

MOBITAT 2050

Nachhaltiges Pendeln für die Region der Zukunft

Modellierung der Szenarien – Ergebnisbericht

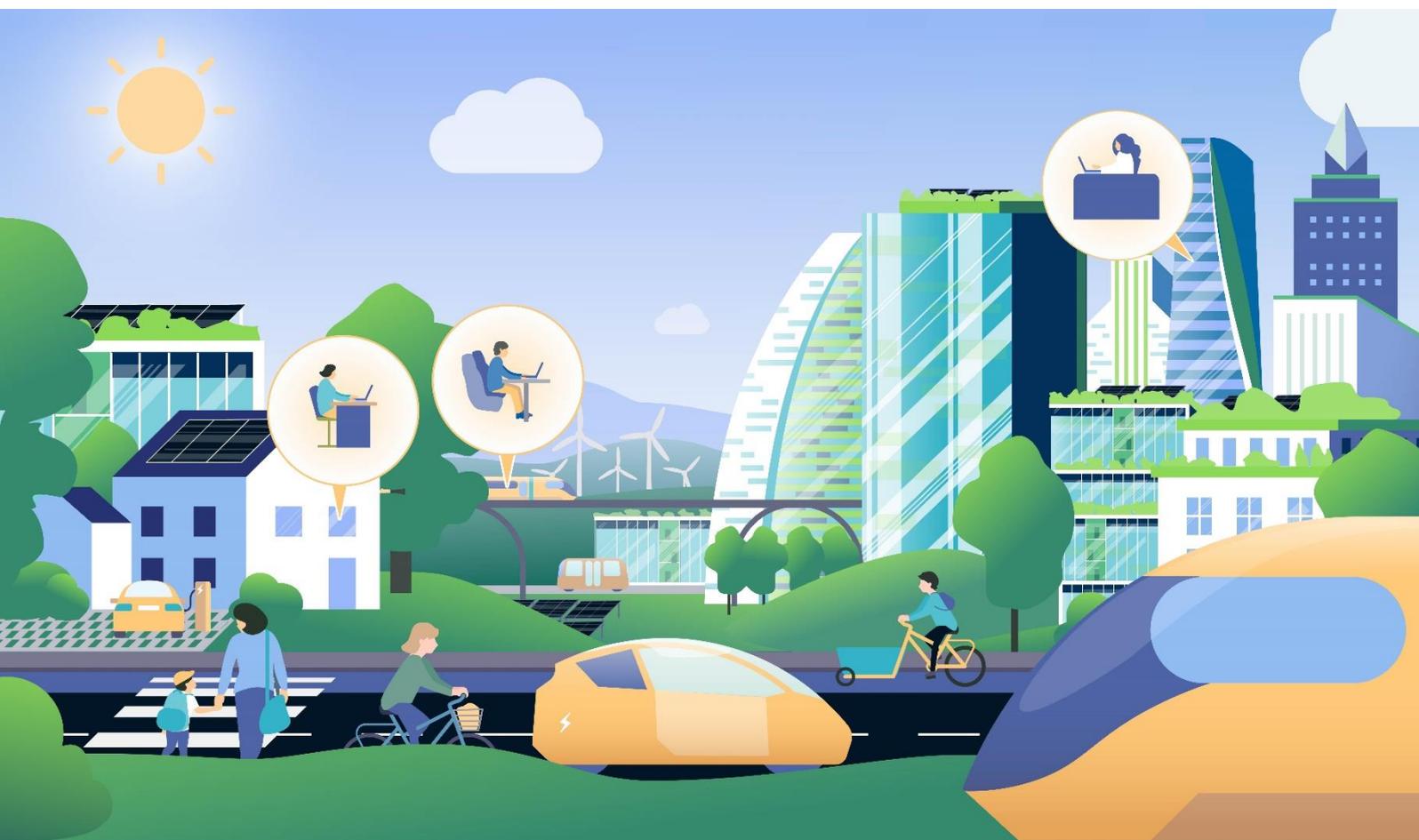
MOBITAT 2050

Simon Hein

Johannes Nießen

Tobias Kuhnimhof

Nina Thomsen



Modellierung der Szenarien – Ergebnisbericht

MOBITAT 2050 | Simon Hein | Johannes Nießen | Nina Thomsen | Tobias Kuhnimhof

MOBITAT 2050

Nachhaltiges Pendeln für die Region der Zukunft

ein Projekt mit Beteiligung von:



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
(DLR)
Institut für Verkehrsforschung



Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
Aachen (RWTH)
Lehrstuhl und Institut für Stadtbaugesundheitswesen und
Stadtverkehr



ConPolicy GmbH – Institut für Verbraucherpolitik



ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



ivm GmbH – Integriertes Verkehrs- und
Mobilitätsmanagement Region Frankfurt Rhein-Main

Förderung

Das Forschungsprojekt „MOBITAT 2050 – Wohnen und Arbeiten 2050. Nachhaltiges Pendeln für die Region der Zukunft“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „MobilitätsZukunftsLabor2050“ des Förderschwerpunkts Sozial-ökologische Forschung gefördert (Förderkennzeichen: 01UV2087A).



Zitierhinweis:

Hein, Simon; Nießen, Johannes; Thomsen, Nina; Kuhnimhof, Tobias (2024): Modellierung der Szenarien - Ergebnisbericht. Bericht im Rahmen des Projekts „MOBITAT 2050 – Wohnen und Arbeiten 2050. Nachhaltiges Pendeln für die Region der Zukunft“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Inhaltsverzeichnis

Förderung	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung	7
2 Ergebnisse	8
2.1 Modellierte Szenarien	8
2.2 Referenzszenario und Auswahl vorgestellter Szenarien	10
2.3 Ergebnisdarstellung	10
2.3.1 Szenariovergleich BAA – AAA	13
2.3.2 Szenariovergleich ABA – AAA	17
2.3.3 Szenariovergleich AAB – AAA	21
2.3.4 Szenariovergleich BBB – AAA	26
3 Diskussion	31
Literaturverzeichnis	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellerte Szenarien	9
Abbildung 2: Untersuchungsraum nach RegioStaR7-Gemeindetypen	11
Abbildung 3: Unterschied der Einwohnerzahlen in den Szenarien nach RegioStaR7 im Vergleich zu Referenzszenario AAA	12
Abbildung 4: Unterschied des Wohnflächenkonsums in den Szenarien nach RegioStaR7 im Vergleich zu Referenzszenario AAA	12
Abbildung 5: Unterschied der Wohnkosten in den Szenarien nach RegioStaR7 im Vergleich zu Referenzszenario AAA	13
Abbildung 6: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau	14
Abbildung 7: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (absolute Abweichungen, BAA minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen	15
Abbildung 8: Vergleich der Szenarien AAA und BAA im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum	16
Abbildung 9: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum	16
Abbildung 10: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im Pendelverkehr nach RegioStaR7	16
Abbildung 11: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau	18
Abbildung 12: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (absolute Abweichungen, ABA minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen	19
Abbildung 13: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum	20
Abbildung 14: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im Pendelverkehr nach RegioStaR7	21
Abbildung 15: Vergleich der Szenarien AAA und ABA im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum	21
Abbildung 16: Vergleich der Szenarien AAA und AAB (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau	23
Abbildung 17: Vergleich der Szenarien AAA und AAB (absolute Abweichungen, AAB minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen	24
Abbildung 18: Vergleich der Szenarien AAA und AAB im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum	25
Abbildung 19: Vergleich der Szenarien AAA und AAB (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum	26
Abbildung 20: Vergleich der Szenarien AAA und AAB im Hinblick auf die Veränderung der mittleren Pendeldistanz nach RegioStaR7	26
Abbildung 21: Vergleich der Szenarien AAA und BBB (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau	27
Abbildung 22: Vergleich der Szenarien AAA und BBB (absolute Abweichungen, BBB minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen	28

Abbildung 23: Vergleich der Szenarien AAA und BBB (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum 29

Abbildung 24: Vergleich der Szenarien AAA und BBB im Hinblick auf die Veränderung der mittleren Pendeldistanz nach RegioStaR7 30

Abbildung 25: Vergleich der Szenarien AAA und BBB im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum 30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Projektionen und Maßnahmenbündel 8

1 Einleitung

MOBITAT2050 untersuchte wie die Pendelmobilität in der Region der Zukunft nachhaltig gestaltet werden kann. Jeden Tag legen Millionen von Menschen Wege zwischen ihrem Zuhause und ihrem Arbeitsort zurück. Da das Pendeln unmittelbar durch vorgelagerte Entscheidungen zur Wohnstandort- und Arbeitsplatzwahl bestimmt wird, basiert das Projekt auf einer integrierten Betrachtung der Bereiche Mobilität, Wohnen und Arbeiten. Im Rahmen des Projekts wurde am Beispiel der Metropolregion FrankfurtRheinMain ein auf andere Regionen übertragbares Instrumentarium aufgebaut, bestehend aus Szenarien, Modellierung der Standortwahl und des Verkehrs und einer Nachhaltigkeitsbewertung. Eine umfangreiche Empirie, in Form von zwei Online-Erhebungen und Fokusgruppen ergänzte das Projekt.

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der Modellierungsarbeiten vor. Den Modellierungsarbeiten war die Entwicklung von Szenarien für das 2050 vorangestellt, deren Erarbeitung im Szenarienbericht („Erarbeitung von Szenarien im Projekt MOBITAT 2050“) dokumentiert ist.

Dieses Dokument richtet sich an die interessierte Öffentlichkeit, Forschung, Praxis sowie politische Entscheidungsträger und -trägerinnen und soll in erster Linie Impulse liefern hinsichtlich der Frage: Wie können wir den Pendelverkehr in der Region der Zukunft möglichst nachhaltig organisieren? Handlungsempfehlungen, die sich aus den Modellierungsergebnissen ableiten, betreffen dabei vor allem die räumliche Ebene der gesamten Region und nicht einzelne Gemeinden.

Das Dokument ist wie folgt gegliedert. Zunächst erfolgt eine knappe Zusammenfassung der MOBITAT-Szenarien, an die sich die Ergebnisdarstellung anschließt. Kapitel 3 diskutiert die Ergebnisse abschließend, wobei Implikationen für Handlungsstrategien zur Organisation zukünftiger Pendelverkehre einen Fokus bilden.

2 Ergebnisse

2.1 Modellierete Szenarien

Ziel der Modellierungsarbeiten war die Bestimmung der Wirkungen von im Projekt entwickelten Szenarien. Diese Szenarien mit dem zeitlichen Horizont 2050, setzen sich jeweils aus einer Projektion zu den Einflussfeldern Siedlungsentwicklung sowie Entwicklung von Homeoffice und einem verkehrlichen Maßnahmenbündel zusammen. Die Projektionen stehen dabei für mögliche Entwicklungspfade innerhalb der Einflussfelder Siedlungsentwicklung und Entwicklung von Homeoffice. Für beide Einflussfelder wurden je zwei Projektionen erarbeitet. Die Maßnahmenbündel hingegen beziehen sich auf das Verkehrssystem. Sie stehen für verschiedene Strategien, Pendelverkehre nachhaltig zu gestalten. Auch hier wurden zwei verschiedene Maßnahmenbündel modelliert. Für die Interpretation der Ergebnisse ist folgendes wichtig: Die Szenarien sollen mögliche Zukünfte repräsentieren. Es sind keine Zielszenarien, die vorgeben, wie bestimmte verkehrs- und umweltpolitische Ziele zu erreichen sind.

Die Projektionen zur Siedlungsentwicklung unterscheiden sich inhaltlich im Hinblick auf ihr Wohnflächenangebot. Projektion A („Suffizienz durch Planung“) nimmt an, dass der Wohnungsneubau entsprechend der raumplanerischen Vorgaben überwiegend in Gemeinden des Verdichtungsraums mit hohen zentralörtlichen Funktionen sowie entlang der planerisch definierten Entwicklungsachsen mit guter ÖV-Anbindung geschehen wird. In Projektion B („Wohnwünsche“) hingegen entsteht mehr Wohnungsneubau in periphereren Gemeinden des ländlichen Raums abseits der Entwicklungsachsen. Dieser wird weniger verdichtet umgesetzt, weswegen das gesamte Wohnflächenangebot in der Projektion „Wohnwünsche“ größer ist.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Projektionen und Maßnahmenbündel

Einflussfeld	Ausprägung	Benennung	Kurzbeschreibung
Siedlungs- entwicklung	A	Suffizienz durch Planung	Wohnungsneubau überwiegend in Gemeinden mit hoher Zentralität, im Verdichtungsraum und an Entwicklungsachsen
	B	Wohnwünsche	Wohnungsneubau vermehrt auch in periphereren Gemeinden (im Vergleich zu Projektion A); dort auch weniger verdichtet
Entwicklung von Homeoffice	A	Post Covid	Homeoffice stagniert auf Post-Covid- Niveau (Erwerbstätige im Mittel 1,2 Tage pro Woche im Homeoffice)
	B	Zu Hause, wer kann	Alle Arbeiten, die von zu Hause verrichtet werden können, werden von zu Hause verrichtet (Erwerbstätige im Mittel 1,9 Tage pro Woche im Homeoffice)
Organisation des (Pendel-) Verkehrs	A	Verkehrsqualität entlang der Achsen	Verkehrsverlagerung vor allem in den Großstädten und Oberzentren
	B	Flächendeckende Verkehrswende	Verkehrsverlagerung flächendeckend; rigorose Pushmaßnahmen

Im Einflussfeld Homeoffice unterscheiden sich die Projektionen hinsichtlich der Anzahl an Tagen, an denen Erwerbstätigen durchschnittlich von zu Hause arbeiten. Projektion A („Post Covid“) repräsentiert einen Entwicklungspfad, in dem das Arbeiten von zu Hause auf einem Post-Covid-Niveau stagniert. Erwerbstätige sind darin im Mittel 1,2 Tage pro Woche im Homeoffice, wohingegen sie in Projektion B („Zu Hause, wer kann“) durchschnittlich 1,9 Tage in der Woche von zu Hause arbeiten. In Projektion A arbeiten zudem weniger Erwerbstätige von zu Hause als in Projektion B. Die räumliche Verteilung der Arbeitsplätze auf die Gemeinden sowie der Homeoffice-fähigen Arbeitsplätze sind in allen Szenarien gleich. Sie entsprechen den Verteilungen des Basisjahres 2017. Das Arbeitsplatzangebot wurde differenziert nach Branchen proportional zur Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben.

Im Einflussfeld Verkehr repräsentieren zwei Maßnahmenbündel jeweils unterschiedliche Strategien zur Organisation des Pendelverkehrs. Maßnahmenbündel A („Verkehrsqualität entlang der Achsen“) setzt auf eine Verbesserung des Verkehrsangebots, wo diese besonders notwendig ist; ÖV-Achsen sollen gestärkt, Stau im MIV soll vermieden werden. In Bezug auf die Verlagerung von (Pendel-)Verkehren setzt das Bündel auf Pull- sowie moderate Pushmaßnahmen. Das heißt, das Bündel enthält Maßnahmen, die den Umweltverband stärken (Pullmaßnahmen wie Verbesserungen des ÖV und der Fahrradinfrastruktur), sowie Maßnahmen, die das Fahren mit dem privaten PKW unattraktiver machen (Pushmaßnahmen wie bspw. eine City-Maut in Frankfurt am Main). Maßnahmenbündel B („Flächendeckende Verkehrswende“) enthält weitere Pushmaßnahmen (bspw. hohe Parkgebühren in Innenstädten). Das Verkehrsangebot des Umweltverbundes wird hier im gesamten Untersuchungsraum verbessert, der MIV sehr deutlich eingeschränkt. Maßnahmenbündel A bildet in gewissem Maße einen Ansatz ab, der den MIV im ländlichen Raum als dominierendes Verkehrsmittel anerkennt und dort nicht auf wesentliche Verkehrsverlagerungen hin zum Umweltverbund setzt. Maßnahmenbündel B zielt hingegen darauf ab, möglichst flächendeckend Pendelverkehre hin zum Umweltverbund zu verlagern. Tabelle 1 fasst die Projektionen und Maßnahmenbündel zusammen.

