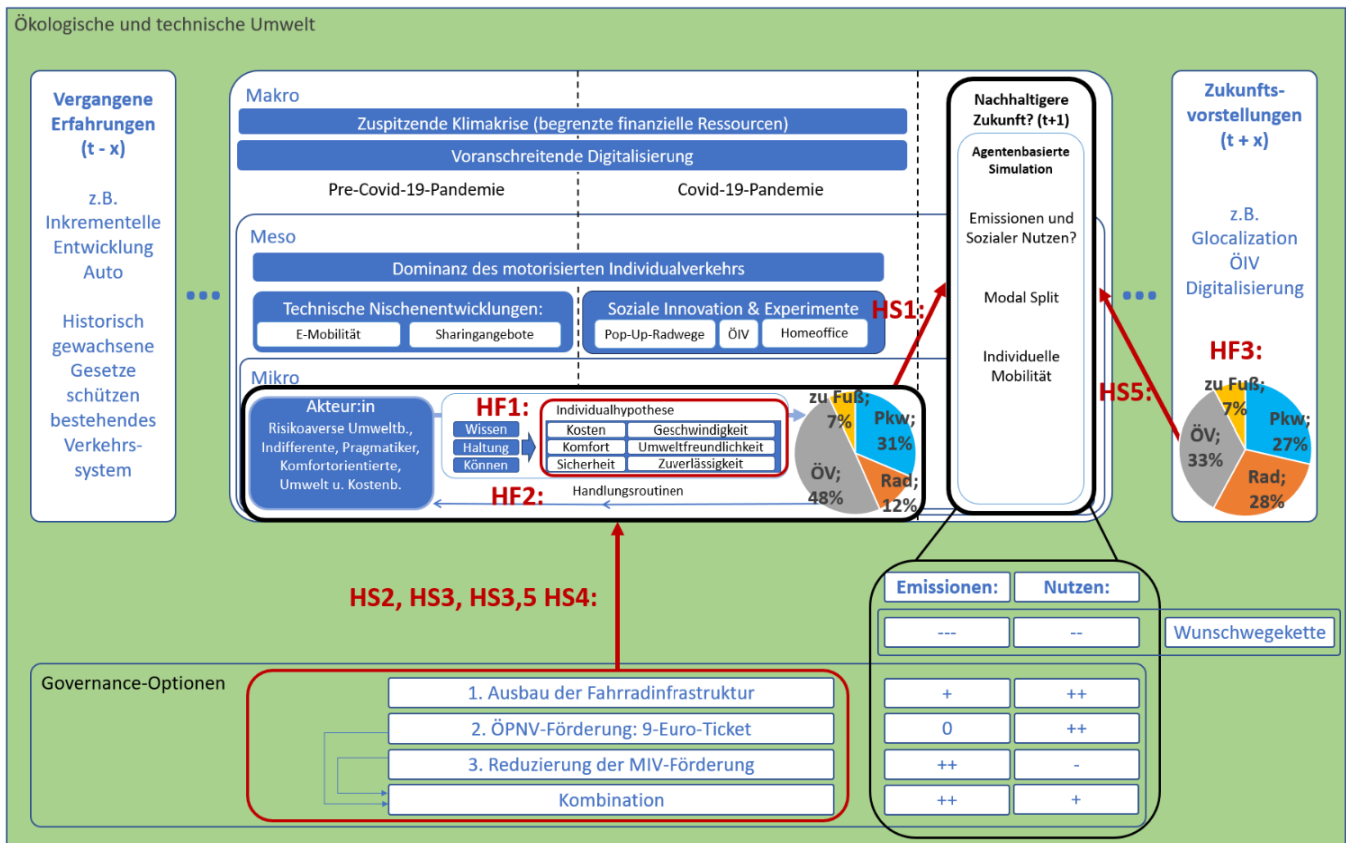


Abbildung 84: Vollständiges SMNT der Mobilität mit den Ergebnissen der Befragung und der Simulation. Größere Abbildung im Anhang (vgl. Abbildung 87)

Autokosten auf dem letzten Platz der hier verglichenen nachhaltigen Governance-Optionen. Jedoch kann die Kombination der ÖV- und Automaßnahme eine ähnlich effektive Governance-Option wie die beste Einzelmaßnahme, die Erhöhung des Fahrradkomforts, darstellen. Die Adaption der Wunschwegeketten führt wie in Kapitel 6.5.1 beschrieben sowohl hinsichtlich ökologischer als auch sozialer Aspekte zu einem deutlich weniger nachhaltigen Status Quo.

6.5.4 Experimentübergreifender Vergleich – Agentengruppen

Auch zwischen den Agentengruppen zeigen sich hinsichtlich ihres Mobilitätsverhaltens und den daraus resultierenden Nutzen und Emissionen übergreifende Tendenzen und Unterschiede. Diese sind in Tabelle 49 dargestellt. In dieser sind positive und negative Abweichungen zwischen den Agentengruppen innerhalb des jeweiligen Experiments entsprechend farblich markiert. Grün bedeutet eine positive Abweichung vom Basisszenario, Rot eine negative Abweichung. Einzige Ausnahme sind die Emissionen: Hier sind verringerte Emissionen grün markiert und höhere Emissionen im Vergleich zum Basisszenario rot markiert, da verringerte Emissionen im Sinne der Nachhaltigkeit positiv sind. Die Stärke der berichteten Tendenzen kann zwischen den Experimenten jedoch nicht direkt verglichen werden. Dafür müssen die ausführlichen Ergebnisse aus dem vorherigen Kapitel herangezogen werden. (vgl. Kapitel 6.4).

Übergeordnet zeigt sich, dass die Steigerung des Fahrradkomforts im Hinblick auf den Nutzen als einzige der hier getesteten Governance-Optionen keine Agentengruppe nennenswert schlechter stellt und so bei der realpolitischen Umsetzung über alle Agentengruppen hinweg eine hohe Akzeptanz erfahren sollte. Dies bestärkt die zuvor identifizierte Einschätzung, dass die Steigerung des Fahrradkomforts die beste realpolitisch umsetzbare Governance-Option ist. Zudem führt die Maßnahme bei drei Agentengruppen zu einer Reduzierung der Autonutzung und ist in dieser Hinsicht deutlich effektiver als andere Governance-Optionen. Das Gegenteil ist für die Implementation der Wunschwegекette zu beobachten, hier steigt für keine Agentengruppen der Nutzen bei sinkender ÖV-Nutzung. Weiterhin lassen sich die unterschiedlichen Agentengruppen hinsichtlich ihrer veränderten Verkehrsmittelnutzung und dem resultierenden Nutzen und den resultierenden Emissionen maßnahmenübergreifend charakterisieren:

Die risikoaversen Umweltbewussten nutzen in Folge der Eingriffe tendenziell das Auto und den ÖV weniger und das Fahrrad mehr. Dies führt überwiegend zu verringerten Emissionen bzw. zumindest zu keinem höheren Emissionsausstoß und auch der Nutzen ist für die meisten Experimente (mit Ausnahme des Wunsch szenarios) positiv. Somit scheinen die risikoaversen Umweltbewussten einer nachhaltigen Transformation ihres Mobilitätsverhaltens grundsätzlich positiv gegenüberzustehen.

Ein weniger eindeutiges Bild zeigt sich hingegen für die **Indifferenten**: Zwar wechselt diese Agentengruppe tendenziell ebenso vom Auto zum Fahrrad und sie reduziert ihren Emissionsausstoß in allen Experimentreihen mit Ausnahme des Wunsch szenarios, jedoch lässt sich hinsichtlich des Nutzens kein eindeutiges Muster identifizieren. Somit passen sich die Indifferenten tendenziell an die Governance-Maßnahmen an, aber ziehen keinen substantiell erhöhten Nutzen aus den Maßnahmen, was die langfristige Unterstützung derartiger Maßnahmen durch die Agentengruppe infrage stellt.

Ähnlich wie die Indifferenten verändern auch die **Pragmatischen** ihr Verhalten experimentübergreifend und reduzieren ihre Autonutzung zu Gunsten der Fahrradnutzung, jedoch in einem stärkeren Ausmaß (vgl. die Abweichung in Prozentpunkten in den detaillierten Auswertungen) und verursachen so übergreifend weniger Emissionen. Hinsichtlich des Nutzens lassen sich hingegen keine klaren Tendenzen identifizieren.

Exp.	Agentengruppe	Verkehrsmittel				Emissionen	Nutzen
		Auto	Rad	ÖV	Fußwege		
1: Steigerung Kosteneffektivität ÖV	Risikoav. Umweltbewusste			+		-	
	Indifferente	-				-	
	Pragmatische						+
	Komfortorientierte	+		-			-
	Umwelt- und Kostenbewusste	-		+	-	+	+
2: Senkung Kostenefektivität des Autos	Risikoav. Umweltbewusste					-	
	Indifferente	-	+			-	-
	Pragmatische	-	+			-	-
	Komfortorientierte	+		-		+	
	Umwelt- und Kostenbewusste						+
3: Steigerung Fahrradkomfort	Risikoav. Umweltbewusste	-	+	-	+	-	+
	Indifferente	-	+		-	-	+
	Pragmatische	-	+			-	+
	Komfortorientierte		+		-	+	+
	Umwelt- und Kostenbewusste	+	+	-	-	+	+
4 Kombination	Risikoav. Umweltbewusste						+
	Indifferente	-	+		+	-	-
	Pragmatische	-	+			-	-
	Komfortorientierte	+	-			+	
	Umwelt- und Kostenbewusste				-		+
5: Wunschwegekette	Risikoav. Umweltbewusste	-	+	-	-		-
	Indifferente	+		-		+	-
	Pragmatische	+	+	-		+	
	Komfortorientierte			-			
	Umwelt- und Kostenbewusste	+	+	-	-	+	

Tabelle 49: Experimentübergreifende Tendenzen der Verkehrsmittelnutzung, der resultierenden Emissionen und des Nutzens nach Agentengruppen. Subjektive Wertung des Autors basierend auf den vorgestellten Ergebnissen des Kapitels.

Die **Komfortorientierten** reduzieren in Folge der Eingriffe hingegen tendenziell ihre ÖV-Nutzung und steigern ihre Autonutzung. Dies führt experimentübergreifend zu eher gesteigerten Emissionen, wenn gleich der Nutzen in den meisten Experimenten unverändert ist. Somit ist diese Agentengruppe jene, welche einerseits die höchsten Emissionen pro Kopf verursacht und diese andererseits weiter steigert, sollten dafür Kapazitäten im Mobilitätssystem bestehen. Lediglich die Erhöhung des Fahrradkomforts konnte das Mobilitätsverhalten der Komfortorientierten nachhaltig beeinflussen. Somit zeigt sich, dass die Komfortorientierten sowohl die am wenigsten nachhaltige als auch die transformationsresistenteste Agentengruppe ist.

Die **Umwelt- und Kostenbewussten** nehmen im Vergleich zu den anderen Gruppen eine Sonderrolle ein. Entgegen der Bezeichnung dieser Gruppe verursachen sie durch die Governance-Maßnahmen in den Experimenten tendenziell mehr Emissionen. Diese Agentengruppe verursacht im Basis-Szenario die geringsten Emissionen. Da die Abweichungen in Prozentpunkten angegeben werden, fallen auch kleine Veränderungen bei ihr vergleichsweise stark ins Gewicht. Somit wirken sich bereits kleine Änderungen der Wegstrecke zu Gunsten des Autos im Modal Split stärker auf die Emissionen aus. Der Nutzen steigt in Folge der meisten Eingriffe bzw. sinkt zumindest nicht. Somit stehen die Umwelt- und Kostenbewussten einer Transformation ihres Mobilitätsverhaltens grundsätzlich offen gegenüber. Hierdurch erhöhen sie ihren Nutzen, aber ebenso ihre Emissionen.

Zusammengefasst zeigt sich, dass die unterschiedlichen Agentengruppen unterschiedlich auf die Governance-Maßnahmen reagieren: Die Komfortorientierten und Umwelt- und Kostenbewussten steigern tendenziell sowohl ihre Emissionen als auch ihren Nutzen. Jedoch sind erstere Emissionshauptverursacher und letztere die Agentengruppe, die die wenigsten Emissionen ausstößt. Somit konnten die experimentell überprüften Maßnahmen nicht dazu beitragen, die Emissionshauptverursacher zu einer ökologisch nachhaltigen Anpassung des Mobilitätsverhaltens zu bewegen. Gleichzeitig konnte jedoch die umwelt- und kostenbewusste Agentengruppe, welche die wenigsten Pro-Kopf-Emissionen verursacht, ihren bereits zuvor überdurchschnittlichen Nutzen weiter steigern. Im Gegensatz dazu transformieren drei der fünf Agentengruppen, die risikoaversen Umweltbewussten, die Indifferenten und die Pragmatischen, ihr Mobilitätsverhalten in Folge der untersuchten Governance-Maßnahmen tendenziell ökologisch nachhaltiger und helfen so, die gesamtgesellschaftlichen Emissionen zu senken. Für zukünftige Untersuchungen von Governance-Eingriffen sollten daher aus der agentspezifischen Betrachtung heraus insbesondere Eingriffe identifiziert werden, welche sowohl den Nutzen der jeweiligen Agentengruppe steigern als auch gleichzeitig die Emissionen reduzieren. Dadurch könnte Akzeptanz innerhalb der Agenten-

gruppe geschaffen werden und ungerechte Belastungen sowie ein hieraus entstehendes Konfliktpotential zwischen den Agentengruppen vermieden werden (vgl. Kapitel 2.3.4). Weiterhin wäre es aus einer Gerechtigkeitsperspektive wünschenswert, dass einerseits Agentengruppen, welche einen hohen Emissionsausstoß (Komfortorientierte) verursachen, stärker von entsprechenden Governance-Maßnahmen betroffen wären [15], da dies bei den hier untersuchten Experimenten nicht der Fall war. Andererseits wäre es wünschenswert, basierend auf den MATSim-generierten Ergebnissen spezifischere Indikatoren zu entwickeln, welche die (Un-) Gerechtigkeit zwischen den Agentengruppen in Folge von Governance-Eingriffen darstellen (z.B. Zugänglichkeit zu Verkehrsmitteln, typische Mobilitätsdauer zu Alltagszielen etc.) [16]. Aus wissenschaftlicher Perspektive könnte zudem eine Verbesserung des Simulationsmodells durch eine Diversifizierung der SEU-Berechnung der Agentengruppen erreicht werden, da in der hier genutzten Berechnung die starren Mittelwerte der Befragung genutzt wurden. Dies kann beispielsweise realitätsnäher durch die Zuweisung von individuellen SEU-Parametern realisiert werden. Hierfür könnten individuellen Befragungsdaten oder eine Normalverteilung der SEU-Parameter um die bestehenden Mittelwerte genutzt werden [17].

6.5.5 Limitationen

Zusätzlich zu den bereits zuvor genannten wissenschaftlichen und realpolitischen Implikationen (zusammengefasst in Tabelle 50) hat die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte agentenbasierte Simulation auch diverse nennenswerte Limitationen, welche zu weiteren Implikationen führen: Zunächst gelten viele der in der vorherigen Zwischendiskussion der Befragung bereits genannten Limitationen auch für die Simulation (vgl. Kapitel 5.4.2), da die Befragung als Datengrundlage der Simulation dient. Hierzu gehört insbesondere, dass für die Fußwege keine p-Werte erhoben wurden, dass die Befragung während der Covid-19-Pandemie durchgeführt wurde und dass allein die Universitätspopulation betrachtet wurde. Insbesondere die letzte Limitation wird im Projekt Atmo2 (2025, S. 1) angesprochen, welches auf den Erkenntnissen des InnaMoRuhr-Projekts aufbaut und die nachhaltige Mobilität der Rhein-Ruhr Region untersucht.

