



Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz und für lebenswerte Städte und Regionen

Neue Prognoseverfahren für Angebot und Nachfrage im Fahrradland
Deutschland bis 2035 - Langfassung

Ort: Karlsruhe
Datum: 24.05.2024

Status:
Final

Impressum

Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz und für lebenswerte Städte und Regionen

Projektleitung

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe
Claus Doll, claus.doll@isi.fraunhofer.de

Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Claus Doll, claus.doll@isi.fraunhofer.de;
Clemens Brauer, clemens.brauer@isi.fraunhofer.de;
Dorien Duffner-Korbee, dorien.duffner-korbee@isi.fraunhofer.de.

Verfasst im Auftrag von

Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V. (ADFC) Bundesgeschäftsstelle

Mohrenstr. 69, 10117 Berlin
Inhaltliche Projektleitung: Angela Kohls, angela.kohls@adfc.de

Bildnachweis

Deckblatt: Dorien Duffner-Korbee, Fraunhofer ISI

Zitierempfehlung

Doll, C.; Brauer, C.; Duffner-Korbee, D. (2024): Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz und für lebenswerte Städte und Regionen. Neue Prognoseverfahren für Angebot und Nachfrage im Fahrradland Deutschland bis 2035, Langfassung. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, im Auftrag des ADFC Bundesverbands, Berlin.

Veröffentlicht

Mai 2024

Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Ziel der Studie	4
1.2	Nachfrageentwicklung bis 2019 und traditionelle Prognosen	4
1.3	Traditionelle Prognosemodelle mögliche Erweiterungen	5
1.4	Treiber der Radverkehrsnachfrage	5
2	Wirkungsbeziehungen aus der Literatur	6
2.1	Methodik der Literaturanalyse.....	6
2.2	Literaturergebnis zur Wirksamkeit von Maßnahmen	6
2.2.1	Fahrradinfrastruktur	7
2.2.2	Fahrradkultur	8
2.2.3	Fahrradpolitik.....	9
2.2.4	Wirkungsbeziehungen zwischen Maßnahmen.....	10
2.3	Internationale und deutsche Fahrradstädte und -regionen.....	12
2.4	Strategien internationaler Fahrradstädte.....	14
3	Modellansatz und Datenbasis	18
3.1	Überblick über den Modellansatz.....	18
3.2	Datenbeschaffung und –aufbereitung.....	19
3.2.1	Zielgrößen.....	19
3.2.2	Strukturvariablen.....	20
3.2.3	Szenarien-Variablen	20
3.2.4	Aufbereitung der Landkreisdaten	21
3.2.5	Analysen zur Infrastrukturausstattung mit OSM	21
3.2.6	Nutzung der FKT-Daten des ADFC	22
3.2.7	Kontrollvariablen	23
3.3	Details des Prognosemodells	23
3.3.1	Segmentierung	23
3.3.2	Aufbau des Gesamtmodells	23
3.3.3	Multinomiale logistische Regression	24
3.3.4	Berechnung von Szenarien über die Regressionskoeffizienten	24
4	Szenarien für den Radverkehr 2035	27
4.1	Basisdaten 2023 und Referenz 2035	29
4.1.1	Ist 2017 und Basisdaten 2023.....	29
4.1.2	Szenario Referenz 2035.....	31
4.1.3	Entwicklung der Kernindikatoren	33
4.2	Das Leitbild Fahrradland Deutschland 2035	34

4.2.1	Baustein 1: Einladende Fahrrad-Infrastruktur	34
4.2.2	Baustein 2: Fahrrad und Umweltverbund.....	36
4.2.3	Baustein 3: Fahrradfreundliche Kommunen	37
4.2.4	Gegenüberstellung der Annahmen	39
4.3	Szenario für die THG-Emissionen.....	39
4.3.1	Methodik und Annahmen	40
4.3.2	Ergebnisse: Emissionsfaktoren bis 2035	42
5	Ergebnisse: Verkehrs- und Klimawirkungen	43
5.1	Wegeanteile der Verkehrsmittel.....	43
5.2	Modal Split nach Raumtypen und Wegelängen.....	44
5.3	Entwicklung von Verkehrsleistung und Wegelängen	47
5.4	Entwicklung der Klimaemissionen im Fahrradland Deutschland.....	49
6	Thesen für das Leitbilds "Fahrradland Deutschland"	51
6.1	Befunde aus der Literatur.....	51
6.2	Handlungsempfehlungen	52
6.3	Prognosemethodik und Ausblick	57
7	Schlussbemerkung.....	59
8	Verzeichnisse.....	60
1	Literatur	63
A.1	Anhang 1: Eingangs- und Ergebnisdaten.....	69
A.2	Anhang 2: Szenarien des MobileCity-Modells	74
A.3	Anhang 3: Expertenworkshop Methodik und Szenarien	76

1 Einleitung

1.1 Ziel der Studie

In dieser Studie werden die möglichen Potenziale des Radverkehrs in Deutschland bis 2030 unter der Voraussetzung der konsequenten Umsetzung der Vision "Fahrradland Deutschland 2030" des Nationalen Radverkehrsplans (NRVP) 3.0 plus zusätzlicher Maßnahmen der Verkehrswende mit dem Fahrrad regional-typisch differenziert abgeschätzt. Die Studie nimmt dabei einen generellen Blick auf die möglichen Nutzungs- und Verlagerungspotenziale des Fahrrades in Städten und Regionen ohne Detailbetrachtung von Verkehrsströmen zwischen bestimmten Ausgangs- und Zielorten ein. Idealtypische Städte und Regionen sollen dabei die Bedingungen des "Fahrradlandes Deutschland" in Bezug auf lückenlose, attraktive und sichere Infrastrukturen und einer guten Vernetzung mit dem öffentlichen Personenverkehr (ÖPV) zur flexiblen Bewältigung von Wegeketten im Alltag erfüllen. Mit dem Blick bis 2035 werden auch die Möglichkeiten einer weiteren Verbreitung von Pedelecs und E-Bikes, digitaler Dienste, fahrradfreundlicher Stadtkonzepte und weiterer Maßnahmen zur Verkehrswende mit dem Fahrrad berücksichtigt.

1.2 Nachfrageentwicklung bis 2019 und traditionelle Prognosen

Der NRVP 3.0 hat sich zum Ziel gesetzt, die Anzahl der Wege von 120 pro Person / Jahr in 2017 auf 180 pro Person / Jahr bis 2030 zu erhöhen, sowie die durchschnittliche Länge mit dem Fahrrad bis 2030 zu verdoppeln. Damit müssten das Verkehrsaufkommen in Wegen um 4 % und die Verkehrsleistung in Personenkilometern (Pkm) um 8 % pro Jahr über 11 Jahre wachsen.

Im Jahr 2017 wurden in Deutschland 10,4 Mrd. Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt. Dies entspricht einem Anteil von 11 % aller Wege im Personenverkehr ohne Luftverkehr und Schifffahrt in Deutschland. Nach Rücknahme der COVID-19-bedingten Einschränkungen schätzen wir ein Wachstum der Wege mit dem Fahrrad 2017-2023 um 10 % und dessen Anteil an allen Wegen (Modal Split) 2023 mit 12 % ab. Nach Zahlen des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) wuchs das Aufkommen im Radverkehr vor der COVID-19-Pandemie über vier Jahre um durchschnittlich 6 % p.a. mit einem überdurchschnittlichen Wachstum bei jungen Menschen von 7 % p.a. und langen Wegen zwischen 10 und 15 km von 8 % p.a. (BMDV 2023). Hierbei wurden nur Wege mit dem Fahrrad als reines Verkehrsmittel, also keine sportlichen Aktivitäten, betrachtet. Gleichzeitig zeigt eine Sonderauswertung der "Mobilität in Deutschland (MID) 2017" zum Radverkehr einen auffälligen Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit der Bürgerinnen und Bürger mit dem Radverkehr und dem Radverkehrsanteil in den Kommunen. Entsprechend lassen sich mehrere Gründe für den deutlichen Anstieg der Fahrradnutzung auch jenseits des Infrastrukturaufbaus in Deutschland vermuten:

- Der Markterfolg von Pedelecs und E-Bikes. Diese ermöglichen einerseits längere Wege und erleichtern andererseits das Radfahren für neue Nutzerinnen und Nutzer des Radverkehrs (Cabral et al. 2020).
- Eine schrittweise Verbesserung der Radinfrastruktur besonders in größeren Städten. Neben der besseren Verfügbarkeit von Radwegen und Abstellanlagen führt die Präsenz von mehr Radfahrenden im Straßenraum auch zu einer höheren Akzeptanz und mehr Rücksichtnahme durch den motorisierten Individualverkehr (MIV).
- Soziale Netzwerkeffekte in Familien, an Arbeitsplätzen sowie im Freundeskreis, unter Bekannten können zu einem selbstverstärkenden Effekt führen. Bezüglich dem Verkehrsmittel indifferente Menschen können so zum Umstieg auf das Fahrrad auf Alltagswegen gebracht werden.

Die vorliegende Studie stellt diese Effekte den Ergebnissen traditioneller Verkehrsprognosen gegenüber.

1.3 Traditionelle Prognosemodelle mögliche Erweiterungen

Klassische Verkehrsmodelle erklären die Entscheidung (Verkehrsmittelwahl) für ein Verkehrsmittel in der Regel mit Zugangs-, Abgangs-, Warte- und Fahrzeiten, Kosten sowie Umstiegen entlang einer Route und mit der Verfügbarkeit von Mobilitätswerkzeugen wie Pkw, Fahrräder oder ÖPV-Dauerkarten. Dies wird dem Radverkehr und dem Zufußgehen nicht gerecht, da hier subjektive Größen wie die gefühlte Sicherheit, Stress oder Komfort und Schönheit einer Strecke in das Kalkül der Menschen einfließen. Entsprechend können traditionelle Verkehrsmodelle den Anstieg des Radverkehrs sowohl auf kommunaler als auch auf nationaler Ebene oft nicht erklären. Derartige Aussagen finden sich beispielsweise in Verkehrsentwicklungsplänen (Bsp. Stadtplanungsamt Karlsruhe (2009)). National prognostizieren sowohl die Mittel- und Langfristprognosen des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) (Intraplan 2022) als auch die Langfristszenarien im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Wietschel et al. 2022a) nur einen minimalen Zuwachs im Radverkehr selbst in nachhaltigkeitsorientierten Szenarien.

1.4 Treiber der Radverkehrsnachfrage

Wie oben beschrieben betrachten wir die direkten Einflussbereiche "Infrastruktur" im weiteren Sinn, "Fahrradverfügbarkeit" und "soziales Umfeld". Diese lassen sich auch als "Pull-Faktoren" bezeichnen, welche die Nutzung von Fahrrad und Umweltverbund attraktiver gestalten sollen. Zusätzlich unterstützen "Push-Faktoren" aus dem motorisierten Individualverkehr (MIV) den Radverkehr bzw. den Umweltverbund aus Fahrrad, Fußverkehr und ÖPV insgesamt. Typische Push-Faktoren um die Pkw-Nutzung weniger attraktiv zu machen sind verkehrspolitische Maßnahmen wie Steuern, Abgaben oder Parkgebühren oder Regulierungen wie Tempolimits, Einfahrtbeschränkungen oder ein reduziertes Parkplatzangebot.

Um Beziehungen zu den Zielvariablen Wege und Personenkilometer (Pkm) im Radverkehr herstellen zu können, müssen Näherungswerte für die verschiedenen Pull- und Push-Faktoren konstruiert werden. Hierzu bieten sich Querschnitts-Datensätze wie die Wegedatensätze der MID 2017 oder der ADFC-Fahrradklima-Test (FKT) verschiedener Jahre an. Mit Daten des FKT und der Infrastrukturausstattung lassen sich der Zustand der Infrastruktur, das Sicherheitsgefühl und die empfundene Qualität im Radverkehr betrachten.

Hochwertige Radverkehrsinfrastruktur zeichnet sich durch breite Radwege mit guter Oberfläche, möglichst wenig Interaktionen mit dem MIV, sichere Kreuzungen und vor allem durch ein durchgängig befahrbares oder zusammenhängendes Netz aus. Hierzu liegen keine einheitlichen statistischen Daten deutscher Städte und Regionen vor, diese sind jedoch in Routensuchportalen wie Google Maps oder OpenStreetMap (OSM) hinterlegt und nach Radwegetypen und Zeitraum auch für vergangene Jahre abrufbar.

Ziel des hier entwickelten alternativen Modellansatzes ist es nun, diese Datensätze zu kombinieren und über statistische Regressionsverfahren für die Prognose des Radverkehrsaufkommens in Erweiterung der klassischen Eingangsgrößen von Modalwahlmodellen nutzbar zu machen.

2 Wirkungsbeziehungen aus der Literatur

Der Verkehrsmittelanteil von Fahrrädern und Pedelecs auf Alltagswegen ist regional, zeitlich und nach Bevölkerungsgruppen sehr unterschiedlich. Prinzipiell ist der Radverkehrsanteil in Städten höher als in ländlichen Regionen – auch auf Wegen gleicher Länge. Aber auch zwischen Städten gibt es Unterschiede. Die Gründe hierfür können vielfältiger Natur sein und sind nicht abschließend erforscht. Die Mobilitätsforschung spricht von "Fahrrad-Städten" und "Auto-Städten", wenn sie sich auf Städte mit einem besonders hohen Anteil eines Verkehrsmittels am Verkehrsaufkommen bezieht.

2.1 Methodik der Literaturanalyse

Im Rahmen dieser Studie wird der aktuelle Stand der Forschung zu den folgenden Aspekten analysiert und aufbereitet:

- Charakteristika von Fahrradstädten,
- Auswahl deutscher und europäischer Fahrradstädte,
- Erfolgsfaktoren von Fahrradstädten,
- mögliche Werkzeuge zur Steigerung des Radverkehrsanteils und deren Wirksamkeit.

Die Literaturrecherche umfasst sowohl wissenschaftliche Journalveröffentlichungen als auch Veröffentlichungen von Regierungs- und Nichtregierungs-Organisationen. Ein starker Fokus liegt auf Veröffentlichungen zu bereits vorbildhaften Fahrradstädten, welche eine gesamtheitliche und progressive Vision einer fahrradgerechten Verkehrs-, Stadt- und Raumplanung zeichnen. Im Fokus der Analyse stehen Städte und Regionen aus Europa und Nordamerika, die insbesondere durch Fahrradförderung und in Kombination mit anderen Maßnahmen der Verkehrswende mit dem Fahrrad eine geringe Nutzung privater Kraftfahrzeuge (Kfz) und einen hohen Anteil intermodaler Fahrten mit Fahrrad und öffentlichem Personenverkehr (ÖPV) erzielen konnten. Die Literaturrecherche umfasst drei Teile:

- 1) Eine systematische Recherche in "Web of Science" mit den Suchkriterien "Cycling", "Infrastructure", "Policy" und "Measures". Ausgewertet wurden ausschließlich Open-Access-Publikationen (15 wissenschaftliche Artikel).
- 2) Eine Recherche basierend auf einem Schneeballsystem. Basierend auf den Literaturverzeichnissen und Quellenangaben der vorherigen Dokumente, wurde nach geeigneter Literatur über Google Scholar und Research Gate gesucht (53 zusätzliche wissenschaftliche Artikel).
- 1) Eine Recherche nach Berichten und Veröffentlichungen zur Klassifizierung von Fahrradstädten und eine gezielte Recherche auf Websites von Vorreiterstädten, relevanten Forschungsinstituten und staatlichen Institutionen (17 Dokumente)

Insgesamt wurden 105 Literaturquellen ausgewertet, von denen sich 17 Arbeiten speziell mit der Klassifizierung und Auswahl von Fahrradstädten befassen.

2.2 Literaturergebnis zur Wirksamkeit von Maßnahmen

In dieser Studie konzentrieren wir uns auf den funktionalen und den sozialen Rahmen des Radverkehrs. Wir kombinieren Erkenntnisse darüber, wie das Radfahren in der Stadt funktioniert, welche infrastrukturellen Bedürfnisse die Radfahrenden haben und wie das Radfahren in der Gesellschaft wahrgenommen wird. Um die zentrale Frage *'Was Fahrradstädte auszeichnet und welche Charakteristika für diese wichtig sind'* zu beantworten, haben wir die zentralen Erkenntnisse aus der Literatur in 3 Kategorien unterteilt: Fahrradinfrastruktur, Fahrradkultur und Fahrradpolitik.

2.2.1 Fahrradinfrastruktur

In der Literatur herrscht Konsens darüber, dass die Verfügbarkeit einer guten durchgängigen Radverkehrsinfrastruktur die wichtigste Voraussetzung für mehr Radverkehr ist. Das wichtigste Element der Radverkehrsinfrastruktur sind getrennte Radwege (als Fahrradstraße, baulicher Radwege, geschützter Radfahrstreifen, aber auch als Pop-Up-Radwege). Entscheidend ist eine bauliche Trennung zwischen Radfahrenden und dem Autoverkehr (Adam et al. 2020; Aldred et al. 2016; Balogh 2017; Dill et al. 2003; Dill et al. 2014; Götting et al. 2020; Monsere et al. 2014; Portland State University et al. 2014; Pucher et al. 2008; Schlaich 2020; Sinus 2021). Obwohl ein gutes Radwegenetz wichtig ist, wird nur selten nach Fertigstellung und Inbetriebnahme (ex-post) analysiert, ob der Bau von neuen Radwegen tatsächlich zu mehr Radverkehr führt, da die Auswirkung des Baus eines einzelnen Radwegs auf die Anzahl der Radfahrenden nur schwer zu messen ist (Pritchard et al. 2019; Skov-Petersen et al. 2017; Xiao et al. 2022). Es lässt sich jedoch eine eindeutige Auswirkung der Gesamtanzahl der Radwege in Städten auf den Anteil der Radfahrenden belegen (Buehler et al. 2021). Dabei ist nicht nur die kilometrische Gesamtlänge der Radwege, sondern vor allem die Kontinuität und Dichte des Radwegenetzes entscheidend (Carver et al. 2015; Mekuria et al. 2012). Darüber hinaus wirkt sich die Anbindung des Radwegenetzes insbesondere an Wohnorte und Arbeitsplätze positiv auf die Häufigkeit der Fahrradnutzung im Alltag aus (Braun et al. 2016). Zudem ist die Verkehrssicherheit sowohl eine Voraussetzung als auch ein motivierender Faktor für die Selbstverständlichkeit der Fahrradnutzung (Buehler et al. 2021; Gerike et al. 2020). Daneben ist auch der Komfort der Radwege ein wichtiger Bestimmungsfaktor: Je höher dieser eingeschätzt wird, desto regelmäßiger wird mit dem Fahrrad auf Alltagswegen gefahren (Heinen et al. 2013). Durchgehend glatte und gut gewartete Oberflächen sind vor allem wichtig für Vielfahrerinnen und Vielfahrer (Hardinghaus et al. 2019).

Tabelle 1: Der Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Fahrradinfrastruktur und dem Radverkehr in ausgewählten Städten.

Stadt	Jahre	Steigerung der km an Fahrradinfrastruktur (%)	Steigerung des Radverkehrs (%)
Paris, France	2000-2018	415	385
Seville, Spain	2006-2017	228	465
Copenhagen, Denmark	1996-2018	55	200
Amsterdam, NL	1990-2017	125	71
Freiburg, Germany	1982-2018	47	127
Berlin, Germany	1998-2017	67	50
Munich, Germany	2002-2017	90	80
Vienna, Austria	1990-2017	133	209

Quelle: Buehler & Pucher, 2021, Table 21.1, pp 427 (Buehler et al. 2021)

Der Bau von separaten Radwegen wird oft als sicherer Weg zu einer nachhaltigen städtischen Mobilität angesehen. Die Geschichte zeigt jedoch, dass ein alleiniger Fokus auf den Bau von Radwegen ohne Einbettung in eine breitere Fahrradkultur und -politik viel zu kurz greift (Oldenziel et al. 2011). Daher werden in den folgenden Abschnitten wichtige Aspekte der Radverkehrspolitik und -kultur erläutert.

2.2.2 Fahrradkultur

In einer vergleichenden Studie über die Fahrradnutzung in Kopenhagen und Oslo kamen Haustein et al. (2020) zu dem Schluss, dass der Unterschied in der Fahrradnutzung auf eine unterschiedliche allgemeine "Mobilitätskultur" in den beiden Städten zurückzuführen ist. Die Erfahrungen der Radfahrerinnen und Radfahrer in Kopenhagen sind insgesamt viel positiver im Vergleich zu denen in Stockholm. Jedoch können weder die Wahrnehmung des Vorrangs der Radfahrerinnen und Radfahrer noch die Unterschiede in der Bereitstellung von Radverkehrsinfrastruktur den Unterschied zwischen beiden Städten erklären. Haustein und Kolleginnen vermuten, dass der Unterschied mit einer allgemeinen Fahrradkultur zusammenhängt. In Bezug auf die Radverkehrspolitik haben Kopenhagen und Stockholm unterschiedliche Wege eingeschlagen. Dadurch sind Differenzen in der Wahrnehmung, welche Verkehrsmittel im Verkehr Vorrang haben sollten und welche sie selbst priorisieren sollten, entstanden. Die daraus resultierenden Mobilitätskulturen können nicht auf individueller Ebene erklärt werden, sondern basieren auf einer Reihe von Faktoren, die eine Fahrradkultur bedingen.

Eine Fahrradkultur besteht sowohl aus materiellen Elementen (u. a. Infrastruktur, bauliche Umgebung) als auch aus symbolischen wie sozialen Strukturen, Machtstrukturen und politischen Einflussfaktoren (Freitas Miranda et al. 2023). Ein wichtiger Indikator für eine ausgeprägte Fahrradkultur ist die Beteiligung von Frauen. In fahrradfreundlichen Städten und Ländern ist das Radfahren eine integrative, bevölkerungsweite Aktivität, an der sich auch Kinder, ältere Erwachsene und Frauen beteiligen. Die positive Beziehung zwischen dem Anteil des Fahrrads als Verkehrsmittel und der Beteiligung von Frauen am Radverkehr ist gut belegt (z. B. Buehler et al. 2021; Goel et al. 2022). In Ländern mit einer ausgeprägten Fahrradkultur (z. B. in den Niederlanden) ist das Verhältnis zwischen den Geschlechtern beim Radfahren gleich. In Ländern, wo es keine ausgeprägte Radkultur gibt, ist das Verhältnis zwischen Männern und Frauen etwa 3:1. Dieses führt dazu, dass Frauen oft als Indikator für ein fahrradfreundliches Umfeld genannt werden. Frauen haben höhere Ansprüche an die Route und sind eher von Hindernissen betroffen, wie z. B. der Notwendigkeit, Gegenstände zu tragen, winterlichen Bedingungen, Hügeln und persönlichen Sicherheitsbedenken (Hardinghaus et al. 2019). Zudem bevorzugen Frauen eine stärkere Trennung von Kraftfahrzeugen als Männer (Aldred et al. 2016). Nicht nur die Anforderungen an das Radnetz sind unterschiedlich, sondern auch die Wegzwecke unterscheiden sich. Frauen nutzen das Fahrrad seltener für den Weg zur Arbeit als Männer, dafür aber häufiger zur Erledigung sonstiger Alltagswege (Balogh 2017).

In ihrer Analyse der niederländischen Fahrradkultur stellt Kuipers (2013) fest, dass die Fahrradkultur als "nationaler Habitus" verstanden werden kann. Nationale Habitus werden durch Prozesse gebildet, die zu einer zunehmenden Ähnlichkeit innerhalb der Nationen beitragen. Die weite Verbreitung des Fahrrads in den Niederlanden ist auf die Homogenität und den hohen Integrationsgrad des Landes, die traditionelle Dominanz der oberen Mittelschicht und das geringe Machtgefälle zwischen den Klassen zurückzuführen. Dies führte zu wenig ostentativer Zurschaustellung von Status und sogar zu Statuskonkurrenz durch "auffälligen Nicht-Konsum". Die Elite konnte sich aufgrund der geringen Machtdistanz nicht allzu viel Prunk und Pomp leisten. Diese Abneigung gegen Prunk wurde von den unteren Statusgruppen übernommen. Das Wichtigste bei der Habitusbildung ist jedoch, dass für niederländische Radfahrerinnen und Radfahrer all diese Assoziationen und Hintergründe weitgehend irrelevant sind. Alle Niederländerinnen und Niederländer sind eingebettet in ein Netz von Konventionen, Gewohnheiten und Praktiken, die mit dem Radfahren zu tun haben und als selbstverständlich empfunden werden. Kuipers Analyse ist hier wichtig, da sie zeigt, dass nicht nur die Anzahl, Länge oder Qualität der Radwege entscheidend für die Akzeptanz und Etablierung einer Radfahrkultur ist, sondern soziale Normen und der gesellschaftliche Kontext. Sie weist jedoch auch darauf hin, dass dieser nationale Habitus aufgrund der sich diversifizierenden niederländi-

schen Gesellschaft im Niedergang begriffen ist. Die Bedeutung des Radfahrens in der niederländischen Gesellschaft verändert sich: Von einer unreflektierten, kollektiven Unpräzision oder Bescheidenheit scheint es zu einem weiteren schwer lesbaren Symbol für die informelle Exklusivität zu werden. Radfahren wird zum selbstbewussten Lebensstil und nicht mehr zur unbewussten Gewohnheit.

Die Analysen von Kuipers (2013) und Haustein et al. (2020) zeigen, dass die Entwicklung einer Fahrradkultur einen langen Vorlauf hat und in einen historischen Kontext gestellt werden muss. In Ländern, in denen sich - anders als in den Niederlanden - keine nationale Fahrradkultur entwickelt hat, können lokale, standortspezifische Fahrradkulturen entstehen. Die unterschiedlichen Fahrradkulturen in Bristol, Cambridge, Hackney und Hull zeigen, dass die Bedeutungen des Radfahrens mit den Materialien und Kompetenzen zusammenhängen, die für das Radfahren als notwendig erachtet werden (Aldred et al. 2014). Darüber hinaus weisen Freitas Miranda et al. (2023) darauf hin, dass eine Fahrradkultur in Münster durch erfolgreiche Designentscheidungen entstehen könnte. Es ist bisher nicht möglich, eine direkte Antwort auf die Frage nach der Beziehung zwischen Radverkehrsmaßnahmen und der Fahrradkultur zu geben (siehe z. B. (Aldred et al. 2014; Buehler et al. 2021; Freitas Miranda et al. 2023; van Goeverden et al. 2015; Verduzco Torres et al. 2022)). Der wissenschaftliche Konsens besteht darin, dass Fahrradkultur und Infrastrukturanpassungen sich gegenseitig beeinflussen.

2.2.3 Fahrradpolitik

Die Fahrradpolitik ist ein wichtiges Instrument zur Steuerung sowohl der quantitativen als auch der qualitativen Radverkehrsinfrastruktur sowie der Radverkehrskultur. Eine Reihe von Maßnahmen und Programmen kann das Radfahren fördern, darunter Programme, Anreize, Gesetze und bauliche Gegebenheiten (Buehler et al. 2021). Nationale Radverkehrsstrategien sind ein wichtiges Instrument für die Entwicklung des Radverkehrs in einem Land. Auf nationaler Ebene besteht eine direkte Einflussnahme auf die Gestaltung der Fahrradinfrastruktur durch Prioritätensetzung, Bereitstellung von Fördergeldern, die Förderung der Zusammenarbeit aller relevanten Akteure und die Durchführung von Kampagnen (VCD 2009).