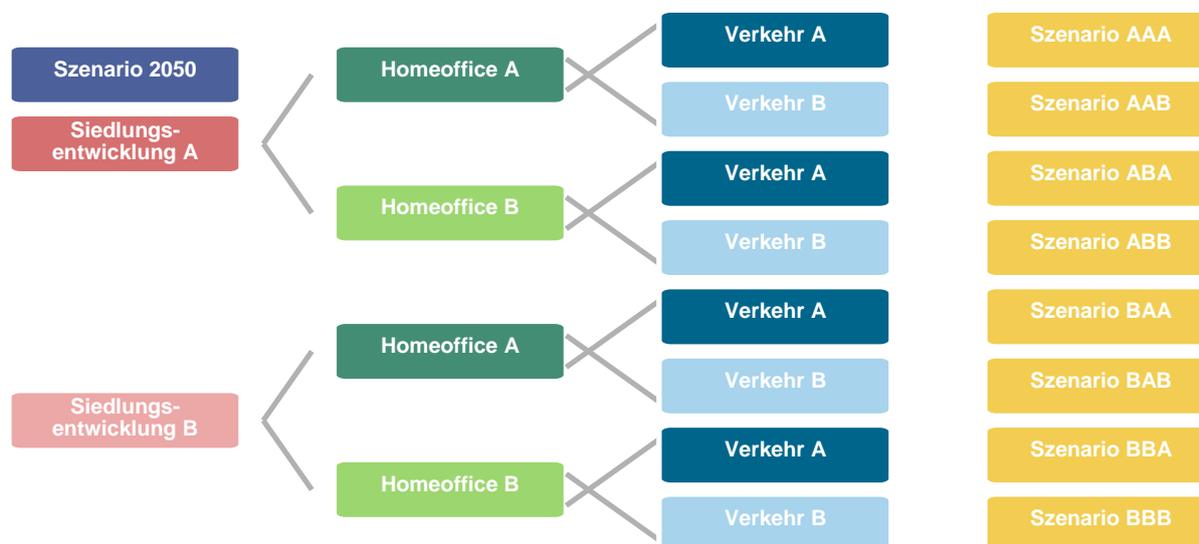


Abbildung 1: Modellierte Szenarien

Da sich ein Szenario aus jeweils einer Projektion zur Siedlungsentwicklung und zur Entwicklung von Homeoffice sowie einem Maßnahmenbündel zusammensetzt, ergeben sich acht mögliche Kombinationen und somit acht Szenarien (siehe Abbildung 1). Alle Szenarien wurden für das Projekt modelliert. Der Szenarienbericht („Erarbeitung von Szenarien im Projekt MOBITAT 2050“)

liefert detaillierte Informationen zu Projektionen, Maßnahmenbündeln und resultierenden Szenarien sowie über das Vorgehen bei deren Erstellung.

2.2 Referenzszenario und Auswahl vorgestellter Szenarien

Die nachfolgende Ergebnisdarstellung stellt weniger absolute Größen in den Vordergrund, sondern vergleicht die Szenarien miteinander. Neben den Projektionen und Maßnahmenbündeln liegen den Szenarien Daten und Annahmen über exogene Einflussfaktoren (bspw. Bevölkerungsentwicklung, Wohlstandsentwicklung, Entwicklung von Energiepreisen) auf Pendelverkehre zugrunde. Diese sind für alle Szenarien gleich. Deshalb können durch den Vergleich der Szenarien die Auswirkungen der Einflussfaktoren Siedlungsentwicklung, Entwicklung von Homeoffice und Organisation des Pendelverkehrs deutlich herausgearbeitet werden.

Als Referenzszenario dient dabei das Szenario AAA. Das heißt, die Ergebnisse der anderen Szenarien werden nachfolgend immer mit einer Zukunft verglichen, in der

- Wohnungsneubau überwiegend in Gemeinden mit hoher Zentralität, im Verdichtungsraum und an Entwicklungsachsen stattfindet,
- die Verbreitung von Homeoffice auf einem Post-Covid-Niveau stagniert (Erwerbstätige im Mittel 1,2 Tage pro Woche im Homeoffice) und
- eine Verkehrsverlagerung vor allem auf Großstädte und Oberzentren fokussiert, der MIV folglich in den eher ländlichen Bereichen dominierendes Verkehrsmittel bleibt.

Die nachfolgende Ergebnisdarstellung geht auf verschiedene Szenariovergleiche im Detail ein. Zunächst sollen die Vergleiche der Szenarien BAA, ABA und AAB bezogen auf das Referenzszenario AAA zeigen, wie sich die Modellergebnisse verändern, wenn sich die Eingangsgrößen jeweils nur in einem Einflussfeld verändern. Ein Vergleich des Szenarios BBB bezogen auf AAA zeigt abschließend, wie sich Änderungen in allen Einflussfeldern auf die Modellierung auswirken. Die vorgestellten Szenariovergleiche beziehen sich nicht zwingend auf die plausibelsten Handlungsstrategien (konsistente Handlungsstrategien diskutiert Kapitel 3). Sie sollen vielmehr Wirkungen der Einflussfelder einzeln sowie im Zusammenspiel beispielhaft verdeutlichen.

2.3 Ergebnisdarstellung

Die Module des Wohnungswahlmodells sowie des Verkehrsmodells VDRM liefern verschiedene Outputs, die die Basis der nachfolgenden Ausarbeitung bilden. Das Projektteam modellierte neben Wohnstandorten von Erwerbstätigen auch Bevölkerungszahlen, Wohnflächenkonsum und Wohnkostenniveaus sowie verschiedene verkehrliche Kenngrößen. Die Ergebnisse liegen auf Gemeindeebene und aggregiert für den gesamten Untersuchungsraum vor.

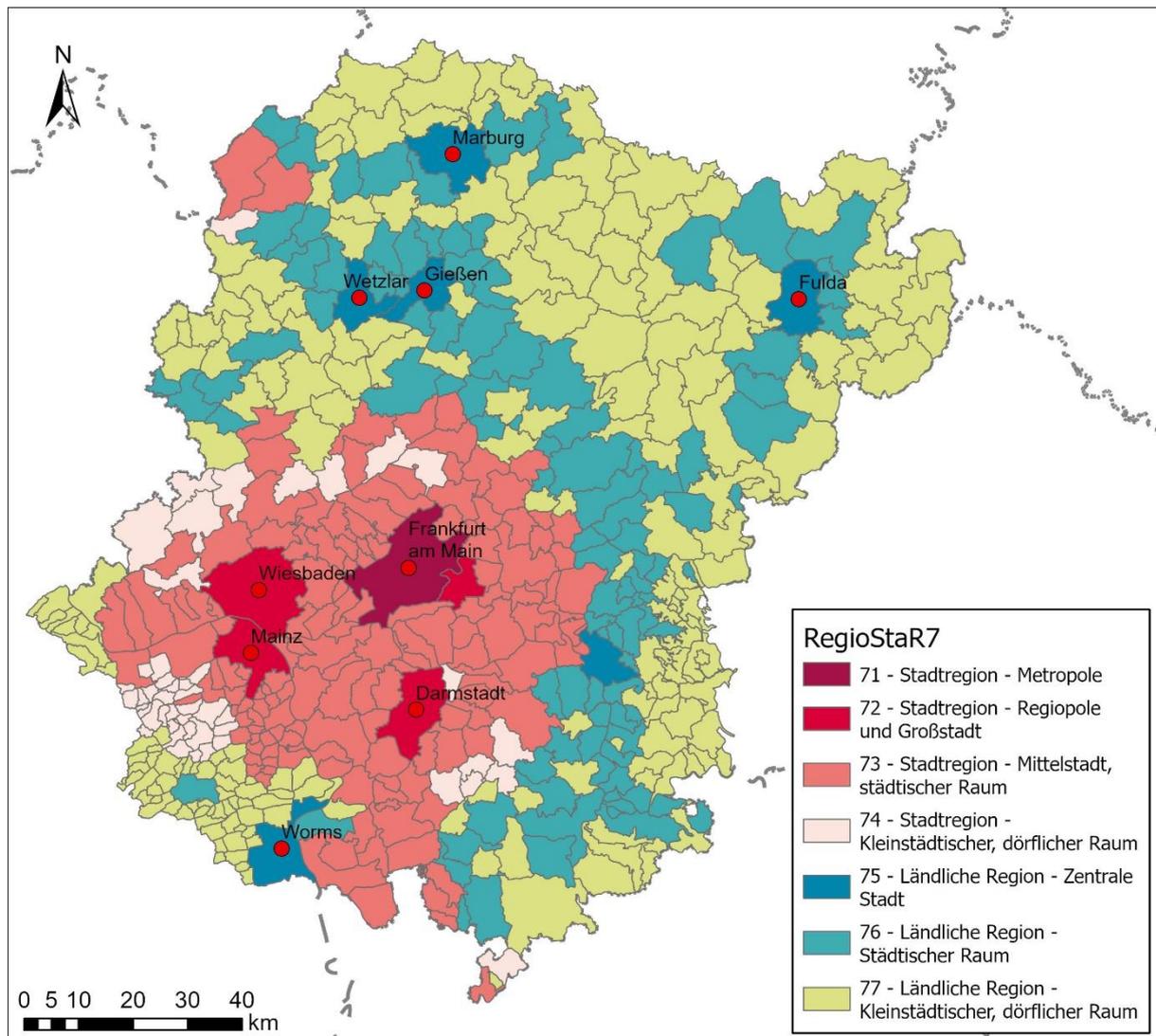


Abbildung 2: Untersuchungsraum nach RegioStaR7-Gemeindetypen

Die nachfolgenden Auswertungen zeigen zusätzlich Analysen nach regionalstatistischen Raumtypen (RegioStaR7). In dieser Typisierung stehen die Typen 71 bis 74 für Gemeinden, die in einer Stadtregion verortet sind; Gemeinden der Typen 75 bis 77 liegen in ländlichen Regionen. Zusätzlich zu dieser regionalen Differenzierung zwischen ländlichen Räumen und Stadtregionen unterscheidet die Typisierung kleinräumiger nach Verstärkerungsgrad der jeweiligen Gemeinde. Abbildung 2 stellt die Gemeinden des Untersuchungsraums nach RegioStaR7-Typen dar. Für eine Dokumentation zu Methodik und inhaltlicher Konzeption der RegioStaR-Typologie siehe BMVI (2018).

MOBITAT 2050 – Modellierung der Szenarien

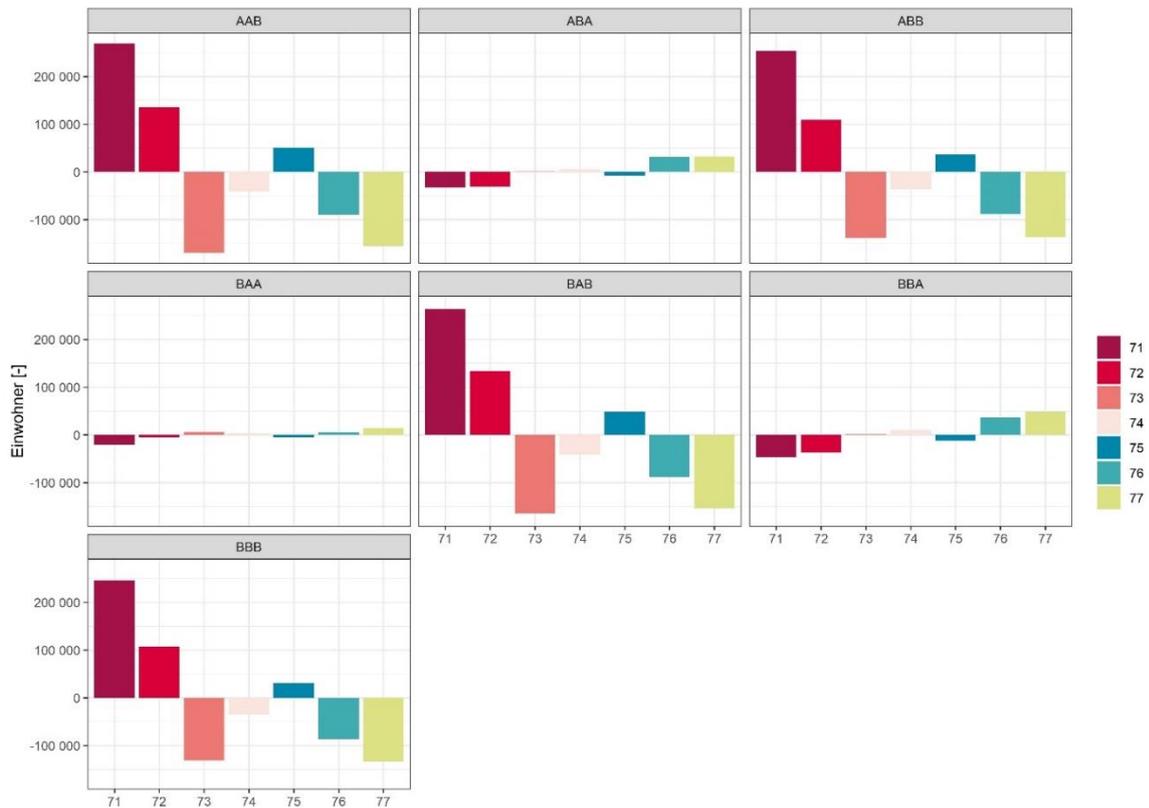


Abbildung 3: Unterschied der Einwohnerzahlen in den Szenarien nach RegioSta7 im Vergleich zu Referenzszenario AAA



Abbildung 4: Unterschied des Wohnflächenkonsums in den Szenarien nach RegioSta7 im Vergleich zu Referenzszenario AAA

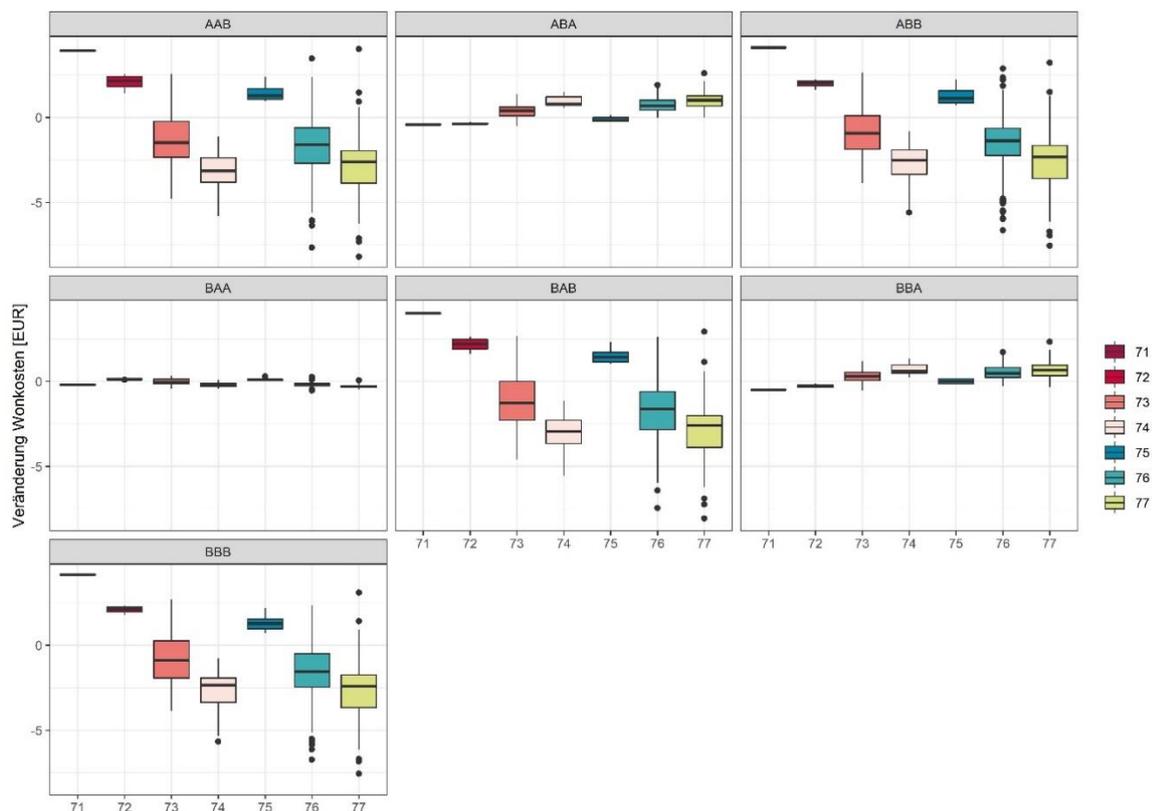


Abbildung 5: Unterschied der Wohnkosten in den Szenarien nach RegioStaR7 im Vergleich zu Referenzszenario AAA

Abbildungen 3 bis 5 zeigen Unterschiede der Einwohnerzahlen, des Wohnflächenkonsums und des Wohnkostenkonsums aller Szenarien bezogen auf die Referenzszenario AAA differenziert nach Raumtypen. Sie geben einen ersten Überblick, bevor im Anschluss die Ergebnisse ausgewählter Szenariovergleiche vertieft dargestellt werden.