Weitere Limitationen ergeben sich aus der Methode der computergestützten Simulation: Diese ist immer nur ein begrenztes Abbild der Realität, welche zudem den Designentscheidungen des:der Modellierer:in unterliegt. So ist beispielsweise die nun erweiterte Mobilitätsentscheidung der Agenten sozialwissenschaftlich fundierter, stellt aber natürlich immer noch nicht die Realität in ihrer Komplexität vollständig dar. Ebenso musste in dieser Arbeit die Gewichtung der SEU-Berechnung im Vergleich zum traditionellen Scoring

ohne eine ausreichende wissenschaftliche Studienlage festgelegt werden. Jedoch ist durch die Kalibrierung und das Konstanthalten der Gewichtung über alle Experimente die Vergleichbarkeit unter den Experimenten gegeben und ermöglicht so die hier beschriebenen Rückschlüsse auf effektive Governance-Maßnahmen und deren Auswirkungen. Zudem wurden alle getroffenen Designentscheidungen der Simulation möglichst transparent sowohl inhaltlich als auch technisch beschrieben und die erstellte Simulation im digitalen Anhang (Philipp et al. 2026) dieser Arbeit mit übergeben.

Auch aus der Experimentauswertung ergeben sich konkrete Limitationen: So konnte mittels der erhobenen und präsentierten Daten nicht immer erklärt werden, wie die berichteten Ergebnisse zustande gekommen sind (z. B. die beobachteten Schwingen der Emissionen und des Modal Splits bei höheren Eingriffstiefen). Hier wäre zukünftig eine vertiefte Auswertung sinnvoll, zum Beispiel, indem das Staugeschehen und Kapazitätslimits des ÖVs genauer betrachtet werden [18]. Die Adaption von SimWrapper (2026, S. 1), einem umfassenden Auswertungs-Dashboard für MATSim, könnte hier künftig mehr Klarheit ermöglichen.

Hinsichtlich des Experimentumfangs konnte nur eine limitierte Anzahl an Governance-Maßnahmen erprobt werden, da der Fokus dieser Arbeit maßgeblich auf der realitätsnahen Modellierung der Mobilität unter der Berücksichtigung einer subjektiven Verkehrsmittelentscheidung lag. Hier wäre es wünschenswert weitere Experimente hinsichtlich der bestehenden Infrastruktur durchzuführen, da diese als „Weichensteller gesellschaftlicher Naturverhältnisse“ (Kropp und Sonnberger 2021, S. 190) verstanden werden kann. Hierdurch könnten zukünftig Effekte verglichen werden und insbesondere die Effekte einer kombinierten Veränderung und somit auch bestehende Abhängigkeiten von Infrastruktur und subjektiver Mobilitätsentscheidung im Rahmen einer nachhaltigen Transformation ergründet werden (Kropp 2023, S. 8). Nicht einbezogen in der hier präsentierten Simulation waren zudem sozio-technische und soziale Innovationen, die zukünftige nachhaltige Mobilitätsoptionen darstellen könnten [19]. Hierzu gehören beispielsweise der Demand-Responsive-Transport bzw. ÖIV, da dieser einer besseren Anbindung von suburbanen und ländlichen Räumen dienlich sein könnten (Rehmann und Nagel 2026, S. 1–27; NeMo.bil 2023, S. 1) oder ungewöhnliche neue Verkehrsmittel wie die 2025 eröffnete urbane Seilbahn in Paris (Île-de-France mobilités 2026, S. 1).

Zuletzt wurden im Rahmen der durchgeführten Studie nur die individuellen, nicht aber die institutionellen Kosten oder zeitlichen Aufwände der Governance-Maßnahmen berücksichtigt und ins Verhältnis gesetzt. Hier wäre für die zukünftige Forschung eine realpolitische Einordnung der Governance-Maßnahmen wünschenswert: So ist beispielsweise der Ausbau der Fahrradinfrastruktur mutmaßlich deutlich aufwändiger umzusetzen, als die Kosten des Autos zu erhöhen [20].

Wissenschaftliche Implikationen	Realpolitische Implikationen
[2] Grundsätzlich sollte untersucht werden, welche Faktoren die vermehrte Nutzung aktiver Verkehrsmittel unterstützen.	[1] Es existieren starke Unterschiede zwischen den Agentengruppen hinsichtlich der verursachten Emissionen. Diese sollten im Sinne einer gerechten Mobilitätspolitik beachtet werden.
[3] Die Ergebnisse des ersten Experiments stehen im Widerspruch zu anderweitigen empirischen Untersuchungen zum Deutschlandticket. Weitere Experimente mit anderen SEU-Parametern sind sinnvoll.	[5][13] Die Kombination von Push- und Pull-Maßnahmen kann ein effektives Mittel sein, um Emissionen zu reduzieren, ohne den Nutzen stark zu senken. Hierdurch können Maßnahmen breitere Akzeptanz in der Gesellschaft finden.
[4] Wissenschaftlich wäre es wünschenswert, die unterschiedlichen Agentengruppen anhand ihrer soziodemographischen Merkmale ausführlich zu beschreiben und realitätsnähere Ergebnisse zu erzielen.	[8] Um die Emissionen zu reduzieren, ist die Senkung der Kosteneffektivität des Autos der effektivste Governance-Eingriff. Die Erhöhung des Fahrradkomforts ist der zweiteffektivste Eingriff. Die Verringerung der Kosteneffektivität des ÖVs hat den geringsten Effekt.
[6] Für die weitere Auswertung wäre es sinnvoll, auch die Personenkilometer pro Verkehrsmittel zu berechnen, um beispielsweise auch die Effekte von Staus oder gestiegenen Wegstrecke berichten zu können.	[9] Eine Vielzahl an unterschiedlichen Governance-Eingriffen mit weniger starker Eingriffstiefe könnte am effektivsten sein, um CO ₂ -Emissionen zu reduzieren
[7] Zusätzlich sollten E-Autos in die MATSim-Simulation integriert werden, um so die Emissionen für E-Autos berechnen zu können.	[11] Die Emissionen werden stärker durch Governance-Maßnahmen beeinflusst als der Nutzen.
[10] Grundsätzlich ist die Integration der Auswirkung von Emissionen und Lärm auf die Nutzenberechnung in MATSim wünschenswert.	[12] Um den Nutzen zu erhöhen, ist die Erhöhung des Fahrradkomforts der effektivste Governance-Eingriff. Die Erhöhung der Kosteneffektivität des ÖVs ist der zweiteffektivste Eingriff. Die Senkung der Kosteneffektivität des Autos hat einen negative Nutzeneffekt [11].
[16] Um die Auswirkungen von Governance-Eingriffen besser beurteilen zu können, wären weitere Indikatoren wünschenswert, welche Gerechtigkeitsaspekte der Mobilität berücksichtigen.	[14] Die Steigerung des Fahrradkomforts ist der beste Eingriff, um sowohl die Emissionen zu senken und den Nutzen zu steigern und der einzige getestete Einzeleingriff, der beide Dimensionen besserstellt.
[17] Sinnvoll ist die weitere Ausdifferenzierung der SEU-Parameter der Agenten, beispielsweise durch agentenspezifische oder normalverteilte SEU-Werte (Vergleich-Agenten).	[15] Die Komfortorientieren verursachen die meisten Emissionen und verändern ihre Verkehrsmittelwahl auch im Zuge von Governance-Eingriffen nicht ökologisch nachhaltiger (Vergleich Agentengruppen). Hier gilt es, effektive Maßnahme zu identifizieren.
[18] Die Zunahme der Schwingungen der Emissionen und des Modal Splits bei höheren Eingriffstiefen sollte zukünftig untersucht werden (Emissionen-Vergleich).	[20] Eine zukünftige realpolitische Einordnung der Governance-Maßnahmen unter Kosten-, Zeit- und Aufwandsaspekten wäre wünschenswert.
[19] Veränderungen der bestehenden Infrastruktur sowie neue soziotechnische Innovationen sollten in zukünftigen Experimenten simuliert werden.	

Tabelle 50: Wissenschaftliche und realpolitische Implikationen, welche sich aus den Simulationsexperimenten ergeben. In Klammern: Erstmalige Nennung der jeweiligen Implikation in diesem Unterkapitel

7 Fazit und Ausblick

Inwiefern lassen sich komplexe gesellschaftliche Transformationsprozesse und ihre (nicht-) nachhaltige Entwicklung im Zeitverlauf umfänglich beschreiben und welche Determinanten einer möglichen nachhaltigen Transformation der Mobilität des Ruhrgebiets existieren? Diesen beiden übergreifenden wissenschaftlichen Fragestellungen, einerseits theoretischer und andererseits angewandter Natur, wurde im Rahmen dieser Arbeit nachgegangen, um im Sinne einer Soziologie der Nachhaltigkeit sowohl deskriptiv-analytische als auch praktisch-politische Impulse zur aktuellen sozialwissenschaftlichen Transformationsforschung beizutragen.

Methodisch wurden für die Beantwortung der theoretischen Fragestellung bestehende Modelle sozialwissenschaftlicher Nachhaltigkeitsforschung und Transformationsforschung vorgestellt, Überschneidungen identifiziert und in Form eines soziologischen Modells nachhaltiger Transformation (SMNT) kombiniert. Für die Beantwortung der angewandten Fragestellung wurde unter Verwendung des SMNT die Transformationsarena Mobilität anhand einer Literaturanalyse zur Mobilität in Deutschland und dem Ruhrgebiet zunächst grundlegend skizziert und anschließend mittels zweier aufeinander aufbauender empirischer Studien genauer beschrieben sowie Transformationspotentiale identifiziert.

Das SMNT kombiniert hierbei drei ineinander verschachtelte gesellschaftliche Ebenen (Mikro – Meso – Makro), welche von der technologischen und ökologischen Umwelt gerahmt werden. Letztere ermöglichen Handlungsoptionen, können aber ebenso Druck auf die unterschiedlichen Ebenen ausüben. Durch die Integration einer Zeitachse in das SMNT können sowohl Zustände als auch Entwicklungen von Transformationsprozessen berücksichtigt werden. Zeitlich gerahmt wird der etwaige Transformationsprozess durch die vergangenen Erfahrungen sowie Utopien und Dystopien einer zukünftigen Gesellschaft, welche ebenso die Entwicklungen der Gegenwart beeinflussen können. Für die Handlung des Individuums konnte insbesondere die Relevanz des Wissens, der Haltung und des Könnens herausgestellt werden. Die Modell-Genese abschließend wurden exemplarisch die Governance-Optionen der Steuerung, der Koordination und der New Public Governance innerhalb des Modells verortet und ihre Wirkweise innerhalb der multiplen Ebenen des Modells skizziert. Das SMNT erlaubt, durch die genannten kombinierten Analysedimensionen, sowohl komplexe nachhaltige gesellschaftliche Transformationsprozesse in Form von Transformationsarenen zu beschreiben als auch wissenschaftliche Forschungspotentiale basierend auf festgestellten analytischen Leerstellen und gesellschaftlichen Wechselwirkungen im nachhaltigen Transformationsprozess zu identifizieren.

Das SMNT wurde anschließend mittels einer Literaturanalyse zur Entwicklung der deutschen Mobilität sowie der hierauf folgenden empirischen Befragung und agentenbasierten Simulation exemplarisch angewandt. Die Literaturanalyse verdeutlicht, dass der deutsche Verkehrssektor die von der Bundesregierung gesteckten Nachhaltigkeitsziele verfehlt. Dies lässt sich maßgeblich durch einen langsamen technisch-inkrementell geprägten Wandel der Vor-Covid-19-Zeit begründen, welcher beispielsweise durch die vermehrte Adaption von E-Autos überwiegend Aspekte einer grünen Modernisierung bedient und keine weitreichende Transformation der Mobilitätspraktiken aufzeigt.

Die Analyse verdeutlicht jedoch auch, dass im Zuge der Covid-19-Pandemie durchaus neuartige Governance-Optionen sowie soziale Innovationen erprobt wurden und respektiv sich das Mobilitätsverhalten temporär veränderte. Allerdings zeichnet sich ebenso ab, dass die Ausnahme-Erfahrungen der Pandemie nicht zu einer langfristigen Transformation der deutschen Mobilität beitragen und sich potenziell Rebound-Effekte einstellen. Die lokale Transformationsarena der Mobilität des Ruhrgebiets, welcher dieser Arbeit projektbegründet als empirischer Untersuchungsgegenstand dient, nimmt in diesem Kontext eine besondere Rolle ein, da es sich mobilitätstechnisch von anderen deutschen Metropolregionen stark unterscheidet: Das Ruhrgebiet befindet sich nach wie vor in einem wirtschaftlichen Strukturwandel, zählt zugleich zu den größten Ballungsräumen Europas und verzeichnet entsprechend hohe Mobilitätsströme in einer polyzentrischen Siedlungsstruktur sowie eine ausgeprägte Autozentrierung der Mobilität. Hinzu kommen hohe kommunale Verschuldungen sowie eine stark polarisierte Einkommensstruktur innerhalb der Bevölkerung, die sowohl öffentliche als auch private Investitionen in eine nachhaltige Mobilität erschweren.

Die Verortung der genannten Ergebnisse im SMNT verdeutlicht, dass ein zusätzlicher Fokus auf die Mikroebene der Transformationsarena Mobilität notwendig ist, um sowohl die die Mobilitätsentscheidung beeinflussenden Faktoren als auch die Auswirkung von Governance-Maßnahmen differenzierter beurteilen zu können. Hierfür wurden basierend auf bestehender sozialwissenschaftlicher Literatur relevante subjektive Einflussfaktoren der Mobilitätsentscheidung in das SMNT integriert. Zudem konnte die agentenbasierte Modellierung als sinnvolle empirische Methode identifiziert werden, welche gesellschaftliche Praktiken, Infrastrukturen sowie entsprechende Wechselwirkungen vereint abbildet und so helfen kann, Transformationsprozesse und Governance-Maßnahmen zu evaluieren. Anhand dieser angewandten Form des SMNT wurden anschließend Hypothesen einer nachhaltigen Transformation der Mobilität formuliert, welche die weitere empirische Forschung dieser Arbeit leiteten.

Mittels der Befragung von 10782 Mitarbeitenden und Studierenden der drei Ruhrgebietsuniversitäten in Dortmund, Bochum, Essen und Duisburg konnte gezeigt werden, dass Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit den Befragten bei ihrer Mobilitätsentscheidung am wichtigsten sind, wohingegen der Komfort am wenigsten wichtig für die Befragten ist. Hierbei existieren nennenswerte Unterschiede zwischen den Befragten, welche die Identifizierung von fünf Akteurstypen ermöglicht: Komfortorientierte, Umwelt- und Kostenbewusste, risikoaverse Umweltbewusste, Pragmatische und Indifferente. Mittels der zusätzlichen erhobenen subjektiven Verkehrsmiteinschätzung von Auto, Fahrrad und ÖV konnte zudem das SEU-basierte Hauptverkehrsmittel bestimmt werden, welches jedoch nicht dem tatsächlichen Hauptverkehrsmittel der erhobenen Wegeketten entspricht und so den Bedarf einer differenzierteren, die Infrastruktur miteinbeziehenden Analyse verdeutlicht. Denn: Hinsichtlich der absolvierten Wegeketten zeigt sich, dass der ÖV das von den Befragten am meisten genutzte Verkehrsmittel und das Fahrrad das am wenigsten genutzte Verkehrsmittel ist, wohingegen der SEU-Berechnung folgend je nach Akteursgruppe das Fahrrad oder das Auto das Hauptverkehrsmittel sein müssten.