Die European Cycling Foundation (ECF 2023) hat analysiert, in welchen EU-Mitgliedsstaaten Radverkehrsstrategien vorhanden sind. Danach hatten 2023 vierzehn Länder eine nationale Radverkehrsstrategie eingeführt, in sieben Ländern gibt es eine Strategie, die einer nationalen Radverkehrsstrategie ähnelt, vier Länder hatten früher eine nationale Radverkehrsstrategie, und in acht Ländern ist eine erste nationale Radverkehrsstrategie in Vorbereitung.

Fahradpolitik ist auch auf kommunaler Ebene von großer Bedeutung. Mehrere Studien (z. B. (Adam et al. 2020; Buehler et al. 2021; Harms et al. 2016; Lanzendorf et al. 2014; Oldenzi op. 2016) weisen darauf hin, dass kommunale Radverkehrspolitik auf politisch strategische Weise formuliert und umgesetzt werden müssen und dass sie von einer starken Führung und der Einbeziehung von Gemeinden und Interessengruppen profitieren. Insbesondere können die Kommunen erst dann mit einem Anstieg der Anzahl Radfahrender rechnen, wenn die tatsächliche und vor allem die wahrgenommene Sicherheit so weit erhöht wird, dass die Sicherheit für die Mehrheit der Bevölkerung nicht mehr das Haupthindernis für das Radfahren darstellt. Wichtige Elemente einer erfolgreichen Radverkehrspolitik sind

- 1) Festlegung messbarer und überprüfbarer Ziele,
- 2) Umsetzung der vorgeschlagenen politischen Maßnahmen,
- 3) Ermöglichung der Erprobung von experimentellen Maßnahmen und
- 4) eine starke Führungsrolle der Politik.

Die Bereitstellung einer angemessenen Radverkehrsinfrastruktur und die Verringerung der Attraktivität des Autoverkehrs sind wichtige Faktoren, um die Nutzung des Pkw zu reduzieren (Harms et al. 2016). Die Bedeutung einer dezidierten Radverkehrspolitik spiegelt sich auch im Modal-Split des Radverkehrs wider. Dies gilt für bekannte Fahrradstädte wie Amsterdam und Kopenhagen, aber auch für deutsche Städte. Kommunen, die eine dezidierte Fahrradpolitik verfolgen, weisen einen Anteil des Fahrradverkehrs von über 20 % auf. In der Spitze liegt dieser Anteil sogar bei 40 %. In Kommunen, in denen bisher kaum Radverkehrspolitik betrieben wurde, liegt der Anteil der Fahrradnutzung oft im unteren einstelligen Prozentbereich (VCD 2009).

Zusätzlich zu einer gezielteren Fahrradpolitik befördert auch das Konzept der "15-Minuten-Stadt" die aktive Mobilität. Dies stammt aus dem Bereich der Stadtplanung und beschreibt eine Stadt, in der alle täglichen Wege innerhalb von 15 Minuten zurückgelegt werden können. Die Fortbewegung erfolgt danach entweder zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln mit einer gleichmäßigen Verteilung der Haltestellen in der Stadt. Das Konzept der 15-Minuten-Stadt ist relativ neu, und die Veröffentlichungen zu diesem Thema konzentrieren sich hauptsächlich auf das Verständnis des Konzeptes und die Entwicklung von Methoden zur Bewertung (Caselli et al. 2022). Es gibt jedoch einige Städte, die schon mit diesem neuen Ansatz experimentieren; z. B. Barcelona, Bogota, Mailand oder Paris.

Eine zweite neue Sichtweise auf die Fahrradförderung ist die Verbindung zwischen Fahrrad und dem öffentlichen Personenverkehr (ÖPV). Forschungsergebnissen zeigen, dass es sinnvoll ist, die Verknüpfung von Fahrrad und ÖPV auszubauen, um zusätzliche Zielgruppen zu erreichen. Dabei ist es wichtig, dass die Bahnhöfe innerhalb von 5 km erreichbar sind und dass genügend Fahrradabstellplätze zur Verfügung stehen. Dies ist insbesondere in den Niederlanden ein bedeutendes Forschungsthema (Jonkeren et al. 2018; Jonkeren et al. 2021; Nello-Deakin et al. 2021).

2.2.4 Wirkungsbeziehungen zwischen Maßnahmen

Um das Radfahren als Pendlerverkehrsmittel zu fördern, können sowohl Push- als auch Pull-Maßnahmen (oder eine Kombination davon) durchgeführt werden. Pull-Maßnahmen sind im Kontext dieser Studie Maßnahmen, die das Fahrrad als Verkehrsmittel attraktiver machen sollen. Die wichtigste Pull-Maßnahme ist die Verbesserung der Fahrradinfrastruktur (Bundesanstalt für Straßenwesen 2019; Hong et al. 2020; Hull et al. 2014; Kipke et al. 2021; Lanzendorf et al. 2014; Richter et al. 2020; Skov-Petersen et al. 2017; Sloman et al. 2009). Die Wirkung von Pull-Maßnahmen auf den Radverkehr ist in Tabelle 2 dargestellt.

Bei der Interpretation der Ergebnisspalte in Tabelle 2 ist zu beachten, dass es sich in der Regel nicht um kontrollierte Evaluierungsergebnisse, sondern um einfache Vorher-Nachher-Messungen des Verkehrsgeschehens handelt. Dies kann Hinweise auf die Wirkung der Maßnahmen liefern. Die Ergebnisse können aber auch durch gleichzeitig stattfindende Ereignisse wie die COVID-19-Maßnahmen beeinflusst worden sein.

Push-Maßnahmen im Kontext dieser Studie, sind Maßnahmen, die den MIV weniger attraktiv machen sollen, um dessen Nutzende zum Umstieg auf das Fahrrad und den Umweltverbund insgesamt zu bewegen. (Fyhri et al. 2017). Beispiele sind eine Erhöhung der Parkgebühren, Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit innerorts, Umweltzonen oder die Einführung eine City-Maut in der Stadt. Diese werden in kommunalen Gesamtstrategien meist ergänzend zu Pull-Maßnahmen zugunsten des Umweltverbunds angewandt (vgl. Abschnitt 1.4).

Tabelle 2: Wirkungsanalyse von Investitionen in die Radinfrastruktur (Pull)

Quelle	Instrument	Stadt/Region	Indikator	Ergebnis ¹⁾
Manser et al., 2018	Pilotprojekt Fahrradstraße	Schweiz	Zusätzliche Radfahrten (%)	6 % - 28 %
Muconsult, 2010	Verbesserung Radschnellwege	Niederlande	Zusätzliche Radfahrten (%) Verlagerung vom MIV (%) Verstärkte Nutzung Rad (%)	21 % (6 % - 36 %) 3 % - 5 % 77 %
Copenhagen, 2019	Verbesserung Radschnellwege	Dänemark	Zusätzliche Radfahrten (%) Verlagerung vom MIV (%)	21 % (2 % - 68 %) 17 % (9 % - 21 %)
Xiao et al., 2022	Verbesserung und Ausbau Radwege	Frankreich (Lyon, Paris)	Zusätzliche Radfahrten (%) Zusätzliche Radfahrten auf anderen Straßen (%)	34,5 % 14,7 %
Hamburg, 2022	Pop-up-Radwege ²⁾	Deutschland (Hamburg)	Zusätzliche Radfahrten (%)	0 % - 22 %
Deutsche Umwelthilfe, 2021	Pop-up-Radwege	Deutschland (Berlin)	Zusätzliche Radfahrten (%) ³⁾ Reduktion des durchschnittlichen Kfz-Verkehrsaufkommens (%)	63 % - 232 % 8- 22 %
Sinus Institut, 2021	Bessere Infrastruktur allgemein (Umfrage)	Deutschland	Potenzial zusätzliche Radpendelnde Potenzial häufigere Nutzung des Rads zum Pendeln	31 % 75 %
Wilmink & Hartman, 1987 ⁴⁾	Integrierter Radnetzplan	Niederlande (Delft)	Anstieg Radanteil im Modal Split (%)	7 %
Gent, 2018	„Traffic Circulation Plan“ mit Vorrang für die aktive Mobilität	Belgien (Gent)	Zusätzliche Radfahrten auf den Verbindungsstraßen zwischen den Innen- und Außenbezirken (%) Zusätzliche Radfahrten innerhalb der Innenstadt (%)	20 - 34% 19-31%
Pritchard et al., 2019	Ausbau Radwege	Norwegen (Oslo)	Steigerung des Radverkehrsanteil im Modal Split	Kein Signifikante Steigerung, aber Verlagerung der bevorzugten Routen
Pol et al.,	Fahrbahnmarkierungen auf Radschnellwegen	Niederlande	Steigerung subjektives Sicherheitsgefühl (%)	4 - 30%

1) Hinweis: bei den Abschätzungen handelt es sich i.d.R. um ex post-untersuchungen. Befragungsstudien und ex ante-Schätzungen sind gesondert gekennzeichnet. Ergebnisse von Verkehrszählungen beinhalten weitere Effekte als nur die bereitgestellten Pull-Maßnahmen. Entsprechend handelt es sich in der Regel nicht um valide Effektschätzungen. - 2) Beispiel Pop-Up-Radweg Kantstraße Berlin: Zunahme des Radverkehrs +233 %. - 3) Zunahme Radverkehr in Berlin insgesamt im gleichen Zeitraum: +22 %. - 4) Das Beispiel ist noch aktuell, z.B. für den Radnetzplan Gent. Quelle: Fraunhofer ISI

Die Zusammenstellung in Tabelle 2 weist, trotz der genannten methodischen Schwierigkeiten, auf eine deutliche Wirkung von Pull-Maßnahmen auf das Modalwahlverhalten von Menschen und insbesondere von Berufspendelnden in Städten hin. Über alle analysierten Studien lässt sich schätzen,

dass neue und bessere Radinfrastruktur das Potenzial hat, 10 % bis 30 % Menschen neu für das Fahrrad zu begeistern oder die Nutzung des Fahrrads unter Radfahrenden zu erhöhen. Zusätzliche Informationskampagnen oder Bonusprogramme können die Wirkung der Maßnahmen steigern.

Die Signale von Push-Maßnahmen in Form höherer Preise zulasten des MIV fallen für den Radverkehr hingegen unterschiedlich aus. Das Beispiel der "London Congestion Charge" zeigt ein Potenzial von + 28 % mehr Radverkehr, wobei hier gleichzeitig enorm in neue Radinfrastruktur investiert wurde (Leape 2006). Das Zusammenspiel von Push- und Pull-Maßnahmen wurde in den untersuchten Quellen nicht explizit bestätigt, ist aber in der Verkehrsökonomie Konsens.

2.3 Internationale und deutsche Fahrradstädte und -regionen

In der Literatur haben wir sieben Ranglisten analysiert, die deutsche und internationale Städte nach ihrer Fahrradfreundlichkeit klassifizieren. Die Rankings sind unterschiedlich und basieren neben dem prozentualen Anteil der Fahrradnutzung an den täglichen Wegen (Modal-Split) auch auf Faktoren wie der Dichte der Radinfrastruktur, Bikesharing-Angeboten, Zufriedenheit und Geschlechterverteilung (Gender Split) der Radfahrenden. Die betrachteten Kategorien und Ergebnisse ausgewählter Indikatoren sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Indizes zu deutschen und internationalen Fahrradstädten

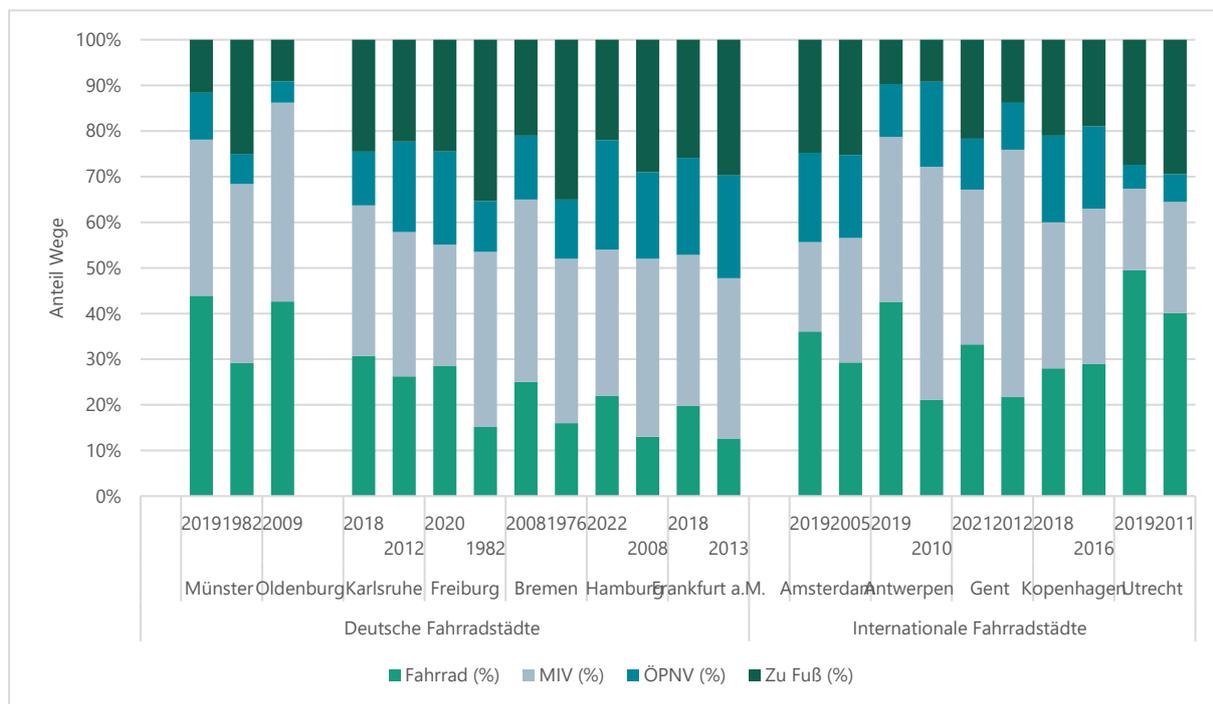
Studie	Identifikation von Fahrradstädten
Copenhagenize-Index (Copenhagenize 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptkategorien: straßenseitige Parameter (Fahrradinfrastruktur, Abstellanlagen, Verkehrsberuhigung), kulturelle Parameter ("Gender Split", Modalanteile des Fahrrads, Wachstum der Modalanteile über die letzten 10 Jahre, Indikatoren für Sicherheit, Image des Fahrrads, Lastenräder) Ambitionsparameter (Engagement, Politik, Fahrradanteil, Stadtplanung) • Ranking deutsche Städte: Bremen Berlin, und Hamburg • Ranking internationaler Städte: Kopenhagen, Amsterdam, Utrecht Antwerpen, Strasbourg, Bordeaux, Oslo, Paris, Wien, Helsinki
Globaler Fahrradstädte-Index 2022 (LUKO 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptkategorien: Infrastruktur, prozentualer Anteil der Fahrradnutzung, Kriminalität, Sicherheit, Wetter, Bikesharing, Aktivitäten. • Ranking deutsche Städte: Oldenburg, Münster, Freiburg, Bamberg, Göttingen, Heidelberg, Karlsruhe, Braunschweig, Konstanz, Bremen, Hannover • Ranking internationale Städte: Utrecht, Münster, Antwerpen, Kopenhagen, Amsterdam, Malmö, Hangzhou, Bern,
Urban mobility concept (Klinger et al. 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptkategorien: städtische Charakteristika (Einwohnerzahl, Siedlungsdichte, Ein- und Zweifamilienhäuser), Sozioökonomische Charakteristika (Seniorenanteil, Haushaltseinkommen pro Kopf; Anteil 1-Personen-Haushalte; Arbeitslosenquote), Verkehrsinfrastruktur und -angebot (Fahrradwirtschaft, ÖPV, Alternativen zum Bus, ÖPV-Preise, Automobilwirtschaft) • Cluster von Fahrradstädten: Bremen, Hamm, Leverkusen, Lübeck, Oldenburg, Osnabrück, Münster, Neuss

Studie	Identifikation von Fahrradstädten
ADFC-Fahrradklima-Test 2022 (ADFC 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Kategorien: Verkehrsklima, Stellenwert des Radverkehrs, Sicherheit, Erreichbarkeit der Ziele, Komfort und Infrastruktur. • Spitzenreiter (> 100.000 Einwohner:innen): Bremen, Frankfurt, Hannover, Münster, Karlsruhe, Freiburg, Erlangen, Göttingen, Darmstadt • Aufholer (> 100.000 Einwohner:innen): Köln, Bonn, Koblenz
Mobilität in Deutschland (MiD) 2017 (Nobis 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Städte mit höchstem Fahrradanteil im Modal Split: Erlangen, Heidelberg, Bremen, Karlsruhe, Freiburg, Lübeck, Hannover, München, Köln
Cycling behaviour in 17 countries (Goel et al. 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Ranking auf Basis von Modalanteilen des Radverkehrs: Amsterdam, Osaka, Tokyo, München, Nagoya, Köln, Berlin • Hinweis: Fahrradstädte wie Utrecht oder Kopenhagen wurden im Sample nicht berücksichtigt.

Quelle: Fraunhofer ISI

Aus dem Vergleich der Spitzenplätze dieser Ranglisten lassen sich sieben deutsche und vier europäische Fahrradstädte entsprechend Abbildung 1 identifizieren. Die Städte sind in beiden Kategorien in absteigender Ordnung mit deren aktuellen und, soweit verfügbar vergangenen, Verkehrsmittelanteilen in Wegen dargestellt. In Deutschland entsprechen diese im Wesentlichen den wiederkehrenden Spitzenplätzen des ADFC-Fahrradklima-Tests: Münster, Oldenburg und Karlsruhe. International finden sich hier die bekannten Beispiele aus den Niederlanden und Belgien neben Kopenhagen. Der ausschließliche Vergleich der fahrradfreundlichsten Städte in Deutschland und Europa zeigt keine signifikanten Unterschiede. Diese treten jedoch bei der Betrachtung weniger fahrradorientierter Kommunen zutage. Hier fallen die Radverkehrsanteile in deutschen Städten stark ab, während diese in den meisten niederländischen Städten hoch bleiben.

Abbildung 1: Ausgewählte Fahrradstädte und deren Modal Split



Quelle: Fraunhofer ISI

Hinweis: Der Modal Split als Maß des Verkehrsverhaltens ist insofern umstritten, als sich Methodik der Erhebung und Abgrenzung der betrachteten Wege zwischen den Erhebungen, und damit zwischen Städten und Zeitpunkten, stark unterscheiden können. So können sich Erhebungen auf den Berufs- oder Gesamtverkehr sowie auf den lokalen Verkehr oder das gesamte Verkehrsaufkommen inklusive Quell-, Ziel- und Transitströmen beziehen. Da jedoch die Definition "Fahrradstadt" auch andere Indikatoren als den Modal Split umfasst, können diese Details für den hier dargestellten Überblick vernachlässigt werden.

2.4 Strategien internationaler Fahrradstädte

Hohe Radverkehrsanteile sind weder bloßer Ausdruck eines modernen Lebensstils, noch entwickeln sich diese von selbst. Als ungeschützte Verkehrsteilnehmende sind Radfahrende vielmehr auf eine gute und sichere Infrastruktur und auf ein wohlwollendes Klima zwischen allen Verkehrsteilnehmenden angewiesen. Dies gilt gerade im traditionellen "Autoland Deutschland", in welchem der private Pkw seit Jahrzehnten als Ausdruck des individuellen Wohlstands und als Garant für die wirtschaftliche Stärke des Landes vermarktet wurde. Aufgrund zahlreicher Verkehrstoter und ohne heimische Automobilhersteller (OEMs) haben die Niederlande ab den 1970er Jahren einen anderen Weg zur Organisation ihrer Mobilität beschritten. Doch selbst hier bedarf die Aufrechterhaltung hoher Fahrradanteile in den Städten stetiger politischer Intervention und konstanter Investitionen in die Fahrradinfrastruktur.

Neben diesen allgemeinen Befunden müssen Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in die lokale politische Kultur und die Lebensrealitäten der Menschen eingebunden sein. Erfolgreiche Maßnahmen können sich entsprechend zwischen Kommunen und Regionen deutlich unterscheiden. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Strategien ausgewählter Fahrradstädte aus der Literatur.

Tabelle 4: Strategien der Radverkehrsstädte

Stadt	Strategie	Beispiele erfolgreicher Maßnahmen
Hamburg	Integrierte Radverkehrsstrategie: systematische Förderung des Rad- und Fußverkehrs.	<ul style="list-style-type: none"> • Instandhaltung und Ausbau von Radwegen • Einrichtung moderner Radfahr- und Schutzstreifen • Planung von 10.000 zusätzliche Fahrradstellplätzen in innerstädtischen Quartieren
Münster	Langjährige, konsequente Radverkehrsplanung: ein hierarchisch abgestuftes, engmaschiges Radverkehrsnetz.	<ul style="list-style-type: none"> • Autofreie Promenade: 4,5 Km langer Verteilerring um die Innenstadt • Umfangreiche bauliche Radinfrastruktur • Radstationen am Bahnhöfe und im Stadtgebiet • Gelebte Fahrradkultur
Frankfurt am Main	Fahrradfreundliche Nebenstraßen	<ul style="list-style-type: none"> • Andienungsflächen und Fahrradabstellanlagen • Bäume und Grünelemente, z. B. Sommergärten • Einschränkung des Kfz-Durchgangsverkehrs, z. B. durch Diagonalsperren und weniger Kfz-Parkplätze, • Reduzierung der Kfz-Fahrgeschwindigkeit, z. B. durch Aufpflasterungen an Einmündungen • Roteinfärbung von Knotenpunkten zur Erhöhung der Aufmerksamkeit • Sicherere Führung des Radverkehrs außerhalb des Bereiches geöffneter Türen parkender Fahrzeuge
Oldenburg	Das Fahrrad als vollwertiges gleichberechtigtes und vollständig integriertes Verkehrsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Grüne Welle für den Radverkehr • Radrouten für den Alltagsradverkehr • Optimierung der Signalanlagen • Radverkehrsabhängige Signalisierung • Neue Radabstellanlagen
Antwerpen	Verbesserung der Radinfrastruktur und der Radkultur	<ul style="list-style-type: none"> • Netzausbau durch Lückenschlüsse • Ausbau der Radschnellwege • Fahrradabstellanlagen • Bessere Verknüpfung von Rad und ÖPV • Verbesserte Verkehrssicherheit • Zugänglichkeit bei Straßenbauarbeiten
Gent	Fahrradroutenkonzept	<ul style="list-style-type: none"> • „Traffic Circulation Plan“ mit Vorrang für die aktive Mobilität • Verbindung der Stadtteile mit dem Zentrum • Tausende öffentliche Fahrradabstellanlagen an Bahnhöfen und zentralen Orten im Stadtgebiet • Sicherer Zugang zur Fuß und per Rad zum ÖPV • Kommunikationskampagnen
Delft	3-Ebenen-Fahrradnetz: 1. Städtisches Netz 2. Stadtteilnetz 3. Netz in den Quartieren	<ul style="list-style-type: none"> • Netzausbau durch Lückenschlüsse • Sichere Kreuzungen • Vorrang für den Radverkehr

Stadt	Strategie	Beispiele erfolgreicher Maßnahmen
Amsterdam	Mehr Platz für Radfahrer	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenhängendes Radwegenetz und stetiger Ausbau der Kapazitäten, z. B. durch breitere Radwege zum Überholen • Kreuzungsdesign mit Vorrang für das Fahrrad • Ausbau der Fahrradabstellanlagen, z. B. durch Umwandlung von Kfz-Parkplätzen • Massive Verteuerung von Kfz-Parken
Copenhagen	Die beste Radfahrerstadt der Welt	<ul style="list-style-type: none"> • Kohärentes und attraktives Netz von Radwegen • Bessere Fahrradabstellplätze • Entwicklung eines prioritären Netzes von Radverkehrsverbindungen mit besonders hohen Anforderungen an Radwegbreite, Instandhaltung und Schneeräumung • Monitoring: Alle zwei Jahre veröffentlicht die Stadt Kopenhagen einen Fahrradbericht, in dem der Stand der Erreichung der in der Fahrradstrategie festgelegten Ziele dargestellt wird

Quelle: Fraunhofer ISI

Bezüglich der Erfolgsfaktoren von Fahrradstädten lässt sich neben lückenlosen, dichten und qualitativ hochwertigen Radverkehrsnetzen folgendes festhalten:

- Dezidierte und aktive Fahrradpolitik.
- Ausbau der lokalen Fahrradinfrastruktur. Dies ist ein wichtiger Bestandteil in allen untersuchten Städten. Hier handelt es sich meist um Instandhaltung und Ausbau von Radwegen, die Einrichtung moderner Radfahr- und Schutzstreifen und kleine aber wichtige Lückenschlüsse, damit ein Kohärentes und attraktives Netz von Radwegen entsteht.
- Ausbau von Radschnellwegen für eine gute Verbindung zwischen Stadt und Umland.
- Errichtung öffentlicher Fahrradabstellanlagen an Bahnhöfen und zentralen Orten im Stadtgebiet.
- Einschränkung des Kfz-Verkehrs im Stadtzentrum.
- Schaffung einer einladenden Radverkehrsinfrastruktur durch vom Kfz-Verkehr getrennte Radwege sowie Geschwindigkeitsbegrenzungen, um das subjektive Sicherheitsempfinden zu erhöhen und schwere Unfälle zu vermeiden. Die meisten Menschen bevorzugen attraktive Radwege, die vom Kfz-Verkehr physisch oder räumlich getrennt sind. Dies trifft insbesondere auf Frauen, Kinder und ältere Menschen zu.
- Geschwindigkeitsbegrenzungen für den Kfz-Verkehr zur Abmilderung persönlicher Sicherheitsbedenken.
- Gute Anbindung der Radinfrastruktur an den ÖPV durch die Errichtung von Fahrradabstellanlagen. Auch hier besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den Wegen mit dem Rad zu Bahnhöfen und Haltestellen sowie der Qualität des Fahrradparkens zwischen den Niederlanden und Deutschland (Jonkeren et al. 2021)
- Ausrichtung der Netzplanung an den Mobilitätsbedürfnissen: Neben den Verbindungen von Wohn- und Arbeitsorten sind Erledigungen, Einkäufe und Begleitung von Personen bei der Netzplanung zu berücksichtigen, ebenso wie die eigenständige Mobilität von Kindern und Jugendlichen. Hier spielen gemischte Teams in den Planungsstellen zur angemessenen Berücksichtigung von Mobilitätsbedürfnissen jenseits der Arbeitswege eine wichtige Rolle.