2.3.1 Szenariovergleich BAA – AAA

Der Vergleich zwischen Referenzszenario AAA und Szenario BAA stellt die Auswirkungen einer Siedlungsentwicklung dar, die sich etwas weniger an den regionalplanerischen Vorgaben orientiert, um Wohnwünschen nach weniger verdichteten Wohnformen Raum zu geben. Die Szenarien AAA und BAA unterscheiden sich folglich nur im Wohnraumangebot. In Szenario BAA ist das Wohnraumangebot in den peripheren Gemeindetypen (RegioStaR7-Typen 73, 74, 76 und 77) größer, in den städtischeren Gemeinden (RegioStaR-Typen 71, 72 und 75) hingegen etwas geringer.

Bei Betrachtung der Modellierungsergebnisse fällt auf, dass sich infolge der unterschiedlichen Siedlungsentwicklungen nur geringe Abweichungen ergeben. Dies gilt für die Wohnstandortwahl sowie die Wohnkostenniveaus, die im Vergleich zu Szenario AAA vernachlässigbare Unterschiede aufweisen. Lediglich der absolute Wohnflächenkonsum weicht in einigen Gemeinden deutlicher von dem Referenzszenario ab (siehe Abbildung 6), was sich auch in den Auswertungen nach Gemeindetyp zeigt (siehe Abbildung 4). Die Abweichungen im Wohnflächenkonsum folgen dabei relativ genau den Veränderungen des Wohnraumangebots, das heißt: Wo mehr Wohnfläche entsteht, konsumieren die Menschen auch mehr Wohnfläche. Die absoluten Abweichungen des Wohnflächenkonsums bringen auch kleinere Auswirkungen auf die durchschnittliche Pro-Kopf-Wohnfläche nicht mit sich.

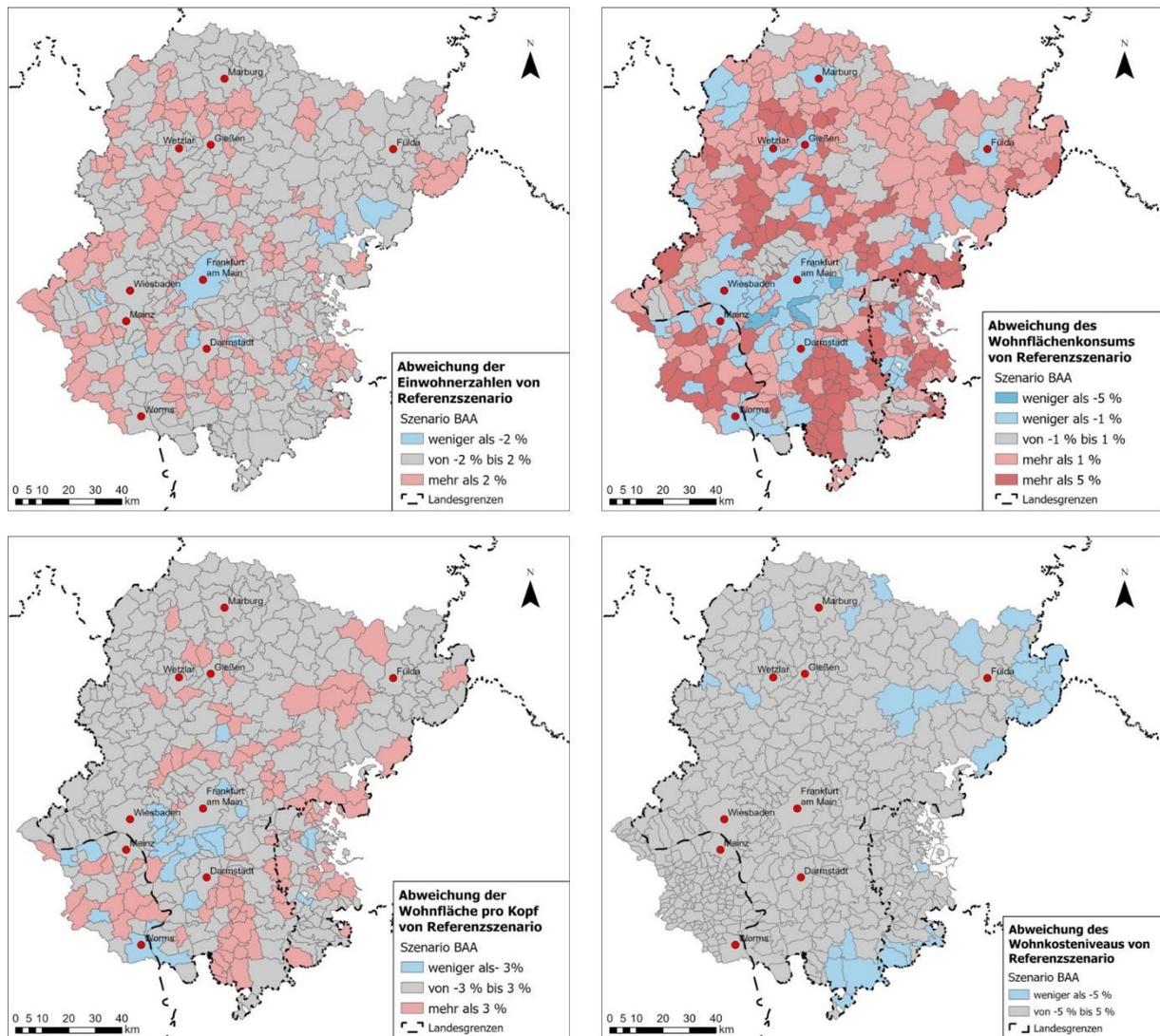


Abbildung 6: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau

Zwischen Szenario BAA und dem Referenzszenario AAA gibt es kaum Unterschiede bezüglich der Zahl an Pendelnden auf den einzelnen Relationen (siehe Abbildung 7). In Szenario BAA wohnen aufgrund des geringeren Wohnflächenangebots weniger Menschen in Oberzentren, wodurch zum einen die absolute Zahl an Binnenpendelnden in Oberzentren geringer ausfällt. Zum anderen pendeln im Frankfurter Ballungsraum aufgrund der räumlichen Nähe mehrerer Oberzentren weniger Menschen zwischen diesen und mehr Menschen zwischen Frankfurt am Main und kleineren Umlandgemeinden. Die geringen Unterschiede in der Wohnstandortwahl führen dazu, dass sich die durchschnittliche Pendelentfernung im Szenario BAA (15,9 km) im Vergleich zum Referenzszenario AAA (15,8 km) kaum ändert.

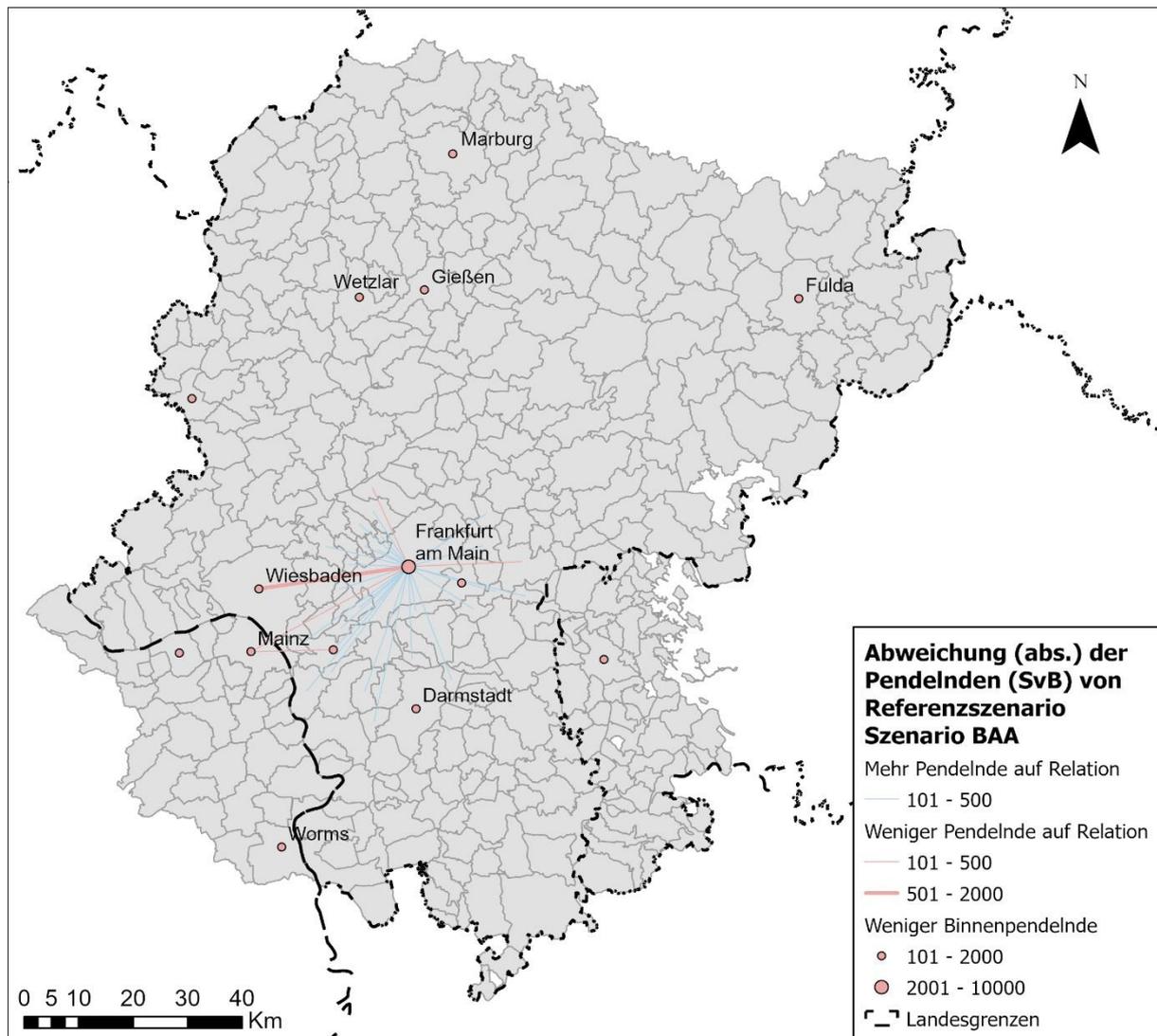


Abbildung 7: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (absolute Abweichungen, BAA minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen

Der Einfluss der Siedlungsentwicklung auf das Verkehrssystem ist ebenfalls gering. Abbildung 8 zeigt den wegebasierten Modal Split im Vergleich zum Referenzszenario AAA für alle Wege und Pendelwege. Es ist zu erkennen, dass sich keine Änderungen im Verkehrsmittelwahlverhalten bei Betrachtung des gesamten Untersuchungsraums ergeben. Der Pkw ist nach wie vor das dominante Verkehrsmittel, und der ÖPNV ist beim Pendeln beliebter als bei den übrigen Wegen.

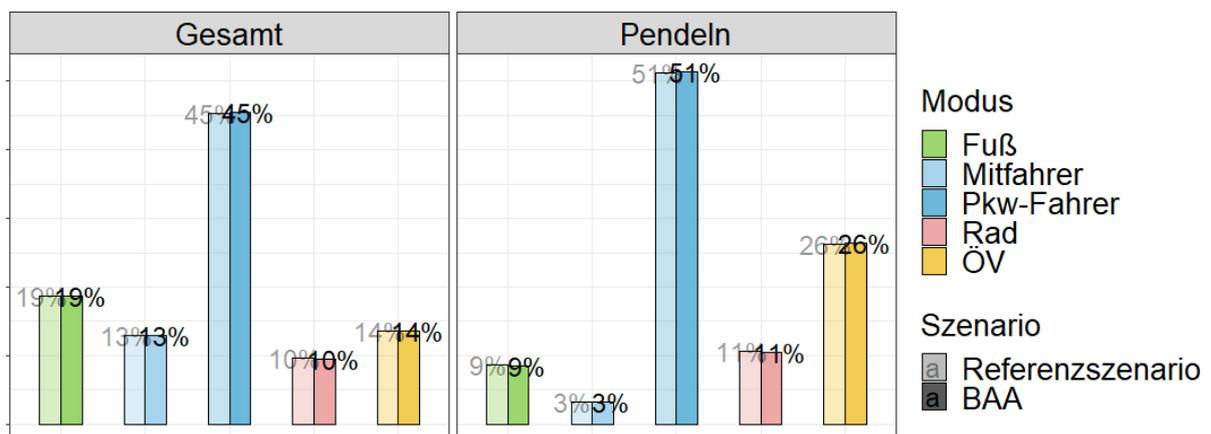


Abbildung 8: Vergleich der Szenarien AAA und BAA im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum

Auch die Verkehrsleistung ändert sich nicht merklich, Unterschiede sind für die einzelnen Verkehrsmittel im 1%-Bereich zu messen (siehe Abbildung 9). Insgesamt nimmt die Pendelverkehrsleistung analog zur mittleren Pendeldistanz um 1% zu, während sich bei der Gesamtverkehrsleistung kein Unterschied messen lässt.

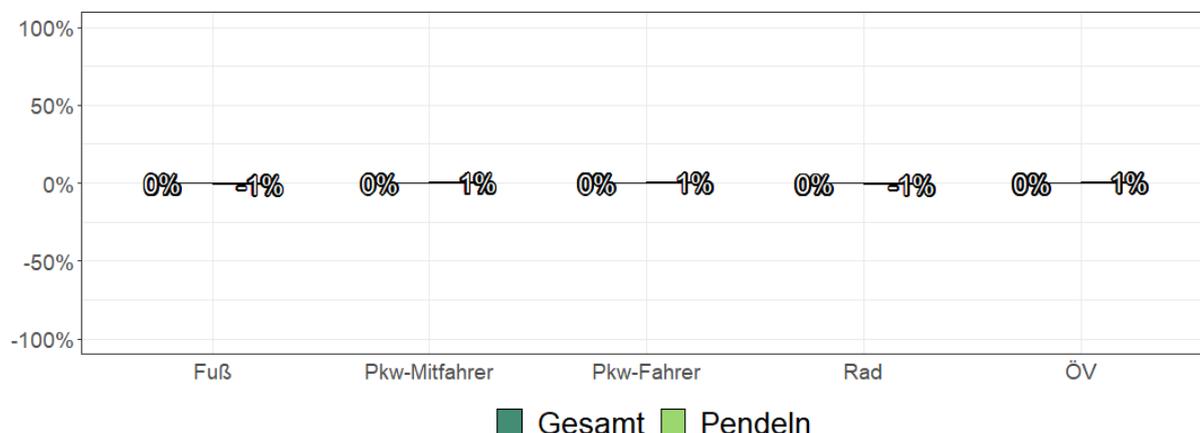


Abbildung 9: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum

Auch bei der Betrachtung der Verkehrsleistung im Pendelverkehr nach den verschiedenen Raumtypen ist wenig Veränderung festzustellen (siehe Abbildung 10). Tendenziell können sehr leichte Zunahmen in der Peripherie (Raumtyp 77) und im kleinstädtisch bis dörflichen Raum in Stadtregionen (Raumtyp 74) beobachtet werden.

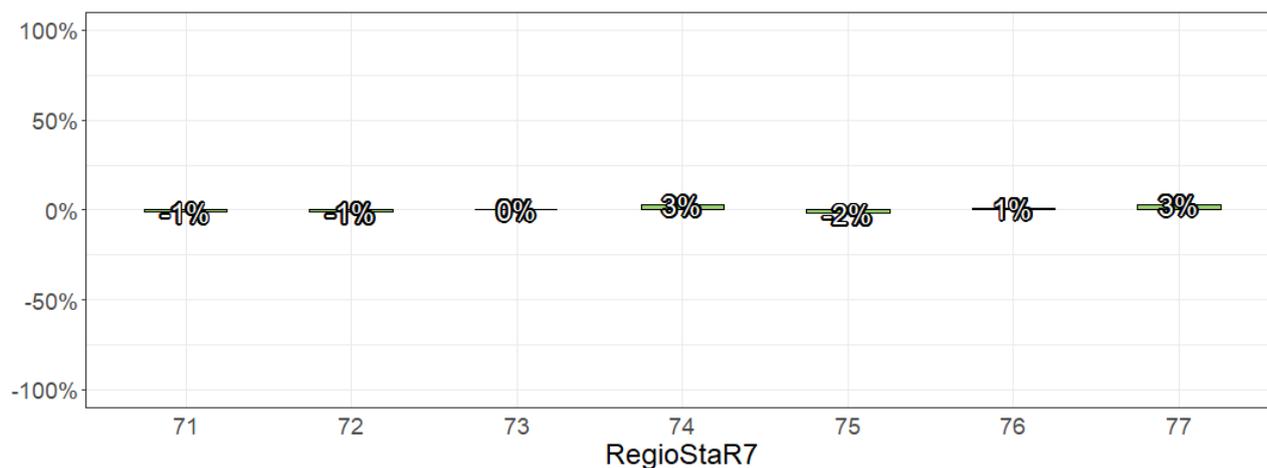


Abbildung 10: Vergleich der Szenarien AAA und BAA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im Pendelverkehr nach RegioStaR7

2.3.2 Szenariovergleich ABA – AAA

Szenario ABA unterscheidet sich von dem Referenzszenario AAA ausschließlich dadurch, dass die Erwerbstätigen in Szenario ABA deutlich öfter von zu Hause arbeiten. Der nachfolgende Vergleich des Szenarios ABA mit dem Referenzszenario beantwortet Fragen danach, wie unterschiedlich Wohnstandortwahl, Wohnflächenkonsum und Wohnkosten sich in diesen Szenarien entwickeln und inwiefern sich das Verkehrsverhalten unterscheidet. Im Szenario ABA wählen die Menschen im Vergleich zum Referenzszenario andere Wohnorte: Peripherere Gemeinden weisen im Ergebnis mehr Bevölkerung auf, die städtischeren Gemeinden weniger (siehe Abbildung 3). Die größten Abweichungen zeigen sich dabei in den dörflichen Gemeinden im ländlichen Raum, in denen mehr Menschen leben, wenn Homeoffice weiter verbreitet ist.