Hinsichtlich der gewünschten zukünftigen Mobilität – basierend auf der Erhebung der zukünftigen Wunschwegekette, Mobilitätsveränderungsszenarien und Governance-Optionen – ist einerseits eine deutliche Präferenz der Befragten für die Elektrifizierung von Autos und Fahrrädern sichtbar. Andererseits ist der Wunsch nach einem höheren Anteil der Individualmobilität am Modal Split in Form einer gewünschten Reduzierung der ÖV-Nutzung zugunsten einer höheren Fahrradnutzung ersichtlich. Somit konnte die Befragung abschließend aufzeigen, dass in der Stichprobe ein nennenswertes Mobilitäts-Transformationspotential hin zu nachhaltigeren Verkehrsmitteln existiert.

Um mögliche Hebel der Transformationspotentiale der Mobilität zu identifizieren, wurden aus der Literatur und der Befragung hergeleitete Governance-Eingriffe exemplarisch mittels der agentenbasierten Verkehrssimulation MATSim simuliert und hinsichtlich ihrer sozialen und ökologischen Effekte verglichen. Hierfür wurde MATSim um die in der Befragung erhobenen individuellen Wegeketten sowie die subjektiven Selbst- und Verkehrsmiteinschätzungen der Akteursgruppen in Form eines individuellen Scoring-Algorithmus erweitert und erlaubt so eine sozialwissenschaftlich fundierte Bewertung der Maßnahmen unter Berücksichtigung von Infrastruktur und Praktiken.

Unter den überprüften Governance-Eingriffen ist die Steigerung des Fahrradkomforts die beste Einzelmaßnahme, welche sowohl die ökologische als auch

soziale Dimension der Nachhaltigkeit verbessert. Die höchsten Emissionsreduzierungen werden jedoch in Folge der Erhöhung der Kosten des Autos – allerdings zu Lasten des Nutzens – erzielt. Gegenteilig führt die Reduzierung der ÖV-Kosten zu einem höheren Nutzen, hat aber keinen nennenswerten Einfluss auf die Emissionen. Die Kombination der Erhöhung der Kosten des Autos und der Reduzierung der ÖV-Kosten gleicht hingegen die negativen Effekte der Einzelmaßnahmen aus. Zusätzlich wurde auch die Auswirkung der Adaption der Wunschwegekette der Befragten simuliert, welche mutmaßlich durch die gesteigerte Individualmobilität (zu Lasten des ÖVs) und den damit einhergehenden Verkehrseffekten zu höheren Emissionen sowie einem sinkenden Nutzen führt und daher aus gesellschaftlicher Perspektive nicht wünschenswert ist.

Zusammenfassend bietet die hier präsentierte Arbeit am Beispiel der Mobilität des Ruhrgebiets eine erste Blaupause, wie gesellschaftliche Transformationsprozesse theoretisch mittels des neu entwickelten SMNT analysiert und empirisch erforscht werden können. Zugleich konnte durch die Adaption und Erweiterung von MATSim durch die Befragungsergebnisse ein erster Ansatz für eine sozialwissenschaftlich fundierte agentenbasierten Verkehrssimulation geschaffen werden, welche geeignet ist, um Governance-Optionen wie auch Infrastrukturveränderungen hinsichtlich der Effekte auf den Verkehr und Aspekte der Nachhaltigkeit zu bewerten.

Somit spiegeln das konzeptionelle Vorhaben der Dissertation und die hieraus entstandenen Ergebnisse die nachhaltige Aufbruchsstimmung der Gesellschaft zu Beginn der Dissertation wider, welche unter anderem von den multilateralen Nachhaltigkeitsabkommen, Klimabewegungen und dem sozio-technischen Fortschritt getragen wurde. Zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Dissertation erscheint die Welt hingegen verändert: Es dominieren multiple miteinander verbundene Krisen den gesellschaftlichen Diskurs, welche kurzfristige Perspektiven und entsprechende Handlungen in den Vordergrund rücken und so den gesellschaftlichen Weitblick auf den menschenverursachten Klimawandel trüben.

Jedoch verbleibt der Klimawandel mitsamt seiner gravierenden sozialen Folgen eine der größten Bedrohungen und Herausforderungen der Neuzeit. In diesem Sinne sind die Konzepte und Ergebnisse dieser Arbeit damals wie heute relevant und können als neue theoretische und empirische Werkzeuge verstanden werden, welche von Wissenschaftler:innen und Praktiker:innen genutzt werden können, um die Wissensbildung und Entscheidungsfindung in nachhaltigen Transformationsprozessen zu unterstützen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass sowohl das SMNT als auch die Simulation keine abgeschlossenen Produkte sind, sondern im Idealfall zukünftig im Rahmen ihrer Verwendung sinnvoll erweitert oder modifiziert

werden können. Wünschenswert wäre in diesem Sinne beispielsweise eine Erweiterung des SMNT auch auf andere Forschungskontexte und Transformationsarenen, um hierdurch das Modell zusätzlich zu validieren und etwaige Verbesserungspotentiale auszuloten. Gleiches gilt für die sozialwissenschaftlich angereicherte MATSim-Simulation, welche zukünftig für die Abbildung anderer Mobilitätssysteme genutzt werden kann und für welche eine Vielzahl an möglichen Feinjustierungs- und Erweiterungsoptionen besteht.

8 Literaturverzeichnis

- Abdullah, Muhammad; Dias, Charitha; Muley, Deepti; Shahin, Md (2020): Exploring the impacts of COVID-19 on travel behavior and mode preferences. In: *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 8, S. 100255. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100255.
- Abouelela, Mohamed; Stamos, Iraklis; Chaniotakis, Manos; Antoniou, Constantinos (2025): Disentangling the relationships between the SDGs and transportation. In: *Research in Transportation Business & Management* 62, S. 101447. DOI: 10.1016/j.rtbm.2025.101447.
- Adelt, Fabian; Hoffmann, Sebastian (2017): Der Simulator „SimCo“ als Tool der TA. In: *TATuP* 26 (3), S. 37–43. DOI: 10.14512/tatup.26.3.37.
- Adelt, Fabian; Weyer, Johannes; Hoffmann, Sebastian; Ihrig, Andreas (2018): Simulation of the Governance of Complex Systems (SimCo). Basic Concepts and Experiments on Urban Transportation. In: *JASSS* 21 (2). DOI: 10.18564/jasss.3654.
- ADFC (2020): StVO-Novelle in Kraft getreten. Online verfügbar unter <https://www.adfc.de/artikel/stvo-novelle-in-kraft-getreten>, zuletzt aktualisiert am 13.10.2021, zuletzt geprüft am 04.12.2025.
- ADFC (2025): ADFC-Fahrradklima-Test 2024: Alle Ergebnisse im Überblick. Online verfügbar unter <https://fahrradklima-test.adfc.de/ergebnisse>, zuletzt geprüft am 24.11.2025.
- Adloff, Frank; Neckel, Sighard (2019): Modernisierung, Transformation oder Kontrolle? In: Klaus Dörre, Hartmut Rosa, Karina Becker, Sophie Bose und Benjamin Seyd (Hg.): *Große Transformation? Zur Zukunft moderner Gesellschaften*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 167–180.
- Agora Verkehrswende (2019): Parkraummanagement lohnt sich! Leitfaden für Kommunikation und Verwaltungspraxis. Unter Mitarbeit von Uta Bauer und Martina Hertel. Online verfügbar unter <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/parkraummanagement-lohnt-sich>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.
- Agora Verkehrswende (2020): Ein anderer Stadtverkehr ist möglich. Neue Chancen für eine krisenfeste und klimagerechte Mobilität. Online verfügbar unter <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/578055/1/Ein%20anderer%20Stadtverkehr%20ist%20m%c3%b6glich-1.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Agora Verkehrswende (2026): Marktentwicklung von E-Autos. Online verfügbar unter <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/marktentwicklung-von-e-autos>, zuletzt geprüft am 28.01.2026.

Allianz pro Schiene (2023): Elektrifizierung erklärt: Das Schienennetz muss unter Strom stehen. Online verfügbar unter <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/elektrifizierung-bahn/>, zuletzt aktualisiert am 14.11.2023, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Álvarez Fernández, Roberto (2018): A more realistic approach to electric vehicle contribution to greenhouse gas emissions in the city. In: *Journal of Cleaner Production* 172, S. 949–959. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.158.

Anderegg, William R. L.; Prall, James W.; Harold, Jacob; Schneider, Stephen H. (2010): Expert credibility in climate change. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (27), S. 12107–12109. DOI: 10.1073/pnas.1003187107.

Arnz, Marlin; Soomauroo, Zakia; Fisch-Romito, Vivien; Min, Jihoon; Millward-Hopkins, Joel; Kishimoto, Paul Natsuo et al. (2025): Quantifying minimum mobility and transport needs: The who, the where and the why. In: *Energy Research & Social Science* 128, S. 104306. DOI: 10.1016/j.erss.2025.104306.

Ashford, Nicholas A.; Hall, Ralph P.; Arango-Quiroga, Johan; Metaxas, Kyriakos A.; Showalter, Amy L. (2020): Addressing Inequality: The First Step Beyond COVID-19 and Towards Sustainability. In: *Sustainability* 12 (13), S. 5404. DOI: 10.3390/su12135404.

Astroza, Sebastian; Tirachini, Alejandro; Hurtubia, Ricardo; Carrasco, Juan; Guevara, Angelo; Munizaga, Marcela et al. (2020): Mobility Changes, Teleworking, and Remote Communication during the COVID-19 Pandemic in Chile. In: *Transport Findings*. DOI: 10.32866/001c.13489.

Atmo2 (2025): Startseite. Online verfügbar unter <https://atmo2.de/>, zuletzt geprüft am 02.12.2025.

Autobild (2023): Wann fahren die Autos der großen Hersteller elektrisch? Verbrenner-Ausstieg: Elektro-Pläne der Autobauer. Online verfügbar unter <https://www.autobild.de/artikel/verbrenner-ausstieg-elektro-plaene-der-autobauer-19153555.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Axenbeck, Janna; Bertschek, Irene; Breithaupt, Patrick; Erdsiek, Daniel (2023): Firm Digitalisation and Mobility. Do Covid-19-Related Changes Persist? Hg. v. ZEW. Mannheim (ZEW Discussion Paper, 23-011). Online verfügbar unter https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp23011.pdf?_gl=1*9pgmcc*_ga*NjYxNDA5OTk5LjE2ODgxMz

k2MzM.*_ga_KFD4G5CY27*MTY4ODEzOTYzMy4xLjAuMTY4ODEzOTY0MC4wLjAuMA.Digitalisierung%20und%20Mobility#, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Gensler, Sonja; Weiber, Rolf; Weiber, Thomas (2021): Multivariate Analysemethoden. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Baltes, Hannah; Drobek, Sabine; Griesenbrock, Katie; Schönharting, Jörg (2008): Mobilität in der Metropole Ruhr im Vergleich mit anderen Metropol- en. Analysen, Leitbild, Konzepte, Maßnahmen. TRC Transportation Research and Consulting GmbH. Online verfügbar unter http://trc-transportation.com/cms/images/dokumente/MetropoleRuhr-Studie_Endbericht_kurz.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Barth, Bertram (2021): Die Sinus-Milieus in der Gesellschaftswissenschaft. In: *Leviathan* 49 (4), S. 470–479. DOI: 10.5771/0340-0425-2021-4-470.

Becker, Sophia; Schneidmesser, Dirk von; Caseiro, Alexandre; Götting, Katharina; Schmitz, Seán; Schneidmesser, Erika von (2022): Pop-up cycling infrastructure as a niche innovation for sustainable transportation in European cities: An inter- and transdisciplinary case study of Berlin. In: *Sustainable Cities and Society* 87, S. 104168. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104168.

Berger, Peter; Luckmann; Luckmann, Thomas (1969): Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie. Frankfurt a.M.: S. Fischer Verlag.

Bernardo, Carmela; Wang, Lingfei; Vasca, Francesco; Hong, Yiguang; Shi, Guodong; Altafini, Claudio (2021): Achieving consensus in multilateral international negotiations: The case study of the 2015 Paris Agreement on climate change. In: *Science advances* 7 (51). DOI: 10.1126/sciadv.abg8068.

Berschin, Felix; Böttger, Christian (2023): Auswirkungen des 49-Euro-Tickets auf Verkehrsverbünde und Einnahmenaufteilung. In: *Wirtschaftsdienst* 2023 (3), S. 186–191. Online verfügbar unter <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2023/heft/3/beitrag/auswirkungen-des-49-euro-tickets-auf-verkehrsverbuede-und-einnahmenaufteilung.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Best, Henning (2006): Die Umstellung auf ökologische Landwirtschaft als Entscheidungsprozess. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Bianchi, Federico; Squazzoni, Flaminio (2019): Modelling and Social Science. Problems and Promises. In: Enayat A. Moallemi und Fjala j. de Haan (Hg.): *Modelling Transitions: Virtues, Vices, Visions of the Future*: Routledge, S. 60–73.

Blickstein, Susan; Hanson, Susan (2001): Critical mass: forging a politics of sustainable mobility in the information age. In: *Transportation* 28 (4), S. 347–362. DOI: 10.1023/A:1011829701914.

BMDV (2023): BMDV startet neues Förderangebot für Fahrradparkhäuser an Bahnhöfen. Wissing: Wir machen Fahrradparken an Bahnhöfen sicher und bequem. Online verfügbar unter https://www.mobiltaetsforum.bund.de/DE/Themen/News-RADar/_texte/BMDV_Fahrradparken_Bahnhoeften_220306.html?templateQueryString=Gef%C3%B6rderte+Projekte, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

BMVI (2019): Mobilität in Deutschland - MID. Regionalbericht Hamburg und Hamburger Verkehrsverbund GMBH. Bonn. Online verfügbar unter <https://metropolregion.hamburg.de/resource/blob/14320/b9af55d6f9f35c180f10d99447c308b6/mid-studie-data.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Bohnensteffen, Sarah; Mühlhahn, Jannek; Saidani, Younes (2021): Mobilität während der Corona-Pandemie. Ausgewählte Analysen auf Basis von Mobilfunkdaten. In: *WISTA - Wirtschaft und Statistik* (3). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2021/03/mobilitaet-corona-pandemie-032021.pdf?__blob=publication-File, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Brand, Karl-Werner (2021a): »Große Transformation« oder »Nachhaltige Nicht-Nachhaltigkeit«? Wider die Beliebigkeit sozialwissenschaftlicher Nachhaltigkeits- und Transformationstheorien. In: *Leviathan* 49 (2), S. 189–214. Online verfügbar unter <https://www.jstor.org/stable/27283990>.

Brand, Karl-Werner (2021b): Nachhaltige Entwicklung oder sozial-ökologische Transformation? In: *Indes* 9 (4), S. 9–22. DOI: 10.13109/inde.2020.9.4.9.

Brand, Karl-Werner (2021c): Welche Nachhaltigkeit? Warum die »Soziologie der Nachhaltigkeit« weder in menschlichen Überlebensfragen begründet werden kann, noch neu erfunden werden muss. In: SONA (Hg.): *Soziologie der Nachhaltigkeit*. Bielefeld: transcript Verlag, S. 86–107.