- Ausrichtung der Radverkehrsplanung an den Bedürfnissen aller Bevölkerungsgruppen, unabhängig von Alter, Geschlecht und Fitnessgrad.
- Fahrbahnmarkierungen auf Radschnellwegen (Pol et al. 2018): Umfrageergebnisse zeigen einen leicht positiven Effekt deutlicher Markierungen auf die subjektive Sicherheit (Erhöhung zwischen 4 % und 20 %).
- In den Niederlanden helfen strenge Lärmschutz-Gesetze (aus dem Jahr 1979), den Pkw-Verkehr in Städten zu regulieren. Dies erschwert bspw. die Erweiterung von Einbahnstraßen zu Zweirichtungsfahrbahnen für Pkw. Neben Tempo 30 sind zur Durchsetzung bauliche Maßnahmen zum Abbremsen der Pkw wie Bremsschwellen (Speed Bumps) oder Kreisverkehre nötig.

Zusätzlich zu diesen konkreten und erfolgreichen Strategien für mehr Radverkehr in den analysierten Vorreiterstädten lassen sich vier Strategielinien für die Umsetzung in Deutschland zusammenfassen:

- Es ist wichtig, dass die Planung und Gestaltung von Radverkehrsinfrastrukturen als Netzwerk konzipiert und nicht auf einzelne Radwege ausgerichtet ist. Dieses Netzwerk soll sowohl für durchgehende Routen in der Stadt mit zentralen Radwegen, Fahrradbrücken und Bahnübergängen als auch für Verbindungen zwischen den Haupttrouten und Stadtteilen für kurze lokale Fahrten gut ausgelegt werden. Durch die Kombination von Haupttrouten und lokalen Anbindungen wird ein feinmaschiges Netz von Radwegen ermöglicht, das dazu führt, dass unterschiedliche Ziele in der Stadt mit dem Fahrrad gut zu erreichen sind. Kleine und lückenschließende Verbindungen können dabei kostengünstig angelegt werden. Für die Planung und Implementierung sollte eine Hierarchie nach Verkehrsmitteln angewendet werden, wobei Fußgänger die erste Priorität haben, Radverkehr die zweite, ÖPV die dritte und der MIV die letzte. In der Praxis bedeutet dies, dass an Kreuzungen zwischen Rad- und Autoverkehr die Kreuzung so angepasst wird, dass der Radverkehr Vorrang hat.
- Fahrradpolitik ist auch auf kommunaler Ebene von großer Bedeutung. Mehrere Studien (z. B. Adam et al. 2020; Buehler et al. 2021; Harms et al. 2016; Lanzendorf et al. 2014; Oldenziel op. 2016) weisen darauf hin, dass kommunale Radverkehrspolitiken auf politisch strategische Weise formuliert und umgesetzt werden müssen und dass sie von einer starken Führung und der Einbeziehung von Gemeinden und Interessengruppen profitieren. Insbesondere können die Kommunen erst dann mit einem Anstieg der Anzahl Radfahrender rechnen, wenn die tatsächliche und vor allem die wahrgenommene Sicherheit so weit erhöht wird, dass die Gefahren für die Mehrheit der Bevölkerung nicht mehr das Haupthindernis für das Radfahren darstellen.
- Die Schaffung einer positiven Fahrradkultur, insbesondere Anpassung von Vorrangregelungen der Verkehrsmittel zugunsten von Rad- und Fußverkehr. So ist die Wahrnehmung in Stockholm, Dänemark und den Niederlanden, dass Radfahrende im Verkehr Vorrang haben. In Deutschland haben trotz Anpassungen der StVO Pkw in der Wahrnehmung grundsätzlich Vorrang vor schwächeren Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern.
- Ein konsistentes System von Radverkehrskampagnen, um Menschen zum Radfahren zu motivieren. Auch in den Niederlanden, Dänemark und Belgien sind Radverkehrskampagnen konstant nötig, um eine positive Fahrradkultur zu erhalten.

3 Modellansatz und Datenbasis

Mit dieser Studie wollen wir den klassischen verkehrsökonomischen Ansatz zur Erklärung und Prognose von Verkehrsträgerentscheidungen über Kosten und Zeiten mittels eines neuen Modellansatzes erweitern. Dieser Ansatz bezieht Größen wie die wahrgenommene Qualität und Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln und Verkehrsnetzen in ein aggregiertes statistisches Modell ein. Dieser Ansatz erscheint geboten, da klassische netzbasierte Prognosemodelle gerade den nicht motorisierten Verkehr weniger gut erklären können, und gleichzeitig durch ihre detaillierte Darstellung von Verkehrsnetzen die Abschätzung von Verlagerungspotenzialen nur mit großen Aufwand erlauben.

Hierzu haben wir den Wegedatensatz aus dem Regional-Datensatzpaket der Mobilität in Deutschland (MiD) mit in diesem Zusammenhang neue erzeugten Daten zur Fahrradinfrastruktur aus OpenStreetMap (OSM) sowie mit den Ergebnissen des ADFC-Fahrradklima-Tests (FKT) kombiniert und in einem konsistenten statistischen Regressionsmodell zusammengeführt. Hiermit ist es möglich, die Fahrradnutzung sowohl durch Verfügbarkeit der Infrastrukturen als auch die wahrgenommene Qualität der Fahrradinfrastruktur zu erklären. Methodische Details der angewandten statistischen Verfahren, der Datengrundlagen sowie deren Möglichkeiten und Grenzen wurden mit namhaften Expertinnen und Experten in einem Fachworkshop am 11. September 2023 in Berlin besprochen (vgl. Anhang 3). Im Folgenden werden die Grundzüge des Modellansatzes überblicksartig beschrieben. Hinweise auf mögliche Weiterentwicklungen des hier entwickelten explorativen Ansatzes werden im Ausblick (Kapitel 6.3) diskutiert.

3.1 Überblick über den Modellansatz

In dieser Studie erklären wir den Modal Split der Alltagswege mit Fokus auf das Fahrrad alleine anhand statistischer Daten von Personen, Haushalten, Regionen und Verkehrsnetzen. Die geografische Anordnung von Siedlungsräumen oder Verkehrsnetzen gehen entsprechend nur aggregiert in das entwickelte Prognosemodell ein. Neu bei dem hier vorgestellten Ansatz ist die Kombination regionaler und verhaltensspezifischer Daten zur Erfassung des subjektiv wahrgenommenen Umfelds des Radfahrens als dem gemäß der Literaturanalyse (Kapitel 2) eigentlichen Treiber der Verkehrsmittelwahl. Mit entsprechenden Fragen aus der Erhebung Mobilität in Deutschland MiD 2017 (Nobis et al. 2018) oder dem Fahrrad-Klimatest (FKT, ADFC 2022) stehen hierzu umfangreiche und geografisch codierte Datenquellen zur Verfügung.

Ausgangspunkt des Modellansatzes ist der regionale Wegedatensatz der MiD 2017. Dieser beschreibt die Wege der befragten Personen an einem Stichtag mit Angaben etwa zu Ort, Tageszeit, Zweck, Verkehrsmittel oder Entfernung. Insgesamt umfasst der Wegedatensatz 960.615 Wege von 316.361 Personen im Zeitraum von Juni 2016 bis September 2017 in ganz Deutschland. Im hier verwendeten Regionaldatensatzpaket ist der Wegezweck nur in sehr allgemeinen Kategorien erhalten, so dass ein Herausfiltern unregelmäßiger Freizeitfahrten nicht möglich ist. Insgesamt wurden nur Wege mit einer Länge bis 30 km berücksichtigt, da die Stichprobengröße für längere Wege gering und deren Relevanz für die Verlagerung auf das Fahrrad begrenzt ist.

Speziell zur besseren Erklärung der Nachfrage im Radverkehr wurden die MiD-Wegedaten um die Bewertung des Radverkehrs durch die landkreisweisen Mittelwerte des ADFC-Fahrradklimatest 2018 und um den Stand der Radverkehrsnetze über Auswertungen von Open Street Map (OSM) ergänzt. Weiterhin wurde aus Bevölkerungsdaten von Destatis 2023 das Durchschnittsalter je Kreis berechnet. Die hier beschriebenen Werte wurden über die Kreiskennziffer den Wegen des regionalen MiD- Wegedatensatzes zugeordnet.

Mittels dieses zusammengesetzten Wegedatensatzes für das Jahr 2017 wurden über eine multinomiale logistische Regression¹ diejenigen Inputvariablen identifiziert, welche die Wahrscheinlichkeit für die Verkehrsträgerwahl einerseits statistisch signifikant erklären und andererseits eine ausreichende Effekthöhe aufweisen. Die Ist-Daten 2017 wurden schließlich zur Anwendung der Regressionskoeffizienten mittels Daten und Annahmen nach Abschnitt 4.1 auf das Jahr 2023 aktualisiert.

3.2 Datenbeschaffung und –aufbereitung

Zentrale Datengrundlage des Modells ist der Wegedatensatz aus dem Regional-Datensatzpaket der MiD 2017. Das Regional-Datensatzpaket ist zwar weniger detailliert in der Wege- und Personenbeschreibung als das Standard-Datensatzpaket, aber bietet im Gegensatz dazu Informationen zum Wohnumfeld der befragten Personen. Wichtigster Grund für die Wahl dieses Datensatzpaketes ist die Möglichkeit, über die Kreiskennziffern (KKZ) weitere landkreisspezifische Daten hinzuzufügen, wie z.B. die Ausstattung mit Fahrradinfrastruktur aus OSM (siehe Abschnitt 3.2.5) und die Durchschnittsnoten im Fahrradklimatetest des ADFC (siehe Abschnitt 3.2.6).

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Daten lassen sich in vier Anwendungstypen unterteilen:

- Zielgrößen
- Strukturvariablen
- Szenarien-Variablen
- Kontrollvariablen

3.2.1 Zielgrößen

Um das Verlagerungspotenzial und hieraus das Treibhausgas-(THG)-Einspar-Potenzial des Radverkehrs beurteilen zu können, ist die wichtigste Zielgröße des hier entwickelten Prognosemodells die Fahrleistung der Hauptverkehrsmittel. Wichtigster Einfluss- und Modulationsfaktor für diese Zielgröße ist der Modal Split in Wegen, der in diesem Modell durch die Variable „Hauptverkehrsmittel“ aus der MiD repräsentiert wird². Die Wahl dieser Variable bedeutet, dass intermodalen Wegen nur das wichtigste Verkehrsmittel zugeordnet wird. Dieser Schritt ist notwendig, da im Regional-Datensatzpaket kein separater Etappen-Datensatz enthalten ist und für die Berechnung der Regression jedem Weg ein Verkehrsmittel eindeutig zugewiesen sein muss. Um die Komplexität des Modells zu beschränken, wurden die Werte „MIV (Fahrer)“ und „MIV (Mitfahrer)“ zu einem Wert zusammengelegt. Die vier Verkehrsmodi, die im Modell zur Verfügung stehen, sind demnach:

- Zu Fuß
- Fahrrad
- Motorisierter Individualverkehr (MIV) mit Personenkraftwagen (Pkw)³
- Öffentlicher Personennah- und Fernverkehr (ÖPV)

¹ Die multinomiale logistische Regression ist ein statistisches Verfahren, das speziell für Situationen entwickelt wurde, in denen die Antwortvariable nominalskaliert ist und mehr als zwei Ausprägungen aufweisen kann. Zusätzlich ist der Vektor der Regressoren gegeben. Sie dient dazu, Gruppenzugehörigkeiten oder die Wahrscheinlichkeit dafür zu schätzen. Anders als bei der binären logistischen Regression, bei der nur zwei mögliche Kategorien der abhängigen Variable existieren, können hier mehrere Kategorien berücksichtigt werden.

² Ausgewählt wird die Variante in der fehlende Werte imputiert wurden, so dass diese Information für alle Wege zur Verfügung steht.

³ In der MiD beinhaltet der MIV auch andere Verkehrsmittel wie Motorräder. Da die überwiegende Mehrheit der MIV-Wege jedoch mit dem Pkw zurückgelegt wird, werden MIV und Pkw hier gleichgesetzt.

3.2.2 Strukturvariablen

Die Strukturvariablen dienen der Berechnung der Zielvariablen, sind aber nicht direkt Teil der Szenarienbildung. Der im Rahmen der Ermittlung der Basisdaten 2023 (Abschnitt 4.1) geschätzte Modal Split von 2023 dient im Modell als Aufsetzpunkt für den Modal Split der Szenarien. Die Gesamtweglänge nimmt eine Sonderrolle ein, da sie auch eine Szenariovariable darstellt. Zur Herleitung des Basis-Datensatzes 2023 vgl. Abschnitt 4.1.

3.2.3 Szenarien-Variablen

Die verwendeten Szenarien-Variablen werden aus Literaturrecherchen, Erfahrungswerten und durch Signifikanztests identifiziert. Sie lassen sich in die Bereiche Mobilitätswerkzeuge, Infrastruktur und Fahrradklima untergliedern. Die Werte für 2017 sind in der MiD für jeden Weg spezifisch enthalten bzw. wurden im Falle der Variablen für Infrastruktur und Fahrradklima anhand des Landkreises zugeordnet (siehe Abschnitt 3.2.4). Diese Werte wurden auch für die Berechnung der Elastizitäten verwendet (siehe Abschnitt 3.3.2). Die Werte für 2023 wurden mit Ausnahme der Infrastrukturvariable durch globale Faktoren hochgerechnet, da aktuelle Werte nicht mit der MiD vergleichbar flächendeckend und granular vorliegen (siehe Abschnitt 4.1.1).

Die Szenarien-Variablen sind mit den über alle Wege gemittelten Durchschnittswerten für die Jahre 2017 und 2023 in Tabelle 5 dargestellt.

Die im Wegedatensatz der MiD 2017 verfügbaren und statistisch signifikanten Variablen decken nicht in jedem Fall die genaue Stoßrichtung der in den Bausteinen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" enthaltenen Maßnahmen ab. Jedoch lassen sich Näherungen so herstellen, dass die Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer durch die mit den Bausteinen einhergehenden Änderungen nachgebildet werden können. So beschreibt die Variable "Qualität des ÖPV" die Gesamtheit aller Verbesserungen im öffentlichen Nah-, Regional- und Fernverkehr inklusive reduzierter Fahrpreise durch das Deutschlandticket und dessen Nachfolge-Angebote. Für den Radverkehr wäre die Zugangszeit zu den Haltestellen und dessen Minderung durch bessere Infrastrukturen und einen erhöhten Pedelec-Besitz interessant gewesen. Als verfügbare und signifikante Näherungsgröße nutzt das Modell den Anteil der Menschen in einem Radius von einem Kilometer um die nächste ÖPV-Haltestelle. Zur Simulation eines verbesserten Zugangs mit dem Fahrrad erhöhen wir diesen Anteil in Regionen mit einem weniger dichten Angebot. Dies bedeutet nicht zwangsläufig den Bau zusätzlicher Haltestellen (vgl. Kapitel 4.2.2.).

Tabelle 5: Variablen, Werte und Quellen

Bereich	Variable	2017	2023	Quelle 2017/2023*
Mobilitäts- werkzeuge	Pkw je Person im Haushalt ⁴	0,53	0,56	MiD / KBA
	Fahrradverfügbarkeit pro Person	79 %	83 %	MiD / ZIV
	Verfügbarkeit Pedelec ⁵ (je Person)	6 %	19 %	MiD / ZIV
	Führerscheinbesitz	91%	92%	MiD / Statista
Regional- analyse MiD	ÖPV-Haltestelle in max. 1 km	81%	81%	MiD
	Qualität des ÖPV ⁶	2,5	2,8	MiD /Schätzung
	Qualität Nahversorgung ³	2,4	2,7	MiD /Schätzung
	Pkw-Dichte (Ordinal) im Landkreis ⁷	3,1	3,3	MiD / KBA
Städte- analyse	km Radwege / 1000 km Wegenetz im Land- kreis	107	114	OSM
	Ø Note im Fahrradklimatest im Landkreis	3,96	3,95	FKT
Wegelänge	Ø Gesamtwegelänge in km	5,97	6,37	MiD / ViZ

* MiD = Mobilität in Deutschland 2017; Statista = Extrapoliert aus Statista (2023); ViZ = Verkehr in Zahlen 2022/23 mit Daten des deutschen Mobilitätspanels; KBA = Kraftfahrt-Bundesamt; ZIV = Zweirad-Industrieverband, Jahresstatistiken; FM = Fahrradmonitor 2017 und 2021; FKT = ADFC-Fahrradklima-Test 2016, 2018 und 2022. Quelle: Fraunhofer ISI.

3.2.4 Aufbereitung der Landkreisdaten

Im weiteren Verlauf dieser Studie wird der Begriff "Kreis" zusammenfassend für Landkreise und kreisfreie Städte verwendet. Basis für die Landkreisanalyse bilden die 402 Kreise der Bundesrepublik Deutschland auf dem bis 01.11.2016 gültigen Stand. Zu diesem Zeitpunkt wurden der damalige Landkreis Göttingen (Kreiskennziffer (KKZ) 3152) mit dem Landkreis Osterode im Harz (KKZ 3156) zum neuen Landkreis Göttingen (KKZ 3159) fusioniert. Diese Fusion fällt genau in den Erhebungszeitraum der MiD, so dass die Kreiszuordnung nicht einheitlich ist. Da 1497 Wege die alten KKZ enthalten, aber nur 122 die neuen KKZ, wird die alte Landkreiszuordnung in dieser Studie übernommen.

Den Wegen im Regional-Datensatzpaket können verschiedene Kreise zugeordnet sein. Soweit vorhanden wird die KKZ des Startortes verwendet. Für Wege, deren Startort fehlt, wird ersatzweise die KKZ des Zielortes verwendet. Fehlt diese auch, was vor allem bei regelmäßigen beruflichen Wegen der Fall ist, wird die KKZ des Wohnortes verwendet. So wird sichergestellt, dass jedem Weg ein Landkreis zugeordnet ist, um weitere Daten ergänzen zu können.

3.2.5 Analysen zur Infrastrukturausstattung mit OSM

Mit Hilfe des Python-Tools OSMnx (Boeing 2017) werden OSM-Daten zum gesamten Wegenetz der betrachteten Kreise über die Overpass-API abgerufen. Die Overpass-API ist eine kostenlose

⁴ Die Kategorien im regionalspezifischen MiD Wegedatensatz sind für Haushaltsgröße: 1, 2, 3, 4 und mehr; für die Anzahl der Autos 0, 1, 2 und mehr. Die Kombination dieser Variablen ist mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, stellt allerdings trotzdem die am besten geeignete Variable zur Berücksichtigung des Autobesitzes dar.

⁵ Wir verwenden Pedelec hier als Sammelbegriff für alle elektrisch unterstützten Fahrräder inklusive E-Bikes

⁶ 1 = sehr gut, 4 = sehr schlecht

⁷ 1: <520, 2: 520-550, 3: 550-580, 4: 580-610, 5: 610-640, 6: >=640 Pkw/1000 Einwohner

Schnittstelle, mit der OSM-Daten ungefiltert abgerufen werden können. Die Geodaten lassen sich dann anhand der in OSM genutzten Tags filtern.

Der Abruf der OSM-Daten in der Overpass-API geschieht anhand des Namens der zu betrachtenden Gebietseinheit. Um sicherzugehen, dass beim Aufruf des jeweiligen Kreisnamens die korrekten OSM-Daten abgerufen werden, wird vorbereitend für alle kreisfreien Städte und Landkreise ein Shapefile des Gebiets-Umrisses erstellt und visuell mit einer Karte der Landkreisgrenzen abgeglichen. Dies ist primär wichtig, um Verwechslungen von Landkreisen mit gleichnamigen Kreisstädten zu vermeiden. In einem Fall müssen die Daten eines Landkreises im Nachhinein händisch korrigiert werden. Die Datenabfrage wird einmal mit dem Stand vom 01.07.2017 durchgeführt, um die Konsistenz mit dem MiD-Daten herzustellen, und einmal mit dem aktuellen Stand vom 04.12.2023.

Unabhängig von einer eventuellen Benutzungspflicht werden sieben verschiedene Radwegetypen identifiziert, anhand der entsprechenden Tags⁸ aus den Wegedaten herausgefiltert und deren Längen aufaddiert:

- Eigenständige und straßenbegleitende Radwege (baulich von Straße und Gehweg getrennt)
- Getrennte Geh- und Radwege
- Gemeinsame Geh- und Radwege
- Gemeinsame Geh- und Radwege mit Zugang für Kfz (Anlieger, Forst- und Landwirtschaft etc.)
- Fahrradstraßen
- Schutzstreifen, Radfahrstreifen (mit und ohne Protektion/Trennelemente)
- Geteilte Fahrradstreifen (sog. Sharrows)

Da die Analyse der Daten vermuten lässt, dass aufgrund der fortlaufenden Präzisierung der OSM-Daten die Zuordnung von Strecken zu Radwegetypen zwischen 2017 und 2023 nicht vollständig konsistent ist und einzelnen Strecken mehrere Radwegetypen zugeordnet sein können, fließt nur die Gesamtlänge aller Strecken mit mindesten einem Radwege-Attribut in die Regression ein. Die Datenabfrage wird einmal mit dem Stand vom 01.07.2017 durchgeführt, um die Konsistenz mit dem MiD-Daten herzustellen. Dieser Stand wird für die Ermittlung der Koeffizienten des Regressionsmodells (Odds Ratios, vgl. Abschnitt 3.3.2) verwendet. Anhand eines weiteren Datenabrufs zum Stand 04.12.2023 wird die Infrastrukturverfügbarkeit für die Datenbasis 2023 ermittelt (vgl. Abschnitt 4.1.1).

Um die Vergleichbarkeit der Radwegelängen zwischen den Kreisen zu gewährleisten, werden diese auf die Länge des Gesamtwegenetzes des jeweiligen Kreises bezogen. Anhand der KKZ werden die Radwegelängen der Kreise den Wegen aus der MiD zugeordnet, die im jeweiligen Kreis stattgefunden haben.

3.2.6 Nutzung der FKT-Daten des ADFC

In der Ergebnistabelle zum ADFC-Fahrradklima-Test 2018 sind die Ergebnisse der Benotung des Fahrradklimas in 683 Städten veröffentlicht. Anhand des Gemeindeverzeichnisses des statistischen Bundesamtes werden die Städte dem Kreis zugeordnet, zu dem sie gehören. Falls mehrere Städte zu einem Kreis gehören, wird der nach Anzahl der Interviews gewichtete Mittelwert gebildet. Aus 102 der 402 Kreise ist keine Stadt in der Ergebnistabelle enthalten, 44 weitere Landkreise werden aussortiert, weil sie durch weniger als 100 Interviews repräsentiert werden.

Die Durchschnittsnoten der übrigen 256 Kreise werden analog zu den Radwegelängen anhand der KKZ den Wegen aus der MiD zugeordnet.

⁸ https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Bicycle/Radverkehrsanlagen_kartieren

3.2.7 Kontrollvariablen

Um Effekte abzubilden, welche jenseits der Reichweite der Mobilitäts- bzw. Radverkehrspolitik liegen, jedoch trotzdem die Modalwahl beeinflussen, werden die folgenden Kontrollvariablen mit in das Modell aufgenommen:

- Jahreszeit (Frühling, Sommer, Herbst, Winter)
- Regen oder Schnee am Stichtag (umcodiert aus Wettervariable)
- Stichtag war Feiertag oder am Wochenende
- Alter der Person, die den Weg zurückgelegt hat
- Anteil Studierende im Landkreis
- Durchschnittsalter im Landkreis
- Relief im unmittelbaren Wohnumfeld (durchschnittl. Steigung/Neigung einer 250 m-Zelle und der direkt angrenzenden Zellen)

Die Kontrollvariablen gehen, ebenso wie die Szenarien-Variablen entsprechend Abschnitt 3.2.2, in die logistische Regression (Abschnitt 3.3) ein. So kann sichergestellt werden, dass die Effekte der Szenarienvariablen möglichst wenig durch andere Einflüsse verfälscht werden.

3.3 Details des Prognosemodells

Da wir mit dieser Studie einen neuen Ansatz zur Prognose im Radverkehr entwickeln, werden in den folgenden Abschnitten die Hintergründe und Ergebnisse der statistischen Regression dargestellt.

3.3.1 Segmentierung

Mit dem Modellansatz zielen wir direkt auf die Modalanteile der Hauptverkehrsmittel Fahrrad (traditionelle Fahrräder und Pedelecs), zu Fuß, Pkw und ÖPV ab. Die Wege aus der MiD 2017 werden zudem nach zwölf Kategorien segmentiert:

- Vier Regionstypen entsprechend der RegioStaR-4-Nomenklatur des BMDV: 1: metropolitane Stadtregion (Metropolen), 2: regiopolitane Stadtregion (Regiopole), 3: stadtreionsnahe ländliche Region (stadtnah) und 4: periphere ländliche Region (peripher)
- Drei Entfernungsklassen innerhalb der Regionstypen: 0-2, 2-15 und 15-30 km. Wege mit mehr als 30 km werden nicht berücksichtigt.

Eine feinere Segmentierung, etwa nach Fahrzwecken, wurde aus Gründen der statistischen Signifikanz nicht vorgenommen. Der MiD-Wege Datensatz wird anhand dieser Kategorien in Sub-Datensätze unterteilt, für die jeweils als Submodell eine separate Datenanalyse durchgeführt wird.

3.3.2 Aufbau des Gesamtmodells

Für alle zwölf Submodelle werden zunächst die Strukturdaten tabellarisch aufbereitet (vgl. Anhang 1). Ebenso werden die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Szenarien-Variablen aufbereitet (siehe Tabelle 6). Die Werte für 2023 sind anhand globaler Faktoren aus den Daten von 2017 abgeleitet (siehe 4.1.1). Einzige Ausnahme sind die Radwege-Längen, die neu berechnet wurden. Der Faktor wurde hier rein informativ nachträglich gebildet. Um die Änderungen im Modal Split aufgrund einer Variation dieser Szenarien-Variablen berechnen zu können, werden im nächsten Schritt die Elastizitäten berechnet.

3.3.3 Multinomiale logistische Regression

Die Modalwahl für jeden einzelnen Weg ist ein Fall von "Discrete-Choice", das heißt, die Zielgröße ist keine kontinuierliche Größe, sondern ein „Entweder-Oder“. Daher ist hier keine lineare Regression möglich, wie sie bei der vergleichenden Analyse von Städten mit unterschiedlichen Radverkehrsanteilen verwendet würde. Stattdessen muss hier eine logistische Regression angewandt werden. Aufgrund der vier verschiedenen Modi (Zu Fuß, Fahrrad, Pkw, ÖPV), die für jeden Weg (zumindest theoretisch) zur Auswahl stehen, wird ein Sonderfall genutzt, die multinomiale logistische Regression, die mehr als zwei verschiedene Ergebniskategorien erlaubt.

Im Statistik-Programm R wird für jeden Sub-Datensatz eine multinomiale logistische Regression gerechnet. Dabei wird als Referenzkategorie für die Verkehrsmodi das Zufußgehen gewählt. Als erklärende Variablen (Prädiktoren) werden die Szenarien-Variablen aus Abschnitt 3.2.2 und die Kontrollvariablen aus Abschnitt 3.2.7 verwendet. Kategorielle Variablen werden entsprechend gekennzeichnet. Die Ergebnisse in Form der exponierten Regressions-Koeffizienten (Odds-Ratios) sowie der P-Werte für die Bestimmung der statistischen Signifikanz sind in Anhang 1 dargestellt.