Mit Blick auf die Ergebnisse auf Gemeindeebene (siehe Abbildung 11) bestätigt sich dieses Bild. Es sind vor allem ländliche Gemeinden abseits der Großstädte in Mittel- und Osthessen, Rheinhessen-Nahe sowie am Bayerischen Untermain, in denen infolge einer weiteren Verbreitung von Homeoffice mehr Menschen wohnen. Insbesondere im verdichteten Bereich Südhessens leben hingegen weniger Menschen, wenn vermehrt im Homeoffice gearbeitet wird. Es sind auch weniger die direkten Umlandgemeinden der Großstädte, die eine größere Bevölkerung aufweisen, sondern eher Gemeinden mit größerer Distanz zu den Oberzentren.

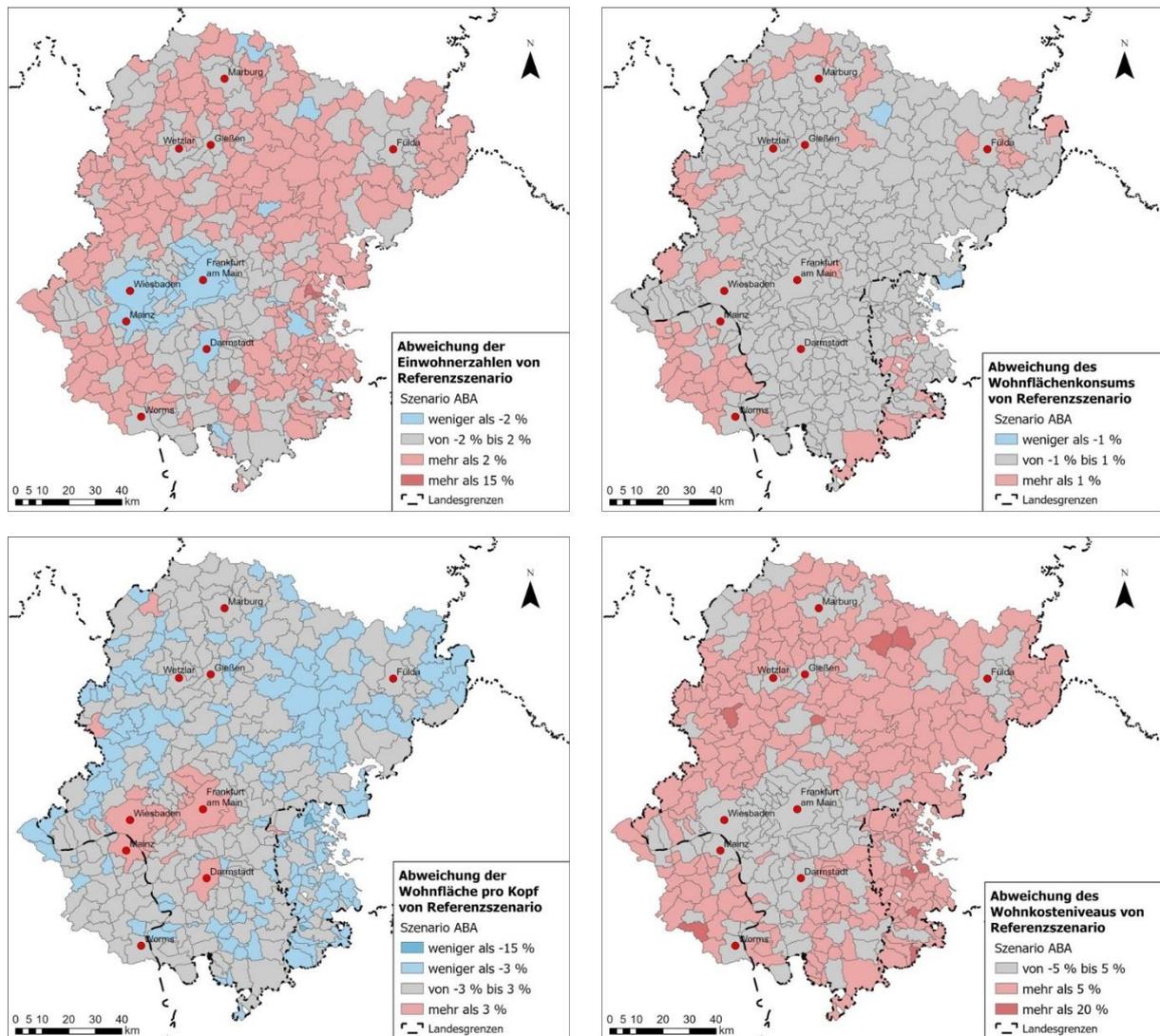


Abbildung 11: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau

Die veränderte Wohnstandortwahl sowie ein höherer Anteil an Erwerbstätigen im Homeoffice wirken sich auch auf den Wohnflächenkonsum innerhalb des Untersuchungsraums aus. So erhöht sich dieser in allen Gemeindekategorien, am deutlichsten in den Mittelstädten im Verdichtungsraum sowie den dörflicheren Gemeinden im ländlichen Raum. Da die Mittelstädte infolge einer weiteren Verbreitung von Homeoffice keine Bevölkerungsgewinne verzeichnen, muss der höhere Wohnflächenkonsum mit höheren Pro-Kopf-Wohnflächen einher gehen. Wenn in Haushalten Personen im Homeoffice arbeiten, weist die Modellierung diesen Haushalten größere Wohnflächen zu, da diese häufig über ein Arbeitszimmer verfügen. Der Anstieg des Wohnflächenkonsums in den Mittelstädten rund um den Frankfurter Ballungsraum – absolut und pro Kopf – ist darauf zurückzuführen, dass Erwerbstätige weniger oft pendeln, deswegen weitere Pendelwege zu eben diesen Mittelstädten in Kauf nehmen, in denen sie sich aufgrund niedrigeren Wohnkostenniveaus größere Wohnungen leisten können.

In den peripheren Gemeinden erhöht sich der absolute Wohnflächenkonsum ebenfalls, gleichzeitig wohnen dort aber auch mehr Menschen. In Summe ergibt sich über alle Gemeinden ein Wohnflächenmehrkonsum von ca. 1,4 Mio. qm, was bei Ansetzen der durchschnittlichen

Wohnungsgröße in Deutschland aus dem Jahr 2022 von 92 qm (destatis) ca. 15.000 zusätzlichen Wohnungen entspricht.

Wenn im Untersuchungsraum im Vergleich zum Referenzszenario mehr Erwerbstätige im Homeoffice arbeiten, hat dies auch einen Einfluss auf die Wohnkosten im Untersuchungsraum. Bei Betrachtung der aggregierten Auswertungen auf RegioStaR7-Ebene zeigt sich: Homeoffice hat kaum eine Wirkung auf die Wohnkosten in den Gemeinden mit hoher Zentralität; die peripheren Gemeinden, in denen mehr Menschen leben, hingegen sind im Ergebnis teurer (siehe Abbildung 5). Die Modellergebnisse deuten hier an, dass durch eine weitere Verbreitung von Homeoffice die Wohnungsmärkte ländlicher Gemeinden stabilisiert werden könnten.

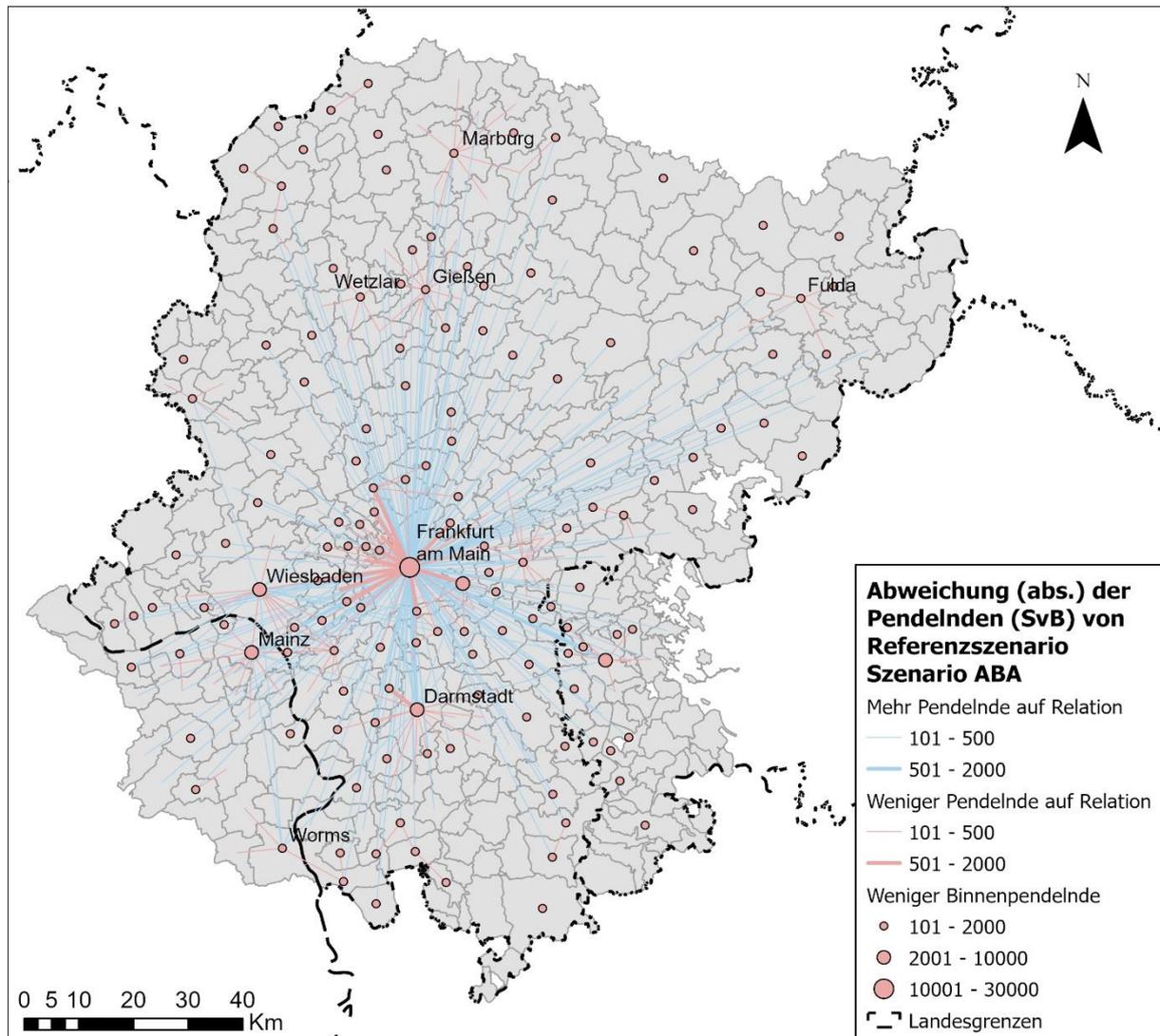


Abbildung 12: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (absolute Abweichungen, ABA minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen

Mit Blick auf die gemeindefeinen Modellierungsergebnisse (siehe Abbildung 11) bestätigt sich das Bild, dass eine weitere Verbreitung von Homeoffice kaum zu nennenswerten Veränderungen von Wohnkostenniveaus im Verdichtungsraum Südhessen führt. Die ländlicheren Gemeinden in Mittelhessen, Rheinhessen-Nahe und am Bayerischen Untermain weisen jedoch deutliche Wohnkostensteigerungen auf. Dies spricht dafür, dass die Gemeinden dort als Wohnstandorte an Attraktivität gewinnen, was sich auch in der Bevölkerungsentwicklung und in den nachfolgend beschriebenen Änderungen der Pendelrelationen widerspiegelt.

Arbeiten im Vergleich zum Referenzszenario mehr Menschen an mehr Tagen im Homeoffice fällt die Zahl an Binnenpendelnden vor allem in den Oberzentren geringer aus (siehe Abbildung 12). Stellenweise verzeichnen auch Relationen zwischen Oberzentren und direkten Nachbargemeinden geringere Zahlen an Pendelnden. Bei gleicher Verteilung der Arbeitsplätze – mit Fokus auf die Oberzentren – führt Homeoffice dazu, dass weitere Entfernungen zwischen Wohnort und Arbeitsplatz akzeptiert werden. Diejenigen, die in den Oberzentren arbeiten, verteilen sich folglich mehr auf kleinere, weiter entfernte Gemeinden, in denen die Wohnkosten vergleichsweise gering sind. Insbesondere Relationen nach Frankfurt am Main verzeichnen absolut mehr Pendelnde, bei teilweise weiten Entfernungen. Auffällig ist, dass auch Gemeinden in ländlichen Regionen weniger Binnenpendelnde aufweisen. Insgesamt wohnen im Szenario ABA in ländlichen Gemeinden dennoch mehr Menschen als im Referenzszenario. Das liegt daran, dass die Zahl derer steigt, die längere Pendelwege akzeptieren, in der Folge in ländlichen Gemeinden wohnen und in den Arbeitsplatzzentren arbeiten. Im gesamten Untersuchungsraum gibt es keine Gemeinde, die eine steigende Anzahl an Binnenpendelnden von größerem Umfang (eine Zunahme von mehr als 100 Personen) aufweist. Die durchschnittliche Pendelentfernung ist im Szenario ABA infolge der anderen Wohnstandortwahl mit 16,5 km ca. 5 % höher als im Referenzszenario (15,8 km).

Bei der Betrachtung der Auswirkungen von einem erhöhten Homeoffice-Anteil auf das Verkehrssystem fällt zunächst auf, dass die Anzahl der Wege infolge der reduzierten Arbeitswege geringer ausfällt. Insgesamt werden 18 % weniger Pendelwege zurückgelegt. Aufgrund der Erhöhung der mittleren Reiseweite für Arbeitswege um 5 % reduziert sich die Verkehrsleistung im Pendelverkehr etwas weniger stark um 16 %. Insgesamt fällt die Verkehrsleistung im Untersuchungsraum um 3 % geringer aus. Bei Betrachtung der Auswirkungen auf die einzelnen Verkehrsmittel wird deutlich, dass der ÖV als einziges einen leichten Zuwachs erfährt (siehe Abbildung 13). Die übrigen Verkehrsmittel werden im Szenario ABA weniger stark benutzt als im Referenzszenario. Allerdings berücksichtigt das Modell mangels empirischer Grundlagen keine Wege, die infolge des vermehrten Homeoffice neu entstehen. Dazu können z.B. zusätzliche Freizeitwege in der infolge von Homeoffice gewonnenen Freizeit zählen oder Wege, die bislang in Verbindung mit dem Arbeitsweg erledigt wurden und nun einzelne Wege darstellen (z.B. Hol- und Bringwege, Einkaufswege).

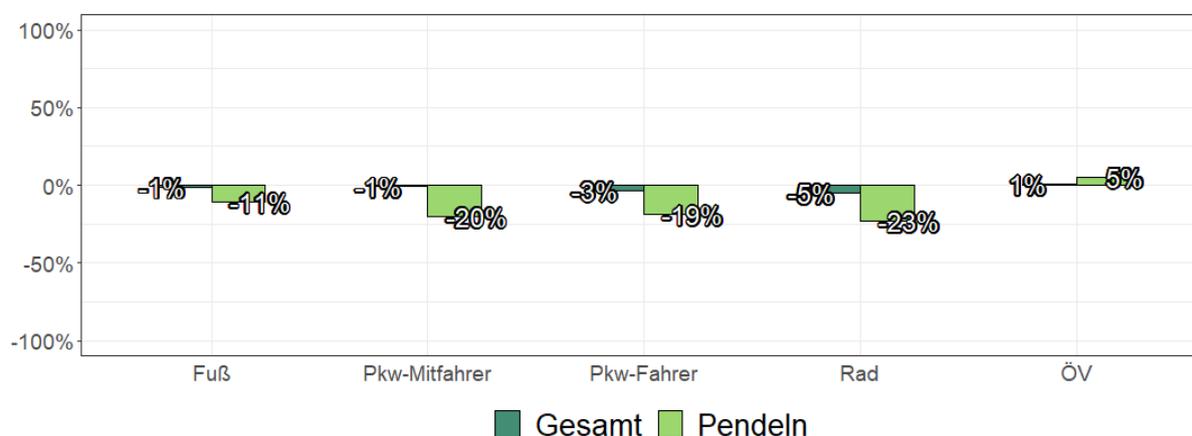


Abbildung 13: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum

In Abbildung 14 ist die Veränderung der Verkehrsleistung im Pendelverkehr nach Raumtypen dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Pendelverkehr in allen Raumtypen geringer ausfällt, etwas

stärker in der Metropole Frankfurt am Main (Typ 71) und den zentralen Städten in ländlichen Gebieten (Typ 75).