Brandt, Mathias (2021): SUV-Anteil steigt 2021 wieder. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/19572/anzahl-der-neuzulassungen-von-suv-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Brauers, Hanna; Herpich, Philipp; Oei, Pao-Yu (2018): The Transformation of the German Coal Sector from 1950 to 2017: An Historical Overview. In: Christian Hirschhausen, Clemens Gerbaulet, Claudia Kemfert, Lorenz Casimir und Pao-Yu Oei (Hg.): *Energiewende „made in Germany“*. Low Carbon

Electricity Sector Reform in the European Context. Cham: Springer International Publishing, S. 45–78.

Bundesregierung (2021a): Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/re-source/blob/975274/1873516/9d73d857a3f7f0f8df5ac1b4c349fa07/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Bundesregierung (2021b): Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021 - Kurzfassung. Online verfügbar unter <https://www.bmbfsfj.bund.de/re-source/blob/174260/51385895309085c0ce567488920aca36/20210310-weiterentwicklung-dns-kurzfassung-data.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Bundesregierung (2021c): Homeoffice-Regelung verlängert. Corona-Arbeitschutzverordnung. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/coronavirus/verordnung-zu-homeoffice-1841120>, zuletzt aktualisiert am 26.06.2023, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Bundesregierung (2022): 9-Euro-Ticket 52 Millionen Mal verkauft. Fragen und Antworten. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/faq-9-euro-ticket-2028756>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Bundesregierung (2023): Ein Ticket für ganz Deutschland. Deutschlandticket. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/deutschlandticket-2134074>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Bundesregierung (2024): CO₂-Preis steigt auf 45 Euro pro Tonne. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/co2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Bundesregierung (2025): Transformation gemeinsam gerecht gestalten. Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie Weiterentwicklung 2025. Online verfügbar unter <https://www.bundesumweltministerium.de/themen/nachhaltigkeit/strategie-und-umsetzung/nachhaltigkeitsstrategie>, zuletzt geprüft am 10.11.2025.

Canzler, Weert; Knie, Andreas (2021): Wohin des Weges ? Neue Mobilität als eine Agenda des Wandels. In: *WSI Mitteilungen* 74 (3), S. 182. Online verfügbar unter https://www.wsi.de/data/wsimit_2021_03_editorial.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Canzler, Weert; Radtke, Jörg (2019): Der Weg ist das Ziel: Verkehrswende als Kulturwende. Oder: Zur schwierigen Entwöhnung vom Auto. In: *Aus Politik und Zeitgeschichte* 69 (43), S. 33–38. Online verfügbar unter

<http://www.bpb.de/apuz/298748/verkehrswende-als-kulturwende>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Chai, Zhanxiang; Nie, Tianxin; Becker, Jan (2020): *Autonomous Driving Changes the Future*. Singapore: Springer Singapore.

Chen, Long; Li, Yuchen; Huang, Chao; Li, Bai; Xing, Yang; Tian, Daxin et al. (2023): Milestones in Autonomous Driving and Intelligent Vehicles: Survey of Surveys. In: *IEEE Trans. Intell. Veh.* 8 (2), S. 1046–1056. DOI: 10.1109/TIV.2022.3223131.

Christ, Michael; Sommer, Bernd (2022): Transformation (sozial-ökologische). In: Daniela Gottschlich (Hg.): *Handbuch Politische Ökologie*. Theorien, Konflikte, Begriffe, Methoden. Bielefeld: transcript (Edition Politik, Band 110), S. 461–466.

Climate Action Tracker (2022): Despite Glasgow Climate Pact, 2030 climate target updates have stalled. Online verfügbar unter https://climateactiontracker.org/documents/1051/CAT_2022-06-03_Briefing_MidYearUpdate_DespiteGlasgowTargetUpdatesStalled.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Cohen, Jacob (1992): Statistical Power Analysis. In: *Curr Dir Psychol Sci* 1 (3), S. 98–101. DOI: 10.1111/1467-8721.ep10768783.

Coleman, James S. (2010): *Handlungen und Handlungssysteme*. München: Oldenburg Wissenschaftsverlag.

Corona Datenplattform (2021): Themenreport 02. Homeoffice im Verlauf der Corona-Pandemie,. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/I/infas-corona-datenplattform-homeoffice.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Cugurullo, Federico; Acheampong, Ransford A.; Gueriau, Maxime; Dusparic, Ivana (2021): The transition to autonomous cars, the redesign of cities and the future of urban sustainability. In: *Urban Geography* 42 (6), S. 833–859. DOI: 10.1080/02723638.2020.1746096.

Der Spiegel (2020): Treffen von Kanzlerin und Ministerpräsidenten: Merkel ruft Bürger zu Verzicht auf Reisen in Risikogebiete auf. In: *DER SPIEGEL*, 27.08.2020. Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/politik/deutschland/coronakrise-angela-merkel-ruft-buerger-zu-verzicht-auf-reisen-in-risikogebiete-auf-a-98809b04-f4b8-4f64-aff9-a1cd94c3a9dd>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Deutschlandfunk Nova (2021): Was es für einen kostenlosen Nahverkehr braucht. Online verfügbar unter <https://www.deutschlandfunknova.de/beitrag/was-es-f%C3%BCr-einen-kostenlosen-nahverkehr-braucht>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

DGB; Justitia et Pax (2021): Arbeit in einer nachhaltigen Wirtschaft. Die sozial-ökologische Transformation aus arbeitspolitischer Perspektive. Online verfügbar unter <https://www.dgb.de/fileadmin/import/Aktuelles/Pressemitteilungen/dgb-orientierungshilfe.pdf>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Ding, Ding; Luo, Mengyun; Infante, Maria Florencia Petrelli; Gunn, Lucy; Salvo, Deborah; Zapata-Diomed, Belen et al. (2024): The co-benefits of active travel interventions beyond physical activity: a systematic review. In: *The Lancet Planetary Health* 8 (10), 790-803. DOI: 10.1016/S2542-5196(24)00201-8.

DLR (2022): Sechste DLR-Erhebung zu Mobilität & Corona, 9-Euro-Ticket und Senkung der Kraftstoffpreise. Online verfügbar unter file:///C:/Users/smmnphil/Downloads/DLR_Hintergrundpapier%20-%20Sechste%20Erhebung%20zu%20Mobilit%C3%A4t%20&%20Corona.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Doll, Claus; Krauß, Konstantin; Luchmann, Inga; Niemeier, Eileen; Quante, Nina; Ritschny, Jakub et al. (2019): Verlagerungswirkungen und Umwelteffekte veränderter Mobilitätskonzepte im Personenverkehr.

Doolan, Ronan; Muntean, Gabriel-Miro (2014): Reducing carbon emissions by introducing electric vehicle enhanced dedicated bus lanes. In: 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings. 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). MI, USA, 08.06.2014 - 11.06.2014: IEEE, S. 1011–1016.

Dooley, Kate; Holz, Christian; Kartha, Sivan; Klinsky, Sonja; Roberts, J. Timmons; Shue, Henry et al. (2021): Ethical choices behind quantifications of fair contributions under the Paris Agreement. In: *Nature Climate change* 11 (4), S. 300–305. DOI: 10.1038/s41558-021-01015-8.

dpa (2024): Hohe Strompreise bremsen Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/automobilproduktion/strom/hohe-strompreise-bremsen-elektromobilitaet/26770018>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Duncan, Sophie; Hjelm, Annika; Papies, Esther K. (2025): “I can’t compromise the quality of my life I’m sorry”: Privileged individuals in the United Kingdom show little willingness to change high-carbon lifestyles. In: *Energy Research & Social Science* 126, S. 104114. DOI: 10.1016/j.erss.2025.104114.

- Ecke, Lisa; Chlond, Bastian; Magdolen, Miriam; Vortisch, Peter (2020): Deutsches Mobilitätspanel. Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung des Bericht 2019/2020: Alltagsmobilität und Fahrleistung. Hg. v. BMVI. Online verfügbar unter https://mobilitaetspanel.ifv.kit.edu/downloads/Bericht_MOP_19_20.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Eckert, Eva; Kovalevska, Oleksandra (2021): Sustainability in the European Union: Analyzing the Discourse of the European Green Deal. In: *JRFM* 14 (2), S. 1–22. DOI: 10.3390/jrfm14020080.
- eezy.nrw (2026): So funktioniert eezy.nrw. Noch Fragen? Hier gibt es die Antworten. Online verfügbar unter <https://eezy.nrw/hilfe/63-euro-preis-stopp>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.
- Eggimann, Sven (2022): The potential of implementing superblocs for multifunctional street use in cities. In: *Nature Sustainability* 5 (5), S. 406–414. DOI: 10.1038/s41893-022-00855-2.
- Eggs, Johannes; Follmer, Robert; Gruschwitz, Dana; Nobis, Claudia; Bäumer, Marcus; Pfeiffer, Manfred (2018): Mobilität in Deutschland - MiD Methodenbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn/Berlin. Online verfügbar unter www.mobilitaet-in-deutschland.de, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Eisenberger, David (2025): Zahlen – Daten – Fakten zum deutschen Fahrrad- und E-Bike Markt 2020 Fahrradindustrie mit Rückenwind - Großes Wachstum bei Absatz und Umsatz. ZIV. Online verfügbar unter https://www.ziv-zweirad.de/wp-content/uploads/2023/09/PM_2021_10.03._Fahrrad-_und_E-Bike_Markt_2020-1.pdf, zuletzt aktualisiert am 04.12.2025.
- Esser, Hartmut (2003): Das Modell der soziologischen Erklärung und die Paradigmen der Soziologie. In: Barbara Orth, Thomas Schwietering und Johannes Weiß (Hg.): *Soziologische Forschung: Stand und Perspektiven*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 523–532.
- Esser, Hartmuts (1991): Die Rationalität des Alltagshandelns. In: *Zeitschrift für Soziologie* 20 (6), S. 430–445. DOI: 10.1515/zfsoz-1991-0602.
- Esser, Hartmuts (1999): *Soziologie. Spezielle Grundlagen*. Frankfurt a.M., New York: Campus Verl. (1).
- Europäische Kommission (2019): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat der Europäischen Wirtschafts und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Der europäische Grüne Deal. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/source.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f->

01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Europäische Kommission (2020): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Europäische Kommission (2021): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

European Commission (2019): A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

European Commission (2021): The Transport and Mobility Sector. Factsheet. Online verfügbar unter https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Fisher, Susannah (2015): The emerging geographies of climate justice. In: *The Geographical Journal* 181 (1), S. 73–82. DOI: 10.1111/geoj.12078.

Flache, Andreas; Mäs, Michael (2015): Multi-Agenten-Modelle. In: Norman Braun und Nicole J. Saam (Hg.): *Handbuch Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 491–514.

Follmer, Robert; Schelewsky, Marc (2020): Mobilitätsreport 02, Ergebnisse aus Beobachtungen per repräsentativer Befragung und ergänzendem Mobilitätstracking bis Ende Juni. infas. Bonn/Berlin. Online verfügbar unter https://www.infas.de/wp-content/uploads/2023/01/infas_Mobilitaetsreport_02.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e. V. (2020): Bewertung des Entwurfs der Bundesregierung zur Reform der Kfz-Steuer. Policy Brief (09/2020) im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen. Online verfügbar unter https://foes.de/publikationen/2020/2020-09_FOES_Kfz-Steuerreform.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Fukuda-Parr, Sakiko (2016): From the Millennium Development Goals to the Sustainable Development Goals: shifts in purpose, concept, and politics of global goal setting for development. In: *Gender & Development* 24 (1), S. 43–52. DOI: 10.1080/13552074.2016.1145895.

Gallie, W. B. (1955): Essentially Contested Concepts. In: *Proceedings of the Aristotelian Society* 56, S. 167–198. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/4544562>.

GBTA (2021): Coronavirus Poll Results. Online verfügbar unter https://www.gbta.org/Portals/0/Covid%20Poll/Coronavirus_Poll_April_22_21.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2021.

Geels, Frank W. (2011): The multi-level perspective on sustainability transitions. Responses to seven criticisms. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1 (1), S. 24–40. DOI: 10.1016/j.eist.2011.02.002.

Geels, Frank W. (2019): Socio-technical transitions to sustainability: a review of criticisms and elaborations of the Multi-Level Perspective. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability* 39, S. 187–201. DOI: 10.1016/j.cosust.2019.06.009.

Geels, Frank W. (2020): Micro-foundations of the multi-level perspective on socio-technical transitions: Developing a multi-dimensional model of agency through crossovers between social constructivism, evolutionary economics and neo-institutional theory. In: *Technological Forecasting and Social Change* 152, S. 119894. DOI: 10.1016/j.techfore.2019.119894.

Geels, Frank W. (2024): The Multi-Level Perspective on Sustainability Transitions: Background, overview, and current research topics. Online verfügbar unter <https://www.cambridge.org/engage/api-gateway/coe/assets/orp/resource/item/674dc3ed7be152b1d0aef5d8/original/the-multi-level-perspective-on-sustainability-transitions-background-overview-and-current-research-topics.pdf>, zuletzt geprüft am 28.07.2026

Geels, Frank W.; Schot, Johan (2007): Typology of sociotechnical transition pathways. In: *Research Policy* 36 (3), S. 399–417. DOI: 10.1016/j.respol.2007.01.003.

Glavič, Peter; Lukman, Rebeka (2007): Review of sustainability terms and their definitions. In: *Journal of Cleaner Production* 15 (18), S. 1875–1885. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.12.006.

Goffman, Ethan (2020): In the wake of COVID-19, is glocalization our sustainability future? In: *Sustainability: Science, Practice and Policy* 16 (1), S. 48–52. DOI: 10.1080/15487733.2020.1765678.

González-Sánchez, Guadalupe; Olmo-Sánchez, María Isabel; Maeso-González, Elvira (2021): Challenges and Strategies for Post-COVID-19 Gender

Equity and Sustainable Mobility. In: *Sustainability* 13 (5:2510). DOI: 10.3390/su13052510.

Götting, Katharina; Becker, Sophia (2020): Reaktionen auf die Pop-Up-Radwege in Berlin. Ergebnisse einer explorativen Umfrage zur temporären Radinfrastruktur im Kontext der Covid-19 Pandemie (IASS Study). Online verfügbar unter <https://www.rifs-potsdam.de/de/ergebnisse/publikationen/2020/reaktionen-auf-die-pop-radwege-berlin-ergebnisse-einer-explorativen>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Greve, Jens; Schnabel, Annette; Schützeichel, Rainer (2009): Das Makro-Mikro-Makro-Modell der soziologischen Erklärung - zur Einleitung. In: Jens Greve, Annette Schnabel und Rainer Schützeichel (Hg.): Das Mikro-Makro-Modell der soziologischen Erklärung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 7–17.

Grunwald, Armin; Kopfmüller, Jürgen (2022): Nachhaltigkeit. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. 3. Auflage. Weinheim: Campus Verlag.

Haider, Murtaza; Anwar, Amar Iqbal (2023): The prevalence of telework under Covid-19 in Canada. In: *ITP* 36 (1), S. 196–223. DOI: 10.1108/ITP-08-2021-0585.

Hans Böckler Stiftung (2023): Studien zu Homeoffice und mobiler Arbeit. Online verfügbar unter <https://www.boeckler.de/de/auf-einen-blick-17945-Auf-einen-Blick-Studien-zu-Homeoffice-und-mobiler-Arbeit-28040.htm>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Held, David; Roger, Charles (2018): Three Models of Global Climate Governance: From Kyoto to Paris and Beyond. In: *Global Policy* 9 (4), S. 527–537. DOI: 10.1111/1758-5899.12617.