Tabelle 6: Szenarien-Variablen je Submodell 2017 und 2023

2017												
Regionstyp	Wege-Länge	Mobilitätswerkzeuge				Regionalanalyse MiD				Kreisanalyse		Wegelänge (km/Weg)
		Pkw im HH pro Person	Führerscheinbesitz	Verfügbarkeit Fahrrad	Verfügbarkeit Pedelec	Entfernung ÖPV >= 1 km	Qualität ÖPNV (1-4)	Qualität Nahversorgung (1-4)	Pkw-Dichte Kategorien (1-6)	Radwege (km/1000 km Netz)	FKT (1-6)	
metro-politane	0 bis <2	0,44	87%	77%	4%	90%	2,1	2,2	2,3	127	4,0	1,0
	2 bis <15	0,50	90%	80%	5%	91%	2,2	2,4	2,3	125	4,0	6,3
	15 bis 30	0,56	92%	80%	5%	89%	2,3	2,4	2,6	120	4,0	21,2
regio-politane	0 bis <2	0,49	89%	80%	7%	86%	2,5	2,3	2,9	113	3,9	1,0
	2 bis <15	0,56	93%	81%	7%	85%	2,6	2,5	3,0	113	3,9	6,3
	15 bis 30	0,62	95%	82%	6%	82%	2,7	2,6	3,4	105	3,9	21,2
stadt-regions-nah	0 bis <2	0,55	90%	75%	7%	75%	2,8	2,3	4,2	82	3,9	1,1
	2 bis <15	0,60	93%	78%	7%	70%	2,9	2,6	4,3	82	3,9	6,4
	15 bis 30	0,64	94%	79%	7%	67%	2,9	2,6	4,3	80	3,9	21,1
periphere ländliche Region	0 bis <2	0,54	90%	79%	7%	69%	2,9	2,4	4,0	79	3,9	1,1
	2 bis <15	0,59	94%	82%	7%	62%	3,1	2,7	4,1	78	3,9	6,5
	15 bis 30	0,62	96%	80%	7%	56%	3,1	2,8	4,2	75	3,9	21,4
Durchschnitt:		0,53	91%	79%	6%	81%	2,5	2,4	3,1	107	3,96	5,97
2023												
Faktor 2023 / 2017		1,053	1,019	1,051	3,139	1,000	1,100	1,100	1,053	1,068	0,998	1,067
Regionstyp	Wege-Länge	Mobilitätswerkzeuge				Regionalanalyse MiD				Kreisanalyse		Wegelänge (km/Weg)
		Pkw im HH pro Person	Führerscheinbesitz	Verfügbarkeit Fahrrad	Verfügbarkeit Pedelec	Entfernung ÖPV >= 1 km	Qualität ÖPNV (1-4)	Qualität Nahversorgung (1-4)	Pkw-Dichte Kategorien (1-6)	Radwege (km/1000 km Netz)	FKT (1-6)	
metro-politane	0 bis <2	0,46	88%	81%	14%	90%	2,4	2,4	2,4	133,8	4,03	1,1
	2 bis <15	0,53	92%	84%	17%	91%	2,5	2,6	2,4	132,3	4,04	6,7
	15 bis 30	0,59	94%	84%	15%	89%	2,6	2,6	2,8	127,5	4,02	22,2
regio-politane	0 bis <2	0,52	90%	84%	21%	86%	2,7	2,5	3,1	119,4	3,85	1,2
	2 bis <15	0,59	95%	85%	22%	85%	2,9	2,8	3,2	119,6	3,86	6,7
	15 bis 30	0,65	97%	86%	19%	82%	3,0	2,8	3,6	111,6	3,87	22,5
stadt-regions-nah	0 bis <2	0,57	91%	79%	23%	75%	3,1	2,5	4,4	89,6	3,88	1,2
	2 bis <15	0,63	95%	82%	24%	70%	3,2	2,8	4,5	90,4	3,88	6,9
	15 bis 30	0,67	96%	83%	23%	67%	3,2	2,8	4,5	87,7	3,90	22,6
periphere ländliche Region	0 bis <2	0,57	92%	83%	22%	69%	3,2	2,7	4,2	86,8	3,90	1,2
	2 bis <15	0,62	96%	86%	23%	62%	3,4	3,0	4,3	85,3	3,92	7,0
	15 bis 30	0,65	98%	84%	21%	56%	3,4	3,1	4,4	82,8	3,91	22,9
Durchschnitt:		0,56	92%	83%	19%	81%	2,8	2,7	3,3	113,93	3,95	6,37

Quelle: Fraunhofer ISI

3.3.4 Berechnung von Szenarien über die Regressionskoeffizienten

Mit Hilfe der oben ermittelten Koeffizienten kann die Wahrscheinlichkeit für die Wahl jedes Transportmodus berechnet werden. In der logistischen Regression wird ein bestimmtes Maß für die Wahrscheinlichkeit verwendet, die Chance (engl. Odds). Die Chance ist in einer multinomialen lo-

gistischen Regression definiert als das Verhältnis zwischen der Wahrscheinlichkeit der Ergebniskategorien bezogen auf die Referenzkategorie, in diesem Fall der Modus "Zufußgehen". Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Verkehrsmittel auf einem zufälligen Weg gewählt wird, entspricht seinem Modal Share. Dementsprechend berechnet sich die Chance durch Division des jeweiligen Modal Share durch den Modal Share des Fußverkehrs. In Tabelle 7 sind Wahrscheinlichkeiten und Chancen der Transportmodi für 2023 gegenübergestellt. Im Gegensatz zum klassischen logistischen Regressionsmodell werden die Regressionskoeffizienten nicht verwendet, um anhand der absoluten Merkmalsausprägungen die Chancen für einzelne Wege auszurechnen. Stattdessen werden für jedes Szenario Deltas gegenüber dem Aufsetzpunkt 2023 definiert, um die Verschiebung der Chancen gegenüber 2023 zu bestimmen.

Tabelle 7: Wahrscheinlichkeiten und Chancen der Transportmodi

Regionstyp	Wege-Länge	Wahrscheinlichkeit (Modal Split)				Chance (Odds)			
		Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV
metro-politane	0 bis <2	0,52	0,18	0,25	0,05	1,00	0,35	0,49	0,10
	2 bis <15	0,09	0,13	0,58	0,21	1,00	1,44	6,56	2,38
	15 bis 30	0,01	0,03	0,71	0,25	1,00	2,84	68,53	23,97
regio-politane	0 bis <2	0,47	0,20	0,30	0,03	1,00	0,42	0,65	0,06
	2 bis <15	0,09	0,12	0,67	0,12	1,00	1,29	7,06	1,23
	15 bis 30	0,01	0,03	0,83	0,13	1,00	3,52	94,38	15,34
stadt-regions-nahe	0 bis <2	0,44	0,15	0,39	0,02	1,00	0,34	0,90	0,05
	2 bis <15	0,09	0,08	0,76	0,08	1,00	0,94	8,81	0,88
	15 bis 30	0,01	0,03	0,87	0,09	1,00	2,68	81,96	8,77
periphere ländliche Region	0 bis <2	0,44	0,17	0,37	0,02	1,00	0,39	0,86	0,04
	2 bis <15	0,09	0,09	0,74	0,08	1,00	1,03	8,64	0,95
	15 bis 30	0,01	0,02	0,89	0,08	1,00	2,06	82,22	7,54

Quelle: Fraunhofer ISI

Die exponierten Regressionskoeffizienten werden als Odds Ratios bezeichnet. Eine Odd Ratio beschreibt die Änderung der Chance je ganzzahliger Änderung der Prädiktoren. Die Berechnung der Szenarienergebnisse erfolgt nun für jede der 12 Kategorien in drei Schritten.

- 1) Zunächst werden die Odds Ratios jeder Szenarien-Variablen *i* für die Wahl der Verkehrsmittel mit der Änderungsdifferenz potenziert. Diese werden dann miteinander und mit dem Ist-Wert der Odds Ratio des Transportmodus im Jahr 2023 entsprechend den nachfolgend dargestellten Formeln multipliziert. Für den Modus "Zufußgehen" ist dieser Schritt nicht notwendig, da er definitionsgemäß den Wert 1 behält. Die Modalanteile der verschiedenen Transportmodi werden nun durch Division der jeweiligen Odds durch die Summe der Chancen aller Odds berechnet.

$$Odds_{M,Szenario} = Odds_{M,Ist_2023} \times \prod_{i=1}^n OR_{M,i}^{\Delta_i,Szenario}$$

$$Modal\ Share_{M,Szenario} = \frac{Odds_{M,Szenario}}{\sum Odds_{Szenario}}$$

mit:

$Odds_{M,Szenario}$ = Odds des Transportmodus M für das jeweilige Szenario

$Odds_{M,Ist_2023}$ = Ist-Wert der Odds des Transportmodus M im Jahr 2023

i = Szenariovariable

n = Anzahl der Szenarien-Variablen

$OR_{M,i}$ = Odds Ratio der Variable i für den Transportmodus M

$\Delta_i,Szenario$ = Differenz der Szenarien-Variablen i im Szenario zum Istwert 2023

$Modal\ Share_{M,Szenario}$ = Modal Share des Transportmodus M für das jeweilige Szenario

- 2) Durch die Multiplikation des Modalanteils mit der durchschnittlichen Wegelänge des jeweiligen Transportmodus und der gesamten Wegeanzahl im Wege-Segment wird nun die Verkehrsleistung der Transportmodi in Personenkilometern berechnet.
- 3) Anhand von Emissionsfaktoren nach Abschnitt 4.3 werden abschließend die THG-Emissionen im jeweiligen Segment bestimmt und für die Gesamtbilanz nach Verkehrsmitteln aufaddiert.

Die Änderungsraten des Referenzfalls und der Zielszenarien 2035 gegenüber dem Basisdatensatz 2023 werden im nachfolgenden Kapitel 4 ausführlich beschrieben.

4 Szenarien für den Radverkehr 2035

Mit seiner Vision 2030 setzt sich der Nationale Radverkehrsplan (NRVP) 3.0 der Bundesregierung für das Jahr 2030 das Ziel, dass deutlich mehr Menschen Rad fahren und dabei längere Wege zurücklegen und dass gleichzeitig die Zufriedenheit und die Sicherheit im Radverkehr deutlich zunehmen (BMVI 2021). In Zahlen bedeutet dies, dass der Modal Split an den Wegen mit dem Fahrrad von 11 % 2017 auf 15 % 2030 steigen soll. Damit wird jedoch lediglich das bereits im NRVP 2020 (BMVBS 2012) gesteckte Ziel anvisiert. Zugleich sollen die Wegelängen mit dem Fahrrad von 3,7 km 2017 auf 6,0 km um 60 % wachsen, womit sich die Verkehrsleistung von 3 % im Jahr 2017 bis 2030 verdoppeln soll. Trotz dieses Wachstums sollen bis 2030 im Vergleich zu 2019 40 % weniger Menschen auf dem Fahrrad verunglücken.

Im Jahr 2021, welches durch die COVID-19-Maßnahmen aber auch durch eine hohe Nachfrage nach Pedelecs geprägt war, nahm die Länge der Wege mit dem Fahrrad von 4,0 km 2017 auf 4,6 km und damit die Verkehrsleistung des Radverkehrs um 13 % zu (BMDV 2023). Gleichzeitig ist der Fahrradanteil in deutschen Vorreiterstädten wie Münster oder Oldenburg bereits jetzt auf 47 % beziehungsweise 43 % gestiegen. Schließlich bewerten deutsche Städte trotz zunehmend schwieriger Rahmenbedingungen die Themen Klimaschutz (59 %) und Mobilität (38 %) als die wichtigsten Zukunftsthemen (Kühl et al. 2023).

Die vorliegende Studie ermittelt die Potenziale des Radverkehrs für ein Leitbild "Fahrradland Deutschland" 2035. Dies greift die Vision des NRVP 3.0 für das Jahr 2030 auf, geht aber deutlich über dieses hinaus. Wir erweitern und konkretisieren die Vision des NRVP 3.0 um eine Verdreifachung und qualitative Aufwertung der Radwege, einem besseren Zugang zum ÖPV mit dem Fahrrad besonders in ländlichen Räumen und einer Umgestaltung aller Städte und Gemeinden für mehr Lebensqualität und Freundlichkeit für den Rad- und Fußverkehr zulasten des motorisierten Individualverkehrs.

Hierfür werden drei Bausteine entwickelt und analysiert. Diese beschreiben eine mittelfristige Zukunft um das Jahr 2035, in welcher die Konzepte einer nachhaltigen Mobilität in Städten und Regionen mit dem Fahrrad im Zentrum konsequent umgesetzt sind. Die Bausteine reichen vom Aufbau einer nutzerfreundlichen und sicheren Infrastruktur über die multimodale Integration des Fahrrads in den Umweltverbund bis zur lebenswerten Gestaltung des Straßenraums und die Schaffung eines fairen Miteinanders inklusive deutlicher Maßnahmen für einen klimafreundlichen Verkehr in Städten und Gemeinden.

Der hier aufgezeichnete Pfad hin zu einem konsequenten "Fahrradland Deutschland" fokussiert auf die Förderung der aktiven Mobilität, des ÖPV sowie der Aufwertung der Lebens- und Aufenthaltsqualität in Städten und Gemeinden. Diese Prämissen sollen die Verlagerung der Mobilität auf umweltfreundliche Alternativen zum motorisierten Verkehr sowie die Wahl näherer Ziele mit kürzeren Wegen befördern und damit die Treibhausgasintensität des Personenverkehrs reduzieren. Die Verminderung von Emissionen von Verbrennungs-Pkw und Bussen und der Stromerzeugung für elektrische Antriebe ist nicht Teil der Bausteine des hier gezeichneten Leitbilds "Fahrradland Deutschland". Wahrscheinliche Entwicklungen der Emissionsfaktoren werden für das Referenzszenario 2035 ermittelt und in allen Bausteinen beibehalten.

Die Bausteine des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" bauen sukzessive aufeinander auf. Diese sind als eng miteinander verknüpfte Umsetzungsstufen einer konsequenten Politik für den Radverkehr und den Umweltverbund und nicht als alternativ mögliche Pfade einer nachhaltigen Verkehrspolitik zu verstehen. Das Zielbild "Fahrradland Deutschland" löst sich von bestehenden finanziellen, personellen, juristischen und administrativen Beschränkungen und zeichnet eine Zukunft, in welcher die Nachhaltigkeit des Verkehrs, aktive Mobilität und lebenswerte Kommunen in allen Regionen

Deutschlands oberste Priorität genießen. Zielmarken für die Ausstattung mit guter Fahrradinfrastruktur und der Qualität des ÖPV als Säule intermodaler Wegekette sind dabei die nach Einschätzung der Verkehrsteilnehmenden am besten bewerteten Kreise in Deutschland.

Abweichend vom Zieljahr 2030 des NRVP 3.0 wird in dieser Studie der Zeithorizont 2035 gewählt, um die erheblichen Investitionen, welche das Leitbild Fahrradland Deutschland mit sich bringt, prinzipiell zu ermöglichen. Je nach finanziellen und administrativen Kapazitäten sowie politischem Willen kann die vollständige Umsetzung der Bausteine jedoch auch weiter in der Zukunft liegen oder in Teilen schneller erfolgen.

Baustein 1: Einladende Infrastruktur

Mit breiter Unterstützung durch Bund und Länder verdreifachen die Städte, Gemeinden und Regionen in Deutschland die Länge der Fahrradnetze, so dass bundesweit ein durchgängiges Radwegenetz entsteht. Dabei werden nach dem Vorbild der Niederlande Konzepte für sichere und komfortable Radwegenetze, sichere Kreuzungsgestaltung und Fahrradabstellanlagen für erheblich mehr Sicherheit und Komfort des Radfahrens für alle breitflächig umgesetzt. Gleichzeitig werden der Rechtsrahmen und die Regelwerke für ein faires Miteinander zugunsten ungeschützter Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer weiterentwickelt. Damit rücken alle Kommunen im ADFC-Fahrradklima-Test auf die Bewertung des besten Kreises im jeweiligen Raumtyp in den Komponenten Sicherheit, Komfort und Infrastruktur auf.

Baustein 2: Fahrrad im Umweltverbund

Die zweite Ausbaustufe des Fahrradlands Deutschland beschreibt die Integration des Radverkehrs in ein qualitativ hochwertiges und günstiges Angebot im öffentlichen Verkehr. Hierzu zählen der ÖPV, sowie der Regional- und Fernverkehr in ganz Deutschland. Maßnahmen zur Integration des Fahrrads sind ausreichend dimensionierte und sichere Abstellanlagen an allen Haltepunkten und Bahnhöfen, einen schnelleren Zugang zu ÖPV-Haltepunkten mit dem Fahrrad und durch erweiterte und flexible Angebotsformen besonders im ländlichen Raum, attraktive Fahrzeuge mit genügend Platz für die Fahrradmitnahme sowie eine entschlossene Digitalisierung zur nahtlosen Integration des Fahrrads in Auskunft- und Buchungssysteme. Damit verbessert sich die Erreichbarkeit des ÖPV auf der letzten Meile mit dem Fahrrad auf intermodalen Wegen.

Baustein 3: Fahrradfreundliche Kommunen

Die letzte Ausbaustufe des "Fahrradlands Deutschland" ergänzt die Bausteine 1 und 2 um ein Portfolio aus Push- und Pull-Maßnahmen mit investiven, stadtbaulichen, regulatorischen und preispolitischen Maßnahmen. Hierdurch wird die aktive Mobilität zu Fuß und per Rad gestärkt und die Länge von Alltagswegen für Beruf, Erledigungen und Freizeit auch durch die Verbesserung der Nahversorgung besonders in peripheren ländlichen Räumen gemäß dem Konzept der 15-Minuten-Stadt (vgl. Kap. 2.2.3) spürbar reduziert. Dieses Paket geht deutlich über die Vorschläge des NRVP hinaus, indem Städte und Gemeinden fahrrad- und fußgängerfreundlicher, lebenswerter und autoärmer gestaltet werden.

Die Grundzüge der hier entwickelten Szenarien wurden mit Expertinnen und Experten im Rahmen eines Fachworkshops am 11. November 2023 in Berlin besprochen (vgl. Anhang 3). Nach einer kurzen Vorstellung werden diese in den folgenden Abschnitten mit den angenommenen Parametern detailliert diskutiert. Die Ergebnisse für das Verkehrsaufkommen, den Modal Split und die Treibhausgas-Emissionen werden schließlich in Kapitel 5 dargestellt.

Die Darstellung der Ergebnisse dieser Bausteine erfolgt im Vergleich zu einem Referenzfall 2035. Dieser beschreibt eine Zukunft mit Maßnahmen aller politischer und administrativer Ebenen auf dem derzeitigen Niveau für den Radverkehr, den Umweltverbund und hin zu lebenswerteren Kommunen. Der Referenzfall 2035 berücksichtigt wahrscheinliche Entwicklungen wie den Markthochlauf von Elektro-Pkw und Pedelecs, sowie ein minimales Programm fest eingeplanter Maßnahmen zum Ausbau der Radinfrastruktur oder des ÖPV. Damit dient der Referenzfall dazu, die Potenziale eines Fahrradlands Deutschland und dessen Bausteine gegenüber einer weitgehend Pkw-dominierten Entwicklung von Verkehr und Mobilität in Deutschland darzustellen.

Das Referenzszenario beschreibt eine gedämpfte Entwicklung des Radverkehrs und der Verkehrswende mit dem Fahrrad, in welcher finanzielle, personelle, rechtliche und administrative Beschränkungen von Bund, Ländern und Kommunen aufgrund vielfältiger und gleichzeitig zu bewältigender Aufgaben sehr wohl eine Rolle spielen. Es schreibt damit die aktuelle verkehrspolitische Entwicklung mit Fokus auf den Erhalt bestehender Infrastrukturen und den Ausbau der Elektromobilität im Bund sowie in der Mehrheit der Bundesländer, Städte und Gemeinden fort. Gleichwohl werden auch für den Referenzfall 2035 leichte Fortschritte beim Ausbau von Radverkehr und ÖPV, sowie ein weiteres massives Wachstum von Bestand und Nutzung elektrisch unterstützter Fahrräder (Pedelecs) unterstellt. Die Annahmen zu den Emissionsfaktoren im Referenzfall wirken sich direkt auf die Klimabilanz des Radverkehrs aus, da die über eine Verlagerung zum Rad- und Fußverkehr eingesparten Tonnen Treibhausgase mit zunehmender Klimafreundlichkeit von MIV und ÖPV abnehmen. Andererseits bestimmen die Annahmen zum Hochlauf von Pedelecs die Attraktivität des Radverkehrs gegenüber MIV und ÖPV, ohne selbst wesentlich zu den THG-Emissionen beizutragen.

Zur Vereinfachung der Beschreibung werden im Folgenden die Jahreszahlen 2023 synonym für den Zeitraum 2022/2023 sowie 2035 für 2030-2035 verwendet. Insbesondere die Zielszenarien sind zeitlich offengehalten, da die Geschwindigkeit von Investitionstätigkeiten oder der Umsetzung weiterer Politikmaßnahmen und rechtlicher Anpassungen in dieser Studie nicht explizit betrachtet werden.

4.1 Basisdaten 2023 und Referenz 2035

Die Analysen des Mobilitätsverhaltens und der Verkehrsmittelwahl in dieser Studie basieren überwiegend auf den Datensätzen der Erhebung MiD 2017. Da neuere Daten der MiD 2023 noch nicht zur Verfügung stehen, erfolgt die Definition des Referenzszenarios 2035 über zwei Zwischenschritte:

- Basis 2023: Aktualisierung von Ist 2017 auf die geschätzten Verhältnisse im Zeitraum 2022/2023 mit Daten des statistischen Bundesamts, des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) sowie des Fahrrad-Monitors Deutschland und des ADFC-Fahrradklima-Tests (FKT).
- Bestimmung des Vergleichsszenarios "Referenz 2035", welches die wahrscheinliche Entwicklung im Personenverkehr bei Fortführung der aktuellen Politik und die Entwicklung von Verkehrsverflechtungen und Mobilitätsangeboten ohne zusätzliche Ambitionen beschreibt.

4.1.1 Ist 2017 und Basisdaten 2023

Im Folgenden werden die Eingangswerte für das Prognosemodell und die Annahmen für deren Aktualisierung auf das Basisjahr 2023 beschrieben. Die Darstellung ist ausführlicher gehalten, um mögliche Einflussfaktoren und Entwicklungsrichtungen diskutieren zu können. Die Entwicklung von Durchschnittswerten der Parameter sind in Tabelle 8 einsehbar.

Strukturdaten:

- Für die Aktualisierung der Wohnbevölkerung in Deutschland wurde die aktuelle 15. koordinierte Vorausschätzung, Variante 2 (moderate Entwicklung) des Statistischen Bundesamts herangezogen (Destatis 2022, 2023). Für den 6-jährigen Zeitraum 2017 bis 2023 ergibt sich daraus ein Wachstum um 2,7 % auf 84,4 Mio. Einwohnerinnen und Einwohner.
- Die Anzahl Wege setzt hierauf auf, wird jedoch nach Entfernungsklassen variiert, um den Ausbau der Verkehrssysteme widerzuspiegeln: -2 % unter zwei km, konstant für 2 bis 15 km und +5 % für das Entfernungsband 15 bis 30 km.

Mobilitätswerkzeuge:

- Die Entwicklung der Pkw-Verfügbarkeit lässt sich anhand der zugelassenen Fahrzeuge von 45,8 Millionen 2017 gegenüber 48,3 Millionen 2023 in Bezug auf die Wohnbevölkerung abschätzen. Nach Daten des Kraftfahr-Bundesamtes (KBA) ergibt sich ein Gesamtwachstum vom +5,3 % bis 2023. Wir übernehmen dies für alle Regionstypen und Entfernungsklassen.
- Der Führerscheinbesitz: hat sich in den vergangenen 15 Jahren (2002 bis 2017) von 81,8 % auf 87,8 % erhöht. Dies entspricht einer Zunahme des Bestands und Führerscheinen bei Personen über 18 Jahren von 0,85 % pro Jahr (BMDV 2023). Zwischen 2017 und 2023 stieg der Bestand an Fahrerlaubnissen weiter um 28 % auf 48 Millionen (KBA 2023), hierin enthalten sind jedoch auch Menschen, die aus verschiedenen Gründen nicht selbst fahren können.
- Mit rund 80 % in allen Regionen ist die Verfügbarkeit von Fahrrädern inklusive Pedelecs bereits 2017 recht hoch. Angaben zum Bestand an Fahrrädern des Zweirad-Industrie-Verbands ergeben ein weiteres Wachstum von +5 % bis 2023 auf dann durchschnittlich 83 % nahe (ZIV 2023).
- Ausstattung mit Pedelecs: Die Anzahl von Fahrrädern mit elektrischer Unterstützung (Pedelecs und E-Bikes) stieg nach Angaben des ZIV zwischen 2017 und 2023 um 341 %, womit sich eine Verfügbarkeit von 19 % über alle Regionstypen ergibt.

Regionalanalyse mit Daten der MiD

- Den Anteil von Menschen mit einer Entfernung zu ÖPV-Haltestellen von maximal einem Kilometer gibt die MiD 2017 mit rund 90 % für Metropolen und 60 % für periphere ländliche Räume an. Eine Analyse der Jahresstatistiken des Verbands deutscher Verkehrsbetriebe über die Zeit ergab keinen signifikanten Trend (VDV 2021). Entsprechend werden die Werte 2017 für den Basisdatensatz 2023 beibehalten.
- Die Qualität des ÖPV wird durch die MiD 2017 auf einer Notenskala von 1 bis 4 im Durchschnitt mit 2,5 bewertet. Die Werte variieren deutlich zwischen 2,0 in Metropolen und 3,0 in peripheren ländlichen Räumen. Mit dem Deutschlandticket und einer langsam voranschreitenden Digitalisierung unterstellen wir eine Verbesserung um 10 % oder -0,4 Notenpunkte.
- Analog bewertet die MiD 2017 die Qualität der Nahversorgung mit einer Durchschnittsnote von 2,4. Die Spannweite ist hier mit 2,2 bis 2,8 kleiner als für die ÖPV-Bewertung. Hier übernehmen wir die Noten für den Datensatz Basis 2023 aus den Ist-Daten 2017.
- Die Pkw-Dichte in Regionen bewertet die MiD 2017 in einer Skala von 1 (hoch) bis 6 (niedrig). Die Werte 2017 bewegen sich in einer Spanne von 2,4 für Metropolen und 4,1 für periphere ländliche Räume. Für den Basis-Datensatz 2023 koppeln wir die Entwicklung an die Pkw-Verfügbarkeit in Haushalten und die Bevölkerungsentwicklung. Hierdurch sinken die Skalenwerte um -7,5 % oder um -0,04 Punkte.

Städteanalysen über OpenStreetMap (OSM) und den ADFC-Fahrradklima-Test (FKT)

- Die Dichte von Radwegen wird für alle Radwegetypen in km je 1000 km Straßen angegeben. Die Daten aus OSM weisen Werte von 106,3 für 2017 und 113,9 für 2023 bzw. ein Wachstum von +6 % für Großstädte und +10 % für kleinstädtisch-ländliche Räume aus.