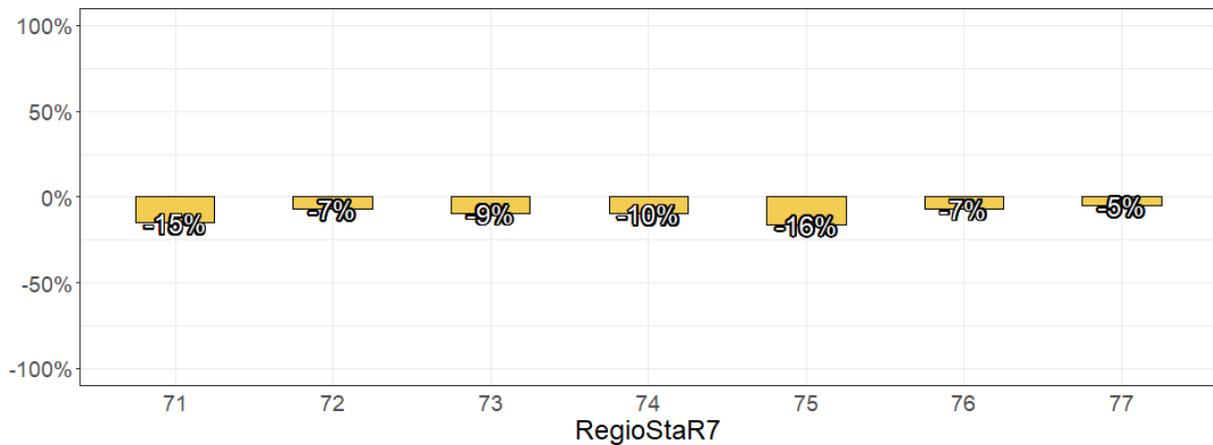


Abbildung 14: Vergleich der Szenarien AAA und ABA (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im Pendelverkehr nach RegioStaR7

Der wegebasierte Modal Split verändert sich zwischen Szenario ABA und Referenzszenario für den gesamten Untersuchungsraum nur geringfügig. Vor allem beim Pendeln lässt sich eine leichte Tendenz zu mehr ÖV und weniger Pkw im Szenario ABA erkennen (siehe Abbildung 15). Diese Verschiebung steht im Einklang mit den Erkenntnissen aus der Empirie, die darauf hindeuten, dass sich die Präferenzen von Personen mit mehr Homeoffice hin zur stärkeren Nutzung des ÖV verschieben. Die durchschnittliche Reisedauer auf Pendelwegen reduziert sich von 40,5 min auf 38,5 min.

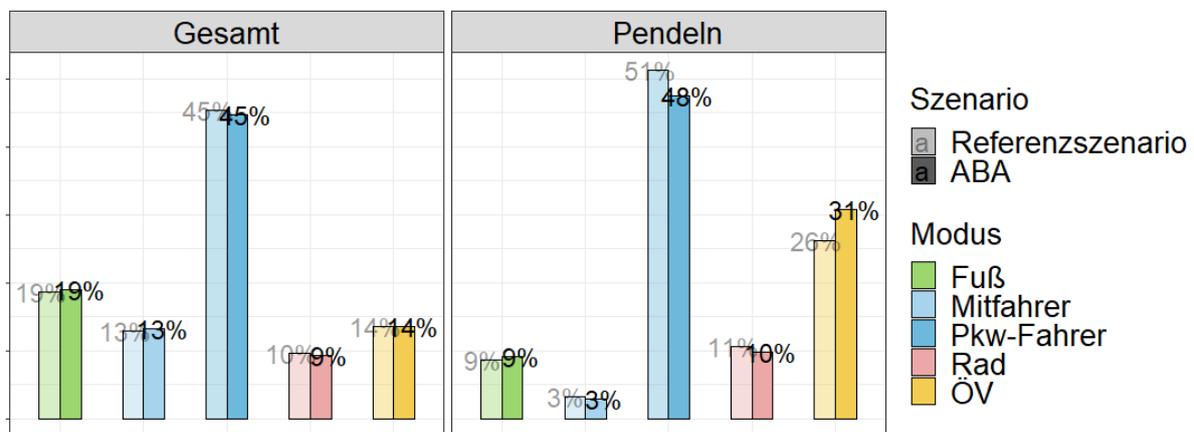


Abbildung 15: Vergleich der Szenarien AAA und ABA im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum

2.3.3 Szenariovergleich AAB – AAA

Szenario AAB unterscheidet sich vom Referenzszenario im Hinblick auf die Ausgestaltung des Verkehrssystems. Die nachfolgend beschriebenen Modellierungsergebnisse bilden ab, welche Auswirkungen die Umsetzung von Maßnahmen mit dem Ziel einer flächendeckenden Verkehrswende, was auch rigorose Pushmaßnahmen wie z. B. hohe Parkgebühren umfasst, haben würde.

Die Umsetzung einer flächendeckenden Verkehrswende resultiert in deutlich höheren Reiseaufwänden für den MIV, was auch einen Einfluss auf die Wohnstandortwahl innerhalb des Untersuchungsraums hat. So gewinnen die Großstädte und Oberzentren (RegioStaR7-Typen 71, 72 und 74) mit ihrem großen Arbeitsplatzangebot stark an Attraktivität, weswegen dort deutlich mehr Menschen leben (siehe Abbildung 3). In periphereren Gemeindetypen wohnen hingegen weniger Menschen. Extrem wären die Auswirkungen dabei für Frankfurt am Main: Dort erhöht sich die Bevölkerungszahl im Vergleich zum Referenzszenario um mehr als 250.000 EW und damit um 40% – bei gleichem Wohnflächenangebot. Ein Blick auf die Ergebnisse auf Gemeindeebene (siehe Abbildung 16) verdeutlicht, wieviel stärker sich die Wohnstandortwahl bei Umsetzen einer flächendeckenden Verkehrswende am Arbeitsplatzangebot ausrichtet. Nicht nur in den Großstädten und Oberzentren des Untersuchungsraums wohnen mehr Menschen, auch einige direkte Umlandgemeinden weisen eine größere Bevölkerung im Vergleich zum Referenzszenario auf. Die modellierten Bevölkerungszahlen der peripheren Gemeinden fallen in Szenario AAB flächendeckend deutlich geringer aus.

Die im Vergleich zum Referenzszenario andere Verteilung der Wohnbevölkerung im Untersuchungsraum beeinflusst auch, wieviel Wohnfläche die Wohnenden in Anspruch nehmen. Während die Menschen in den Gemeinden mit hohen Zentralitäten insgesamt mehr Wohnfläche konsumieren (bei geringeren Pro-Kopf-Wohnflächen), wird in periphereren Gemeinden beträchtlich weniger Wohnfläche bewohnt. Insgesamt ist der Wohnflächenkonsum im Untersuchungsraum 8,2 Mio. qm geringer im Vergleich zum Referenzszenario, was ca. 89.000 Wohneinheiten entspricht (bei Ansetzen der durchschnittlichen Wohnungsgröße aus dem Jahr 2022 von 92 qm (destatis)).

Die Unterschiede im Hinblick auf den Wohnflächenkonsum zwischen den Szenarien verhalten sich jedoch nicht proportional zu den Änderungen der Bevölkerungszahlen: Die durchschnittlichen Pro-Kopf-Wohnflächen weichen teilweise deutlich von jenen des Referenzszenarios ab (siehe Abbildung 16). In den Großstädten und Oberzentren wohnen eine größere Zahl an Personen und Haushalten auf dem gleichen Wohnflächenangebot. In Frankfurt am Main würde dies im Mittel in einer Pro-Kopf-Wohnfläche von 32 qm resultieren, was zwar deutlich unter den realen Werten des Jahres 2018 (37 qm) liegt, aber ungefähr dem Niveau anderer europäischer Metropolen wie Paris, London, Budapest oder Warschau entspricht (siehe Kholodilin et al. 2020). In den ländlicheren Gemeinden leben hingegen weniger Personen und Haushalte, die jedoch Pro-Kopf mehr Wohnfläche konsumieren. In der Taunusgemeinde Glashütte wohnen die Personen im Mittel auf 76 qm, was den Höchstwert der Modellierung darstellt.

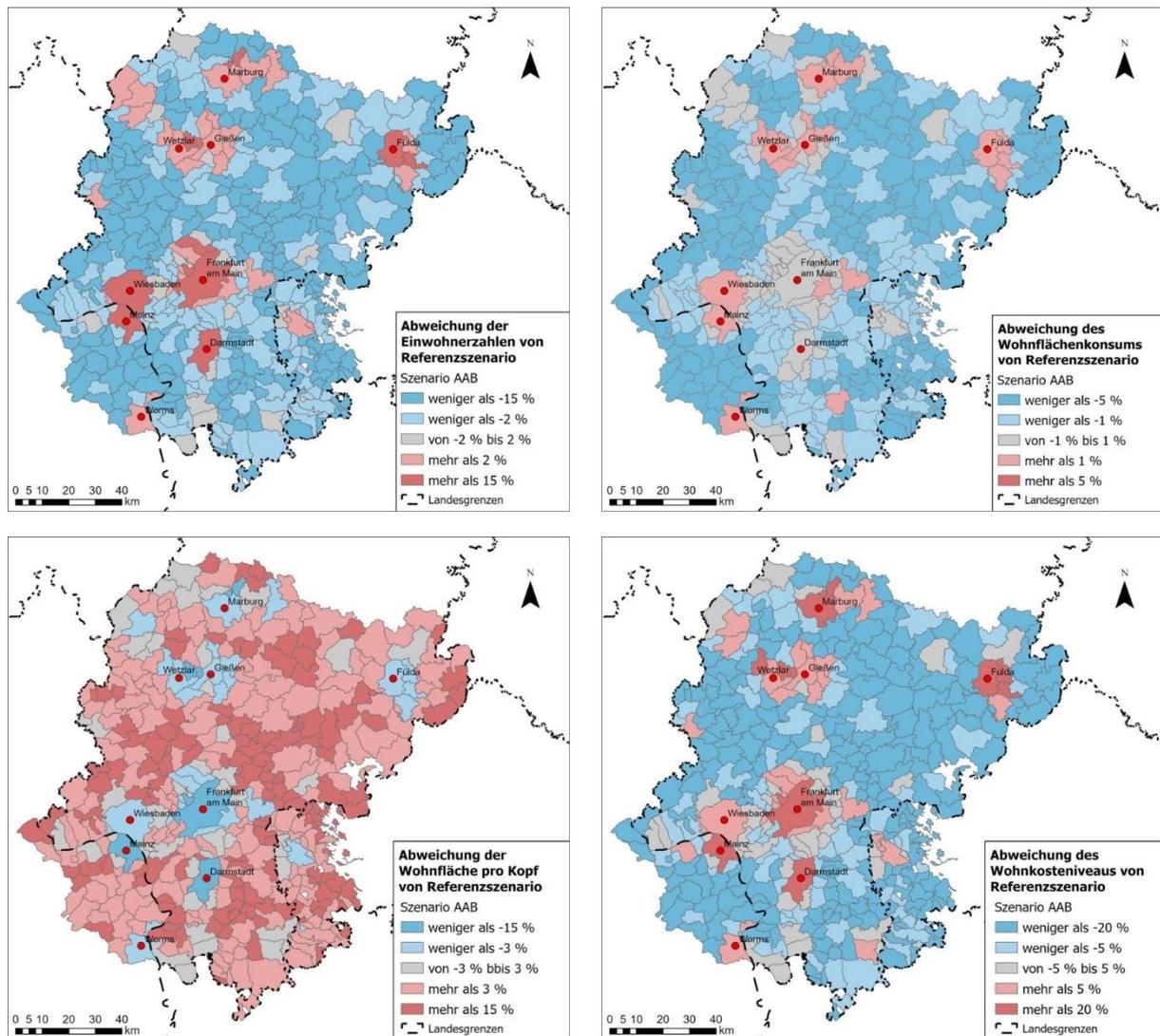


Abbildung 16: Vergleich der Szenarien AAA und AAB (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau

Die modellierten Auswirkungen einer Verkehrswende mit rigorosen MIV-Pushmaßnahmen auf die Bevölkerungsverteilung und den Wohnflächenkonsum sind folglich enorm, bewegen sich aber gleichzeitig in einem Rahmen, der heute schon an anderen Orten Realität ist. Allerdings ist zusätzlich anzumerken, dass z.B. in Frankfurt am Main die durchschnittliche Wohnungsgröße 64 qm nicht überschreiten dürfte, damit die modellierte Anzahl an dort lebenden Haushalten die Anzahl verfügbarer Wohnungen nicht übersteigt. Im Basisjahr 2017 betrug die durchschnittliche Wohnungsgröße in Frankfurt am Main ca. 71 qm (Regionaldatenbank Deutschland). Die durchschnittliche Wohnungsgröße müsste also um 7 qm sinken, was größere Eingriffe in den Wohnungsbestand (z. B. Aufteilen von Wohnungen) und deutlich geringere Neubauwohnungsgrößen als aktuell erfordern würde.

Die drastischen Eingriffe in das Verkehrssystem bleiben nicht ohne Auswirkungen auf die Wohnkosten im Untersuchungsraum. Die nach RegioStaR7 aggregierten Auswertungen zeigen dabei, dass die Gemeinden mit hohen Zentralitäten im Ergebnis überwiegend deutlich teurer sind, periphere Gemeinden hingegen günstiger (siehe Abbildung 5). Dieses Muster wird auch beim Blick auf die Auswirkungen auf Wohnkosten auf Gemeindeebene erkennbar (siehe Abbildung 16). Dabei

zeigt sich außerdem, dass in einigen Umlandgemeinden der Oberzentren und Großstädte ebenfalls mit einer deutlichen Erhöhung der Wohnkosten zu rechnen ist.