Henkel, Anna; Böschen, Stefan; Drews Nikolai; Firnenburg, Louisa; Görden, Benjamin; Grundmann, Matthias et al. (2021): Soziologie der Nachhaltigkeit – Herausforderungen und Perspektiven. In: SONA (Hg.): Soziologie der Nachhaltigkeit. Bielefeld: transcript Verlag.

Hoffmann, Jessica; Philipp, Marlon; Sonnberger, Marco; Sommer, Bernd (2023): Transformation. Soziologie und Nachhaltigkeit, 2023: SuN-Blog Beiträge 2023. DOI: 10.17879/sun-2023-5637.

Hoffmann, Sebastian; Adelt, Fabian; Weyer, Johannes (2020): Modelling End-User Behavior and Behavioral Change in Smart Grids. An Application of the Model of Frame Selection. In: *Energies* 13 (24), S. 6674. DOI: 10.3390/en13246674.

Hörl, Sebastian; Ludwig, Oliver; Rewald, Hannes; Axer, Steffen (2025): Simulating individual charging behaviour in MATSim. MATSim User Meeting. Online verfügbar unter <https://hal.science/hal-05117360>, zuletzt geprüft am 09.02.2026.

Horni, Andreas; Nagel, Kai; Axhausen Kay W. (2025): The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Extract of selected chapters to serve as user guide. Online verfügbar unter <https://matsim.org/files/book/partOne-lat-est.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Howaldt, Jürgen; Kaletka, Christoph (2022): Soziale Innovation – internationale Trends und Herausforderungen: Zukunft gestalten mit Sozialen Innovationen. Neue Herausforderungen für Politik, Gesellschaft und Wirtschaft. Hg. v. Jürgen Howaldt, Miriam Kreibich, Jürgen Streicher und Carolin Thiem. Frankfurt u.a.: Campus Frankfurt / New York, S. 23–38.

Howaldt, Jürgen; Kreibich, Miriam; Streicher, Jürgen; Thiem, Carolin (2022): Einleitung: Zukunft gestalten mit Sozialen Innovationen. Neue Herausforderung für Politik, Gesellschaft und Wissenschaft: Zukunft gestalten mit Sozialen Innovationen. Neue Herausforderungen für Politik, Gesellschaft und Wirtschaft. Hg. v. Jürgen Howaldt, Miriam Kreibich, Jürgen Streicher und Carolin Thiem. Frankfurt u.a.: Campus Frankfurt / New York, S. 9–22.

<https://overpass-turbo.eu/> (2025): Overpass turbo. Online verfügbar unter <https://overpass-turbo.eu/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Hülsmann, F.; Gerike, R.; Kickhöfer, B.; Nagel, K.; Luz, R. (2011): Towards a multi-agent based modeling approach for air pollutants in urban regions. Proceedings of the Conference on „Luftqualität an Straßen“. Köln: FGSV-Verl. (FGSV).

Hunecke, Marcel (2015): Mobilitätsverhalten verstehen und verändern. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Hupke, Klaus-Dieter (2021): Handlungsebene I der Nachhaltigkeitsdebatte: das Individuum. In: Klaus-Dieter Hupke (Hg.): Warum Nachhaltigkeit nicht nachhaltig ist. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 169–171.

IEA (2023): Tracking Clean Energy Progress 2023. Tracking Transport. IEA. Paris. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Île-de-France mobilités (2026): Die Strecke und die Stationen. Online verfügbar unter <https://www.iledefrance-mobilites.fr/de/le-reseau/projets/cablecl/le-trace-et-les-stations>, zuletzt geprüft am 10.02.2026.

Illner, Ulrike (2022): Corona in den Medien. In: *PMG Presse-Monitor GmbH*, 07.01.2022. Online verfügbar unter <https://www.pressemonitor.de/blog/corona-in-den-medien/>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Imobis (2020): Neue Emscher Mobilität. Universität Duisburg-Essen, Institut für Mobilitäts- und Stadtplanun. Online verfügbar unter https://www.stiftung-mercator.de/content/uploads/2022/01/NEMO_Abschlussbericht_201008.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

infas; DLR; IVT; infas 360 (2025): Mobilität in Deutschland. MiD Ergebnisbericht Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr (FE-Nr. VB600001. Bonn, Berlin. Online verfügbar unter https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/publikationen2023.html#main_content, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

INFRAS (2025): Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs. Der Standard für Emissionsberechnungen im Strassenverkehr. Online verfügbar unter <https://www.hbefa.net/de/startseite>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

InnaMoRuhr (2023): InnaMoRuhr – Die UA Ruhr macht mobil. Online verfügbar unter <https://innamo.ruhr/>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

InnaMoRuhr (2024): Publikationen. Online verfügbar unter <https://innamo.ruhr/publikationen/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

International Degrowth Network (o. J.): What is Degrowth. Online verfügbar unter <https://explore.degrowth.net/degrowth/what-is-degrowth/>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

IPCC (2021): Summary for Policymakers. Unter Mitarbeit von V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger et al.: Cambridge University Press (Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

IPCC (2022): Summary for Policymakers. Unter Mitarbeit von H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor: Cambridge University Press (Climate Change 2022 - Impacts Adaption and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel). Online verfügbar unter https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Islam, Nazrul; Lacey, Ben; Shabnam, Sharmin; Erzurumluoglu, A. Mesut; Dambha-Miller, Hajira; Chowell, Gerardo et al. (2021): Social inequality

and the syndemic of chronic disease and COVID-19: county-level analysis in the USA. In: *Journal of epidemiology and community health*. DOI: 10.1136/jech-2020-215626.

Itani, Alaa; Klumpenhower, Willem; Shalaby, Amer; Hemily, Brendon (2024): Guiding principles for integrating on-demand transit into conventional transit networks: A review of literature and practice. In: *Transport Policy* 147, S. 183–197. DOI: 10.1016/j.tranpol.2024.01.007.

Jafarkarimi, Hosein; Sim, Alex Tze Hiang; Saadatdoost, Robab; Hee, Jee Mei (2016): Designing a Scenario-Based Questionnaire to Assess Behavioral Intention in Social Networking Sites' Ethical Dilemmas. In: Fabrizio D'Ascenzo, Massimo Magni, Alessandra Lazazzara und Stefano Za (Hg.): *Blurring the Boundaries Through Digital Innovation*, Bd. 19. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes in Information Systems and Organisation), S. 145–159.

Kaddoura, Ihab; Laudan, Janek; Ziemke, Dominik; Nagel, Kai (2020): Verkehrsmodellierung für das Ruhrgebiet. In: Heike Proff (Hg.): *Neue Dimensionen der Mobilität*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 361–386.

KBA (2021): Jahresbilanz. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz_Neuzulassungen/jahresbilanz_node.html;jsessionid=D1B22F02EBE7812B8CC56EBDEF9620F.live21322?yearFilter=2021, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Kęłowski, Wojciech; Maciejewska, Monika; Gillard, Merlin; Boussauw, Kobe; van Acker, Veronique (2025): Fare-free public transport. In: Lucy Budd, Stephen Ison und Maria Attard (Hg.): *The Routledge Handbook of Sustainable Urban Transport*. London: Routledge, S. 257–267.

Khanna, Arpita Asha; Dubernet, Ilka; Jochem, Patrick (2025): Do car drivers respond differently to fuel price changes? Evidence from German household data. In: *Transportation* 52 (2), S. 579–613. DOI: 10.1007/s11116-023-10431-y.

Kickhöfer, Benjamin (2016a): Emission Modelling. In: Andreas Horni, Kai Nagel und Kay W. Axhausen (Hg.): *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. Ubiquity Press, S. 247–252.

Kickhöfer, Benjamin (2016b): Emissions Modeling. In: Andreas Horni, Kai Nagel und Kay W. Axhausen (Hg.): *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. Ubiquity Press, S. 247–252.

Killian, Nicolas (2025): Warum die Welt bald untergeht. An vier Abenden hat der Techmilliardär Peter Thiel seine Ideologie erklärt. Sehr vertraulich,

vor exklusivem Publikum. Es ist ein Blick in den Abgrund. Die Zeit (48). Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/2025/48/peter-thiel-antichrist-donald-trump-j-d-vance-usa>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Klauer, Bernd; Manstetten, Reiner; Petersen, Thomas; Schiller, Johannes (2013): Die Kunst langfristig zu denken: Nomos.

Knuth, Klaus-R.; Geissler, Andreas (2012): Factors influencing behavioural change towards eco-friendly multimodal mobility. Deliverable D3.6. Online verfügbar unter https://www.levego.hu/site/assets/files/5825/usemobility_wp3_d3_6_v2b.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Koehrsen, Jens; Dickel, Sascha; Pfister, Thomas; Rödder, Simone; Böschen, Stefan; Wendt, Björn et al. (2020): Climate change in sociology: Still silent or resonating? In: *Current Sociology* 68 (6), S. 738–760. DOI: 10.1177/0011392120902223.

Kohaupt-Cepera, Kay (2025): Transport services and mobility behavior in the Ruhr Region. An analysis of the potential for system transformation and behavior change from the provider's perspective. In: *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 33, S. 101612. DOI: 10.1016/j.trip.2025.101612.

Köhler, Jonathan; Geels, Frank W.; Kern, Florian; Markard, Jochen; Onsongo, Elsie; Wieczorek, Anna et al. (2019): An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 31, S. 1–32. DOI: 10.1016/j.eist.2019.01.004.

Krämer, Andreas; Wilger, Gerd; Bongaerts, Robert (2022): Das 9-Euro-Ticket: Erfahrungen, Wirkungsmechanismen und Nachfolgeangebot. In: *Wirtschaftsdienst* 102 (11), S. 873–879. DOI: 10.1007/s10273-022-3313-2.

Kraus, Sebastian; Koch, Nicolas (2021): Provisional COVID-19 infrastructure induces large, rapid increases in cycling. In: *Proc Natl Acad Sci USA* 118 (15), e2024399118. DOI: 10.1073/pnas.2024399118.

Krohn, Wolfgang; Weyer, Johannes (1990): Die Gesellschaft als Labor. In: Jost Halfmann und Klaus Peter Japp (Hg.): *Risikante Entscheidungen und Katastrophenpotentiale*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 89–122.

Kron, Thomas; Grund, Thomas (2010): Einführung in die Diskussion zur Analytischen Soziologie. In: Thomas Kron und Thomas Grund (Hg.): *Die Analytische Soziologie in der Diskussion*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 7–27.

Kroneberg, Clemens (2014): Frames, scripts, and variable rationality: An integrative theory of action. In: Gianluca Manzo (Hg.): *Analytical Sociology*: Wiley, S. 95–123.

Kropp, Cordula (2023): Infrastrukturen – Hebel der sozial-ökologischen Transformation. In: Marco Sonnberger, Alena Bleicher und Matthias Groß (Hg.): *Handbuch Umweltsoziologie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–16.

Kropp, Cordula; Sonnberger, Marco (2021): Kapitel 9: Infrastruktursysteme – Weichensteller gesellschaftlicher Naturverhältnisse. In: Cordula Kropp und Marco Sonnberger (Hg.): *Umweltsoziologie*: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, S. 189–208.

Lancet Microbe (2020): COVID-19 vaccines: the pandemic will not end overnight. In: *The Lancet. Microbe* 2 (1), e1. DOI: 10.1016/S2666-5247(20)30226-3.

Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2020): Nordrhein-Westfalen fördert On-Demand-Verkehr-Projekte – für eine bessere Mobilität auf dem Land. Mobil sein ohne Auto – das soll auf dem Land besser werden. Online verfügbar unter <https://www.land.nrw/pressemitteilung/nordrhein-westfalen-foerdert-demand-verkehr-projekte-fuer-eine-bessere-mobilitaet>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2021): Ausbau der ÖPNV-Offensive: Land gibt zusätzlich 928 Millionen Euro für mehr Sicherheit und mehr Verbindungen im Schienennahverkehr | Land.NRW. Online verfügbar unter <https://www.land.nrw/pressemitteilung/ausbau-der-oepnv-offensive-land-gibt-zusaetzlich-928-millionen-euro-fuer-mehr>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2022): Rückenwind für den Radverkehr: 30 Millionen Euro für den Ausbau und die Modernisierung des Radwegenetzes in Nordrhein-Westfalen. 111 Kilometer mehr Radwege über das Radwegeprogramm 2022. Online verfügbar unter <https://www.land.nrw/pressemitteilung/rueckenwind-fuer-den-radverkehr-30-millionen-euro-fuer-den-ausbau-und-die>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Lang, Thorsten; Kempermann, Hanno (2021): CO₂-Kompass Metropole Ruhr. Wasserstoff als Lösung auf dem Weg zur Klimaneutralität. Hg. v. Regionalverband Ruhr. IW Consult. Online verfügbar unter https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2021/Studie_CO2-Kompass.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Laudan, Janek; Nagel, Kai; Zilske, Michael; Ziemke, Dominik; Rieser, Marcel: GitHub - matsim-scenarios/matsim-ruhrgebiet: The MATSim Open

Ruhrgebiet Scenario. Online verfügbar unter <https://github.com/matsim-scenarios/matsim-ruhrgebiet>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Lehmann, Steffen (2020): Innenstadtgestaltung und Städtebau für eine krisenfesten und lebenswerte Stadt. Online verfügbar unter https://media.dav-medien.de/sample/9783804742062_p.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Leontaris, Timo; Kleemann, Frank (2022): Home Office während der Corona Pandemie. Deskriptive Ergebnisse einer Home Office Befragung unter Beschäftigten der UA Ruhr (Sonderauswertung) (Mobility Report, 3). Online verfügbar unter https://innamo.ruhr/wp-content/uploads/2022/08/Report_03_Home-Office_030522-TL_final.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Li, Haojie; Zhang, Yingheng; Zhu, Manman; Ren, Gang (2021): Impacts of COVID-19 on the usage of public bicycle share in London. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 150, S. 140–155. DOI: 10.1016/j.tra.2021.06.010.

lok-report (2020): LOK Report - Corona: Bundesregierung empfiehlt Verzicht auf nicht notwendige Fahrten mit öffentlichen Beförderungsmitteln, Verbände protestieren. In: *LOK Report*, 17.11.2020. Online verfügbar unter <https://www.lok-report.de/news/deutschland/verkehr/item/21479-corona-bundesregierung-empfoehlt-verzicht-auf-nicht-notwendige-fahrten-mit-oefentlichen-befoerderungsmitteln-verbaende-protestieren.html>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Loorbach, Derk (2020): Transforming Climate Governance? Why Climate Governance Is Failing and What to Do About It. In: Katharina Hölscher und Niki Frantzeskaki (Hg.): *Transformative Climate Governance*. Cham: Springer International Publishing (Palgrave Studies in Environmental Transformation, Transition and Accountability), S. 431–445.

Lutz, Christian; Rollin, Philipp (2025): Neue Mobilitätsroutinen dank Deutschlandticket? In: *Internationales Verkehrswesen* 77 (1). DOI: 10.24053/IV-2025-0012.

Mallozzi, Piergiuseppe; Pelliccione, Patrizio; Knauss, Alessia; Berger, Christian; Mohammadiha, Nassar (2019): Autonomous Vehicles: State of the Art, Future Trends, and Challenges. In: Yanja Dajsuren und Mark van den Brand (Hg.): *Automotive Systems and Software Engineering*. Cham: Springer International Publishing, S. 347–367.