- Die Bewertung der Fahrradfreundlichkeit deutscher Kommunen durch den FKT erfolgt auf einer Notenskala von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend). Die Bewertungen bewegen sich im FKT 2022 in allen Regionstypen zwischen 2,8 bis 3,2 für die besten Städte und Kreise sowie zwischen 4,6 und 4,8 für schlechtesten Kommunen (ADFC 2022). Der FKT zeigt keinen signifikanten Trend in den vergangenen Jahren. Dementsprechend belassen wir die Durchschnittsnoten für alle Regionstypen im Basisdatensatz 2023 auf dem Niveau von 2017.
- Durchschnittliche Wegelängen stellen sowohl Eingangs- als auch Ausgangswerte des Prognosemodells dar. Als Eingangswerte beschreibt die Durchschnittsweite über alle Verkehrsmittel den gewünschten Aktionsradius der Menschen. Für 2017 weist die MiD einen Wert von 6,0 km pro Weg aus. Aus Daten des Deutschen Mobilitätspanels weist das BMDV (2023) einen Zuwachs der Wegelänge um +8,6 % für 2015 bis 2017 aus. Wir verwenden diese Rate für die Aktualisierung von 2017 nach 2023 mit einer dann durchschnittlichen Länge von 6,5 km.

Tabelle 8 stellt die Eckdaten der Datenbasis 2017, des Basisfalls 2023 und der Referenz 2035 dar. Die Werte entsprechen dabei Summen oder gewichteten Durchschnitten von Regionstypen und Entfernungsklassen und werden in im Prognosemodell entsprechend obiger Beschreibung weiter differenziert.

4.1.2 Szenario Referenz 2035

Das Szenario Referenz schreibt den Datensatz Basis 2023 bis 2035 fort und bildet damit die Grundlage, um die Potenziale des Radverkehrs für Mobilität und Klima bewerten zu können. Es bildet eine Situation nach, in welcher die aktuelle Verkehrspolitik von Bund, Ländern und Kommunen aufgrund von Beschränkungen von Finanzmitteln und Personal ohne größere Ambitionen fortgeführt wird. Das Szenario Referenz 2035 basiert auf der laufenden Umsetzung des NRVP 3.0 und unterstellt keine weiteren Aktualisierungen im Straßenverkehrsrecht oder technischer Regelwerke. Die gewählten Parameter orientieren sich am unteren, d. h. am konservativen Rand der Erwartungen von Branchenverbänden und wissenschaftlichen Gremien wie der Nationalen Plattform Mobilität (NPM 2021). Folgende Entwicklungen werden unterstellt:

Strukturdaten:

- Bevölkerung: die 15. koordinierte Bevölkerungsvorausrechnung des Statistischen Bundesamtes ergibt ein Gesamtwachstum der Bevölkerung 2023 bis 2035 von +2,3 % auf 82,4 Millionen. Auf Grundlage der Vorausberechnung nach Bundesländern wählen wir ein Wachstum von +7,2 in Metropolregionen und +1,3% in ländlich geprägten Räumen.
- Die Anzahl Wege nach Regionstypen und Entfernungsklassen führt die unterstellten Annahmen im Datensatz Basis 2023 mit einer Verschiebung hin zu größeren Entfernungen fort: -5 % < 2 km, konstant für 2 bis 15 km und +10 % für 15 bis 30 km. Diese Entwicklungen gelten für den Durchschnitt aller Verkehrsmittel. Mit dem Markthochlauf der Pedelecs unterstellen wir ein zusätzliches Längenwachstum um 5 % speziell für den Radverkehr.

Mobilitätswerkzeuge:

- Für die Pkw-Ausstattung der Haushalte je Person schreiben wir den Trend 2017 bis 2023 mit +11 % für die Referenz 2035 fort. Treiber sind unter anderem: weiter steigende Motorisierung von Frauen und Senioren, fortschreitende Automatisierung der Fahrzeuge, Förderinstrumente und fallende Batteriepreise für die Elektromobilität und das voraussehbare Drängen chinesischer Modelle auf den europäischen Automarkt. Dämpfende Trends sind restriktivere Maßnahmen der Kommunen zulasten des MIV.
- Für den Führerscheinbesitz unterstellen wir, basierend auf den starken Wachstumsdaten des KBA und mit angenommener Sättigungstendenz, ein Wachstum von +5 % in Metropolen und Regiopolen, sowie von +10 % in ländlichen Räumen.
- Für die Fahrradverfügbarkeit ergäbe die Trendfortschreibung eine weitere Zunahme um +10 % über alle Regionstypen. Wir unterstellen jedoch eine gewisse Marksättigung und weichen für metropole und regiopole Stadtregionen mit +5 % von der Trendanalyse ab.
- Die Ausstattung mit Pedelecs und E-Bikes 2023 bewegt sich zwischen 15 % in Metropolen und 22 % in den übrigen Raumtypen. Der ZIV prognostiziert bis 2035 einen Anteil im Bestand von 35 % bis 2035. Mit gewählten Wachstumsraten von Pedelecs von +50 % in Metropolen und +80% in peripheren ländlichen Räumen ergibt sich für den Referenzfall 2035 eine Verfügbarkeit von durchschnittlich 32 % über alle Raumtypen.

Regionalanalyse mit Daten der MID:

- Der Anteil der Bevölkerung, welcher den nächsten ÖPV-Haltepunkt innerhalb eines Kilometers oder weniger erreichen kann, wird sich entsprechend der Entwicklung bis 2023 auch bis 2035 ohne einen dezidierten Ausbau des öffentlichen Verkehrs nicht erhöhen.⁹ Wir nehmen an, dass sich die Trends finanzieller und personeller Engpässe der Kommunen mit den politischen Bemühungen, den Modal Split von ÖPV und Bahn deutlich zu steigern, ausgleichen. Entsprechend nehmen wir keine Verbesserung an.
- Die Qualität des ÖPV könnte, trotz der genannten Restriktionen, im Referenzfall 2035 insbesondere im ländlichen Raum durch flexible Zubringerdienste und digitale Angebote leicht steigen. Für diese Regionstypen unterstellen wir eine Verbesserung um 5 % oder 0,2 Noten.
- Für die Qualität der Nahversorgung übernehmen wir in der Referenz 2035 die Bewertungen der Basis 2023, und damit der Ist-Daten 2017.
- Für die Referenz 2035 koppeln wir die Pkw-Dichte in Regionen wie bereits im Basis-Datensatz 2023 an die Pkw-Verfügbarkeit und die Bevölkerungsentwicklung. Die Skalenwerte sinken hierdurch im Mittel um -12 % (in Richtung höherer Dichte).

Städteanalyse mit Daten von OSM und FKT:

- Im Sinne einer Trendfortschreibung extrapolieren wir die Entwicklung der Dichte von Radwegen aus dem OSM-Datensätzen 2017 und 2023 für die Referenz 2035. Dies ergibt +11 % für Metropolen und Regiopole sowie +20 % für ländliche Räume. Diese Annahme spiegelt die Bemühungen um mehr Radschnellwege in Deutschland wider. Im Durchschnitt beträgt die Radwegedichte in Deutschland damit 130 km Radwege / 1000 km Straße gegenüber 107 km Radwege je 1000 km Straße 2017.
- Die mehrjährigen Trends nach dem Fahrradmonitor (Sinus 2021) und ADFC-Fahrradklima-Test (ADFC 2022) zeigen, dass sich die Einstellung gegenüber dem Fahrrad und die Bewertung der

⁹ Hinweis: diese Variable dient der Näherung an die Erreichbarkeit von ÖPV-Haltepunkten auch mit dem Fahrrad und wird mit Verbesserungen der Zugänglichkeit der Haltepunkte in Baustein 2 verändert.

Fahrradfreundlichkeit der Kommunen in der letzten Dekade nicht stabil in eine Richtung entwickelt haben. Entsprechend bleiben die Zufriedenheitswerte für das Radfahren in Kommunen im Referenzfall 2035 auf dem Niveau von 2023.

- Die durchschnittliche Wegelänge über alle Verkehrsmittel wächst im Mittel mit +12 % zwischen 2023 und der Referenz 2035. Wir nehmen in metropolitanen und regiopolitanen Stadtregionen eine etwas schwächere Entwicklung von +10 % an als in ländlichen Räumen mit +15 %. Damit wächst die durchschnittliche Wegelänge auf 7,6 km und beträgt damit im Referenz-Szenario 2035 7,3 bis 8,1 km pro Person und Tag. Der erklärende Faktor für die Fortschreibung der Beobachtungswerte aus der Vergangenheit ist im Wesentlichen die weitere Ausdünnung der Nahversorgung auf dem Land, knapperer Wohnraum in Städten und damit längere Pendelstrecken.

4.1.3 Entwicklung der Kernindikatoren

Tabelle 8 stellt die Basisannahmen und Kernindikatoren der Analysen für das Jahr 2017 (Ist 2017), deren Aktualisierung auf 2023 (Basis 2023) sowie das Referenzszenario 2035 zusammen. Die Werte repräsentieren nach Wegen gewichtete Mittelwerte für die vier Regionstypen und die drei betrachteten Entfernungsbänder. Variationen innerhalb dieser 12 Kategorien werden aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht dargestellt. Details finden sich in Anhang 1.

Tabelle 8: Kernindikatoren Ist 2017, Basis 2023 und Referenz 2035

Kategorie	Indikator / Einheit	Ist-Daten 2017	Basisdaten 2023	Referenz 2035
Strukturdaten	Bevölkerung (Mio.)	82,2	84,4	86,4
	Wege gesamt p.a. (Mrd.)	86,6	89,0	91,0
Mobilitätswerkzeuge	Pkw je Person im Haushalt	0,53	0,56	0,63
	Führerscheinbesitzrate	0,91	0,92	0,97
	Fahrradverfügbarkeit (je Person)	0,79	0,83	0,90
	Pedelec-Verfügbarkeit (je Person)	0,06	0,19	0,32
	ÖPV-Erreichbar unter 1 km (je Person)	0,81	0,81	0,81
Regionen MiD 2017	Bewertung des ÖPV (Noten 1-4)	2,54	2,29	2,26
	Bewertung Nahversorgung (Noten 1-4)	2,41	2,41	2,41
	Pkw-Dichte in der Region (Klassen 1-6)	3,10	2,87	2,52
	Länge Radwege (km / 100 km Straßen)	106,6	113,9	129,7
Städte OSM/FKT	FKT Bewertung Radverkehr (Noten 1-6)	3,96	3,95	3,93
	Durchschnittliche Wegelänge (km)	5,97	6,49	7,53

Quelle: Fraunhofer ISI

4.2 Das Leitbild Fahrradland Deutschland 2035

Das Leitbild Fahrradland Deutschland wird im Rahmen dieser Studie in drei aufeinander aufbauenden Bausteinen entwickelt. Diese stellen keine eigenständigen Szenarien, sondern eng miteinander verknüpfte Bestandteile einer integrierten Strategie für nachhaltige Mobilität und lebenswerte Siedlungen dar. Das Fahrrad steht hierbei immer im Zentrum der unterstellten Maßnahmen in den Bereichen Fahrradinfrastruktur (Baustein 1), Integration in den Umweltverbund (Baustein 2) sowie lebenswerte und fahrradfreundliche Kommunen (Baustein 3).

Indirekte Effekte ergeben sich aus der Reaktion der Radfahrenden in Bezug auf die genutzten Mobilitätswerkzeuge Pkw, Führerscheine, Fahrräder und speziell Pedelecs. Diese können zum Teil aus dem integrierten urbanen Simulationsmodell MobileCity von Fraunhofer, KIT und takomat (Doll et al. 2023, Anhang A-2) oder dem systemdynamischen Verkehrs- und Nachhaltigkeitsmodell ASTRA-M des Fraunhofer ISI (Doll et al. 2022) abgeleitet werden. Die aus diesen Quellen gezogenen Schlüsse werden in der folgenden Darstellung von Eingangsvariablen für das Prognosemodell dieser Studie qualitativ begründet, da eine direkte Modellierung wegen unterschiedlicher Variablendefinitionen nicht ohne weiteres möglich ist.

Die Strukturdaten Bevölkerung und Wege entsprechen in allen Umsetzungs-Stufen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" den Annahmen im Referenzszenario 2035 und werden im Folgenden nicht weiter diskutiert. Weiter koppeln wir die regionale Variable "Führerscheinbesitz" mit einer Elastizität von 0,5 sowie "Pkw-Dichte" mit einer Elastizität von 1,0 an die personenbezogene Variable "Verfügbarkeit von Pkw im Haushalt", da die unterstellten Politikmaßnahmen alle Bürgerinnen und Bürger gleichermaßen betreffen. In den Bausteinen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" beschränkt sich die Beschreibung der Annahmen jeweils auf diejenigen Modellvariablen, welche sich im Vergleich zum vorhergehenden Baustein ändern. Im anschließenden Abschnitt 4.2.4 gibt Tabelle 11 einen Überblick über die Kernindikatoren der Bausteine 1 bis 3.

4.2.1 Baustein 1: Einladende Fahrrad-Infrastruktur

Der Baustein 1 "Einladende Infrastrukturen" setzt die Vision einer flächendeckenden, komfortablen und sicheren Fahrradinfrastruktur in allen deutschen Städten und Regionen um. Kernannahmen sind dabei eine Verdreifachung der Radwegedichte bzw. ein Längenzuwachs der Radwege um +200 % und eine von den Radfahrenden wahrgenommene höhere Qualität von Radwegen, Kreuzungen und Fahrradabstellanlagen. Gegenüber der Referenz 2035 ändern sich folgende Annahmen:

Mobilitätswerkzeuge:

- *Verfügbarkeit von Pkw* je Person im Haushalt: Unter den Bedingungen einer konsequenten Umsetzung von Radverkehrsmaßnahmen wie Radschnellwege aus der Region und der Rückbau von Kfz-Flächen zugunsten des Rad- und Fußverkehrs geht MobileCity von einem Rückgang des Pkw-Verkehrs um -2,3 Prozentpunkte oder um -5 % gegenüber dem Modal Split des MIV 2023 aus. Wir setzen diesen Wert für Metropolen und Regiopolen - gegenüber -3 % für ländliche Regionen - an. Entsprechend nehmen auch der Führerscheinbesitz und die Pkw-Dichte in den Regionen ab.
- Die *Fahrradverfügbarkeit* bildet einen der Kernparameter des Szenarios "Einladende Infrastruktur". Mit einem unterstellten zusätzlichen Wachstum von +5 % gegenüber der Referenz, d. h. +10 % in Großstädten und +15 % in ländlichen Räumen ergibt sich eine Fahrradverfügbarkeit insgesamt von 90 %. In peripheren Räumen liegt diese dann sogar bei 95 %.
- Inspiriert durch bessere Infrastrukturen und einen allgemeinen Trend zum Fahrrad nehmen wir auch für die *Pedelec-Verfügbarkeit* ein zusätzliches Wachstum von +20 % gegenüber dem Referenzfall 2035 an. Damit liegt die Marktdurchdringung von Pedelecs insgesamt bei 39 % und in peripheren ländlichen Räumen bei 49 %.

Regional- und Städteanalyse:

- Zentrales Anliegen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" ist eine nachholende Investition in die Fahrradinfrastruktur. Der Vergleich fahrradfreundlicher Städte in Europa zeigt Unterschiede in den Radnetzlängen je Einwohnerin und Einwohner von 1:16. Tabelle 9 zeigt die Eckwerte auf Grundlage von OSM-Daten in Deutschland für 2023. Hieraus ergeben sich für alle Regionstypen erhebliche Unterschiede zwischen den Kreisen mit der dichtesten und der geringsten Ausstattung mit Radwegen. Ein Anheben aller Kreise auf das Niveau des jeweils Besten würde ein durchschnittliches Längenwachstum zwischen 200 % und 400 % bedeuten. Im Abschlussbericht der AG1 "Klimaschutz im Verkehr" schätzt die Nationale Plattform Mobilität - passend hierzu - den Ausbaubedarf des deutschen Fahrradnetzes auf ca. 300 % gegenüber der Länge 2019 (NPM 2021)). Nach Regionen treffen wir folgende Annahmen: In Metropolen und Regiopolen existieren zwar bereits dichte Netze, hier wären aber ein weit größerer Nachfrageeffekt bei vertretbaren Planungs- und Baukosten zu erwarten. Im Gegensatz hierzu haben ländliche Räume einen großen Nachholbedarf, hier treffen aufwendige Planungs- und Bauvorhaben langer Radwege aber auf ein oft begrenztes Potenzial. Aufgrund dieser widersprüchlichen Signale gehen wir von einem gleichmäßigen Wachstum der Fahrradinfrastruktur auf 300 % (+200 %) gegenüber dem Basisfall 2022/2023 in allen Regionstypen aus. Dies entspricht einem Längenwachstum auf 250 % im Vergleich zum Referenzfall 2035 .

Tabelle 9: Verteilung der Radnetzichten 2023 nach Kreisen mit OSM-Daten

Dichte in km Radwege / 1000 km Straßen	Metropole Stadtreg.	Regiopol Stadtreg.	Stadtnahe ländl. R.	Periphere ländl. R.
Anzahl Kreise / Städte	115	87	83	117
Bester Kreis	Darmstadt	Braunschweig	LK Goslar	LK Garmisch-Partenkirchen
Schwächster Kreis	Hagen	Donnersbergkreis	Pirmasens	Lk Neustadt a.d. Waldnaab
Höchste Dichte	273,8	302,9	291,8	284,3
Niedrigste Dichte	44,7	16,7	12,6	17,0
Mittelwert	119,0	109,9	83,0	81,2
Bestwert - Mittelwert	154,9	192,9	208,8	203,1
Bestwert / Mittelwert	2,34	3,28	4,08	3,82

Quelle: Fraunhofer ISI

- Mit dem Netzausbau werden auch bestehende Anlagen aufgewertet, Lücken geschlossen und dadurch die Verkehrssicherheit und das Sicherheitsempfinden von Radfahrenden verbessert. Mit dem Prinzip der klassenbesten Gemeinden je Raumtyp ergeben sich Verbesserungen, d. h. Minderungen in der Notenskala des FKT entsprechend Tabelle 10. Hierin zeigt sich über alle Kreise hinweg eine weitgehende Übereinstimmung der Bewertung der besten und schwächsten Kreise zwischen Noten von 2,7 und 4,8. Im Szenario "Einladende Infrastruktur" betrachten wir aus den fünf Teilkomponenten des FKT die drei Kategorien Sicherheit, Komfort und Infrastruktur. Entsprechend fließen hier 2/3 der insgesamt unterstellten Verbesserungen in das Prognosemodell ein. Die Gesamtreduktion der FKT-Noten zwischen -19 % in Regiopolen und -31 % in stadtnahen ländlichen Räumen vermindern sich somit zu -13 % bis -21 %. Die hier

nicht betrachteten Verbesserungen in der FKT-Bewertung finden schließlich in Baustein 3 "Fahrradfreundliche Kommunen" Anwendung.

Tabelle 10: Verteilung der FKT-Noten nach Kreisen

Qualitätsbewertung in Schulnoten 1,0 - 6,0	Metropole Stadtreg.	Regiopole Stadtreg.	Stadtnahe ländl. R.	Periphere ländl. R.
Anzahl Kreise / Städte	115	87	83	117
davon FKT-Bewertet	106	63	51	60
Bester Kreis	Mainz-Bingen	Karlsruhe	Kreis Borken	Prignitz
Schwächster Kreis	Hagen	Koblenz	LK Neuwied	LK. Hof
Bestnote	3,0	3,2	2,7	2,8
Schwächste Note	4,7	4,6	4,7	4,8
Mittelwert	4,0	3,9	3,9	3,9
Bestwert - Mittelwert	-1,0	-0,7	-1,2	-1,1
Bestwert / Mittelwert	0,76	0,81	0,69	0,71
Anwendung Szenario 1	0,84	0,87	0,79	0,80
Anwendung Szenario 3	0,90	0,93	0,87	0,88

Quelle: Fraunhofer ISI

4.2.2 Baustein 2: Fahrrad und Umweltverbund

Im zweiten Baustein des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" steht die nahtlose Verknüpfung des Radverkehrs mit den öffentlichen Nah-, Regional- und Fernverkehr (ÖPV) im Vordergrund. Zusammen mit den gut ausgebauten Infrastrukturen des Bausteins 1 erhöht sich der Anteil der klima- und umweltfreundlichen Mobilität ohne Auto und die Erreichbarkeit des ÖPV auf der letzten Meile erheblich.

In den verfügbaren Variablen des hier aufgebauten statistischen Prognosemodells fehlen dezidierte Größen zur Verknüpfung der Verkehrsmittel. Diese lassen sich jedoch indirekt über eine deutliche Verbesserung des ÖPV, insbesondere der Erreichbarkeit von Haltepunkten, zusammen mit zusätzlich positiven Bewertungen im ADFC-Fahrradklima-Test näherungsweise nachbilden. Mit der Verbesserung der Alternativen zum privaten Pkw sinkt auch dessen Nutzung. Gleichzeitig erhöht sich die durchschnittliche Wegelänge geringfügig, und damit die Attraktivität des ÖPV gegenüber dem Pkw. Es werden folgende Annahmen getroffen.

Mobilitätswerkzeuge

- Pkw-Verfügbarkeit:** Die Einführung eines fiktiven 29-Euro-Tickets reduziert den Modal Split des Pkw in Karlsruhe nach Berechnungen des MobileCity-Modells um 2,5 Prozentpunkte (Doll et al. 2023). Durch den Ausbau von Ridepooling-Diensten zugunsten einer besseren Erreichbarkeit des ÖPV in peripheren Räumen rechnen Doll et al. (2022) sogar mit einem Rückgang des Pkw-Anteils von -5 % bis -10 %. Auf Grundlage dieser Bandbreiten reduzieren wir die Pkw-Verfügbarkeit und damit Führerscheinbesitz und Pkw-Dichte um -5 % gegenüber Szenario 1 (vgl. Anhang 2)

- Die Verfügbarkeit von Fahrrädern und Pedelecs könnte sich durch die bessere Verknüpfung mit den ÖPV weiter positiv entwickeln. Jedoch: Da die Fahrradverfügbarkeit in Szenario 1 bereits auf nahe 100 % geschätzt wurde, belassen wir diese beiden Mobilitätswerkzeuge auf dem Niveau des Szenario 1.

Regional- und Städteanalyse:

- Die *Erreichbarkeit des ÖPV* verbessert sich deutlich durch zusätzliche Haltepunkte, flexible Angebote wie Ridepooling-Dienste, attraktive Zugänge und Abstellanlagen für das Fahrrad gerade in ländlichen Räumen und durch die vollständige Integration des Fahrrads in Auskunftssysteme und Buchungssysteme des ÖPV. Es kann und wird sich regional unterscheiden, welchen Weg die ÖPV-Anbieter wählen. Wir unterstellen ohne die Ausarbeitung detaillierter Konzepte, dass die Erreichbarkeit in Regiopolen mit +6 % und in stadtnahen ländlichen Räumen mit + 30 % auf das Niveau von Metropolen angehoben wird. Dort können 90 % der Menschen die nächste ÖPV-Haltestelle vergleichbar mit einem Kilometer Fußweg erreichen. In peripheren ländlichen Räumen wächst die Erreichbarkeit in einer ähnlichen Größenordnung von 62 % in der Referenz 2035 und für das Szenario 1 auf 80 %.
- Die *Attraktivität des ÖPV* verbessert sich gerade für Radfahrende durch ein zuverlässiges und günstiges Angebot, sichere Radwege zu den Haltepunkten, sichere und wettergeschützte Abstellmöglichkeiten, Leihfahrräder am Zielort sowie gute Möglichkeiten zur Fahrradmitnahme deutlich. Wir unterstellen eine Verbesserung um 0,5 Notenpunkte auf der Skala 1 bis 4 bzw. um - 15 % in Metropolen bis - 35 % in peripheren ländlichen Räumen.
- Die Verknüpfung der Verkehrsmittel macht die Fahrradnutzung als Alternative zum Pkw noch attraktiver. Wir unterstellen die Verbesserung des Fahrradklimas beispielsweise in der Kategorie " Stellenwert des Radverkehrs" des FKT bzw. um 0.2 Notenpunkte gegenüber Baustein 1 mit Schwerpunkt auf die ländlichen Regionen.
- Die *durchschnittlichen Wegelängen* im ÖPV hatten sich mit dem 9-€-Ticket im Sommer 2022 insbesondere durch zusätzliche und weitere Fahrten im Segment Freizeitverkehr deutlich erhöht. Verbesserte Bedingungen für die Fahrradmitnahme sowie Bike+Ride unterstützen diesen Trend. Dieser Effekt wirkt jedoch spezifisch auf einen Teil der Wege im Segment ÖPV. Mit Blick auf beide Effekte nehmen wir für die durchschnittliche Wegelänge über alle Verkehrsmittel, Raumtypen und Fahrzwecke hinweg ein Wachstum um 2 % gegenüber der Referenz 2035 und Szenario 1 an.¹⁰

4.2.3 Baustein 3: Fahrradfreundliche Kommunen

Der dritte Ausbauschnitt des Fahrradlands Deutschland unterstellt einen konsequenten und flächen-deckenden Mix aus Push- und Pull-Maßnahmen in allen Kommunen. Damit sollen Fahrradfreundlichkeit und Lebensqualität verbessert und als Konsequenz die Nutzung des privaten Pkw auf ein notwendiges Mindestmaß reduziert werden. Wesentlicher Bestandteil des Bausteins 3 ist die Flächenumverteilung und -aufwertung zugunsten von Rad- und Fußverkehr und einer höheren Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum. Hierfür werden Radwege zulasten von Fahrspuren und Parkraum in die bestehenden Straßennetze integriert. Über "Protected Bike Lanes" und "Protected Crossings" sowie die Reduktion der Pkw-Geschwindigkeiten werden hierarchisch geordnete Fahrradnetze so gestaltet, dass sich Radfahrende immer sicher und komfortabel bewegen können (vgl. Kapitel 2.2.1).

Über den Verkehrssektor hinaus werden Strategien der nachhaltigen Stadt- und Siedlungsentwicklung in allen Regionen umgesetzt. Konzepte wie die 15-Minuten-Stadt (vgl. Abschnitt 2.2.3) oder

¹⁰ Hinweis: längere Wege kommen auch durch indirektere Verbindungen des ÖPV gegenüber dem Pkw zustande. Gemäß dem statistischen Modell implizieren diese eine höhere Attraktivität des ÖPV gegenüber dem Pkw.

die "neue Urbane Agenda" der Vereinten Nationen (United Nations 2017) zeichnen entsprechende Ziele und Wege auf. Durch gemischte Bebauungsformen und die Aufwertung öffentlicher Räume soll die Lebensqualität der Menschen verbessert und damit dem Trend der Stadtfucht mit langen Wegen für das Pendeln und für Erledigungen entgegengewirkt werden.