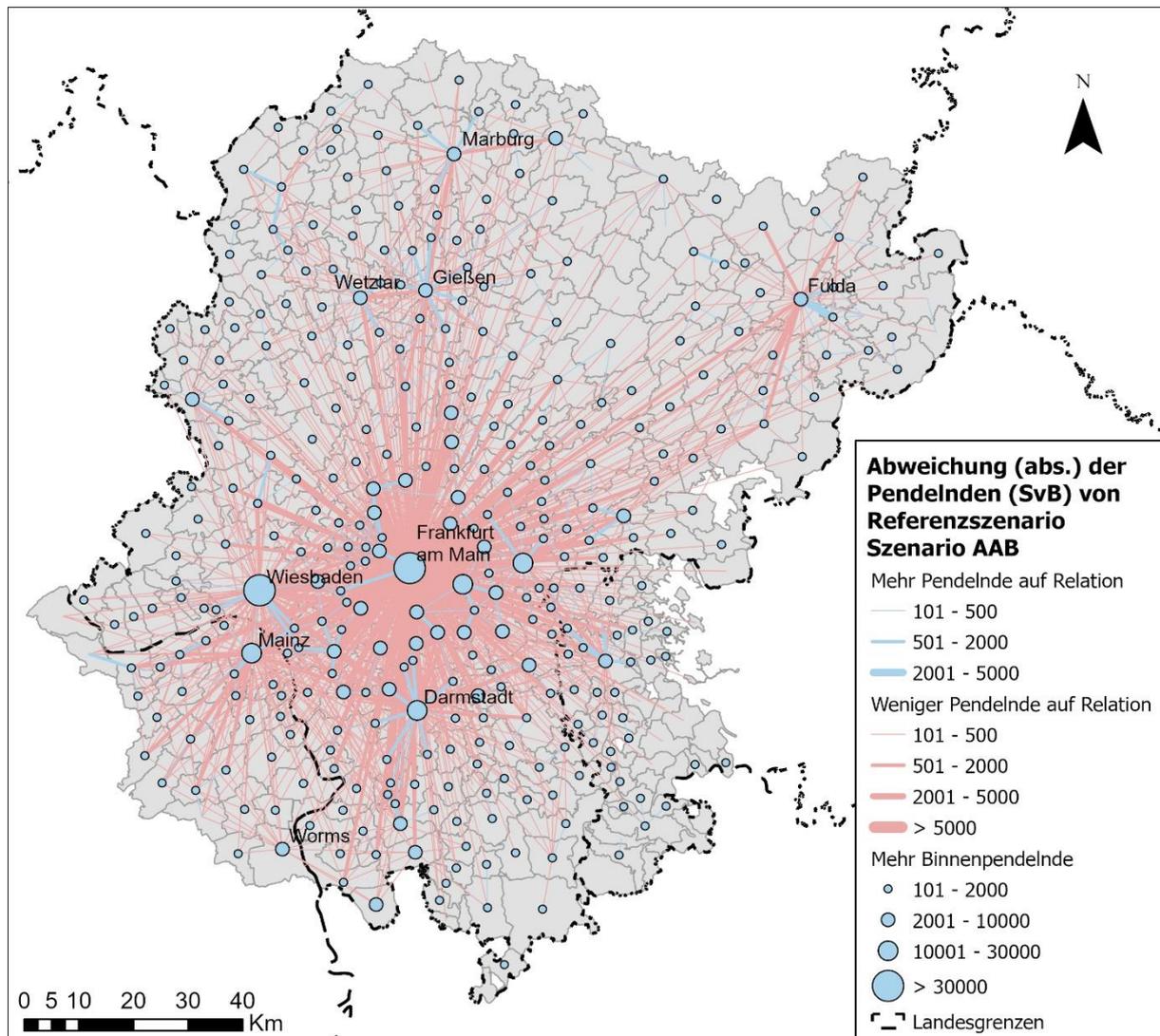


Abbildung 17: Vergleich der Szenarien AAA und AAB (absolute Abweichungen, AAB minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen

Infolge der Umsetzung einer Verkehrswende, die rigorose Pushmaßnahmen enthält, ist eine Verschärfung von Bezahlbarkeitsproblemen in den Großstädten des Untersuchungsraums zu erwarten. Insbesondere in Frankfurt am Main muss mit einem starken Anstieg der Nachfrage nach Wohnraum gerechnet werden, der dazu führt, dass mehr Menschen auf engerem Raum leben und Wohnkosten steigen. Im ländlichen Raum hingegen würden sich laut Modellierung Abwanderungsprobleme verstärken, Leerstandsprobleme verstärken, Preise für das Wohnen fallen und sich so Wohnungsmärkte destabilisieren

Ein Blick auf die Pendelrelationen im Untersuchungsraum bestätigt, dass die Personen größtenteils in direkter räumlicher Nähe zu ihren Arbeitsplätzen wohnen (siehe Abbildung 17). Flächendeckend gibt es mehr Binnenpendelnde. Die absolut größten Unterschiede liegen in den Arbeitsplatzzentren vor. Auf der anderen Seite pendeln weniger Menschen in die Arbeitsplatzzentren ein. Vereinzelt Relationen zwischen Arbeitsplatzzentren und direkt an diese angrenzenden Gemeinden verzeichnen mehr Pendelnde im Vergleich zum Referenzszenario. Diese Umlandgemeinden profitieren von geringeren Wohnkosten als in den Arbeitsplatzzentren bei gleichzeitig

vergleichsweise geringen Reiseaufwänden für den Pendelweg. Infolge der anderen Wohnstandortwahl fällt die durchschnittliche Pendelentfernung im Szenario AAB im Vergleich zum Referenzszenario mit 9,6 km ca. 40 % geringer aus als im Referenzszenario (15,8 km).

Die Wechselwirkungen zwischen Verkehrsangebot und Wohnstandortwahl werden beim Vergleich der Pendeldistanzen deutlich sichtbar. Die Einschränkungen, vor allem den MIV betreffend, führen dazu, dass Wohnungen gewählt werden, die sich deutlich näher am Arbeitsort befinden. Mit dem Pkw werden nur noch kurze Pendelwege zurückgelegt, für weitere Wege wird der ÖV genutzt. Über alle Verkehrsmittel hinweg fällt trotz der einschränkenden Maßnahmen im MIV die Reisezeit zur Arbeit 1,5 min niedriger aus. Hier machen sich die insgesamt kürzeren Pendelwege und die Beschleunigung des ÖPNV bemerkbar. Insgesamt bleibt zu vermuten, dass vor allem infolge der anderen Wohnstandortwahl erhebliche Verschlechterungen der Erreichbarkeiten ausbleiben.

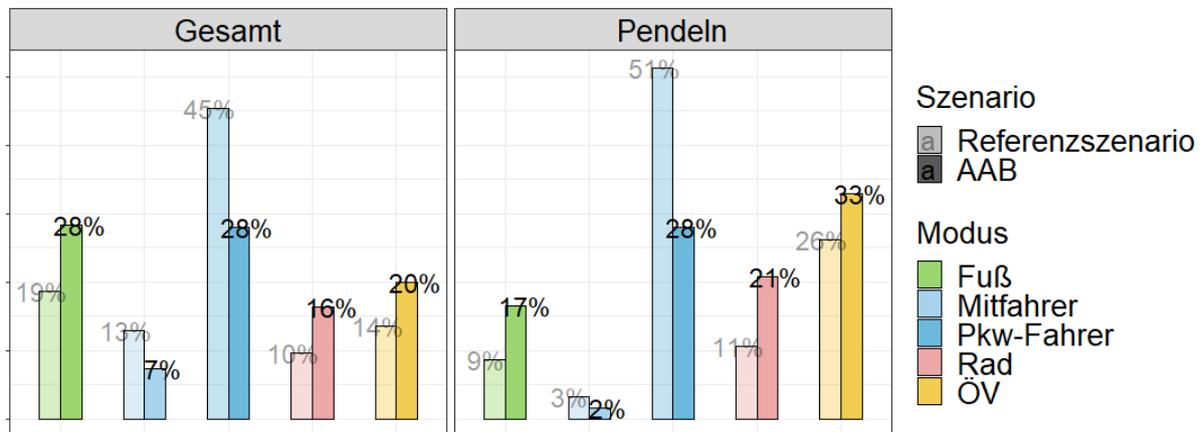


Abbildung 18: Vergleich der Szenarien AAA und AAB im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum

Die Maßnahmen haben außerdem einen starken Einfluss auf das Verkehrsmittelwahlverhalten. Im Szenario AAB ist der Anteil des Pkw sowohl in Bezug auf alle Wege als auch auf Pendelwege deutlich geringer als im Referenzszenario (siehe Abbildung 18). Gependelt wird vorrangig mit dem ÖV. Außerdem werden mehr Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt, bei Pendelwegen jeweils rund doppelt so viele im Vergleich zum Referenzszenario (siehe Abbildung 19). Der höhere Anteil an Wegen, die zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, wird neben der Verlangsamung und Verteuerung des MIV auch von den geringeren Pendeldistanzen begünstigt. Insgesamt fällt die Verkehrsleistung im Pendelverkehr 39 % geringer aus als im Referenzszenario, analog zur geringeren mittleren Reiseweite für Arbeitswege. Da in diesem Szenario nicht von vermehrtem Homeoffice ausgegangen wird, bleibt die Anzahl der Arbeitswege konstant. Die Gesamtverkehrsleistung für alle Wege ist 23 % geringer. Das zeigt, dass die Maßnahmen der flächendeckenden Verkehrswende die Pendelmobilität überproportional beeinflussen, da diese Wege in der Regel die längsten sind und ein hoher Anteil dieser mit dem Pkw zurückgelegt werden.

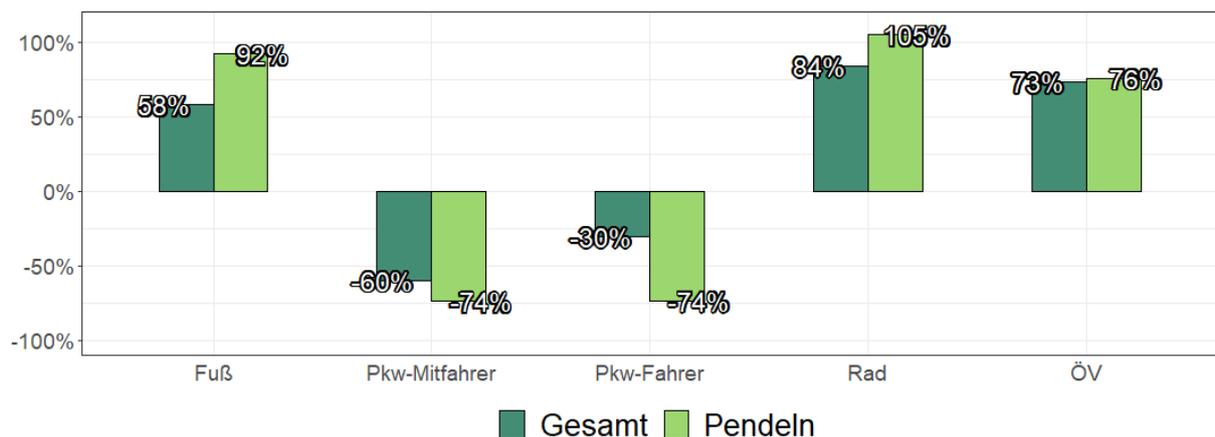


Abbildung 19: Vergleich der Szenarien AAA und AAB (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum

Die reduzierte Pendeldistanz infolge der anderen Wohnstandortwahl macht sich in allen Raumtypen des Untersuchungsraums bemerkbar (siehe Abbildung 20). Die geringsten Unterschiede treten in den städtischen Räumen 72 und 73 auf, die größten im ländlichen Raum (Typ 75-77). Es bestätigt sich, dass es in den zentralen Städten des ländlichen Raums und der Region rund um die Metropole Frankfurt am Main und der umliegenden Großstädte mehr Binnenpendelnde gibt, wodurch die durchschnittliche Reiseweite geringer ausfällt.

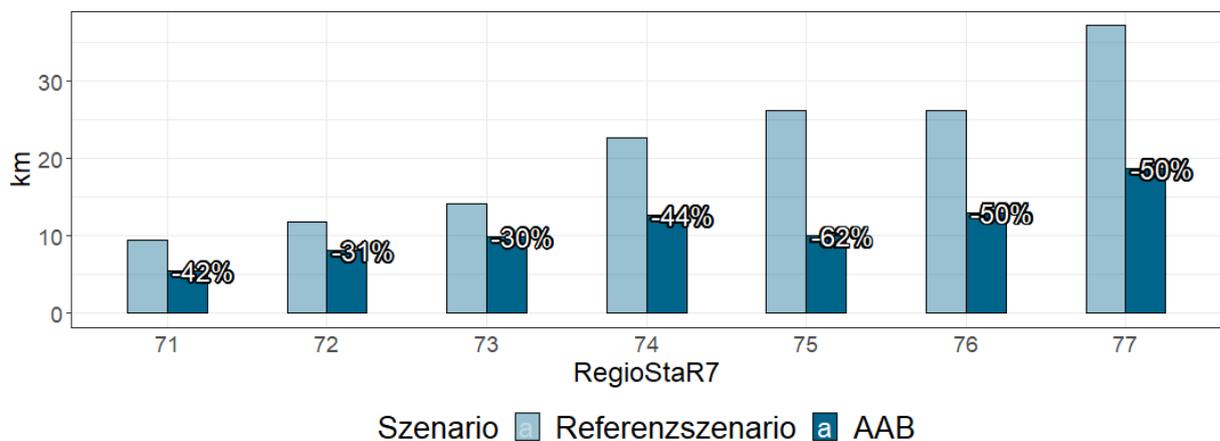


Abbildung 20: Vergleich der Szenarien AAA und AAB im Hinblick auf die Veränderung der mittleren Pendeldistanz nach RegioSta7

2.3.4 Szenariovergleich BBB – AAA

Nachdem in den vorherigen Szenariovergleichen jeweils nur ein Einflussfaktor verändert wurde, weicht Szenario BBB in allen drei Einflussfeldern von Referenzszenario AAA ab. Die nachfolgenden Ergebnisse zeigen auf, welche Auswirkungen eine Siedlungsentwicklung, bei der mehr Wohnraum in peripheren Gemeinden entsteht, in Kombination mit einer flächendeckenden Verkehrswende und einem sehr hohen Anteil an Personen im Homeoffice haben würde.

Wie schon im vorangegangenen Szenariovergleich, gewinnen die Großstädte und Oberzentren durch ihre Nähe zum Arbeitsplatzangebot als Wohnorte stark an Attraktivität, weil infolge der harten Pushmaßnahmen die MIV-Aufwände steigen. Dieser Effekt wird aber etwas abgefedert, da mehr Erwerbstätige von zu Hause arbeiten und weniger häufig pendeln müssen. Im Resultat ergibt sich

ein ähnliches Bild wie in Szenario AAB, jedoch in etwas abgeschwächter Form: Die Großstädte und Oberzentren haben deutlich mehr Einwohner und Einwohnerinnen, während die ländlicheren Gemeinden weniger Einwohner und Einwohnerinnen aufweisen. Das räumliche Muster der Einwohnerverteilung weicht dabei auch auf Gemeindeebene nur wenig von Szenario AAB ab (siehe Abbildung 21).

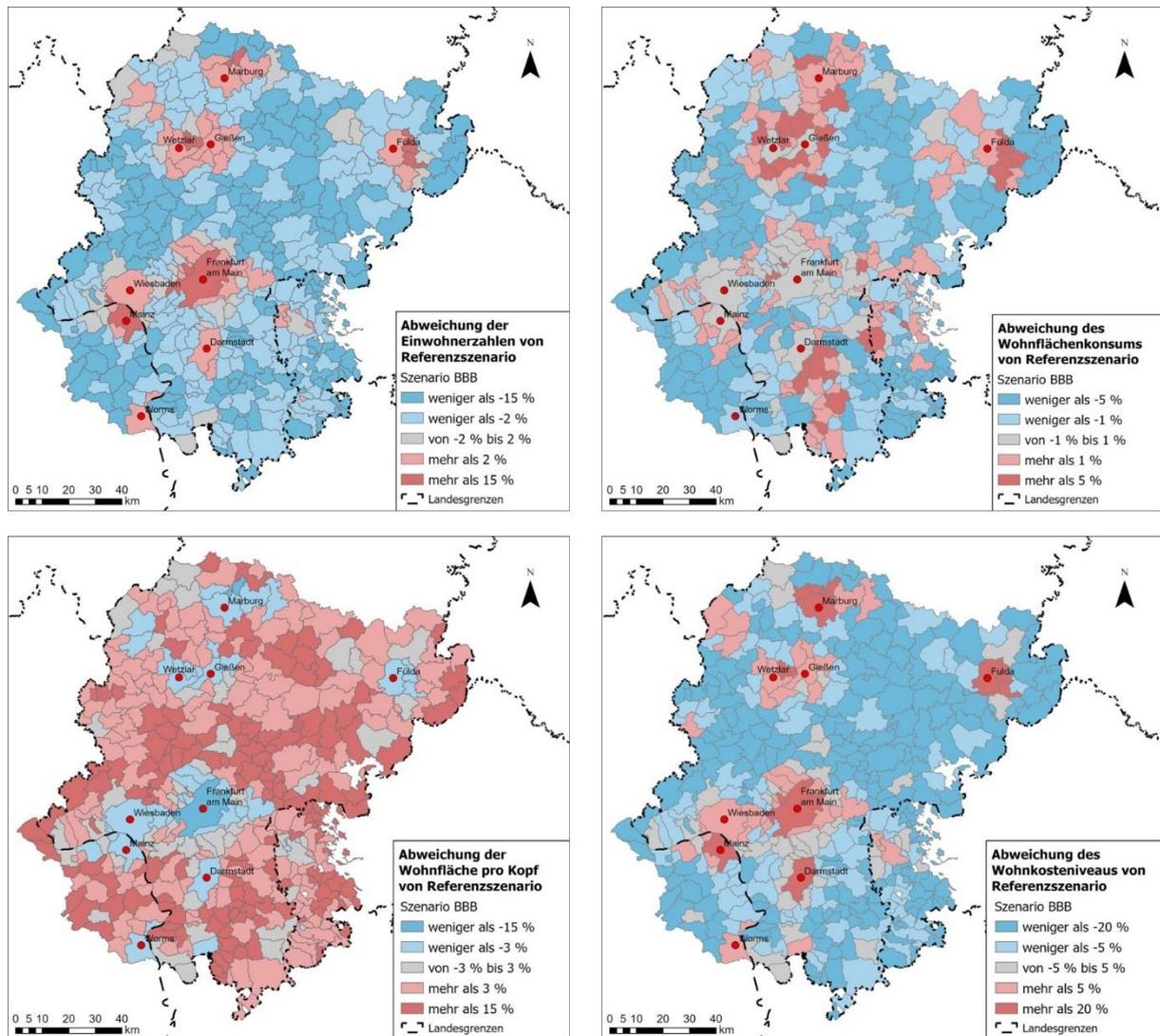


Abbildung 21: Vergleich der Szenarien AAA und BBB (relative Abweichungen bezogen auf AAA) im Hinblick auf Einwohnerzahlen, Wohnflächenkonsum, Wohnfläche pro Kopf und Wohnkostenniveau

Auch mit Blick auf den Wohnflächenkonsum zeigt sich: Dieser ist in peripheren Gemeinden deutlich geringer, auch wenn die Unterschiede nicht ganz so ausgeprägt sind wie in Szenario AAB, da mehr Erwerbstätige im Homeoffice arbeiten und daher mehr Wohnfläche in Anspruch nehmen. Der leichte Rückgang des Wohnflächenkonsums in Frankfurt am Main lässt sich durch das im Vergleich zum Referenzszenario geringere Wohnflächenangebot erklären. Die Karte zum Wohnflächenkonsum auf Gemeindeebene veranschaulicht jedoch, dass sich ein nicht ganz so klares räumliches Muster ergibt. So steigt in einigen ländlichen Gemeinden bzw. Umlandgemeinden der Großstädte (in Südhessen, im Bereich Wetzlar-Gießen-Marburg und um Fulda) der Wohnflächenkonsum. Der höhere Anteil an Erwerbstätigen im Homeoffice dämpft somit etwas den Effekt, dass im ländlichen Raum infolge einer Verkehrswende mit rigorosen Pushmaßnahmen deutlich weniger Wohnfläche und Wohnungen nachgefragt werden.