Marquez-Fernandez, Francisco J.; Bischoff, Joschka; Domingues-Olavarria, Gabriel; Alakula, Mats (2022): Assessment of Future EV Charging Infrastructure Scenarios for Long-Distance Transport in Sweden. In: *IEEE Trans. Transp. Electrification*. 8 (1), S. 615–626. DOI: 10.1109/tte.2021.3065144.

MATSim (2025): Using Eclipse. Online verfügbar unter <https://www.matsim.org/docs/devguide/eclipse/>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

MATSim (2026): MATSim is an open-source framework for large-scale agent-based transport simulations. Online verfügbar unter <https://matsim.org/>, zuletzt geprüft am 16.03.2026.

MATSim Emissions Contribution (2025): matsim-org / matsim-lib. Online verfügbar unter <https://github.com/matsim-org/matsim-lib/tree/master/contribs/emissions>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Matthies, Ellen; Klöckner, Christian A.; Preißner, Claudia L. (2006): Applying a Modified Moral Decision Making Model to Change Habitual Car Use: How Can Commitment be Effective? In: *Applied Psychology* 55 (1), S. 91–106. DOI: 10.1111/j.1464-0597.2006.00237.x.

Mayntz, Renate; Scharpf, Fritz W. (1995): Steuerung und Selbstorganisation in staatsnahen Sektoren. In: Renate Mayntz und Fritz W. Scharpf (Hg.): Gesellschaftliche Selbstregelung und politische Steuerung. Frankfurt a.M.: Campus Verlag, S. 9–38. Online verfügbar unter https://pure.mpg.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item_1235772, zuletzt geprüft am 17.01.2025.

Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; Randers, Jørgen; Behrens III, William, W. (1972): The limits to growth. ; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind: New York, Universe Books [1973].

Melville, Nigel P. (2010): Information Systems Innovation for Environmental Sustainability. In: *MIS Quarterly* 34 (1), S. 1. DOI: 10.2307/20721412.

Methodenberatung Universität Zürich (2024): Einfaktorielle Varianzanalyse (ohne Messwiederholung). Online verfügbar unter https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/evarianz.html, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Mierlo, Barbara; Beers, Pieter J. (2020): Understanding and governing learning in sustainability transitions: A review. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 34, S. 255–269. DOI: 10.1016/j.eist.2018.08.002.

mobil.nrw (2023): Einfach Bundweit Mobil. Mit dem Deutschlandticket für 49 Euro pro Monat. Online verfügbar unter <https://www.mobil.nrw/deutschlandticket.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

Mobility Data Space (2021): Mobility Data Space. Souveränes Mobilitätsdaten-Ökosystem. Online verfügbar unter <https://www.mobility-data-space.de/>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

- Moore, Julia E.; Mascarenhas, Alekhya; Bain, Julie; Straus, Sharon E. (2017): Developing a comprehensive definition of sustainability. In: *Implementation science* : IS 12 (1), S. 110. DOI: 10.1186/s13012-017-0637-1.
- Mouratidis, Kostas; Papagiannakis, Apostolos (2021): COVID-19, internet, and mobility: The rise of telework, telehealth, e-learning, and e-shopping. In: *Sustainable Cities and Society* 74, S. 103182. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103182.
- NASA GISS (2018): Datei:Global Temperature Anomaly.svg. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Global_Temperature_Anomaly.svg, zuletzt geprüft am 28.7.2026.
- Nascimento, Leonardo; Kuramochi, Takeshi; Höhne, Niklas (2022): The G20 emission projections to 2030 improved since the Paris Agreement, but only slightly. In: *Mitigation and adaptation strategies for global change* 27 (6), S. 39. DOI: 10.1007/s11027-022-10018-5.
- Nassehi, Armin (2019): *Muster. Theorie der digitalen Gesellschaft*. München: C.H. Beck.
- Neckel, Sighard (2018a): Die Gesellschaft der Nachhaltigkeit. In: Sighard Neckel, Natalia Besedovsky, Moritz Boddenberg, Martina Hasenfratz, Sarah Miriam Pritz und Timo Wiegand (Hg.): *Die Gesellschaft der Nachhaltigkeit*. Bielefeld, Germany: transcript Verlag (Sozialtheorie), S. 11–24.
- Neckel, Sighard (2018b): Ökologische Distinktion. In: Martina Hasenfratz, Sarah Miriam Pritz, Timo Wiegand, Natalia Besedovsky und Moritz Boddenberg (Hg.): *Die Gesellschaft der Nachhaltigkeit*: transcript Verlag, S. 59–76.
- Negri, Marta; Bieker, Georg (2025): Life-cycle greenhouse gas emissions from passenger cars in the European Union. A 2025 update and key factors to consider. ICCT. Online verfügbar unter theicct.org/wp-content/uploads/2025/07/ID-392---Life-cycle-GHG_report_final.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Nelson, Richard R.; Winter, Sidney G. (1977): In search of useful theory of innovation. In: *Research Policy* 6 (1), S. 36–76. DOI: 10.1016/0048-7333(77)90029-4.
- NEMO (2020): Startseite - NEMO (archivierte Version vom 15.08.2020). Online verfügbar unter <https://web.archive.org/web/20200815170305/https://www.nemo-ruhr.de/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- NeMo.bil (2023): NeMo.bil – Mobilitätssystem für den bedarfsgerechten Personen- und Gütertransport. In: *nemo-bil*, 17.02.2023. Online verfügbar unter <https://nemo-bil.de/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

nextbike (2025): Bike-Sharing in über 300 Städten weltweit. Online verfügbar unter <https://www.nextbike.de/de/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Nikitas, Alexandros; Tsigdinos, Stefanos; Karolemeas, Christos; Kourmpa, Efthymia; Bakogiannis, Efthimios (2021): Cycling in the Era of COVID-19: Lessons Learnt and Best Practice Policy Recommendations for a More Bike-Centric Future. In: *Sustainability* 13 (9), S. 4620. DOI: 10.3390/su13094620.

Nobis, Claudia; Kuhnimhof, Tobias (2018): Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-NR. 70.904/15). Bonn, Berlin. Online verfügbar unter www.mobilität-in-deutschland.de, zuletzt geprüft am 29.04.2025.

NRW.Mobidrom GmbH (2026): Unser Herzstück: Die MOBIDROM Datenplattform. Online verfügbar unter <https://www.mobidrom.nrw/produkte/mobidrom-datenplattform>, zuletzt geprüft am 08.01.2026.

Okereke, Chukwumerije; Coventry, Philip (2016): Climate justice and the international regime. Before, during, and after Paris. In: *WIREs Clim Change* 7 (6), S. 834–851. DOI: 10.1002/wcc.419.

Okubo, Toshihiro (2022): Telework in the spread of COVID-19. In: *Information Economics and Policy* 60, S. 100987. DOI: 10.1016/j.infoeco-pol.2022.100987.

OpenStreetMap (2026): OpenStreetMap. Online verfügbar unter <https://www.openstreetmap.org/>, zuletzt geprüft am 19.01.2026.

OSM Wiki (2025): Overpass API/Overpass QL. Online verfügbar unter https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API/Overpass_QL, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Ossewaarde, Marinus; Ossewaarde-Lowtoo, Roshnee (2020): The EU's Green Deal: A Third Alternative to Green Growth and Degrowth? In: *Sustainability* 12 (23), S. 9825. DOI: 10.3390/su12239825.

Ostermann, Moritz; Behm, Jonathan; Marten, Thorsten; Tröster, Thomas; Weyer, Johannes; Cepera, Kay; Adelt, Fabian (2023): Individualization of Public Transport – Integration of Technical and Social Dimensions of Sustainable Mobility. In: Heike Proff (Hg.): *Towards the New Normal in Mobility*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 427–446.

Otto, Daniel (2017): Entstehung und Ausdifferenzierung des UN-Klimaregimes. In: Georg Simonis (Hg.): *Handbuch Globale Klimapolitik*. 1. Aufl. Stuttgart, Deutschland: UTB GmbH, S. 260–300.

Pfister, Thomas (2021): Energiekulturenforschung als Soziologie der Nachhaltigkeit. In: SONA (Hg.): Soziologie der Nachhaltigkeit. Bielefeld: transcript Verlag, S. 231–244.

Philipp, Marlon; Adelt, Fabian (2018): Optionen der politischen Regulierung des Personenverkehrs. Ergebnisse einer Simulationsstudie. Hg. v. Hartmut Hirsch-Kreinsen, Johannes Weyer und Maximiliane Wilkesmann. TU Dortmund (Soziologische Arbeitspapiere, 53). Online verfügbar unter <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/36806/1/AP-53-Philipp-Adelt.pdf>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Philipp, Marlon; Adelt, Fabian; Weyer, Johannes (2021): Mikromobilität und Mobility-as-a-Service – Eine Simulation möglicher Beiträge zur Mobilitätswende. In: Heike Proff (Hg.): Making Connected Mobility Work. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 359–369.

Philipp, Marlon; Adelt, Fabian; Hoffmann, Sebastian; Weyer, Johannes; Konrad, Julius (2026): MATSim Ruhrgebietsmodell und Codeplan der Befragung, TUDOData. DOI: 10.17877/TUDODATA-2026-MTMQOE2W

Pressestelle SenUVK (2020): Mobilität in Berlin: Die Verkehrswende gewinnt an Fahrt - Berlin.de. Unter Mitarbeit von Jan Thomsen. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin. Online verfügbar unter <https://www.berlin.de/sen/uvk/presse/pressemitteilungen/2020/pressemitteilung.906382.php>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Pritz, Sarah Miriam (2018): Subjektivierung von Nachhaltigkeit. In: Martina Hasenfratz, Sarah Miriam Pritz, Timo Wiegand, Natalia Besedovsky und Moritz Boddenberg (Hg.): Die Gesellschaft der Nachhaltigkeit: transcript Verlag, S. 77–100.

Purvis, Ben; Mao, Yong; Robinson, Darren (2019): Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. In: *Sustain Sci* 14 (3), S. 681–695. DOI: 10.1007/s11625-018-0627-5.

PwC (2021): E-Bus-Radar. Wie elektrisch ist öffentliche Nahverkehr. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/branchen-und-markte/oeffentlicher-sektor/e-bus-radar-2021.pdf>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Querfurth, Sarah von; Herbes, Carsten (2024): From Sustainable Consumption to Climate Activism. Sustainability Careers of Young People in Germany. Online verfügbar unter <https://www.researchsquare.com/article/rs-4349852/v1>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Rakow; billyc; gabRpt; daivicudo; Ksauzz; Janekdererste et al. (2025a): matsim-python-tools. Online verfügbar unter <https://github.com/matsim-vsp/matsim-python-tools>, zuletzt geprüft am 04.12.2025.

- Rakow, Christian; Kreuschner, Moritz; Nagel, Kai (2025b): Advancing the MATSim Open Berlin Scenario: Improvements in transport scenario generation and calibration methods. In: *Transportation Research Procedia* 86, S. 732–739. DOI: 10.1016/j.trpro.2025.04.091.
- Rammler, Stephan; Kollosche, Ingo; Breitzkreuz, Anna (2019): Mobilität für alle. Mobilitätsgerechtigkeit und regionale Transformation in Zeiten des Klimawandels! (Weiterdenken, 4). Online verfügbar unter <https://library.fes.de/pdf-files/akademie/15802.pdf>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Reck, Daniel J.; Martin, Henry; Axhausen, Kay W. (2022): Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 102, S. 103134. DOI: 10.1016/j.trd.2021.103134.
- Reckwitz, Andreas (2020): Das Ende der Illusionen. Politik, Ökonomie und Kultur in der Spätmoderne. 4. Auflage, Originalausgabe. Berlin: Suhrkamp (edition suhrkamp, 2735).
- Regionalverband Ruhr (2021): Soll-Fahrplandaten VRR - Open Data Portal der Metropole Ruhr, 2021. Online verfügbar unter <https://opendata.ruhr/dataset/soll-fahrplandaten-vrr>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Rehmann, Jakob; Nagel, Kai (2026): Econometric Accessibility of Pooled Demand-Responsive Transport in MATSim: Assessing Equity Impacts in Rural Germany. Online verfügbar unter https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=6083304, zuletzt geprüft am 09.02.2026.
- Ripple, William J.; Wolf, Christopher; Newsome, Thomas M.; Barnard, Phoebe; Moomaw, William R. (2019): World Scientists’ Warning of a Climate Emergency. In: *BioScience*, Artikel biz088. DOI: 10.1093/biosci/biz088.
- Ripple, William J.; Wolf, Christopher; Newsome, Thomas M.; Gregg, Jillian W.; Lenton, Timothy M.; Palomo, Ignacio et al. (2021): World Scientists’ Warning of a Climate Emergency 2021. In: *BioScience*, Artikel biab079. DOI: 10.1093/biosci/biab079.
- Robra, Ben; Pazaitis, Alex; Latoufis, Kostas (2021): Counter-Hegemonic Decision Premises in Commons-Based Peer Production: A Degrowth Case Study. In: *tripleC* 19 (2), S. 343–370. DOI: 10.31269/triplec.v19i2.1264.
- Rodier, Caroline; Chai, Huajun (2022): Simulating the Effects of Shared Automated Vehicles and Benefits to Low-Income Communities in Los Angeles. Online verfügbar unter <https://escholarship.org/uc/item/1jr721k4>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

- Roos, Michael; Lewalder, Florian (2021): Das Mobilitätssystem des Ruhrgebiets im Lock-In. In: Heike Proff (Hg.): Making Connected Mobility Work. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 343–358.
- Roos, Michael; Siegmann, Marvin (2022): Wie das autonome Fahren die Verkehrswende unterstützt oder gefährdet. In: Heike Proff (Hg.): Transforming Mobility – What Next? Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 797–812.
- Roose, Jochen (2010): Der endlose Streit um die Atomenergie. Konfliktsoziologische Untersuchung einer dauerhaften Auseinandersetzung. In: Peter H. Feindt und Thomas Saretzki (Hg.): Umwelt- und Technikkonflikte. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 79–103.
- Rosa, Hartmut (2014): Beschleunigung. Die Veränderung der Zeitstrukturen in der Moderne. Berlin: Suhrkamp Verlag.
- RUB (2021): Hochschulstatistik. Online verfügbar unter <https://einrichtungen.ruhr-uni-bochum.de/de/hochschulstatistik>, zuletzt geprüft am 13.06.2021; Daten inzwischen nicht mehr verfügbar.
- RVR (2018): Pendlerströme 2018. Online verfügbar unter https://www.rvr.ruhr/fileadmin/user_upload/01_RVR_Home/03_Daten_Digitales/Regionalstatistik/Erwerbstaetige/Pendlerstroeme_2018_.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- RVR (2024): ÖPNV-Verkehrsverbund. Online verfügbar unter <https://oepnv.geportal.ruhr/?#290551@6.97422/51.53524r0@EPSG:25832>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Sachs, Jeffrey D.; Schmidt-Traub, Guido; Mazzucato, Mariana; Messner, Dirk; Nakicenovic, Nebojsa; Rockström, Johan (2019): Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. In: *Nature Sustainability* 2 (9), S. 805–814. DOI: 10.1038/s41893-019-0352-9.
- Salomon, Ilan (1986): Telecommunications and travel relationships: a review. In: *Transportation Research Part A: General* 20 (3), S. 223–238. DOI: 10.1016/0191-2607(86)90096-8.
- Sandberg, Maria; Klockars, Kristian; Wilén, Kristoffer (2019): Green growth or degrowth? Assessing the normative justifications for environmental sustainability and economic growth through critical social theory. In: *Journal of Cleaner Production* 206, S. 133–141. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.175.
- Scheiner, Joachim; Holz-Rau, Christian (2007): Travel mode choice: affected by objective or subjective determinants? In: *Transportation* 34 (4), S. 487–511. DOI: 10.1007/s11116-007-9112-1.