In Gänze wendet diese letzte Ausbaustufe des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" infrastrukturelle Maßnahmen, rechtliche Anpassungen zur Stärkung der aktiven Mobilität, organisatorische Maßnahmen zur Verbesserung der Nahmobilität sowie preispolitische und regulatorische Maßnahmen zulasten des Pkw in einem Paket an. Die konkret angenommenen Maßnahmen dieses Portfolios und deren Übersetzung in Modellparameter werden im Folgenden diskutiert:

Mobilitätswerkzeuge:

- *Pkw-Verfügbarkeit*: In den Maßnahmenbündeln "Klimapaket" und "Klimanotbremse", welche sich aus der deutlichen Reduktion von Parkplätzen und Parkgebühren bis zu 20 € in Innenstadtbezirken sowie einem breiten Ausbau der Fahrradinfrastruktur und der Wiedereinführung des 9-€-Tickets für den ÖPV zusammensetzen (vgl. Anhang 2) ermittelt MobileCity eine Minderung des Modal Split des Pkw von 9 bzw. 16 Prozentpunkten. Ausgehend von einem Pkw-Anteil im Referenzfall von 47,5 % entspricht dies einer Reduktion von 20 % bis 30 %. In Anlehnung hieran nehmen wir eine Reduktion der Pkw-Verfügbarkeit von -30 % für Metropolen bis -20 % für ländliche Räume gegenüber dem Referenzfall 2035 an. Damit sinkt die Pkw-Verfügbarkeit in Metropolen auf 37 % und in peripheren Räumen auf 49 %.
- Wir wählen die *Fahrradverfügbarkeit* so, dass in der Ausbaustufe "Fahrradfreundliche Kommunen" jeder Mensch ein Fahrrad verfügbar hat. Dies wird durch ein weiteres Wachstum der Fahrrad-Verfügbarkeit um 5 % bis 8 % in den Regionstypen erreicht.
- Die *Pedelec-Verfügbarkeit* wird mit + 25 % soweit erhöht, dass im Durchschnitt aller Regionstypen die Hälfte aller Menschen Zugriff auf ein elektrisch unterstütztes Fahrrad hat. Die Verfügbarkeit beträgt damit 38 % in Metropolen und 61 % in ländlichen Räumen.

Regional- und Städteanalyse:

- Die Verbesserung der *Nahversorgung* ist über Güter und Dienstleistungen des täglichen Bedarfs, für Erledigungen, Freizeit, Schule und Ausbildung eng mit dem Grundkonzept des Szenarios "Fahrradfreundliche Kommunen" verbunden. Die MiD 2017 misst die Qualität der Nahversorgung in einer Notenskala von 1,0 (sehr gut) bis 4,0 (mangelhaft) mit Mittelwerten von 2,3 für Metropolen und von bis 2,6 für periphere ländliche Räume. In allen vier Raumkategorien wird dabei die gesamte Bandbreite von 1,0 bis 4,0 ausgeschöpft. In Analogie zur Bewertung der Qualität des Radverkehrs und des ÖPV gehen wir von einer Verbesserung um eine Note oder um 25 % in ländlichen Räumen, sowie um -15 % in regiopolen Stadtregionen aus. Insgesamt verbessert sich die durchschnittliche Bewertung über alle Regionstypen damit von 2,41 auf 2,09.
- Die Literatur gibt Hinweise auf bestehende Potenziale zur Verringerung durchschnittlicher Wegelängen durch raumplanerische Maßnahmen, liefert jedoch sehr unterschiedliche Einschätzungen zu möglichen Effekthöhen (Aditjandra 2013; Crane 2000; Holz-Rau et al. 2019; Ma et al. 2024; Tennøy et al. 2022). Im Sinn der hier durchgeführten Potenzialanalyse unterstellen wir einen deutlichen Effekt von durchschnittlich 15 % kürzeren Wegen gegenüber der Referenz 2035. Dies gelingt durch eine verbesserte Nahversorgung, der Aufwertung von Siedlungsräumen sowie durch mehr Sicherheit und Komfort für den Rad- und Fußverkehr. Mittelfristig wird diese Entwicklung durch die teilweise Abschaffung privater Pkw und dem Wandel von Lebensstilen gestützt. Mit - 12 % wird der Effekt in Metropolen aufgrund der ohnehin guten Nahversorgung sowie in peripheren ländlichen Räumen wegen der grundsätzlich hohen Autoabhängigkeit als etwas geringer eingeschätzt. Den größten Hebel zur Verkürzung der

Wegelängen unterstellen wir mit jeweils - 18 % in Regiopolen und stadtnahen ländlichen Räumen. Mit diesen Annahmen gehen die Wegelängen in Baustein 3 knapp unter das Niveau des Basisfalls 2022/2023 zurück. Hinweis: Kürzere Wege begünstigen die Attraktivität des Pkw gegenüber dem ÖPV und dämpfen damit teilweise Modal Split und Klimaziele.

4.2.4 Gegenüberstellung der Annahmen

Tabelle 11 stellt die Kernparameter der drei Implementierungsstufen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" sowie zum Vergleich die Referenz 2035 dar. Analog zu Abschnitt 4.1.3 werden für mehr Übersichtlichkeit nur die Durchschnittswerte über alle Regionstypen und Entfernungsklassen dargestellt. Details zu den hiermit berechneten Ergebnisgrößen Verkehrsaufkommen, Verkehrsleistung und THG-Emissionen sind in Anhang 1 dargestellt. Die Strukturdaten Bevölkerung und Wege ändern sich gegenüber dem Referenzfall 2035 nicht und werden entsprechend nicht gezeigt.

Tabelle 11: Kernindikatoren der Referenz und Bausteine 1 - 3 2035

Kategorie	Indikator / Einheit	Referenz 2035	BS 1: Einladende Infrastruktur	BS 2: Fahrrad im Umweltverbund	BS 3: Fahrradfreundliche Kommunen
Mobilitätswerkzeuge	Pkw je Person im Haushalt	0,63	0,61	0,54	0,49
	Führerscheinbesitzrate	0,97	0,96	0,91	0,87
	Fahrradverfügbarkeit (je Person)	0,90	0,94	0,94	0,99
	Pedelec-Verfügbarkeit (je Person)	0,32	0,39	0,39	0,49
Regionalanalyse MiD 2017	ÖPV-Erreichbar unter 1 km (je Person)	0,81	0,81	0,91	0,91
	Bewertung des ÖPV (Noten 1-4)	2,26	2,26	1,75	1,75
	Bewertung Nahversorgung (Noten 1-4)	2,41	2,41	2,41	2,09
	Pkw-Dichte in der Region (Klassen 1-6)	2,52	2,69	2,92	3,24
Städte OSM/FKT	Länge Radwege (km / 100 km Straßen)	129,75	341,70	341,70	341,70
	FKT Bewertung Radverkehr (Noten 1-6)	3,93	3,39	3,19	2,89
Personen	Durchschnittliche Wegelänge (km)	7,53	7,53	7,67	6,70

Quelle: Fraunhofer ISI

4.3 Szenario für die THG-Emissionen

Die Klimaemissionen im Sektor Verkehr sanken 2022 nach einem langen Verharren auf einem Niveau von 164 Megatonnen Kohlendioxidäquivalente (Mt CO_{2e}) nach Berechnungen des Umweltbundesamts (UBA) leicht auf 148 Mt CO_{2e}.¹¹ Zwar überstieg der Bestand an Elektro-Pkw ohne Hybridfahrzeuge 2023 erstmals eine Million Fahrzeuge (2 % von 48,8 Millionen Pkw) das Ziel der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPM 2020) von 15 Millionen Elektro-Pkw bis 2030 scheint zum

¹¹ Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr#rolle>

Stand 2023 jedoch kaum noch erreichbar. Auch alle anderen Optionen, den motorisierten Individualverkehr in den notwendigen Größenordnungen Klima- und Energieeffizienter zu gestalten - wie strombasierte alternative Kraftstoffe -, weisen große wirtschaftliche und technische Probleme auf.

Nicht- oder gering motorisierte Alternativen für die Alltagsmobilität stellen damit - über heute bereits verfügbare Ansätze - umso mehr einen wichtigen Baustein einer nachhaltigen Klima- und Mobilitätspolitik dar. Neben deren Klima- und Energieeffizienz bietet der Umweltverbund, und insbesondere der Radverkehr, noch weitere Vorteile wie Flächeneffizienz in Siedlungsräumen, günstigere Infrastrukturen und Gesundheitsnutzen in nennenswerten Größenordnungen. Die vorliegende Analyse beschränkt sich in dieser Studie auf den Leitindikator der Treibhausgas (THG)-Emissionen.

4.3.1 Methodik und Annahmen

Im Folgenden wird der Beitrag des Radverkehrs zur Minderung der Klimaemissionen im Personenverkehr nach den Szenarien (Kap. 4) und Regionstypen abgeschätzt. Betrachtet werden zur Vereinfachung nur die Hauptverkehrsmittel Fahrrad inkl. Pedelecs, Pkw mit fossilem und elektrischem Antrieb sowie der ÖPV mit Bussen und Bahnen. Eine weitere Differenzierung beispielsweise Mikromobile, Carsharing und Ridepooling wird hier nicht vorgenommen. Es ist jedoch festzuhalten, dass deren heute noch geringer Marktanteil bei entsprechender Förderung bis 2035 nennenswert wachsen kann (Doll et al. 2022).

Die THG-Emissionsfaktoren der Hauptverkehrsmittel umfassen den gesamten Fahrzeug-Lebenszyklus von der Fahrzeugproduktion über die Kraftstoff- und Energieerzeugung bis zur Kraftstoffnutzung im Fahrzyklus entsprechend eines Life-Cycle-Assessment (LCA)-Ansatzes. Nicht betrachtet werden die Emissionen am Lebensende von Fahrzeugen sowie entstehende Schadstoffe durch die Bereitstellung und Nutzung der Infrastrukturen. Entgegen der üblichen Bilanzierung der Wirtschaftsbereiche werden die THG-Emissionen der Stromerzeugung den sie verursachenden Verkehrsmitteln zugeordnet. Wir treffen folgende Annahmen:

- Die Emissionen der Stromerzeugung sind entscheidend für die Klimawirkungen aller Verkehrsmittel. Der deutsche Strommix verursacht 2023 geschätzt 552 g CO₂e/kWh. Nach den Langfristszenarien des BMWK reduzieren sich diese Emissionen mit Fortschreiten der Energiewende bis 2035 um 53 % auf dann 260 g CO₂e/kWh (Wietschel et al. 2022a).

Emissionsfaktoren des Radverkehrs

- Produktion, Transport und Montage konventioneller Fahrräder verursachen nach der Analyse "Good to Go" im Auftrag des Internationalen Transportforums Klimaemissionen von 7,5 g CO₂e/Pkm. Hierbei wird eine Lebensdauer der Fahrräder von 5,6 Jahren und eine Jahresfahrleistung von 2400 km unterstellt (ITF 2020). Wir übernehmen diesen Wert auch für 2035.
- Unter der Annahme des deutschen Strommixes und dessen Entwicklung sowie einer unterstellt doppelt so hohen Fahrleistung im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern ergeben sich für Pedelecs Klimaemissionen von 17,9 g CO₂e/Pkm für 2023 und 11,8 g CO₂e/Pkm 2035.
- Für die durchschnittlichen Emissionen im Radverkehr berücksichtigen wir gemäß Tabelle 11 einen Anteil der Pedelecs an der Jahresfahrleistung von 5 % in 2023 und 30 % in 2035. Unter dieser Annahme steigen die mittleren THG-Emissionen von Fahrrädern über deren gesamten Lebenszyklus von 8,0 g CO₂e/Pkm in 2023 und 20 % auf 9,7 g CO₂e/Pkm 2035.

Emissionsfaktoren des motorisierten Individualverkehrs (MIV)

- Nach ITF (2020) betragen die Klimaemissionen eines Mittelklasse-Pkw mit Benzin- oder Dieselantrieb 146 g CO₂e/Pkm. Hierbei wird eine Lebensdauer von 15 Jahren, eine Jahresfahrleistung von 14 000 km sowie ein Besetzungsgrad von 1,5 Personen unterstellt. Etwa 14 % der Lebenszyklusemissionen entfallen auf Herstellung und Transport der Fahrzeuge. Aufgrund

verbesserter Antriebstechnologien aber tendenziell steigenden Fahrzeuggewichten betrachten wir diese für Verbrennungsfahrzeuge als konstant bis 2035 (vgl. Helms et al. 2019).

- Elektro-Pkw verursachen bei aktuellem Strommix und gleicher Nutzung wie Verbrennungsfahrzeuge 2023 durchschnittliche Emissionen von 106 g CO₂e/Pkm, wovon 30 % auf die Produktion und Transport von Fahrzeug und Batterie entfallen. Bis 2035 machen sich zwei gegensätzliche Entwicklungen bemerkbar: geringere Emissionen des Ladestroms und Verbesserungen der Produktionsverfahren für Batterien können den THG-Ausstoß bis zu 30 Prozent reduzieren. Ein Drittel dieses Potenzials kann jedoch durch größere und damit schwerere Batterien wieder verloren gehen (Helms et al. 2019; Wietschel et al. 2022b). Im Durchschnitt rechnen wir bis 2035 mit Emissionen von 69 g CO₂e/Pkm für batterieelektrische Pkw bzw. den elektrischen Fahranteil hybrider Fahrzeuge.
- Die elektrische Fahrleistung im Nah- und Regionalverkehr mit Pkw schätzen wir 2023 mit 5 % ab. Auch 2035 wird die Verkehrsleistung im MIV auf Wegen bis 30 km noch von Benzin- und Diesel-Pkw dominiert. Die anvisierte Menge von 15 Millionen Elektro-Pkw 2030 scheint aktuell schwer erreichbar und wird hier für 2035 unterstellt. Dies entspricht einem Anteil im Bestand von 25 bis 28 Prozent. Aufgrund angenommen höherer elektrischer Fahrleistungen im Stadt- und Regionalverkehr unterstellen wir 30 % der Pkm elektrisch bis 2035. Hieraus ergibt sich eine durchschnittliche Flottenemission des MIV von 144 g CO₂e/Pkm 2023 und 123 g CO₂e pro Pkm 2035.¹²

Emissionsfaktoren im öffentlichen Personenverkehr (ÖPV)

- Stadt- und Linienbusse mit Dieselantrieb verursachen entsprechend ITF (2020) Lebenszyklusemissionen von 108 g CO₂e/Pkm, von welchen 10 % auf die Herstellung und den Transport der Fahrzeuge entfallen. Hierbei wird eine Nutzungsdauer von 9 Jahren, eine Jahresfahrleistung von 44 000 km und ein Besetzungsgrad von 13 Personen in Anlehnung an die VDV-Jahresstatistik (VDV 2021) unterstellt. Wir nehmen diesen Wert als konstant bis 2035 an.
- Wir nehmen an, dass elektrisch angetriebene Busse vornehmlich auf höher belasteten Linien im Stadtverkehr eingesetzt werden und entsprechend mit 24 Personen je Fahrzeug deutlich überdurchschnittlich ausgelastet sind. Mit dem Strommix der jeweiligen Jahre ergeben sich nach ITF (2020) Emissionsfaktoren von 47 g CO₂e/Pkm 2023 sowie 25 g CO₂e/Pkm 2035.
- Für den vornehmlich elektrisch betriebenen Nah- und Regionalverkehr auf der Schiene mit Straßen-, U- und S-Bahnen ergeben sich mit einer Auslastung von 133 Personen je Zug Emissionsfaktoren von 80 g CO₂e/Pkm 2023 und 38 g CO₂e/Pkm 2035.
- Die Jahresstatistik 2020 des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen weist einen Anteil von 38 % Busverkehr, gemessen in bereitgestellten Sitzplatzkilometern, über alle Mitgliedsunternehmen aus (VDV 2021). Dieser Anteil zeigt keine systematische Variation nach Gemeindegrößen und wird im Rahmen dieser Studie auf alle Regionstypen und die Jahre 2023 und 2035 angewandt.
- Für 2023 schätzen wir einen Anteil von 1 % der Personenverkehrsleistung in ÖPV mit elektrischen Bussen. Eine vollständige Umstellung der Busflotte auf E-Antriebe bis 2030 ist nach Aussagen der Agora Verkehrswende möglich; aufgrund der langen Lebensdauer von ÖPV-

¹² Zum Vergleich: das Umweltbundesamt gibt die durchschnittlichen Emissionen der Pkw-Flotte 2021 mit 162 g CO₂e/Pkm an (UBA 2023). Wir nutzen abweichend hiervon die Werte aus ITF (2020), da Verlagerungen zwischen Rad- und Autoverkehr mutmaßlich kleinere Fahrzeuge im Nah- und Regionalverkehr betreffen. Mit dieser Annahme wählen wir einen tendenziell vorsichtigen Ansatz zur Bewertung der verlagerungsbedingten THG-Einsparungen.

Fahrzeugen unterstellen wir jedoch eine Marktdurchdringung von 80 % bis 2035. Damit ergeben sich durchschnittliche Emissionsfaktoren im ÖPV von 90 g CO₂e/Pkm 2023 sowie 39 g CO₂e/Pkm 2035.¹³

4.3.2 Ergebnisse: Emissionsfaktoren bis 2035

Tabelle 12 stellt die mit den obigen Annahmen geschätzten Emissionsfaktoren für die Jahre 2017, 2023 und 2035 dar. Die Werte 2035 gelten für alle Bausteine bzw. Implementierungsstufen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland". Lediglich diese werden zur Bewertung der Klimawirkung des Radverkehrs in Abschnitt 5.4 herangezogen.

Tabelle 12: Emissionsfaktoren der Verkehrsmittel 2023 und 2035

Fahrzeugart	Emissionsfaktoren 2023 (g CO ₂ e/Pkm)				Emissionsfaktoren 2035 (g CO ₂ e/Pkm)			
	Anteil Pkm	Herstellung	Betrieb	Gesamt	Anteil Pkm	Herstellung	Betrieb	Gesamt
Radverkehr								
Konvent. Fahrrad	95 %	7,5	0,0	7,5	49 %	7,5	0,0	7,5
Pedelec / E-Bike	5 %	6,3	11,6	17,9	51 %	6,3	5,5	11,8
Radverkehr gesamt		7,4	0,6	8,0		6,9	2,8	9,7
MIV								
Verbrennungs-Pkw	95 %	20,6	125,6	146,3	70 %	20,6	125,6	146,3
Elektro-Pkw	5 %	36,0	70,1	106,1	30 %	36,0	33,2	69,2
MIV gesamt		21,4	122,9	144,2		25,2	97,9	123,1
ÖPV								
Dieselbus	37 %	10,8	97,2	108,0	8 %	10,8	97,2	108,0
Elektrobus	1 %	11,1	36,1	47,2	30 %	9,8	15,1	24,8
Tran/S-Bahn/Metro	62 %	3,0	77,0	80,0	62 %	2,9	34,8	37,7
ÖPV gesamt		6,0	84,1	90,1		5,6	33,5	39,1

Quelle: Fraunhofer ISI

Wie in den Annahmen beschrieben, werden die THG-Emissionsfaktoren in starken Maße von Fortschritten in der Energiewende, von Produktionsverfahren, dem Markthochlauf von Elektrofahrzeugen, Fahrzeuggrößen, Besetzungsgraden im ÖPV und anderen Faktoren bestimmt. Die hier verwendeten Werte stellen entsprechend zentrale Schätzungen innerhalb größerer Bandbreiten und unter Unsicherheiten dar.

Der gewählte Ansatz der Lebenszyklusanalyse erlaubt zwar einen fairen Vergleich der Verkehrsmittel, ist aber nicht kompatibel zur offiziellen Treibhausgasbilanzierung der Sektoren. Hierin werden produktionsspezifische Emissionen dem Sektor Industrie und die Emissionen der Stromerzeugung dem Sektor Energie zugeordnet. Damit fallen die Bewertungen dieser Studie im Vergleich zur offiziellen Bilanzierung des Sektors Verkehr, welcher nur die Verbrennung fossiler Kraftstoffe beim Fahrzeugbetrieb ohne Strom- und Kraftstoffherzeugung ansetzt, tendenziell höher aus. Andererseits werden hier für die Verlagerung relevante Pkw-Klassen betrachtet, welche im Vergleich zum Flottendurchschnitt geringere Emissionen aufweisen. Zum Verhältnis der jährlichen Gesamtemissionen dieser Studie zur offiziellen THG-Bilanzierung im Sektor Verkehr können ohne detailliertere Rechnungen keinen genaueren Aussagen getroffen werden.

¹³ Das Umweltbundesamt schätzt die durchschnittlichen Emissionen im ÖPV auf 80 g CO₂e/Pkm für Straßen-, S- und U-Bahnen und auf 108 g CO₂e/Pkm für Busse im Nah- und Regionalverkehr (UBA 2023). Dabei werden Besetzungsgrade von 14 % im Segment Schiene und 11 % im Segment Bus unterstellt.

5 Ergebnisse: Verkehrs- und Klimawirkungen

Die im Folgenden gezeigten Ergebnisse des für diese Studie neu entwickelten statistischen Modells stellen Potenziale des Radverkehrs und keine Prognosen im klassischen Sinn dar. So basiert das statistische Modell auf Punktlastizitäten, welche nur für begrenzte Abweichungen von den Eingangswerten gültig sind. Die meisten Annahmen in den Szenarien zum Leitbild "Fahrradland Deutschland" basieren auf Expertenschätzungen und Herleitungen aus externen Studien. Die gezeigten Ergebnisse gelten nur, falls die unterstellten Entwicklungen zum "Fahrradland Deutschland" konsequent in allen deutschen Kreisen umgesetzt werden.

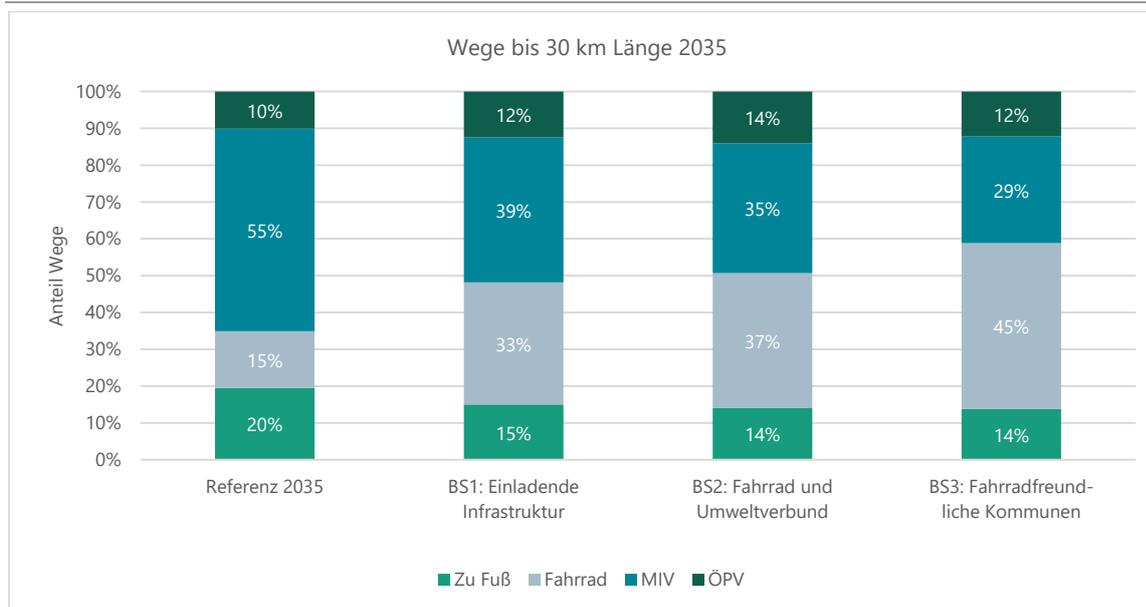
5.1 Wegeanteile der Verkehrsmittel

Die gewählten Bausteine des "Fahrradlands Deutschland" haben einen deutlichen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl der Menschen. Über alle Raumtypen und Entfernungsstufen hinweg und bezogen auf alle Wege bis 30 km Länge kann sich der Anteil des Radverkehrs von 15 % im Referenzszenario 2035 auf 45 % in der intensivsten Ausbaustufe "Fahrradfreundliche Kommunen" verdreifachen. Die Entwicklung der Verkehrsmittelanteile sind in Abbildung 2 dargestellt. Der größte und wichtigste Schritt bei der Umsetzung des "Fahrradlands Deutschland" ist dabei der entschiedene Ausbau des Radwegenetzes mit einer Verdreifachung der Radwegedichte und dessen Ertüchtigung für sicheres und komfortables Fahren in allen Kommunen nach Baustein 1: + 18 Prozentpunkte gegenüber der Referenz 2035. In diesem Baustein profitiert auch der ÖPV mit + 2 Prozentpunkten zulasten des MIV (- 16 Prozentpunkte).

Bei voller Umsetzung aller Bausteine verbessert sich die Nutzbarkeit von Fahrrad und ÖPV deutlich, sodass mehr und längere Wege mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes (Fuß, Rad, ÖPV) zurückgelegt werden können und die Abhängigkeit vom MIV deutlich sinkt. Zwar kann der gewählte Analyseansatz intermodale Wege nicht direkt abbilden, durch eine Kombination aus einer verbesserten Wahrnehmung der Qualität der Fahrradinfrastruktur durch die Nutzenden, z. B. aufgrund hochwertiger Zugänge und Abstellanlagen an ÖPV-Haltepunkten und mit einem verbesserten ÖPV-Kernangebot lässt sich die Wirkung jedoch strukturell nachbilden. In Folge steigt in Baustein 2 neben dem Fahrradanteil (+ 4 %) auch der ÖPV-Anteil um + 2 %.

Einen zusätzlichen und entscheidenden Effekt auf den Wegeanteil des Radverkehrs hat schließlich eine Kombination aus Push- und Pull-Maßnahmen in Städten und Gemeinden (Baustein 3: + 8 Prozentpunkte gegenüber Baustein 2). Baustein 3 legt den Fokus auf die Flächenaufteilung zu Gunsten der aktiven Mobilität, des ÖPV sowie einer hohen Lebens- und Aufenthaltsqualität in Städten und Gemeinden. Diese werden im statistischen Modell über bessere Noten im ADFC-Fahrradklima-Test sowie über eine als besser empfundene Nahversorgung quantifiziert. Einschränkungen des MIV zur Unterstützung der Verkehrsverlagerung und Verbesserung der Aufenthaltsqualität können fiskalische Maßnahmen wie Parkgebühren oder City-Maut, regulatorische Maßnahmen wie Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit oder bauliche Maßnahmen wie die Reduktion von Fahrspuren und Parkplätzen im Zuge der Flächenumverteilung enthalten. Diese sind in eine gesamtheitliche nachhaltige Stadt- und Regionalplanung eingebettet.

Neben dem Rückgang des MIV um 6 Prozentpunkte auf 29 % geht durch die gewählten Maßnahmen auch der ÖPV um zwei Prozentpunkte zugunsten des Fahrrads zurück. Letzterer Effekt könnte dadurch erklärt werden, dass neue Nutzerinnen und Nutzer im Alltagsverkehr Rad fahren, da sichere und komfortable Radwegenetze dazu einladen und sich die Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr an den Bedürfnissen der vulnerablen Gruppen orientieren

Abbildung 2: Modal Split 2035 nach Bausteinen

Quelle: Fraunhofer ISI

Mit den ausgewählten Ausbaustufen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" ermittelt das Regressionsmodell durchschnittliche Radverkehrsanteile zwischen 33 % in Baustein 1 und 45 % bei voller Umsetzung in Baustein 3. Diese lassen sich durch die Teilbetrachtung von Wegen bis 30 km sowie durch die Abstraktion von politischen, juristischen, administrativen und finanziellen Hürden beim Aufbau des "Fahrradlands Deutschland" erklären. Mit diesen Grundannahmen übertreffen die hier ermittelten Potenziale des Radverkehrs selbst die im realen politischen Umfeld realisierten Ergebnisse aus den Niederlanden.