In den aggregierten Analysen hat das geänderte Wohnflächenangebot in Kombination mit dem höheren Anteil an Personen im Homeoffice wieder einen klaren Einfluss auf die Wohnkosten im Vergleich zum Referenzszenario. Die Wohnkosten verhalten sich weitestgehend analog zu jenen in Szenario AAB. Auch die kartografische Darstellung der Wohnkostenentwicklung auf Gemeindeebene bestätigt dies (siehe Abbildung 21). Dort werden keine nennenswerten Abweichungen zu Szenario AAB sichtbar.

Die modellierten Auswirkungen von Szenario BBB sind jenen von Szenario AAB in den Tendenzen folglich ähnlich. Sie fallen lediglich etwas weniger extrem aus, da der höhere Anteil an Menschen im Homeoffice die Fokussierung auf die Großstädte und Oberzentren bei der Wohnstandortwahl abmildert.

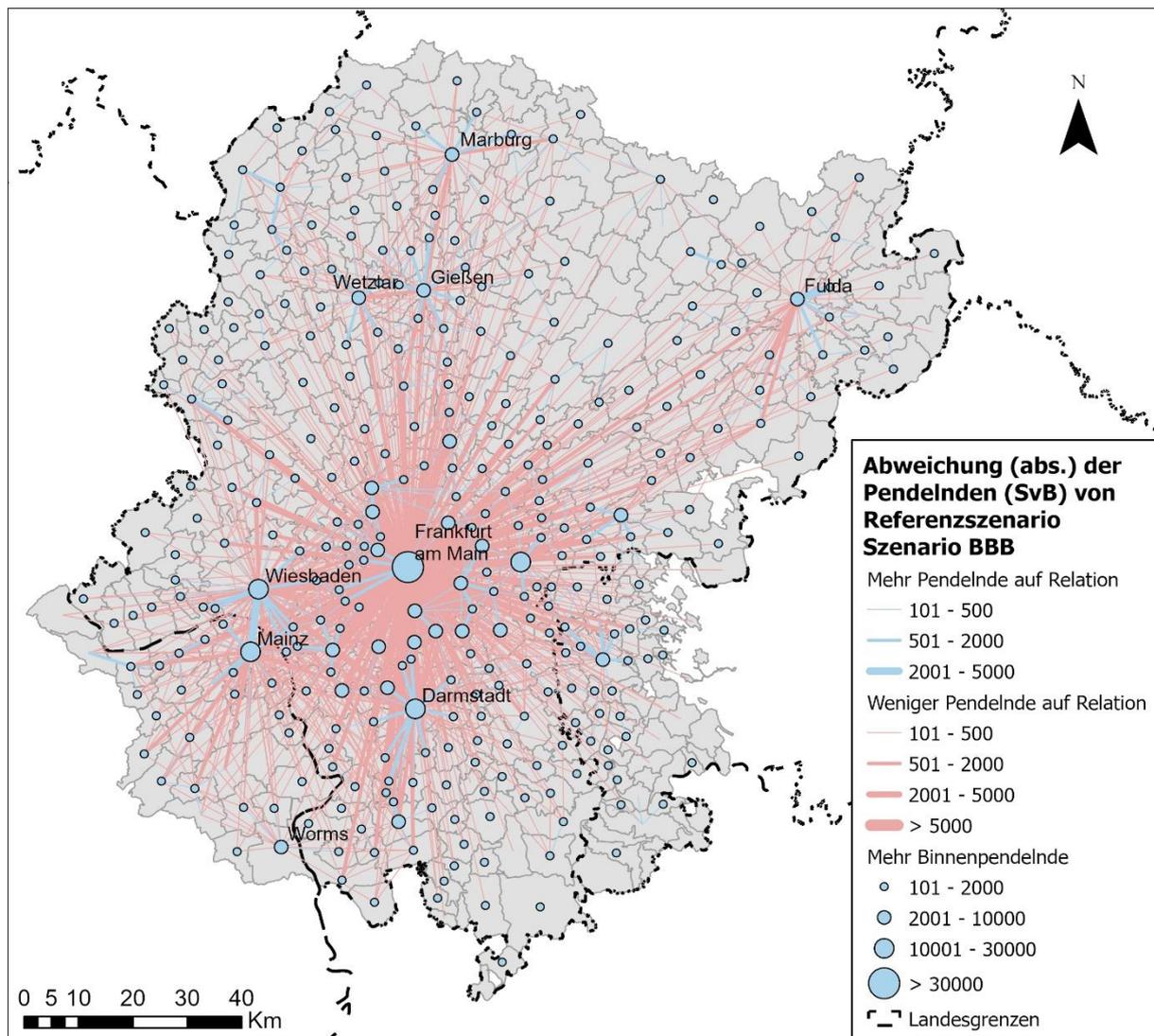


Abbildung 22: Vergleich der Szenarien AAA und BBB (absolute Abweichungen, BBB minus AAA) im Hinblick auf Pendelrelationen

Die Ergebnisse bezüglich der Veränderungen der Pendelrelationen gegenüber dem Referenzszenario (siehe Abbildung 22) ähneln denen aus Szenario AAB (siehe Abbildung 17). Lediglich Relationen zwischen den Arbeitsplatzzentren und benachbarten Gemeinden weisen größtenteils mehr Pendelnde auf. Bei Szenario AAB stellt dies eher eine Ausnahme dar. Grundsätzlich gleichen sich aber die Erkenntnisse. Im gesamten Untersuchungsgebiet gibt es im Szenario BBB mehr Binnenpendelnde als im Referenzszenario. Die Abweichungen orientieren sich

dabei am jeweiligen Arbeitsplatzangebot. Relationen in die Arbeitsplatzzentren verzeichnen weniger Pendelnde, mit Ausnahme der an die Zentren angrenzenden Gemeinden. Die durchschnittliche Pendelentfernung fällt folglich mit 9,8 km etwas höher aus als bei Szenario ABB (9,6 km). Insgesamt liegt diese aber immer noch deutlich unter der durchschnittlichen Pendelentfernung im Referenzszenario (15,8 km).

Im Vergleich zum Referenzszenario ist zu erkennen, dass der Einfluss der Verkehrswendemaßnahmen deutlich größer ist als der einer weiteren Verbreitung von Homeoffice. In Kombination mit der geringeren Wegezanzahl infolge von Homeoffice und den kürzeren Distanzen fällt die Verkehrsleistung im Pendelverkehr insgesamt 49% geringer aus als im Referenzszenario. Die Gesamtverkehrsleistung ist 15 % geringer. Die Verkehrsleistung des Umweltverbundes im Untersuchungsraum ist im Szenario BBB deutlich höher als im Referenzszenario, wohingegen die Pkw-Verkehrsleistung vor allem im Pendelverkehr deutlich geringer ausfällt (siehe Abbildung 23). Die Pendelverkehrsleistung liegt noch einmal 18 % unter derjenigen des Szenario AAB, in dem die flächendeckende Verkehrswende mit wenig Homeoffice modelliert wurde.

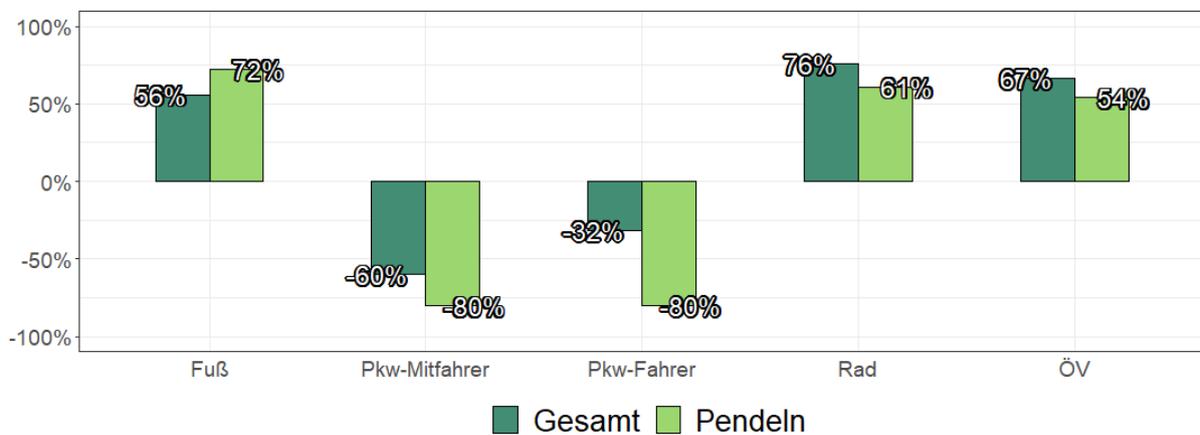


Abbildung 23: Vergleich der Szenarien AAA und BBB (relative Abweichung im Vergleich zu AAA) im Hinblick auf die Veränderung der Verkehrsleistung im gesamten Untersuchungsraum

Der Vergleich der mittleren Pendeldistanzen nach Raumtyp zeigt besonders starke Unterschiede im ländlichen Raum, besonders in zentralen Städten ländlicher Regionen (75) (siehe Abbildung 24). Dieser Effekt ist darin zu begründen, dass die Menschen in Szenario BBB eher Wohnstandorte in den verdichteten Räumen präferieren aufgrund der räumlichen Nähe zu Arbeitsplätzen. Insgesamt ergibt sich ein ähnliches Bild wie im vorangegangenen Szenario AAB, was weiter bestätigt, dass die Maßnahmen der flächendeckenden Verkehrswende die Auswirkungen auf das Verkehrssystem dominieren. Über alle Wege hinweg ist die mittlere Reiseweite um 12 % geringer.

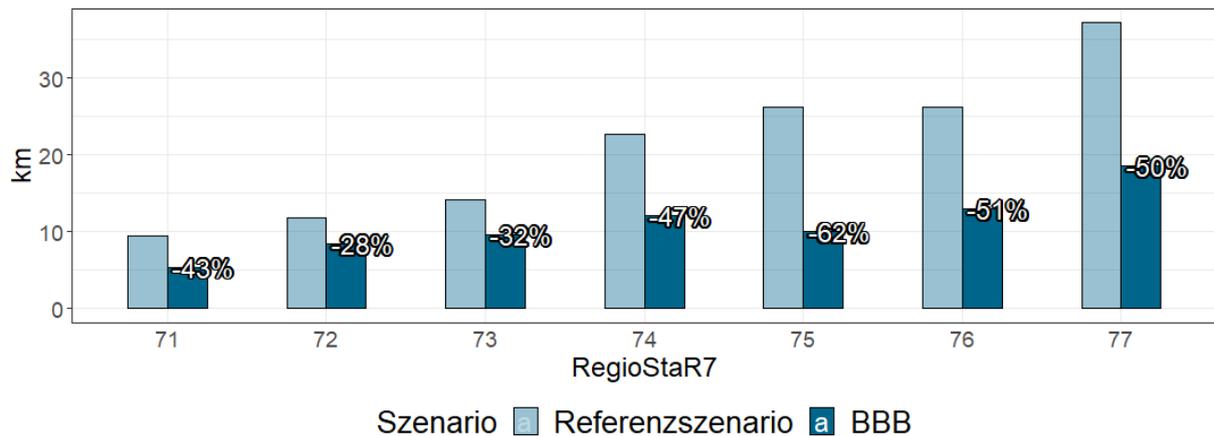


Abbildung 24: Vergleich der Szenarien AAA und BBB im Hinblick auf die Veränderung der mittleren Pendeldistanz nach RegioSta7

Beim Blick auf die Verkehrsmittelwahl ist zu erkennen, dass auch in diesem Szenario der Anteil des Pkw deutlich geringer ist als im Referenzszenario (siehe Abbildung 25). Dies gilt vor allem beim Pendeln, wo der Anteil des Pkw am Modal Split um die Hälfte geringer ausfällt. Der Anteil der Wege, die zu Fuß zurückgelegt werden, ist hingegen deutlich größer als im Referenzszenario. Trotz der Akzeptanz für weitere Pendelwege durch vermehrtes Homeoffice machen die implementierten verkehrlichen Maßnahmen solche Wege stark unattraktiv.

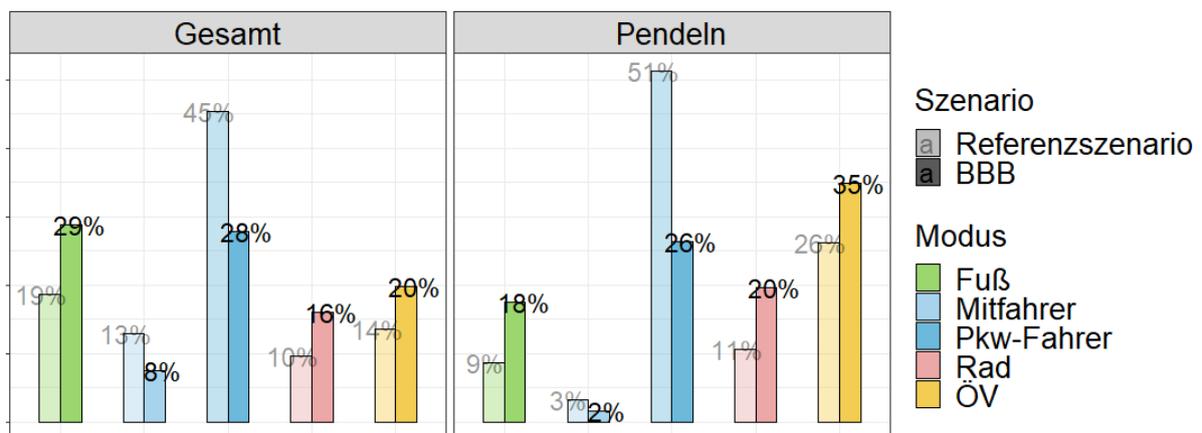


Abbildung 25: Vergleich der Szenarien AAA und BBB im Hinblick auf den Modal Split im gesamten Untersuchungsraum

3 Diskussion

Aus den Ergebnissen lassen sich Hinweise für Strategien zur Organisation des Pendelverkehrs für die Region der Zukunft ableiten. Sie sollen einen Beitrag zu konsistenten raumplanerischen Strategien leisten, die Pendeln im Dreiklang aus Siedlungsentwicklung, zeit-räumlicher Organisation von Erwerbstätigkeit sowie Ausgestaltung des Verkehrssystems betrachten.

Innerhalb der modellierten Szenarien zeigen die Maßnahmenbündel, die sich auf das Verkehrssystem beziehen, die deutlichsten Wirkungen auf Wohnstandortwahl, Wohnkosten, Wohnflächenkonsum und Verkehrsgeschehen. Ein wesentliches Ergebnis hierbei: Eine flächendeckende Verkehrswende, die restriktive MIV-Pushmaßnahmen enthält, kann dazu führen, dass Pendelentfernungen zwischen Wohnstandort und Arbeitsplatz sinken (im Vergleich zu einer Verkehrswende ohne rigorose MIV-Pushmaßnahmen). Verteilt sich das Arbeitsplatzangebot wie heute vor allem auf Großstädte und Oberzentren, erhöht sich die Attraktivität dieser Standorte zum Wohnen. Die hohen MIV-Reiseaufwände infolge rigoroser MIV-Pushmaßnahmen führen dazu, dass Wohnstandorte außerhalb der Zentren häufig keine Alternative mehr darstellen, obwohl Zentren höhere Wohnkosten aufweisen. Dies kann bestehende Bezahlbarkeitsprobleme in den Zentren verschärfen und gleichzeitig die Attraktivität des ländlichen Raums schwächen, was in Leerständen bzw. einer Verstärkung bestehender Leerstandsprobleme resultieren kann.