Schneider, Robert J. (2013): Theory of routine mode choice decisions: An operational framework to increase sustainable transportation. In: *Transport Policy* 25, S. 128–137. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.10.007.

Schneidewind, Uwe (2018): Die große Transformation. Eine Einführung in die Kunst gesellschaftlichen Wandels. Unter Mitarbeit von Manfred Fischedick, Stefan Lechtenböhrer, Christa Liedtke und Stefan Thomas. Originalausgabe. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch (Forum für Verantwortung, 70259).

Schönharting, Jörg (2002): Ausdruck individueller Mobilität: Zur Zukunft des Verkehrs im Ruhrgebiet. (Umwelt Ruhr – Vitalität einer Region). Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:464-20190220-102817-0>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Schreyer, Jasmin (2021): Soloselbstständige Erwerbsarbeit in der Plattformökonomie. Am Beispiel eines selbstverwalteten Fahrradkurierunternehmens. In: Birgit Blättel-Mink (Hg.): Gesellschaft unter Spannung. Verhandlungen des 40. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie 2020 (40), S. 1–11. Online verfügbar unter https://publikationen.sozilogie.de/index.php/kongressband_2020/article/view/1435, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Schubert, Cornelius (2016): Soziale Innovationen. In: Werner Rammert, Arnold Windeler, Hubert Knoblauch und Michael Hutter (Hg.): Innovationsgesellschaft heute. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 403–426.

Shibayama, Takeru; Sandholzer, Fabian; Laa, Barbara; Brezina, Tadej (2021): Impact of COVID-19 lockdown on commuting. 70-93 Pages / *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol. 21 No. 1 (2021). DOI: 10.18757/ejtir.2021.21.1.5135.

Sikora, Alicja (2021): European Green Deal – legal and financial challenges of the climate change. In: *ERA Forum* 21 (4), S. 681–697. DOI: 10.1007/s12027-020-00637-3.

Simonis, Georg (2017): Klimawandel. Einführung in das transdisziplinäre Forschungsfeld. In: Georg Simonis (Hg.): Handbuch Globale Klimapolitik. 1. Aufl. Stuttgart, Deutschland: UTB GmbH, S. 36–85.

SimWrapper (2026): SimWrapper. Transport simulation data visualizer. Online verfügbar unter <https://simwrapper.app/>, zuletzt geprüft am 10.02.2026.

SINUS-Institut (2019): Fahrrad-Monitor Deutschland 2019. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. Online verfügbar unter https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrradmonitor-2019-ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

- SOKO Institut (2024): Fragen. Antworten. Wissen. Online verfügbar unter <http://www.soko-institut.de/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Sommer, Bernd (2024): Transformationstheorien und Ökologie. In: Marco Sonnberger, Alena Bleicher und Matthias Groß (Hg.): Handbuch Umweltsoziologie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 159–173.
- Sommer, Bernd; Schad, Miriam (2022): Sozial-ökologische Transformationskonflikte. Konturen eines Forschungsfeldes. In: *ZfP* 69 (4), S. 451–468. DOI: 10.5771/0044-3360-2022-4-451.
- SONA (Hg.) (2021a): Soziologie der Nachhaltigkeit. Bielefeld: transcript Verlag.
- SONA (2021b): Zur Einleitung: Kernaspekte einer Soziologie der Nachhaltigkeit. In: SONA (Hg.): Soziologie der Nachhaltigkeit. Bielefeld: transcript Verlag, S. 1–31.
- Souris, Antonios; Stecker, Christian; Jungjohann, Arne (2023): Tempolimit, Bußgelder und Verkehrswende: Parteipolitik und Blockademacht im Bundesrat. In: Detlef Sack, Holger Straßheim und Karsten Zimmermann (Hg.): Renaissance der Verkehrspolitik. Politik- und mobilitätswissenschaftliche Perspektiven. 1. Auflage 2022. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer VS, S. 49–75.
- Staab, Philipp (2022): Anpassung. Leitmotiv der nächsten Gesellschaft. Originalausgabe. Berlin: Suhrkamp Verlag (edition suhrkamp, 2779).
- Stadtwerke Neuss (2021): nextTicket (archivierte Version vom 05.08.2021). die neue Ticket-Generation im VRR. Online verfügbar unter <https://www.nextticket.de/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Stafford-Smith, Mark; Griggs, David; Gaffney, Owen; Ullah, Farooq; Reyers, Belinda; Kanie, Norichika et al. (2017): Integration: the key to implementing the Sustainable Development Goals. In: *Sustainability Science* 12 (6), S. 911–919. DOI: 10.1007/s11625-016-0383-3.
- Stark, Kerstin; Schuppan, Julia; Kehlbacher, Ariane; Jarass, Julia; Gebhardt, Laura (2021): Urban Mobility, Working Culture and Administration During the COVID-19 Crisis: Adjustments for a Resilient City. In: Pierre Filion (Hg.): Policy and Planning. Global Reflections on Covid-19 and Urban Inequalities. 4. Aufl., S. 159–167.
- Statistisches Bundesamt (2023a): Experimentelle Statistiken - Mobilitätsindikatoren mit Mobilfunkdaten. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Service/EXSTAT/Datensaetze/mobilitaetsindikatoren-mobilfunkdaten.html>, zuletzt geprüft am 23.06.2021.

Statistisches Bundesamt (2023b): Frauenanteile nach akademischer Laufbahn. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Hochschulen/Tabellen/frauenanteile-akademischelaufbahn.html#fussnote-3-111540>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Statistisches Bundesamt (2023c): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2022. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Nachhaltigkeitsindikatoren/Publikationen/_publikationen-innen-nachhaltigkeit-indikatorenbericht.html, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Stehr, Nico (2022): Wissenskapitalismus. 1. Auflage 2022. Weilerswist: Velbrück.

Steiner, Viktor; Cludius, Johanna (2010): Ökosteuer hat zu geringerer Umweltbelastung des Verkehrs beigetragen. In: *DIW Wochenbericht* 77 (13/14), S. 2–7. Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/10419/151937>.

Stott, Peter (2016): How climate change affects extreme weather events. Research can increasingly determine the contribution of climate change to extreme events such as droughts. In: *Science (New York, N.Y.)* 352 (6293), S. 1517–1518. DOI: 10.1126/science.aaf7271.

Su, Buda; Dong, Wenjie; Jiang, Tong; Kundzewicz, Zbigniew W. (2025): Further efforts in climate change adaptation and mitigation are indispensable. In: *Innovation (Cambridge (Mass.))* 6 (8), S. 100888. DOI: 10.1016/j.xinn.2025.100888.

tagesschau (2021a): Boomendes Geschäft, steigende Preise: Lieferprobleme im Fahrrad-Handel. In: *tagesschau.de*, 11.03.2021. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/fahrrad-e-bike-boom-101.html>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

tagesschau (2021b): Bericht des Gesundheitsministeriums: Maßnahmen auch für die vierte Welle. In: *tagesschau.de*, 03.08.2021. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/inland/gesundheitsministerium-schutz-corona-101.html>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

tagesschau (2025): Kommt das Aus für das Verbrenner-Aus? Pläne der EU-Kommission. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/ausland/eu-verbrenner-aus-100.html>, zuletzt geprüft am 12.12.2025.

team red (2026): SmartCity MobilityBooster. Ihr Werkzeugkasten für moderne Mobilität. Online verfügbar unter <https://www.team-red.net/scmb>, zuletzt geprüft am 27.08.2026.

Tranter, Paul (2012): Effective Speed: Cycling Because It's "Faster". In: John Pucher und Ralph Buehler (Hg.): *City Cycling*: The MIT Press.

TU Dortmund (2021): 2020. Zahlen Daten Fakten. Online verfügbar unter https://www.tu-dortmund.de/storages/tu_website/Dezernat_2/210623_ZahlenDatenFakten_2020_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

TU Dortmund (2024): Zahlen, Daten, Fakten. Online verfügbar unter https://www.tu-dortmund.de/storages/tu_website/Dezernat_2/ZDF_und_Kacheln/240903_ZahlenDatenFakten_2023_web.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

TU Dortmund (2025): Welcome to the website of the LiDO (Linux Cluster at the TU Dortmund) HPC computer family. Online verfügbar unter <https://lido.itmc.tu-dortmund.de/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Turner, Graham M. (2008): A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality. In: *Global Environmental Change* 18 (3), S. 397–411. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.05.001.

UDE (2021): Daten & Fakten (archivierte Version vom 14.06.2021). Online verfügbar unter <https://web.archive.org/web/20210614055906/https://www.uni-due.de/de/universitaet/ueberblick.php>, zuletzt geprüft am 14.06.2025.

Umweltbundesamt (2025a): Emissionen des Verkehrs. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Umweltbundesamt (2025b): Energieverbrauch und Kraftstoffe. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/endenergieverbrauch-energieeffizienz-des-verkehrs#verkehr-braucht-energie>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

United Nations (1987): Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Online verfügbar unter <https://www.are.admin.ch/are/de/home/medien-und-publikationen/publikationen/nachhaltige-entwicklung/brundtland-report.html>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

United Nations (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Online verfügbar unter <https://docs.un.org/en/A/RES/70/1>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

VeloCityRuhr (2020): Dortmund bekommt morgen seine erste Umweltspur – es ist unklar, ob sie überhaupt straßenverkehrsrechtlich Geltung entfaltet. Online verfügbar unter <https://velocityruhr.net/blog/2020/03/19/dortmund-erste-umweltspur/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Verkehrsrundschau (2026): Sanierungsstau im Schienennetz über 130 Milliarden Euro. Online verfügbar unter <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/transport-logistik/sanierungsstau-im-schienennetz-waechst-auf-bis-zu-136-mrd-euro-3780738>, zuletzt geprüft am 20.03.2026.

VRR (2025): Kundenzufriedenheit im VRR: DeutschlandTicket sorgt für Rekordwert beim Preis-Leistungs-Verhältnis. Ergebnisse des aktuellen NRW-Kundenbarometers. Online verfügbar unter <https://www.vrr.de/aktuelles/magazin/kundenzufriedenheit-im-vrr-deutschlandticket-sorgt-fuer-rekordwert-beim-preis-leistungs-verhaeltnis/>, zuletzt geprüft am 15.12.2025.

Walterscheid, Heike; Matoshi, Veton; Wiśniewiecka-Brückner, Katarzyna; Rothenhäusler, Klaus; Eckardt, Frank (2022): Computerlinguistik: Eine Fallstudie zu Corona anhand der Analyse lokaler und bundesweiter Diskurse in ausgewählten Medien. In: Peter Klimczak, Denis Newiak und Christer Petersen (Hg.): Corona und die anderen Wissenschaften. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (ars digitalis), S. 173–186.

Wanner, Matthias; Stelzer, Franziska (2019): Reallabore - Perspektiven für ein Forschungsformat im Aufwind. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/336923223_Reallabore_-_Perspektiven_fur_ein_Forschungsformat_im_Aufwind, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Warner, Benjamin P. (2019): Explaining political polarization in environmental governance using narrative analysis. In: *E&S* 24 (3). DOI: 10.5751/ES-10999-240304.

WBGU (2011): Hauptgutachten. Welt im Wandel Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation. Berlin. Online verfügbar unter https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2011/pdf/wbgu_jg2011.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Wendt, Björn (2021): Utopien, Dystopien und Soziologien der Nachhaltigkeit. Grundrisse eines Forschungsprogramms und Mehrebenenmodell. In: SONA (Hg.): Soziologie der Nachhaltigkeit. Bielefeld: transcript Verlag, S. 155–183.

Weyer, Johannes (2019): Die Echtzeitgesellschaft: Wie smarte Technik unser Leben steuert. Frankfurt am Main: Campus Verlag.

Weyer, Johannes (2022): Die Echtzeitgesellschaft. Theoretische und methodische Herausforderungen der Soziologie (Soziologische Arbeitspapiere, 61). Online verfügbar unter <https://eldorado.tu-dortmund.de/server/api/core/bitstreams/1121e0f5-dd40-479b-a8e0-e6922418e3ee/content>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

- Weyer, Johannes; Adelt, Fabian; Hoffmann, Sebastian (2015): Governance of complex systems: a multi-level model (Soziologische Arbeitspapiere, 42). Online verfügbar unter <https://eldorado.tu-dortmund.de/items/e1ea138a-4711-4585-b1ba-90cf8894a40d>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Weyer, Johannes; Adelt, Fabian; Hoffmann, Sebastian; Konrad, Julius; Philipp, Marlon (2020): Der Simulator SimCo. In: Heike Proff (Hg.): Neue Dimensionen der Mobilität. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 39–48.
- Weyer, Johannes; Adelt, Fabian; Philipp, Marlon (2023): Modeling sustainable mobility: Impact assessment of policy measures. In: *TATuP* 32 (1), S. 56–62. DOI: 10.14512/tatup.32.1.56.
- Weyer, Johannes; Hoffmann, Sebastian (2025): Bridging the attitude-behaviour gap: An explanation of travel mode choice using analytical sociology. In: *PloS one* 20 (10), e0330073. DOI: 10.1371/journal.pone.0330073.
- Weyer, Johannes; Philipp, Marlon; Adelt, Fabian (2022): Agent-Based Modelling of Infrastructure Systems. In: Jens Martin Gurr, Rolf Parr und Dennis Hardt (Hg.): Metropolitan Research. Bielefeld, Germany: transcript Verlag (Urban Studies), S. 155–166.
- Whitmarsh, Lorraine (2012): How useful is the Multi-Level Perspective for transport and sustainability research? In: *Journal of Transport Geography* 24, S. 483–487. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2012.01.022.
- WHO (2023): WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. Online verfügbar unter <https://covid19.who.int/>, zuletzt geprüft am 13.06.2025.
- Wolf, Christian (2022): Zugausfälle und Verspätungen: Verkehrsminister räumt Probleme ein. In: *wdr.de*, 24.11.2022. Online verfügbar unter <https://www1.wdr.de/nachrichten/landespolitik/bahnen-nrw-nahverkehr-100.html>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.
- Wolf, Sarah; Teitge, Jonas; Mielke, Jahel; Schütze, Franziska; Jaeger, Carlo (2021): The European Green Deal - More Than Climate Neutrality. In: *Inter economics* 56 (2), S. 99–107. DOI: 10.1007/s10272-021-0963-z.
- Woods, Ruth; Masthoff, Judith (2017): A comparison of car driving, public transport and cycling experiences in three European cities. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 103, S. 211–222. DOI: 10.1016/j.tra.2017.06.002.
- Wörner, Johann-Dietrich; M. Schmidt, Christoph (Hg.) (2022): Sicherheit, Resilienz und Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter <https://www.aca-tech.de/publikation/sicherheit-resilienz-und-nachhaltigkeit/>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Wrede, Insa (2023): RS1: Radschnellweg im Schneckentempo. Hg. v. Deutsche Welle. Online verfügbar unter <https://www.dw.com/de/rs1-radschnellweg-im-schneckentempo/a-61201953>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Ziemke, D.; Kaddoura, I.; Agarwal, A. (2019a): Entwicklung eines regionalen, agentenbasierten Verkehrssimulationsmodells zur Analyse von Mobilitätsszenarien für die Region Ruhr. In: Heike Proff (Hg.): *Mobilität in Zeiten der Veränderung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 383–410.