Der öffentliche Verkehr kann von den gewählten Maßnahmen leicht profitieren, steht jedoch zum Teil in Konkurrenz zum Fahrrad. Allerdings: die wesentliche Verschiebung des Modal Splits spielt sich zwischen dem Fahrrad und dem MIV ab. In der intensivsten Ausbaustufe des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" kann der Radverkehr im Segment aller Wege bis 30 km über alle Regionen hinweg den Modal Split des MIV sogar um 16 Prozentpunkte übertreffen. Der Pkw verliert dabei 26 Prozentpunkte und sinkt von 55 % im Referenzfall 2035 auf 29 % in Baustein 3.

5.2 Modal Split nach Raumtypen und Wegelängen

Abbildung 3 stellt die Modalanteile der Bausteine nach Regionstyp dar. Sowohl in Metropolen als auch in peripheren ländlichen Räumen zeigt sich die insgesamt geringste Dynamik des Modalanteils im Radverkehr mit jeweils + 24 Prozentpunkten des Bausteins 3 gegenüber der Referenz 2035, gefolgt von stadtnahen ländlichen Räumen mit + 29 Prozentpunkten. Am dynamischsten ergibt sich der Fahrradanteil in regiopolen Stadtregionen mit + 36 Prozentpunkten auf 63 % der Wege in Szenario 3. Neben den oben genannten Charakteristika des gewählten statistischen Verfahrens könnte dies durch ein weniger gesättigtes Mobilitätsangebot gegenüber Metropolen, und einer dennoch dichten Nahversorgung mit kürzeren Entfernungen - verglichen mit dem ländlichen Raum - erklärt werden. In jedem Fall weisen die Ergebnisse auf die große Bedeutung einer proaktiven Radverkehrspolitik gerade in kleineren und mittleren Städten hin.

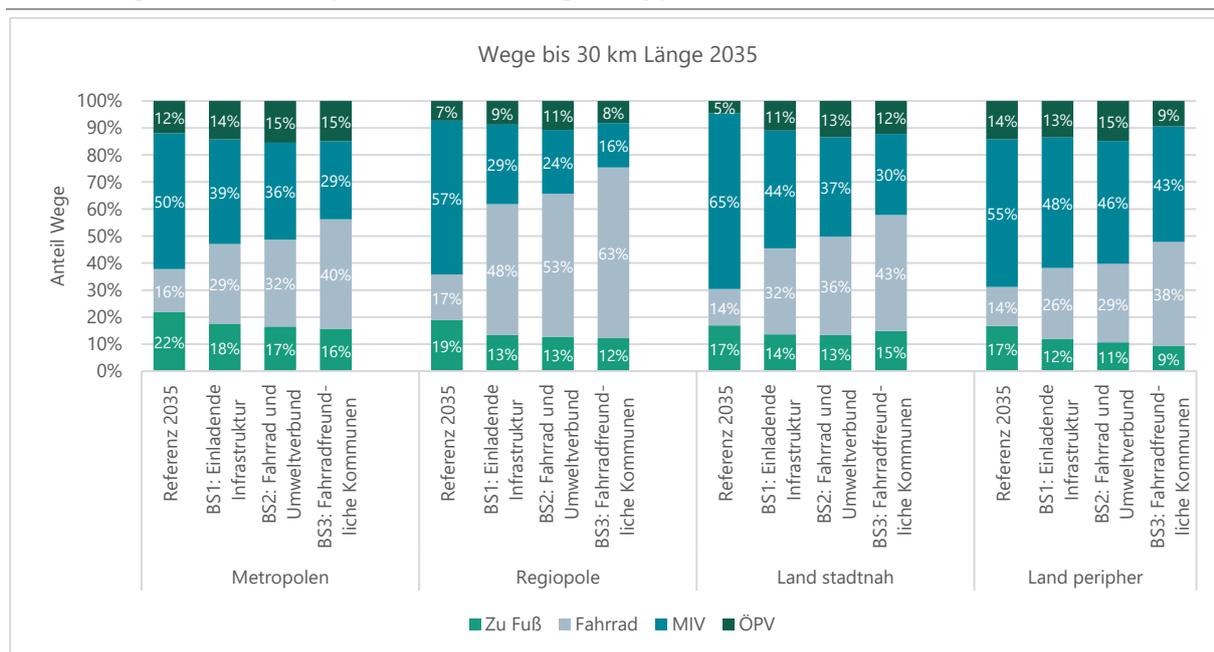
Fahrradanteile von deutlich über 30 % der Wege, zumal im Durchschnitt über gesamte Regionen, sind so nicht in deutschen Fahrradstädten, wohl aber in einigen internationalen Städten wie Utrecht oder Amsterdam beobachtbar (vgl. Kapitel 2.3). In der Logik des hier gewählten Potenzialansatzes

ohne Restriktionen seitens der Bauwirtschaft, der Politik oder der Administration liegen die ermittelten Modalanteile deutlich über den in den Niederlanden beobachteten Modal-Split-Anteilen des Radverkehrs. Mit Radverkehrsanteilen in Baustein 3 zwischen 38 % und 63 % aller Wege bis 30 km auf Grundlage der Verhaltensdaten der MiD 2017 zeigen wir, dass der Radverkehr in einem günstigen Umfeld einen nennenswerten Anteil der täglichen Mobilität abdecken kann. Hier sei jedoch noch einmal auf das Ziel der vorliegenden Arbeit als Potenzialstudie und auf das angewandte statistische Modell auf Grundlage von Daten der MiD 2017, OSM und des ADFC-Fahrradklima-Tests hingewiesen. Unter idealtypischen Bedingungen eines "Fahrradlands Deutschland" könnten diese Verkehrsanteile des Fahrrads prinzipiell erreicht werden.

Abgesehen von Niveauunterschieden ähneln sich die Entwicklungsmuster aller Verkehrsmittel über die Szenarien in den vier Regionstypen. In der regionalen Differenzierung besonders interessant ist die Entwicklung des MiV. Dieser geht erwartungsgemäß in peripheren ländlichen Räumen mit - 12 Prozentpunkten an wenigsten zurück. Parallel zur regional größten Steigerung des Radverkehrsanteils sinkt der MIV auch in regiopolen Stadtregionen an deutlichsten mit - 29 Prozentpunkten. Die Gründe entsprechen den genannten Treibern des Radverkehrs in diesem Regionstyp.

Ebenfalls interessant ist die Entwicklung des ÖPV in Szenario 3 "Fahrradfreundliche Kommunen". Mit einer Verbesserung der Nahmobilität und damit einer Verringerung mittlerer Wegedistanzen verstärkt sich die Konkurrenz von Rad- und Fußverkehr gegenüber dem ÖPV. Der Modalanteil des ÖPV sinkt dabei insbesondere in peripheren ländlichen Räumen mit einem ohnehin schwächeren Angebot deutlich um fünf Prozentpunkte auf einen Modalanteil von 9 %.

Abbildung 3: Modal Split 2035 nach Regionstypen und Bausteinen



Quelle: Fraunhofer ISI

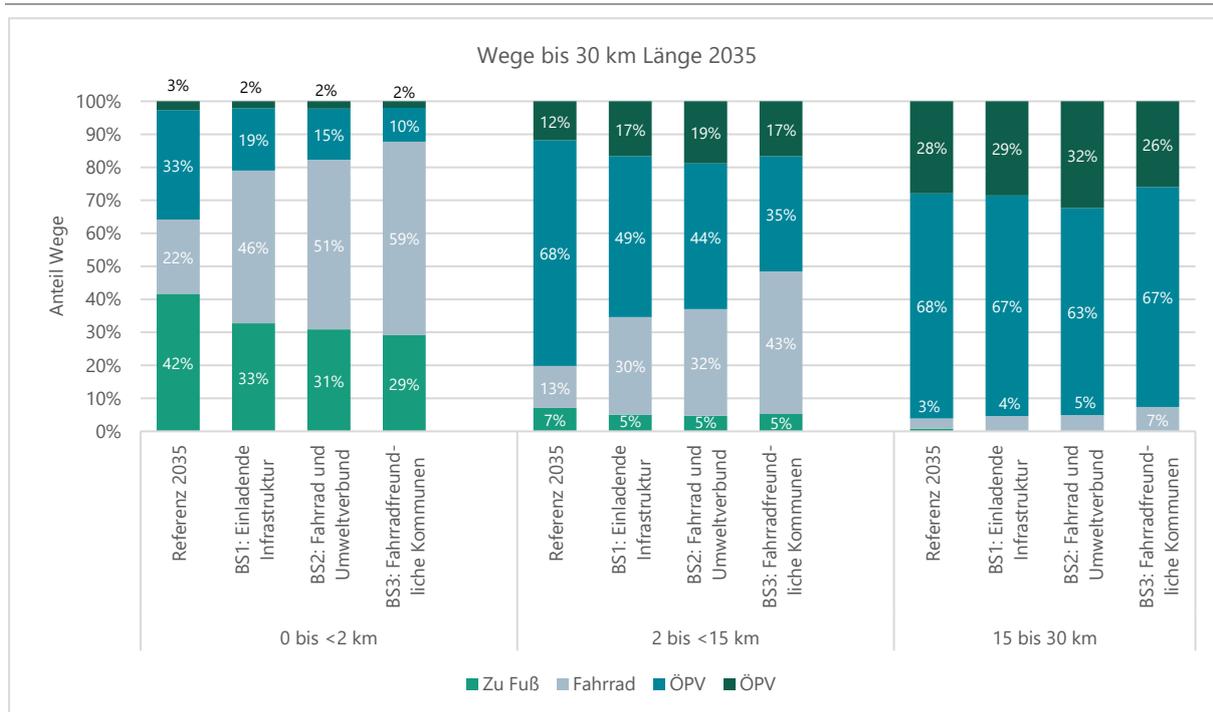
Abbildung 4 stellt die Entwicklung des Modal Splits der Wege bis 30 km über alle Regionstypen nach Entfernungsklassen dar. Sowohl auf den kurzen Wegen bis 2 km als auch auf mittleren Distanzen von 2 bis 15 km zeigt das Potenzialmodell einen deutlichen Anstieg des Fahrradanteils. Während sich der Wegeanteil des Radverkehrs in Baustein 3 gegenüber der Referenz 2035 in den Distanzbereichen bis zwei km und 2 bis 15 km auf 59 % beziehungsweise 43 % fast verdreifacht, verdoppelt sich diese im Bereich von 15 bis 30 km auf dann 7,1 %. Über 15 km sind die Systemvorteile des Fahrrads gegenüber dem Pkw trotz dem unterstellt massiven Ausbau von Radschnellverbindungen weniger stark. Jedoch: Auf diesen längeren Distanzen ist der Effekt von mehr Radverkehr

auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen aufgrund der längeren Wege pro verlagter Fahrt deutlich höher als auf kürzeren Distanzen.

Hinweis: Aus aktuellen Beobachtungen würde man durch den massiven Markteintritt von Pedelecs einen wesentlich größeren Anstieg des Radverkehrs auf längeren Distanzen auch im Alltagsverkehr erwarten. Jedoch sind auch bei Besitz eines Pedelecs regelmäßige Wege jenseits 15 oder 20 km insbesondere bei unvorteilhaften Wetterverhältnissen oder wenn Gegenstände oder Personen zu transportieren sind, für Pkw und ÖPV prädestiniert. Dennoch muss der geringere Anstieg des Radverkehrs auf Wegen über 15 km durch die verwendete Datenbasis zum Schätzen des Modells erklärt werden. Zum Zeitpunkt der Erhebung der MiD 2017 waren Pedelecs nicht so dicht verbreitet wie heute, womit die Grundlage für stabile statistische Aussagen begrenzt ist. Die Ergebnisse der Regression sind entsprechend als untere Grenze des Potenzials des Radverkehrs auf längeren Wegen zu interpretieren.

Die Konkurrenz zum Pkw zeigt sich in den Distanzbereichen, in welchen Fahrrad und Pedelecs bei guter Infrastruktur systematische Vorteile ausspielen können. Gerade im kurzen Distanzbereich bis zwei Kilometer können zwei Drittel des Pkw-Verkehrs auf das Fahrrad verlagert werden. Jedoch sinken hier auch die Verkehrsmittelanteile des ÖPV und der Wege zu Fuß am deutlichsten. Der ÖPV kann jedoch seine Stellung auf Distanzen von 2 bis 15 km deutlich von 12 % im Referenzfall auf 17 % in Szenario 3 ausbauen und seinen Modal Split im Bereich 15 bis 30 km nahezu halten. Auch die Entwicklung der Modal Splits nach Distanzbereichen weist auf die Hauptkonkurrenz zwischen Pkw und Fahrrad hin.

Abbildung 4: Modal Split 2035 nach Entfernungsklassen und Bausteinen



Quelle: Fraunhofer ISI

5.3 Entwicklung von Verkehrsleistung und Wegelängen

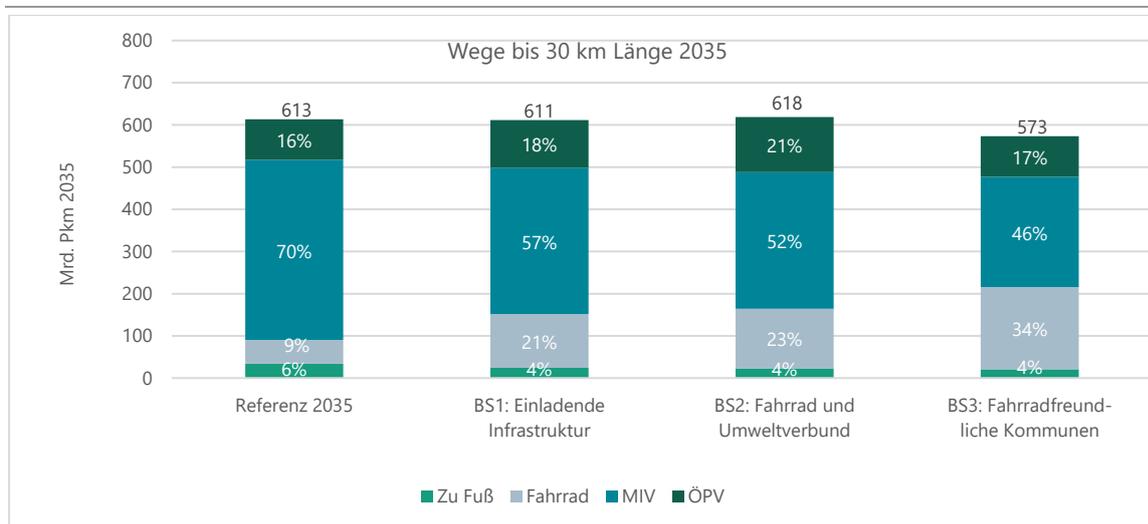
Letztendlich sind für die Bewertung der Verkehrsbelastung von Straßen, öffentlichem Verkehr und Radwegen und deren Folgen für Stau, Lärm, Umwelt und Klima nicht der Modal Split, sondern die zurückgelegten Fahrzeugkilometer mit den Verkehrsmitteln ausschlaggebend. Diese Verkehrsleistung ist für die Szenarien über alle Regionstypen und Entfernungsklassen für alle Wege bis 30 km Länge in Personenkilometern (Pkm) in Abbildung 5 dargestellt.

Durch bessere Angebote für den Radverkehr werden viele kurze MIV-Wege auf das Fahrrad verlagert. Dadurch geht die Verkehrsleistung auf Wegen bis 30 km Länge von 613 Mrd. Pkm im Referenzfall 2035 um 9,8 % auf 573 Mrd. Pkm in der höchsten Implementierungsstufe des "Fahrradlands Deutschland" (Baustein 3) zurück.

Mit dem konsequenten Ausbau der Fahrradinfrastruktur in Baustein 1 geht ein Rückgang der Verkehrsleistung aller Verkehrsmittel um 0,3% oder 2 Mrd. Pkm einher. Der Ausbau des ÖPV und dessen Verknüpfung mit dem Radverkehr in Baustein 2 sorgt hingegen wieder für einen geringfügigen Anstieg der Verkehrsleistung um 1,2 % oder 7 Mrd. Pkm gegenüber Baustein 1. Durch die deutliche Verbesserung von Nahmobilität und Nahversorgung in Szenario 3 und den damit unterstellten Rückgang der mittleren Wegelängen um 15 % sinkt die Gesamtverkehrsleistung um 6,5 % gegenüber der Referenz 2035 bzw. um 7,3 % gegenüber Baustein 2.

Hinweis zur Einordnung dieses Befunds: Das statistische Modell basiert auf festen Wegeraten und konstanten Wegedistanzen je Regionstyp und Entfernungsklasse. Die ausgewiesenen Ergebnisse berücksichtigen demnach weder induzierte Wege aufgrund besserer Angebote im ÖPV noch die Verlängerung von Distanzen verlagert Wege aufgrund indirekterer Routen von Bussen und Bahnen im Vergleich zu Pkw und Fahrrad.

Abbildung 5: Verkehrsleistung total und Anteile 2035 nach Bausteinen



Quelle: Fraunhofer ISI

Das Fahrrad steigert seine potenzielle Verkehrsleistung zwischen Vollausbau des "Fahrradlands Deutschland" von 57 auf 195 Mrd. Pkm um 244 %. Gegenüber der Verkehrsleistung des Fahrrads 2017 von 34,7 Mrd. Pkm aller Wege bis 30 km Länge ergibt sich sogar eine Steigerung um 462 %.¹⁴ Allein der Baustein 1 "Einladende Infrastruktur" mit einem Potenzial von 128 Mrd. Pkm liegt bereits

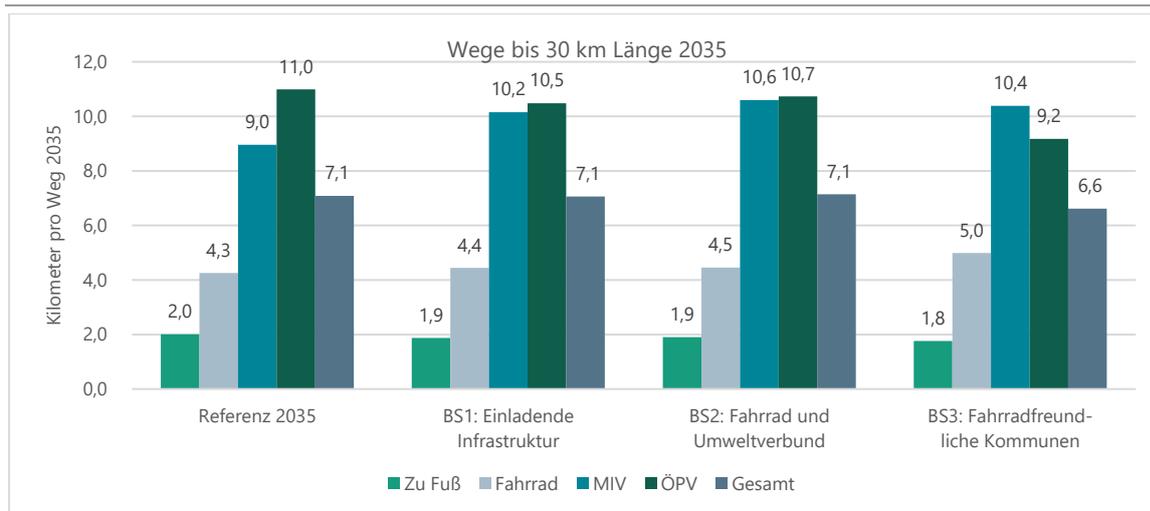
¹⁴ Unter Berücksichtigung aller Wege auch über 30 km Länge ergibt sich für 2017 eine Verkehrsleistung mit dem Fahrrad von 40,8 Mrd. Pkm. Baustein 3 weist hierfür eine Verkehrsleistung von 201 Mrd. Pkm oder ein Wachstum um 494 % auf.

mit dem Faktor 3,7 sehr deutlich über dem Niveau von 2017. Die Ergebnisse dieser Schätzung gehen damit deutlich über die im NRVP 3.0 unterstellte Verdopplung der Verkehrsleistung im Radverkehr hinaus, weisen jedoch Potenziale und keine klassischen Prognosen aus.

Hinweis: Das hier angewandte statistische Modell mit Datenbasis 2017 erlaubt keine validen Rückschlüsse auf den Einfluss von E-Bikes auf die Länge von Wegen mit dem Rad. Die Wegelängen des Fahrrades und damit die Verkehrsleistung wurden daher entsprechend des Anteils von E-Bikes und einer für diese um 50 % längeren durchschnittlichen Strecke korrigiert.

Abbildung 6 stellt die Verschiebung von Wegelängen der Verkehrsmittel dar, welche sich aus den nach Distanzklassen unterschiedlichen Regressionskoeffizienten des statistischen Modells ergeben. Die durchschnittlichen Distanzen im Radverkehr entwickeln sich von 3,4 km in 2017, 3,9 km in 2023 und 4,3 km im Referenzfall 2035 auf 5,0 km unter den Annahmen der höchsten Ausbaustufe des "Fahrradlands Deutschland" in Baustein 3. Unter Hinzunahme der Wege über 30 km Länge entwickeln sich die Distanzen mit dem Fahrrad von 3,9 km 2017¹⁵ bis 4,7 km im Referenzfall 2035 und 5,2 km in Baustein 3 (vgl. Anhang 1). Damit wachsen die Wegelängen mit dem Fahrrad um 33 % im Vollausbau des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" gegenüber 2017. Die durch den NRVP 3.0 geschätzte Verdopplung der Wegelänge kann auf Grundlage des statistischen Modells damit nicht bestätigt werden.

Abbildung 6: Durchschnittliche Weglängen je Verkehrsmittel 2035 nach Bausteinen



Quelle: Fraunhofer ISI

Die höheren Distanzen im Radverkehr werden maßgeblich durch den Hochlauf der Pedelecs zwischen 2017 und der Referenz 2035 mit + 0,9 km bestimmt. Unter den drei Bausteinen des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" trägt hauptsächlich der fahrradfreundliche Umbau der Kommunen (Baustein 3) trotz einer deutlichen Verkürzung der mittleren Wegelängen über alle Verkehrsmittel mit einer weiteren Steigerung um 0,5 km je Weg mit dem Fahrrad bei. Grund hierfür ist die geänderte Zielwahl der Menschen, durch welche mehr Ziele in einer fahrradfreundlichen Entfernung angesteuert werden. Ebenso werden in Baustein 3 einschränkende Maßnahmen zulasten des Pkw ergriffen. Die höheren Distanzen kommen folglich durch die Verlagerung vom MIV und ÖPV auf das Fahrrad zustande.

Interessanterweise spielt der massive Ausbau der Infrastrukturen in Baustein 1 keine wesentliche Rolle für die Länge der mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege. In der Logik der Analyse

¹⁵ Die MiD-Sonderauswertung zum Radverkehr weist für 2017 einen Wert von 3,7 km aus. Abweichungen können durch die unterschiedlichen Datensätze der MiD 2017 und deren Aufbereitung entstehen.

bedeutet dies, dass sich über alle deutschen Kreise für 2017 nur ein schwacher statistischer Zusammenhang zwischen der Dichte der lokalen Fahrradinfrastrukturen und den gefahrenen Kilometern mit dem Fahrrad zeigt. Da zu diesem Zeitpunkt der Anteil der Pedelecs noch gering war, sind diese Ergebnisse für die zukünftige Entwicklung der Wegelängen mit dem Fahrrad bei hohem Pedelec-Durchsatz nur bedingt aussagekräftig. Die hier ermittelten Werte stellen entsprechend eine Untergrenze dar. Die vom NRVP 3.0 geschätzten 6 km je Weg mit dem Fahrrad könnten also durchaus erreicht werden.

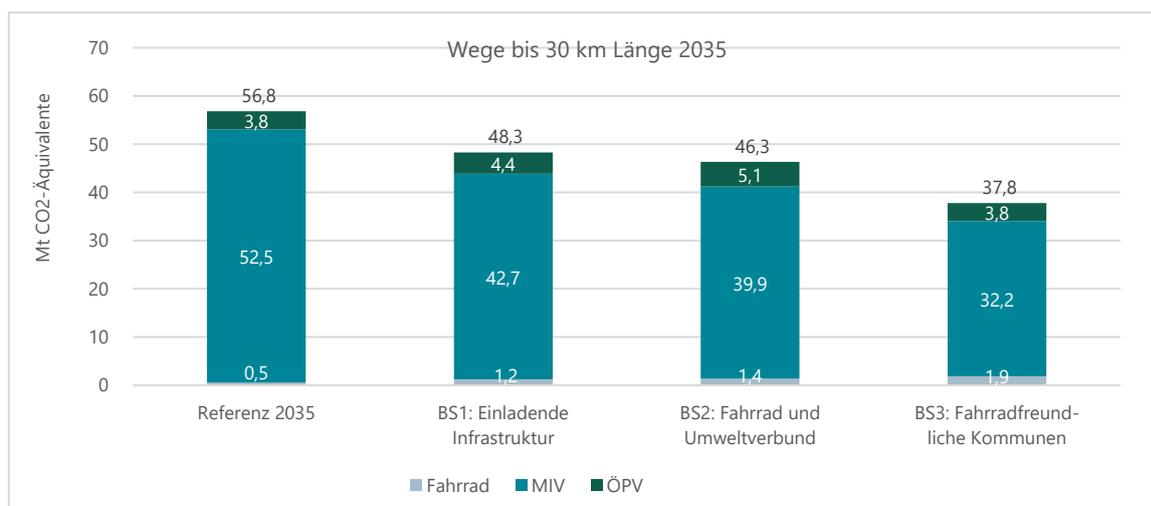
5.4 Entwicklung der Klimaemissionen im Fahrradland Deutschland

Die in Folgenden ausgewiesenen Treibhausgasemissionen der Verkehrsmittel folgen einem Lebenszyklus-Ansatz. Hierin enthalten sind Produktion, Transport der Fahrzeuge sowie die Emissionen bei deren Verwendung. Kraftstoffe und Strom für die Antriebe werden mit einem Well-to-Wheel-Ansatz, d. h. inklusive Rohstoffgewinnung, Umwandlung und Transport, bewertet. Darin enthalten sind neben den THG-Emissionen bei der Verbrennung fossiler Kraftstoffe auch die Emissionen für die Gewinnung, Verarbeitung und Transport von Rohölprodukten sowie die Emissionen der Stromerzeugung (vgl. Kapitel 4.3). Damit sind die berechneten Werte höher als nach der offiziellen Sektorenrechnung Verkehr, erlauben jedoch einen faireren Vergleich der Verkehrsmittel.