Diese Ergebnisse deuten auf einen wichtigen Aspekt der Verkehrswende hin, auch wenn die Modellergebnisse hier sicherlich ein extremes Bild zeichnen, ersichtlich an den sehr kleinen Pro-Kopf-Wohnflächen in den Großstädten. Wenn sich infolge der Verkehrswende die Reiseaufwände für den MIV stark erhöhen, führt dies einerseits zu einem Mehr an Nutzerinnen und Nutzern des Umweltverbunds sowie einer Reduktion der Verkehrsleistung fokussiert die Wohnraumnachfrage aber auch auf die Großstädte. Dies führt dort dazu, dass die Nachfrage nach Wohnraum trotz hoher Wohnkosten weiter steigt und infolgedessen mehr Menschen auf engerem Raum leben. Die modellierten Pro-Kopf-Wohnflächen sprengen dabei zwar nicht die Skala des Möglichen, wie der beispielhafte Vergleich Frankfurt am Mains mit weiteren europäischen Metropolen zeigt. Sie würden aber entweder mit einer erheblichen Anpassung des Bestands einhergehen müssen (bspw. Aufteilen von größeren Bestandswohnungen) oder mit einer weiteren Verbreitung von geteilt genutztem Wohnraum (bspw. Wohngemeinschaften). Ansonsten übersteigt die modellierte Anzahl an Haushalten in Frankfurt am Main die Anzahl an Wohnungen. Die Modellierungen berücksichtigen lediglich das Wohnflächenangebot, nicht jedoch die Anzahl an Wohnungen.

Im Hinblick auf den Ressourcen- und Energieverbrauch wäre eine solche Konzentration des Wohnens auf Städte und weniger Wohnraum evtl. positiv zu bewerten, da in Summe weniger Wohnfläche konsumiert wird und die konsumierte Wohnfläche maßgeblich den Energieverbrauch von Privathaushalten determiniert (Huebner et al. 2015; Huebner und Shipworth 2017). Allerdings bringt eine stärkere Verdichtung auch weitere Herausforderungen für eine nachhaltige Stadtentwicklung mit sich – insbesondere in Bezug auf Anforderungen der Klimafolgenanpassung und gesunder Wohnverhältnissen. Hohe Verdichtung bei gleichzeitiger Sicherung klimatischer Ausgleichsräume bspw. in Form grüner Infrastruktur stellt ein stadtplanerisches Spannungsfeld dar. Es dürfte zudem schwierig sein, Pro-Kopf-Wohnflächen, wie sie bei einer flächendeckenden Verkehrswende für Frankfurt am Main modelliert wurden, ohne Überbelegung von Wohnungen zu erreichen. Der Raum abseits der Großstädte und Oberzentren muss hingegen mit gegenläufigen Entwicklungen umgehen: Die sinkende Attraktivität als Wohnstandort führt zu mehr Leerstand und damit zu geringeren Wohnkosten. Das kann in erhöhten Pro-Kopf-Wohnflächen resultieren, was in Hinblick auf den Ressourcen- und Energieverbrauch negativ zu bewerten wäre. Hohe

MOBITAT 2050 – Modellierung der Szenarien

Leerstandsquoten können zu Problemen bei der Nahversorgung, der Infrastruktur sowie dem sozialen Leben führen und so zusätzlich die Attraktivität der Gemeinde als Wohnstandort senken. Die Modellierungsergebnisse legen nahe, dass die Sicherung gleichwertiger Lebensverhältnisse bei einer flächendeckenden Verkehrswende, wie sie in den MOBITAT-Szenarien implementiert wurde, eine große Herausforderung wäre.

Mit Blick auf die Umsetzbarkeit bringt eine flächendeckende Verkehrswende bis zum Jahr 2050 (im Vergleich zu einer Verbesserung der Verkehrsqualität entlang der Achsen) weitere Herausforderungen mit sich. Neben erheblich größeren finanziellen Aufwänden, den der flächenhafte Ausbau eines attraktiven ÖPNV benötigen würde, dürfte auch die politische Durchsetzbarkeit von restriktiven MIV-Pushmaßnahmen ein Hemmnis darstellen, wie aktuelle verkehrspolitische Debatten zeigen. Und auch wenn ein Diskurs um die Frage, inwieweit diese MIV-Pushmaßnahmen einerseits die Attraktivität des ländlichen Raums senken und andererseits Bezahlbarkeitsprobleme in Großstädten verschärfen können, aktuell noch wenig präsent ist, könnte dieser insbesondere in ländlichen Gemeinden die Umsetzung einer Verkehrswende, die auf eine Verkehrsverlagerung hin zu Verkehrsmitteln des Umweltverbands setzt, weiter erschweren. Die Modellierungsergebnissen deuten jedoch genau in diese Richtung und somit regt das Projekt MOBITAT2050 an, auch solche Auswirkungen einer flächendeckenden Verkehrswende in den Blick zu nehmen.

Ein höherer Anteil Erwerbstätiger, die von zu Hause arbeiten, federt die Fokussierung auf die Städte und Gemeinden mit großem Arbeitsplatzangebot etwas ab. Wenn mehr Erwerbstätige weniger häufig zu ihrem Arbeitsort – im Sinne des Standorts der Institution oder des Unternehmens – pendeln, werden auch ländlichere Gemeinden attraktivere Wohnorte. Erwerbstätige pendeln bei mehr Homeoffice im Mittel weniger oft, dafür aber weiter, was einen Rebound-Effekt von Homeoffice darstellt, der bereits in mehreren Studien nachgewiesen wurde (siehe z. B. Cerqueira et al. 2020). Bezüglich des Ressourcen- und Energieverbrauchs kommt zusätzlich zum Tragen, dass eine weitere Verbreitung von Homeoffice mit einem größeren Wohnflächenkonsum einhergeht, der wiederum in einem höheren Energiebedarf für Privathaushalte resultieren würde. Dabei kann ein Abtausch aus gewerblichen Flächen und Wohnflächen stattfinden, da weniger Präsenzarbeit am Arbeitsplatz das Umsetzen von Desk-Sharing-Konzepten ermöglicht. Während in den USA je erwerbstätiger Person, die ihre Arbeit ins Homeoffice verlagert, der Bedarf an Büroflächen um 14 qm gesunken ist (Liu et al. 2024), existieren für Deutschland noch keine genauen Berechnungen, weswegen hier noch keine Einschätzung möglich ist, inwieweit Homeoffice in Summe den Flächenkonsum verändert. Zielsetzung sollte aber sein, dass es nicht zu einem Mehrkonsum von Fläche infolge von Homeoffice kommt.

Der in der Projektion *Zu Hause, wer kann* angesetzte Anteil an Erwerbstätigen im Homeoffice repräsentiert die Obergrenze dessen, was realisierbar erscheint. Soll diese Obergrenze tatsächlich bis 2050 erreicht werden, müsste eine massive – auch politische – Förderung von Telearbeit erfolgen. Diese könnte bspw. Maßnahmen wie steuerliche Erleichterungen für Homeoffice-Jobs (bspw. Homeoffice-Pauschale), ein gesetzliches Anrecht auf Homeoffice, Digitalisierungs- und Automatisierungsförderung sowie eine Förderung von Co-Working Spaces umfassen.

Auch wenn der Einfluss des dritten Einflussfeldes „Siedlungsentwicklung“ auf die Modellierungsergebnisse im Vergleich zu den anderen Handlungsfeldern eher gering ist, darf er nicht vernachlässigt werden. Vielmehr zeigt sich im Hinblick auf den Wohnflächenkonsum: Dort wo ein größeres Wohnflächenangebot entsteht, wird in einer Region, die in weiten Teilen unter Nachfragedruck steht, auch mehr Wohnfläche konsumiert. Wenn dies, wie in der Projektion *Wohnwünsche* im Vergleich zur Projektion *Suffizienz durch Planung*, vermehrt und weniger

verdichtet in peripheren Gemeinden geschieht, steigt dort entsprechend der Wohnflächenkonsum. Dass die Modellierung abseits des Wohnflächenkonsums wenig sensitiv auf Veränderungen des Wohnraumangebots reagiert, liegt wahrscheinlich auch darin begründet, dass die Projektionen sich in ihrer Ausprägung ähneln. Dies ist dem strikten raumplanerischen Rahmen geschuldet, der die Siedlungsentwicklung im Untersuchungsraum bis 2050 lenken soll und die Erarbeitung von Projektionen, die sich deutlicher voneinander unterscheiden, unplausibel erscheinen ließ.

Was lässt sich nun aus den Modellierungsergebnissen im Hinblick auf die Entwicklung von regionalen Strategien zum nachhaltigen Umgang mit Pendelverkehren ableiten? Ein erstes Ergebnis lautet: Es gibt nicht die eine, nachhaltige Strategie. Stattdessen tun sich verschiedene konsistente Pfade auf, die Entscheidungsträger und -trägerinnen einschlagen können bzw. bereits eingeschlagen haben. Beginnend mit den Szenarien, die auf eine Verbesserung der Verkehrsqualität entlang der Achsen setzen (AAA, ABA, BBA, BAA), lässt sich festhalten: Das als Referenzszenario verwendete Szenario AAA sowie Szenario ABA stellen konsistente Strategien dar, in der sich Siedlungsentwicklung und die Verbesserung des ÖV auf planerisch definierte Achsen fokussieren. Sie setzen auf *transit-oriented development*, um Siedlungsentwicklung und (Pendel-)Verkehre in einer Region mit Bevölkerungswachstum nachhaltig auszugestalten. In Szenario ABA ergibt sich zusätzlich eine Verkehrsvermeidung, da Arbeiten von zu Hause aus stark gefördert wird, was aber eine Zunahme des Wohnflächenkonsums zur Folge hätte. Dabei zeigt sich in beiden Szenarien, dass keine großen Verkehrsverlagerungen hin zu Verkehrsmitteln des Umweltverbundes bis in das Jahr 2050 zu erwarten sind und auch die Pkw-Verkehrsleistung weiter ansteigt. Weil eine Förderung von Homeoffice mit einer größeren Nachfrage nach Wohnraum außerhalb der Großstädte und Oberzentren einhergeht, erscheint ein vermehrtes Ausweisen von Wohnfläche in den peripheren Gemeindetypen evtl. zunächst plausibel (Szenario BBA). Es führt jedoch vor allem dazu, dass die Bevölkerung (noch) mehr Wohnfläche konsumiert, ohne dass dabei die modellierten Wohnkosten sinken oder die Pkw-Verkehrsleistung nennenswert zurückgeht. Die Modellierungsergebnisse deuten folglich nicht darauf hin, dass eine Ausweisung von mehr Wohnflächen in periphereren Gemeinden, Bezahlbarkeitsprobleme in den Großstädten wesentlich abmildern kann. Gleiches gilt für einen Ansatz, in dem ohne Förderung von Homeoffice vermehrt Wohnraumentwicklung abseits der planerisch definierten Schwerpunkte stattfindet (Szenarien BAA), weswegen letztgenannte Strategien nicht mit einer nachhaltigen Raumentwicklung – vor allem in ökologischem Sinne – vereinbar sein dürfte.

Bei den Szenarien, die eine flächendeckende Verkehrswende mit restriktiven MIV-Pushmaßnahmen umsetzen (AAB, ABB, BBB, BAB), fokussiert sich die Wohnstandortwahl sowie die Wohnraumnachfrage extrem auf die Großstädte und Oberzentren. Mehr Wohnfläche abseits dieser Schwerpunkte auszuweisen, was die Szenarien BAB und BBB verfolgen, stellt demnach keine konsistente Strategie dar. Ansätze, die zusätzlich zu den harten MIV-Pushmaßnahmen die Siedlungsentwicklung in den Oberzentren und gut angebundenen Mittelzentren priorisieren (Szenarien AAB und ABB), gehen hingegen mit einer deutlichen Reduzierung von Wohnflächenkonsum sowie MIV-Verkehrsleistung einher. Zusätzlich zeigen die modellierten Modal Splits deutliche Verschiebungen vom Pkw hin zum Umweltverbund. Mit Blick auf Ressourcenverbrauch und Treibhausgasemissionen sind diese Ansätze deshalb deutlich positiver zu bewerten. Die deutliche Erhöhung der Wohnkosten in den Oberzentren lässt demgegenüber eine Verschärfung sozialer Ungleichheiten befürchten. So sollten die hohen Wohnkosten mit Überbelegung von Wohnraum und hohen Mietbelastungsquoten einhergehen. Beides trifft vor allem Haushalte mit niedrigerem sozio-ökonomischen Status und erschwert die Sicherung gesunder Wohn- bzw. Lebensverhältnisse. Abseits der arbeitsplatzstarken Oberzentren könnten hingegen Leerstandsprobleme auftreten und die Attraktivität des ländlichen Raums deutlich

zurückgehen. Andererseits stellen die hohen Aufwände für das Pendeln insbesondere diejenigen besser, die nicht oder nur selten Pendeln müssen, das heißt Erwerbstätige im Homeoffice. Diese Gruppe hat in der Regel aber bereits besser bezahlte Jobs, profitiert folglich doppelt über geringere Wohnkosten abseits der Oberzentren und eingesparte Pendelwegen. Die Erwerbstätigen, die keinem Homeoffice-fähigen Job nachgehen, sind hingegen an die Zentren als Wohnstandorte gebunden und haben trotz tendenziell geringerer Verdienste hohe Wohnkosten zu tragen. Eine breite Förderung von Homeoffice (Szenario ABB) würde mehr Menschen zu einer arbeitsstandortunabhängigeren Wohnstandortwahl befähigen, in dessen Folge die Fokussierung auf die Großstädte und Oberzentren etwas abgefedert werden könnte. Diese hätte aber wiederum einen größeren Wohnflächenkonsum zur Folge und vor allem Erwerbstätige mit Homeoffice-fähigen Jobs würden profitieren. Dennoch wären beide Ansätze (Szenario AAB sowie Szenario ABB) konsistente Strategien.

Für die Ableitung von Handlungsstrategien folgt daraus, dass eine Abwägung verschiedener Nachhaltigkeitsziele notwendig ist. Eine Verkehrswende mit rigorosen MIV-Pushmaßnahmen kann einerseits den ökologischen Fußabdruck des Verkehrs deutlich verringern, andererseits aber soziale Ungleichheiten verschärfen. Diesen sozialen Ungleichheiten könnten weitergehende Maßnahmen entgegenwirken, die über diejenigen, die das Projekt MOBITAT2050 modellierte, hinausgehen. Auch deswegen sollen die Modellierungsergebnisse keinesfalls im Sinne eines Plädoyers gegen eine – in jedem Falle notwendige – Verkehrswende verstanden werden. Sie sollen aber dafür sensibilisieren, dass eine Verkehrswende mit sehr restriktiven Maßnahmen auch mit negativen Auswirkungen auf die Gesellschaft einher gehen kann, die über verkehrliche Aspekte hinausgehen.

Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hg.) (2018): Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR) des BMVI für die Mobilitäts- und Verkehrsforschung. Arbeitspapier. Online verfügbar unter https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/regiostar-arbeitspapier.pdf?__blob=publicationFile.

Cerqueira, Eugênia Dória Viana; Motte-Baumvol, Benjamin; Chevallier, Leslie Belton; Bonin, Olivier (2020): Does working from home reduce CO2 emissions? An analysis of travel patterns as dictated by workplaces. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 83, S. 102338. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102338.

Huebner, Gesche M.; Hamilton, Ian; Chalabi, Zaid; Shipworth, David; Oreszczyn, Tadj (2015): Explaining domestic energy consumption – The comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes. In: *Applied Energy* 159, S. 589–600. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.09.028.

Huebner, Gesche M.; Shipworth, David (2017): All about size? – The potential of downsizing in reducing energy demand. In: *Applied Energy* 186, S. 226–233. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.02.066.

Kholodilin, Konstantin A.; Girard, Yann; Neuhoff, Johanna (2020): Abschätzung der Anzahl der fehlenden Wohnungen in neun ausgewählten Metropolen Europas bis 2030. Hg. v. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW). Online verfügbar unter https://diw-econ.de/wp-content/uploads/Bericht_Blumerry_Projekt_v.8.0.pdf.

Liu, Kun; Guhathakurta, Subhrajit; Han, Chaeyeon; Hittinger, Eric; Phoung, Sinoun; Williams, Eric (2024): How much is US Office Building Space Reduced per Teleworker? In: *Findings*. DOI: 10.32866/001c.115400.