Ziemke, Dominik; Kaddoura, Ihab; Nagel, Kai (2019b): The MATSim Open Berlin Scenario: A multimodal agent-based transport simulation scenario based on synthetic demand modeling and open data. In: *Procedia Computer Science* 151, S. 870–877. DOI: 10.1016/j.procs.2019.04.120.

Ziemke, Dominik; Nagel, Kai; Bhat, Chandra (2015): Integrating CEMDAP and MATSIM to Increase the Transferability of Transport Demand Models. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2493 (1), S. 117–125. DOI: 10.3141/2493-13.

Zilles, Julia; Drewing, Emily; Janik, Julia (2022): Zurück in der Zukunft? Demokratie und Nachhaltigkeit zwischen fortgesetzter Gegenwart, Katastrophe und konkreter Utopie. Sieben Thesen zum Fazit. In: Julia Zilles, Emily Drewing und Julia Janik (Hg.): *Umkämpfte Zukunft*: transcript Verlag, S. 405–423.

Zimmer, Annette; Obuch, Katharina (2022): Governance und Soziale Innovationen: Eine Frage der Perspektive?: Zukunft gestalten mit Sozialen Innovationen. Neue Herausforderungen für Politik, Gesellschaft und Wirtschaft. Hg. v. Jürgen Howaldt, Miriam Kreibich, Jürgen Streicher und Carolin Thiem. Frankfurt u.a.: Campus Frankfurt / New York, S. 225–240.

Zimmermann, Friedrich M. (2016): Was ist Nachhaltigkeit – eine Perspektivenfrage? In: Friedrich M. Zimmermann (Hg.): *Nachhaltigkeit wofür?* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–24.

Zwick, Felix; Axhausen, Kay W. (2020): Analysis of ridepooling strategies with MATSim. IVT, ETH Zürich. Online verfügbar unter <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/420103>, zuletzt geprüft am 05.12.2025.

Zwick, Felix; Kuehnel, Nico; Moeckel, Rolf; Axhausen, Kay W. (2021): Agent-based simulation of city-wide autonomous ride-pooling and the impact on traffic noise. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 90, S. 102673. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102673.

9 Anhang

twostep 5c 5%						
Bericht						
Mittelwert						
Two-Step-Clusternummer	schnell	kostengünstig	umweltfreundlich	komfortabel	sicher	zuverlässig
Ausreißercluster	8,65	6,73	5,77	6,12	7,54	0,96
1	6,21	5,62	7,63	3,13	7,98	8,54
2	6,98	6,76	6,87	5,45	6,46	6,19
3	8,79	7,11	3,73	4,95	5,64	8,87
4	8,57	3,16	3,82	7,46	7,60	8,53
5	8,56	7,70	8,01	2,49	3,56	8,60
Insgesamt	7,80	6,25	5,93	4,69	6,24	8,07
kmeans 5						
Bericht						
Mittelwert						
Clusternummer des Falls	schnell	kostengünstig	umweltfreundlich	komfortabel	sicher	zuverlässig
1	6,87	5,45	7,88	2,67	8,06	8,19
2	6,73	6,47	6,66	5,79	6,41	6,98
3	8,69	8,24	2,60	4,60	6,20	8,59
4	8,94	3,44	3,87	7,15	6,82	8,73
5	8,47	7,77	7,80	2,76	3,53	8,48
Insgesamt	7,80	6,25	5,93	4,69	6,24	8,07
ward 5c						
Bericht						
Mittelwert						
Ward Method	schnell	kostengünstig	umweltfreundlich	komfortabel	sicher	zuverlässig
1	8,92	4,23	6,55	3,92	6,16	9,18
2	6,60	6,49	7,09	4,41	6,90	7,45
3	8,82	7,77	2,20	5,17	6,47	8,46
4	8,94	3,00	4,05	7,89	6,62	8,44
5	8,76	8,27	6,94	3,40	3,48	8,34
Insgesamt	7,80	6,25	5,93	4,69	6,24	8,07

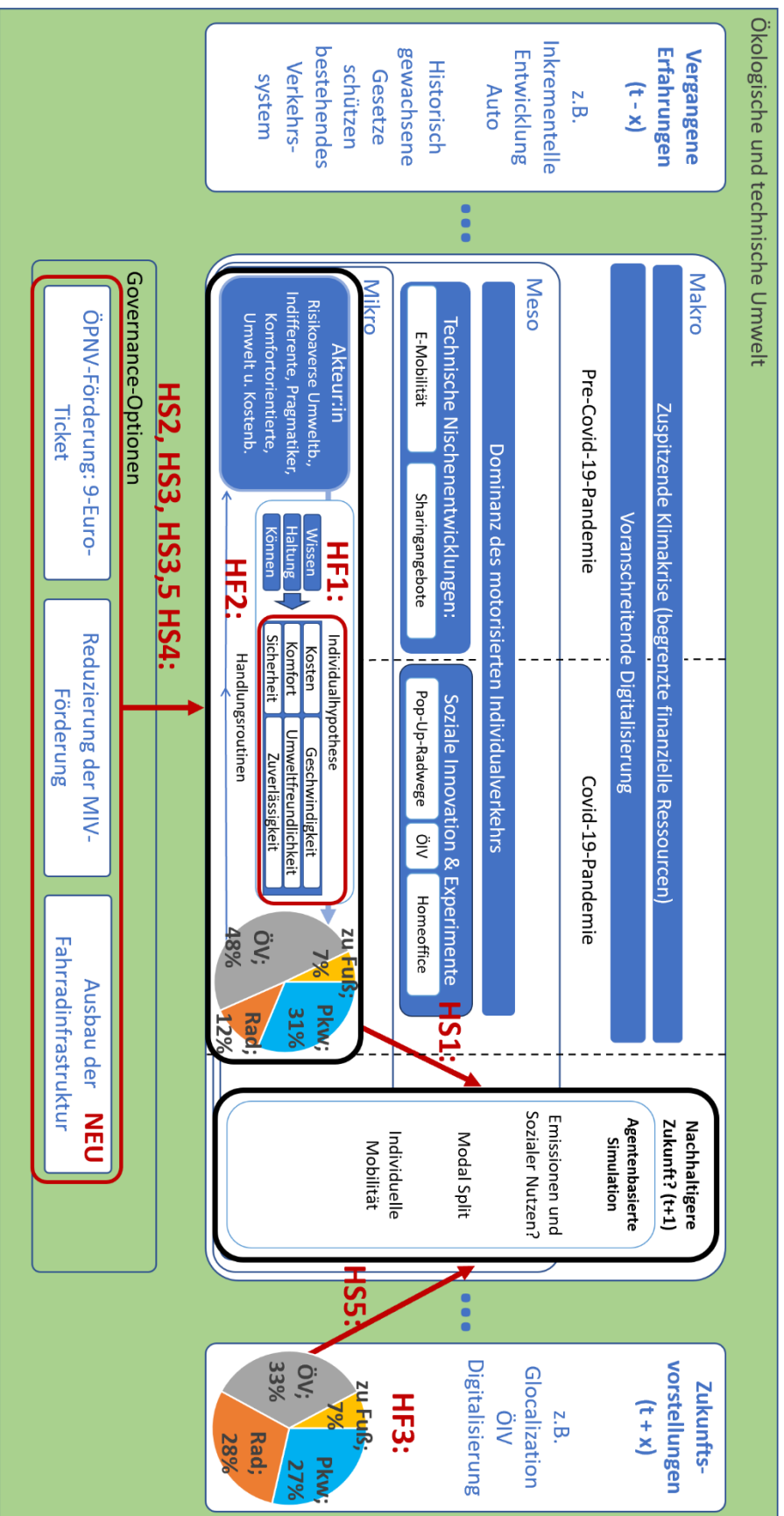
Abbildung 85: Ergebnisse der unterschiedlichen Clusteralgorithmen (Ward, K-means, Two-Step) im Vergleich

Aktuelles Hauptverkehrsmittel	Risikoaverse Umweltbewusste	Indifferente	Pragmatische	Komfortorientierte	Umwelt- und Kostenbewusste
Pkw (Verbrenner)	19,08 %	27,59 %	30,38 %	63,50 %	11,22 %
Pkw (E, Hybrid, H2)	1,11 %	0,67 %	0,46 %	1,50 %	0,82 %
Motorrad, Roller	0,21 %	0,24 %	0,46 %	0,75 %	0,33 %
Fahrrad	16,03 %	11,52 %	6,51 %	3,75 %	16,13 %
E-Bike/E-Scooter	2,01 %	1,70 %	0,51 %	0,58 %	1,31 %
ÖV	52,19 %	50,21 %	53,64 %	25,83 %	60,03 %
Zu Fuß	8,54 %	7,03 %	6,97 %	3,67 %	8,27 %
Sharing, On-Demand	0,56 %	0,73 %	0,61 %	0,33 %	1,47 %
Sonstiges	0,28 %	0,30 %	0,46 %	0,08 %	0,41 %
Wunsch-Hauptverkehrsmittel					
Pkw (Verbrenner)	3,66 %	7,27 %	14,08 %	23,27 %	1,76 %
Pkw (E, Hybrid, H2)	13,04 %	16,13 %	19,11 %	27,71 %	10,55 %
Motorrad, Roller	0,60 %	0,66 %	1,93 %	1,32 %	0,80 %
Rad	27,48 %	22,03 %	13,52 %	8,47 %	28,70 %
E-Bike/E-Scooter	9,45 %	8,98 %	6,00 %	7,98 %	8,07 %
ÖV	35,46 %	34,09 %	35,26 %	22,94 %	41,09 %
Zu Fuß	7,58 %	8,04 %	7,98 %	6,09 %	6,71 %
Sharing, On-Demand	2,33 %	2,37 %	1,73 %	1,81 %	2,08 %
Sonstiges	0,40 %	0,44 %	0,41 %	0,41 %	0,24 %

Tabelle 51: Hauptverkehrsmittel (berechnet aus Wegekette) nach Agentengruppe (derzeitig: Oben, ge-wünscht: Unten). Rot markiert alle Verkehrsmittel, die in der grafischen Darstellung auf-grund geringer Werte entfallen

Universität	Art*	Anzahl**	20 %-Skalierung	Pläne Fragebogen	Faktor	IMR-Pläne in Plandatei	Abweichung
Technische Universität Dortmund	F&L	2.912	582	330	1,76	549	94 %
	Stud	33.440	6688	1179	5,67	6281	94 %
	T&V	1.435	287	255	1,13	271	94 %
Ruhruniversität Bochum	F&L	3.670	734	356	2,06	692	94 %
	Stud	42.599	8.520	979	8,70	8102	95 %
	T&V	2.491	498	266	1,87	480	96 %
Universität Duisburg-Essen	F&L	4324	865	269	3,21	823	95 %
	Stud	42.925	8585	1048	8,19	8195	95 %
	T&V	1.557	311	234	1,33	290	93 %
Gesamt:		135353	27070	4916		25683	
Tatsächlicher Skalierungs-Faktor:						19 %	

Tabelle 52: Vergleich zwischen geplanter und tatsächlicher Skalierung der IMR-Population der MATSim-Simulation



HS2, HS3, HS3,5 HS4:

Governance-Optionen

ÖPNV-Förderung: 9-Euro-Ticket

Reduzierung der MIV-Förderung

Ausbau der Fahrradinfrastruktur **NEU**

Abbildung 86: Hypothesensynthese basierend auf SMNT der Mobilität, erweitert um Hypothese S3,5 und Ergebnisse der Befragung – größere Darstellung

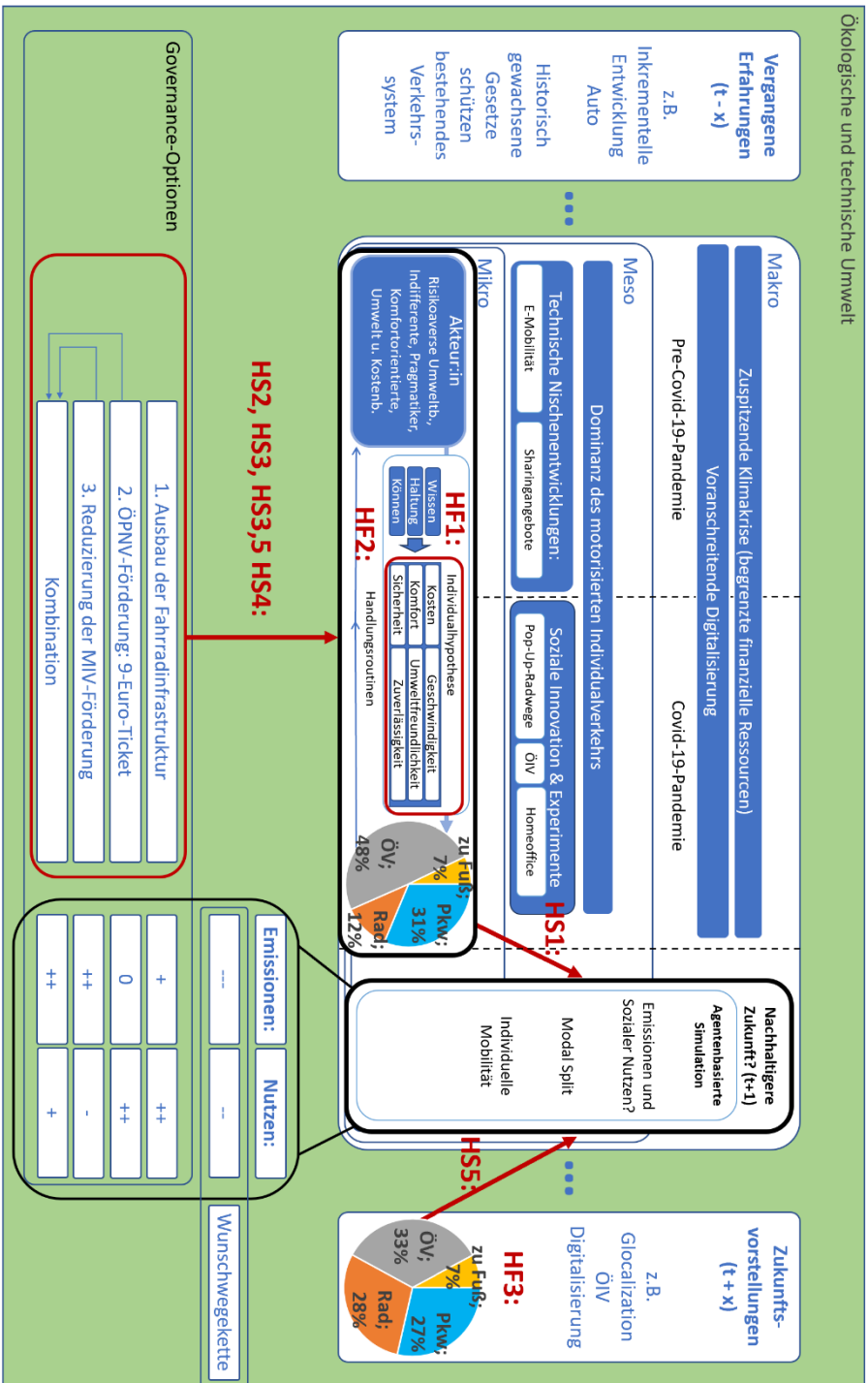


Abbildung 87: Vollständiges SMNT der Mobilität mit den Ergebnissen der Befragung und der Simulation – Größere Darstellung