Unter den Annahmen der Referenz 2035 ergibt sich über alle Wege bis 30 km und alle Verkehrsmittel in Deutschland ein Treibhausgasausstoß von 56,8 Megatonnen CO₂-Äquivalente (Mt CO₂e). Treiber sind die unterstellten Annahmen zu Wegelängen, die Pkm-spezifischen Emissionen der Verkehrsmittel (Abschnitt 4.3) sowie deren Verkehrsleistung nach Abschnitt 5.3. Diese können durch Verlagerungen weg vom MIV und durch die Verkürzung von Wegen mit Pkw und ÖPV durch die verschiedenen Bausteine des Fahrradlands Deutschland deutlich auf 37,8 Mt CO₂e gesenkt werden. Nach Abbildung 7 ergeben sich folgende Minderungen bezogen auf die Referenz 2035:

- - 8,5 Mt CO₂e oder -15 % im Baustein 1: "Einladende Infrastruktur",
- - 10,5 Mt CO₂e oder -18,5 % im Baustein 2: "Fahrrad im Umweltverbund, sowie
- - 19,0 Mt CO₂e oder -33,5 % im Baustein 3: "Fahrradfreundliche Kommunen"

Abbildung 7: THG-Emissionen 2035 nach Bausteinen 2035



Quelle: Fraunhofer ISI

Fast die Hälfte der gesamten Einsparungen wird durch den Baustein 1 "Einladende Infrastruktur" mit -8,5 Mt CO₂e jährlicher THG-Emissionen im Personenverkehr bis 30 km Weglänge erreicht. Der Beitrag einer integrierten, multimodalen Mobilitätspolitik (Baustein 2: - 2,0 Mt CO₂e gegenüber

Baustein 1) fällt dabei deutlich geringer aus als der Beitrag einer konsequent Fahrradfreundlichen Gestaltung der Kommunen (Baustein 3 mit ebenfalls - 8,5 Mt CO_{2e} gegenüber Baustein 2).

Die Wirkung der fahrradfreundlichen Kommunen auf die THG-Emissionen speist sich aus mehreren Faktoren. Zunächst reduziert der angenommene Rückgang der Wegelängen über alle Verkehrsmittel um 15 % die Verkehrsleistung insgesamt und damit den Energiebedarf im Verkehr. Daneben reduzieren regulatorische Maßnahmen wie Geschwindigkeitsbegrenzungen und der Rückbau von Parkplätzen im öffentlichen Raum die Attraktivität des Pkw. Hierdurch steigt wiederum die Attraktivität für das Fahrrad im Alltag auch für Menschen mit einem höheren Sicherheitsbedürfnis im Straßenverkehr. Schließlich gibt eine bessere Nahversorgung Anreize zur Wahl näherer Ziele mit allen Verkehrsmitteln.

Durch den gewählten Ansatz der Lebenszyklusanalysen spielt die Produktion von Fahrrädern und insbesondere von Pedelecs und deren Batterien eine Rolle für die Klimabilanzierung des Verkehrs. Mit 1,9 Mt CO_{2e} betragen die Emissionen des Radverkehrs in Baustein 3 immerhin rund die Hälfte der Emissionen des ÖPV (3,8 Mt CO_{2e}). Neuere Formen der Produktion von Batteriezellen mit weniger kritischen Rohstoffen und erneuerbarem Strom können die Klimabilanz elektrischer Antriebe deutlich verbessern, dies gilt aber in gleichem Maß für Pedelecs wie auch für elektrische Pkw und Busse. Ferner werden die Klimabilanzen durch die im Lebenszyklus zurückgelegten Distanzen, also die Wegelängen beim Radfahren, und den Besetzungsgrad von Pkw und ÖPV-Fahrzeugen beeinflusst. Die hier dargestellten Emissionen stellen demnach nur einen zentralen Wert auf Basis des heutigen und zukünftig erwartbaren Stands von Technik und Verkehrssystem dar.

Zur Ermittlung der relativen Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen im Personenverkehr haben wir auf Basis der Daten der MiD 2017 sowie der Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung nach Raumtypen und der zukünftig zu erwartenden Emissionsfaktoren das Verkehrsaufkommen, die Verkehrsleistung und die Treibhausgasemissionen für Wege über 30 km Länge im Personenverkehr mit Fahrrad, Pkw und ÖPV abgeschätzt. Wir gehen dabei von konstanten Wegeraten aus und unterstellen vereinfachend, dass sich die Bausteine des "Fahrradlands Deutschland" nicht auf die Verkehrsmittelwahl der Wege über 30 km Länge auswirken. Unter diesen Annahmen ergibt sich ein Anteil der Wege unter 30 km Länge an den Treibhausgasemissionen des landgebundenen Personenverkehrs von 45 % in der Referenz 2035. Der Beitrag des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" zur Emissionsreduktion im Personenverkehr ohne Luftfahrt und Schifffahrt beträgt danach 6,7 % bei Umsetzung des Bausteins 1 sowie 15,0 % bei Umsetzung aller drei Bausteine.

Hinweis: Aufgrund der unterschiedlichen Abgrenzung der THG-Bilanzen dieser Studie inklusive der Vorlaufemissionen der Stromerzeugung und der amtlichen Statistik ohne Energieerzeugung sind die Zahlen nur bedingt vergleichbar. In jedem Fall ist der Einfluss der hier skizzierten Maßnahmen für die Verkehrswende mit dem Fahrrad und für lebenswertere Kommunen im Sinne des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" auf die Klimabilanz des Verkehrs erheblich.

6 Thesen für das Leitbilds "Fahrradland Deutschland"

In den folgenden Abschnitten fassen wir die Kernaussagen dieser Studie zusammen und entwickeln hieraus Thesen für die wirksame Förderung des Radverkehrs in deutschen Städten und Gemeinden. Die aufgestellten Thesen gehen dabei über die eigentlichen Analysen dieser Studie hinaus und transportieren somit die Erfahrungen und Einschätzungen der Autorinnen und Autoren.

6.1 Befunde aus der Literatur

Die Analyse von 105 internationalen Fachartikeln und Studien stellt die fahrradfreundlichsten Städte in Deutschland wie Münster, Bremen und Oldenburg positiven europäischen Beispielen wie Amsterdam, Antwerpen oder Gent gegenüber. Zwar erreichen auch die deutschen Spitzenreiter einen Fahrradanteil an den Alltagswegen zwischen 30 - 40 %, dies bleiben jedoch Ausnahmen mit Blick auf alle Städte und Regionen hierzulande. Demgegenüber ist der Fahrradanteil der Spitzenplätze in den Niederlanden und Belgien mit um 40 % Wege mit dem Fahrrad höher und über die Kommunen breiter verteilt. In der Literatur herrscht Konsens darüber, dass die Verfügbarkeit einer guten Fahrradinfrastruktur und insbesondere vom MIV getrennte und geschützte Radwege die wichtigste Voraussetzung für mehr Radverkehr ist. Entscheidende Eigenschaften von Radverkehrsnetzen sind deren Dichte, Lückenlosigkeit, Sicherheit und Komfort. Es ist wichtig, dass die Planung und Gestaltung von Radverkehrsinfrastrukturen als Netzwerk konzipiert und nicht auf einzelne Radwege ausgerichtet ist. Dieses Netzwerk soll sowohl gut ausgelegt werden für durchgehende Routen in der Stadt: zum einen mit zentralen Radwegen, Fahrradbrücken und Bahnübergängen, die Stadtteile miteinander verbinden, zum anderen mit Verbindungen zwischen den Haupttrouten, die kurze, lokale Fahrten ermöglichen. Durch die Kombination von Haupttrouten und lokalen Anbindungen wird ein feinmaschiges Netz von Radwegen ermöglicht, das dazu führt, dass unterschiedliche Ziele in der Stadt mit dem Fahrrad gut zu erreichen sind. Kleine und lückenschließende Verbindungen können kostengünstig angelegt werden. Für die Planung und Implementierung sollte eine Hierarchie in Verkehrsmitteln angewendet werden, wobei Fußgängerinnen und Fußgänger die erste Priorität haben, der Radverkehr die zweite, der ÖPV die dritte und der MIV die niedrigste. In der Praxis bedeutet dies, dass an Kreuzungen zwischen Rad- und Autoverkehr die Kreuzung so angepasst wird, dass der Radverkehr Vorrang hat.

Der Delfter Fahrradplan ist in dieser Hinsicht ein anschauliches Beispiel. Basierend auf einer soziologischen Studie wurde hierfür ein Fahrradnetzwerk konzipiert, das auf drei verschiedene Arten von Fahrten ausgerichtet ist: Stadt, Stadtteil und Quartier. Für jede dieser Fahrten wurden entsprechende Netze entwickelt. Die Kombination der drei Netze ermöglicht es, verschiedene Mobilitätsbedürfnisse zu befriedigen: sowohl gute durchgehende Radwege als auch kurze, sehr lokale Strecken. Die Unterscheidung zwischen den drei Netzen dient auch dazu, die wichtigsten Lücken in den Netzen aufzuzeigen. Dies verdeutlicht, welche Anpassungen für welche Netze notwendig sind. Während notwendige infrastrukturelle Verbindungen im Stadtnetz in der Regel teuer sind, können Anpassungen im Quartiernetz oft kostengünstig umgesetzt werden. Der Fahrradplan von Delft stammt aus dem Jahr 1979. Dieser Plan hat viele andere Städte inspiriert, ein ähnliches Netz aufzubauen, sowohl in den Niederlanden als auch im Ausland. So basieren neue Strategien wie der Radverkehrsplan Gent oder das umfangreiche Radwegenetz in Kopenhagen ebenfalls auf der Kombination aus durchgehenden Haupttrouten und einem feinmaschigen Netz lokaler Radwege.

Eine gute Ausstattung von Städten und Regionen mit Radwegen ist wichtig, reicht jedoch alleine nicht aus, um Menschen zum Umstieg vom MIV auf das Fahrrad zu bewegen. Essenziell ist eine

positive Fahrradkultur. Diese kann durch Pull-Maßnahmen wie Kampagnen oder Boni in Kombination mit Push-Maßnahmen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Regulierung und Preise für den MIV geschaffen werden.

Ein entsprechender Umbau gewachsener Stadtstrukturen, des rechtlich-organisatorischen Rahmens und der Kultur in Verwaltungen braucht jedoch Zeit. Die Niederlande verfolgen nach einem Einbruch des Fahrradanteils in den 1980er Jahren schon seit Jahrzehnten ein konsistentes System von Radverkehrsinvestitionen und -kampagnen. Dies ist auch heute konstant nötig. Insgesamt sind die Niederlande durch ihre lange Geschichte der Verkehrsregulierung und Fahrradförderung näher am Konzept der 15-Minuten-Stadt als die meisten deutschen Kommunen.

In Deutschland findet sich noch kein vergleichbar konsistenter Ansatz für den Aufbau eines hochwertigen Fahrradnetzes und einer animierenden Fahrradkultur für alle Alltagsbedürfnisse und Nutzergruppen. Jedoch zeigen die positiven Beispiele, dass auch unter den Rahmenbedingungen des deutschen Ordnungsrechts und gewachsener Verwaltungsstrukturen ein Wandel weg von der autogerechten Stadt hin zu mehr Lebensqualität und damit mehr Fahrrad- und Fußgängerfreundlichkeit möglich ist. Für eine erfolgreiche Fahrradpolitik ergeben sich nach Durchsicht der internationalen Beispiele folgende Kernthesen:

Für die Umsetzung der Verkehrswende mit dem Fahrrad und die Schaffung einer breiten Akzeptanz und Nutzung des Fahrrads ist die Erstellung und Umsetzung langfristiger Strategien zur Stadt- und Regionalentwicklung entscheidend. Dies kann über Regionalentwicklungspläne, Klima-Mobilitätspläne oder "Sustainable Urban Mobility Plans (SUMPs)" erfolgen. Wichtig ist in jedem Fall eine starke Stellung der Verkehrswende mit dem Fahrrad und des Fahrrads, sowie der Aufbau eines für alle Alltagswege komfortablen und sicheren Radwegenetzes.

Politische Entscheidungen und etwaige Richtungskorrekturen sollten informiert auf Basis solider Daten erfolgen. Hierfür ist ein kontinuierliches Monitoring der durchgeführten Maßnahmen und deren Wirkungen unerlässlich. Evaluierungen zur Wirkung von Radverkehrsmaßnahmen liegen jedoch sowohl für Deutschland als auch international nur vereinzelt vor. Mit den verfügbaren Studien zu unterschiedlichen Maßnahmen lässt sich jedoch schätzen, dass eine neue und bessere Radinfrastruktur das Potenzial hat, 10 % bis 77 % der Menschen neu für das Fahrrad zu begeistern oder dies vermehrt zu nutzen. Die Signale von Push-Maßnahmen in Form höherer Preise zulasten des MIV für den Radverkehr fallen schließlich unterschiedlich deutlich aus, es herrscht jedoch Konsens, dass eine Kombination aus Push- und Pull-Maßnahmen eine größere Wirkung entfaltet als einseitige Strategien.

6.2 Handlungsempfehlungen

Das Ziel dieser Studie ist es, das prinzipielle Potenzial des Radverkehrs bei einer konsequenten Umsetzung des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" abzuschätzen. Dies ist über die detaillierte Auswertung der Erhebung Mobilität in Deutschland (MiD) 2017 und zusätzlicher Kennwerte der deutschen Kreise und kreisfreien Städte gelungen. Dieser neu entwickelte Ansatz bildet das Verhalten der deutschen Bevölkerung ab und berücksichtigt die Ausstattung und empfundene Qualität der Regionen mit Verkehrsinfrastrukturen, Mobilitätsangeboten und der Nahversorgung. Bei konsequenter Umsetzung aller drei Bausteine des "Fahrradlands Deutschland" ist eine Verdreifachung des Modal Splits des Fahrrads über alle Regionstypen sowie eine jährliche Einsparung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr von 19 Megatonnen Kohlendioxidäquivalente (Mt CO_{2e}) gegenüber der Fortführung der aktuellen Verkehrspolitik möglich. Diese Ergebnisse gelten für einen Zeithorizont um 2035 und für alle Wege im Personenverkehr bis 30 km Länge.

Ein differenzierter Blick auf die Befunde dieser Potenzialanalyse führt zu folgenden Handlungsempfehlungen für die Verkehrs- und Kommunalpolitik:

1) Mit dem politischen Willen und ausreichend Ressourcen hat Deutschland das Potenzial zum Fahrradland zu werden.

Ausgehend vom Modal Split des Radverkehrs von 11 % 2017 schätzen wir für das Referenzszenario 2035 ohne weitere politische Ambitionen einen Anteil von 15 % mit dem Fahrrad. Werden alle drei Bausteine des "Fahrradlands Deutschland" konsequent umgesetzt, ermitteln wir einen Wegeanteil des Radverkehrs von 45 % für alle Wege bis 30 km im Personenverkehr in Deutschland. Dieses Potenzial gilt dann, wenn

- die beobachteten Verhaltensmuster der Menschen gegenüber 2017 beibehalten werden,
- die Radnetzdicke bei höherer empfundener Qualität auf das Dreifache des heutigen Niveaus wächst,
- der Radverkehr konsequent in den Umweltverbund eingebunden ist, sowie
- wenn Städte und Regionen mit städtebaulichen und verkehrspolitischen Konzepten auch zulasten des Pkw umfassend auf eine hohe Lebensqualität und Fahrradfreundlichkeit hinarbeiten.

Hieraus folgt: Es braucht politischen Willen, Mut und die notwendige finanzielle und personelle Ausstattung von Bund, Ländern und Kommunen, um das Leitbild "Fahrradland Deutschland" umzusetzen. Diese Studie zeigt anhand realer Verhaltensbeobachtungen, dass sich die zweifellos großen Anstrengungen auszahlen werden. Bund und Länder haben hierbei die Aufgabe, besonders kleinere Kommunen in ihren Anstrengungen zu unterstützen und die notwendigen Ressourcen bereitzustellen. Der Nationale Radverkehrsplan 3.0 der Bundesregierung weist hierfür den Weg.

2) Die Verdreifachung der Radverkehrsnetze benötigt gute Konzepte, weniger Bürokratische Planungsverfahren sowie eine niedrigschwellige Einbindung der Menschen.

Wir haben in Baustein 1 "Einladende Infrastruktur" die "Empfehlungen der Nationalen Plattform Mobilität zum Radverkehr" umgesetzt (NPM 2021). Dies bedeutet generell eine Verdreifachung der Fahrradinfrastruktur in ganz Deutschland gegenüber dem aktuellen Stand. Regionale Daten des Portals "OpenStreetMap"¹⁶ zeigen Verhältnisse der Kreise mit der höchsten gegenüber der niedrigsten Radnetzdicke von sechs für Metropolregionen und 20 für alle übrigen Raumtypen. Entscheidend für den Umstieg der Menschen auf das Fahrrad ist jedoch nicht die Dichte der Radwege allein, sondern deren Qualität. Für alle Bausteine des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" gehen wir von einer Verbesserung aller Kreise um eine Note in der Bewertung des ADFC-Fahrradklima-Tests aus. Dies bedeutet, dass sich alle Radfahrerinnen und Radfahrer sicher fühlen und das Radfahren überall als komfortabel empfinden. Unter diesen Voraussetzungen ermitteln wir ein Wachstum des Radverkehrsanteils in Deutschland von 15 % im Referenzszenario bis 33 % in Baustein 1 "Einladende Infrastruktur" für alle Wege bis 30 km Länge im Personenverkehr für das Zieljahr 2035.

Für die Umsetzung des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" bedeutet dies ein Handeln auf drei Ebenen:

- Erarbeitung von Netzkonzepten,
- schneller Ausbau der Radwege sowie
- eine qualitative Aufwertung der vorhandenen Fahrradinfrastruktur.

Netzkonzepte sollten sich an den Erfahrungen aus den Niederlanden, Belgien oder Dänemark orientieren. Hier werden beispielsweise drei Ebenen aus leistungsfähigen und schnellen Hauptverbindungen, einem gut ausgebauten Nebennetz sowie Verbindungs- und Zugangswege in

¹⁶ Weblink: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Bicycle/Radverkehrsanlagen_kartieren

die Wohnquartiere hinein unterschieden. Der Ausbau der Radwegenetze kann über Infrastrukturen, die ohne aufwendige bauliche Maßnahmen im Straßenraum installiert werden wie Protected Bike Lanes, Protected Crossings oder Pop-Up-Radwege, zusammen mit sicheren Abstellanlagen auch kurzfristig gelingen. Internationale und deutsche Städte wie Paris oder Sevilla, Münster, Oldenburg und Karlsruhe geben hier gute Beispiele.

Für die zeitnahe Verdreifachung der Radwegelänge muss der Bund jedoch den administrativen Aufwand und die Anforderungen an den Bau von Radwegen zugunsten kürzerer Planungs- und Bauzeiten überprüfen. Die Kommunen müssen die Bevölkerung über frühzeitige und niedrigschwellige Kommunikation und Beteiligungsverfahren mitnehmen, da mehr Radwege bei begrenztem Flächenangebot nicht ohne Einschränkungen für den Pkw möglich sind.

3) Die kommunale Transformation zu lebenswerten und fahrradfreundlichen Orten muss über eine positive Kommunikation vermittelt und zügig umgesetzt werden.

Der Baustein 3 "Fahrradfreundliche Kommunen" beschreibt ein Portfolio unterschiedlicher kommunal- und regionalpolitischer Ansätze sowie Maßnahmen der Verkehrspolitik. Unterstellt wird hierbei ein umfassender Mix aus Pull-Maßnahmen in den Rad- und Fußverkehr und für mehr Lebens- und Aufenthaltsqualität, sowie Push-Maßnahmen zulasten des Pkw. Wichtigster Baustein hierin ist die Flächenaufwertung und -umverteilung zugunsten von Radwegen, Radabstellanlagen, Gehwegen und Aufenthaltsflächen. Hierfür müssen Fahrspuren und Parkraum für den Pkw rückgebaut werden. Aufbauend auf den Bausteinen 1 und 2 erhöht dieses Paket an Maßnahmen den Fahrradanteil um zusätzliche acht Prozentpunkte auf durchschnittliche 45 % über alle Regionstypen für Wege bis 30 km. Eine höhere Lebensqualität in den Kommunen und eine bessere Nahversorgung führt dabei zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 8,5 Mt CO_{2e} pro Jahr. Dieser Effekt ist vergleichbar mit der Verdreifachung und Aufwertung der Fahrradinfrastruktur in Baustein 1.

Für die Verkehrspolitik bedeutet dies, dass ein ermöglichender Rahmen von Straßenverkehrsrecht und Baurecht geschaffen wird, der den Menschen und dessen Bedürfnisse in den Mittelpunkt stellt und den Kommunen weitgehende Freiheit beim Gestalten der Mobilität lässt. Die Möglichkeit der flächendeckenden Einführung einer Richtgeschwindigkeit von 30 km/h, wie diese von zahlreichen deutschen Kommunen gefordert wird, wäre ein wichtiger Schritt in diese Richtung (Ringwald et al. 2019). Ebenso sollte das Baugesetzbuch so reformiert werden, dass urbane Charakter von Straßen mit verschiedenen Nutzungsansprüchen besser zur Geltung kommt (Baumeister et al. 2023). Es ist aber auch entscheidend, dass die Kommunen die bereits jetzt vorhandenen rechtlichen Möglichkeiten kennen. Neben Bund und Ländern sind hier die kommunalen Spitzenverbände gefordert, den Städte und Gemeinden Rechtssicherheit zu geben.

Noch mehr als beim Aufbau von Fahrradinfrastrukturen gilt beim Schaffen von mehr Lebens- und Aufenthaltsqualität für alle in den Kommunen, die Bürgerinnen und Bürger frühzeitig und unbürokratisch in die Gestaltungsprozesse einzubinden. Digitale Beteiligungsformate, Visualisierungen, Stadtpaziergänge und ein aktives Vorschlagswesen sorgen in vielen Europäischen Städten für weniger Distanz zwischen der Bevölkerung und der Verwaltung. Diese Formate können im Idealfall helfen, Prozesse zu beschleunigen. Eine gute Kommunikation der Vorteile fahrradfreundlich umgestalteter Quartiere und Siedlungen sowie eine rasche Umsetzung sind von zentraler Bedeutung für die Akzeptanz von Veränderungen- besonders wenn diese Einschnitte für die Nutzung privater Pkw bedeuten.

4) Das hohe Radverkehrspotenzial in Regiopolen sollte als Katalysator für die Transformation in ländlichen Räumen genutzt werden.

Bei Umsetzung aller drei Bausteine des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" ermittelt das statistische Modell dieser Studie ein Radverkehrspotenzial der Wege bis 30 km von 63 % für regiopolitane Stadtregionen. Bereits heute finden sich hier mit Münster (47 %), Oldenburg (43 %) und Karlsruhe (ca. 30 %) die Städte in Deutschland mit den höchsten Radverkehrsanteilen und den besten Bewertungen im "ADFC Fahrradklima-Test". Der Radverkehr in Regiopolen profitiert dabei sowohl von der weniger dichten Konkurrenz alternativer Verkehrsangebote im Vergleich zu Metropolen, bei gleichzeitig urbanen Strukturen mit guter Nahversorgung, kurzen Wegen und einer gegenüber ländlichen Räumen geringeren Autoabhängigkeit. Der Wert "zwei Drittel aller Wege" mit dem Fahrrad erscheint extrem hoch - er stellt jedoch keine Prognose, sondern "lediglich" das Potenzial des Radverkehrs unter der Annahme heutiger Verhaltensmuster und ohne politische, administrative oder finanzielle Restriktionen dar.

In regiopolitanen Stadtregionen scheint die Förderung des Radverkehrs am erfolgreichsten unter den vier untersuchten Regionstypen (von metropolitanen Stadtregionen bis peripheren ländlichen Räumen) möglich zu sein. Diese können Vorreiter und Vorbild für andere Regionstypen sein, wenn sie die ermittelten Potenziale des Radverkehrs entschlossen nutzen. Mittel- und Großstädte verfügen in der Regel über wesentlich mehr Know-how und Kapazitäten in der Verkehrspolitik und Stadtgestaltung als kleinere und periphere Kommunen. Auch in ländlichen Räumen besteht ein nennenswertes Potenzial für das Fahrrad. Jedoch trifft hier ein großer Nachholbedarf in die Infrastruktur auf Kommunen mit oft geringem Know-how und Kapazitäten in der Radverkehrsplanung.

Auf welche Bereiche sich die Fahrradförderung von Bund und Ländern konzentrieren sollte, ist eine politische Entscheidung und kann im Rahmen dieser Studie nicht abschließend beantwortet werden. Abzuwägen ist die vermutlich höhere Effizienz von Fördermitteln in regiopolitanen Stadtregionen gegenüber der nachholenden Förderung für gleichwertigere Lebensverhältnisse in stadtnahen und peripheren ländlichen Räumen.

5) Die Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz sind bedeutend und sollten möglichst schnell gehoben werden.

Mit einem Reduktionspotenzial bis zu 19 Mt CO_{2e} zählt die Verkehrspolitik um Fahrradfreundlichkeit und Lebensqualität in Kommunen zu den großen Hebeln für die Klimaneutralität des Verkehrs. Im landgebundenen Personenverkehr insgesamt ermittelt die Studie ein Minderungspotenzial von 15 % gegenüber dem Referenzszenario 2035. Vor dem Hintergrund einer immer größer werdenden Lücke zwischen den Treibhausgas-Emissionen im Verkehr und den anvisierten Minderungszielen ist dieses Potenzial erheblich.

Alternative Minderungspfade über die Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs, synthetische Kraftstoffe oder die Verlagerung von Personen und Gütern auf die Bahn verlaufen schleppend. Diese genügen mutmaßlich nicht, um die verkehrsbedingten Treibhausgase wie vorgesehen um 55 % bis 2030 und um 80 % bis 2040 zu mindern. Im Gegensatz zu diesen sind die Konzepte für einen guten Radverkehr bekannt und zeitnah umsetzbar.

Die obigen Empfehlungen konnten wir aus dem Ergebnissen des hier entwickelten Potenzialmodells ableiten. Aus der Sichtung der Literatur zu Erfolgskriterien von Fahrradstädten in Deutschland und Europa ergeben sich noch folgende übergeordneten Handlungsempfehlungen:

6) Der Radverkehr benötigt eine gestaltende Gesamtstrategie auf allen regionalen Ebenen.

Radverkehrsförderung ist integraler Bestandteil der Verkehrswende. Alle Bausteine des "Fahrradland Deutschland" tragen erheblich zu einem ausgeglichenen Modal Split der Verkehrsmittel und zur deutlichen Reduktion der THG-Emissionen bei. Die starken Effekte der Bausteine 1 "Einladende Infrastruktur" und 3 "Fahrradfreundliche Kommunen" zeigen: Wichtig für den Radverkehr ist ein faires und sozial abgestimmtes Zusammenspiel zwischen Push- und Pull-Maßnahmen. Neben der fahrradfreundlichen Umgestaltung der Kommunen und der konsequenten Einbindung des Radverkehrs in den ÖPV über Auskunfts- und Buchungssysteme und intermodal ausgestaltete Haltepunkte bedeutet dies Einschränkungen für den Pkw. Eine flächendeckende Richtgeschwindigkeit von 30 km/h in Kommunen, die Reduktion von Fahrspuren und Parkplätzen im öffentlichen Raum sowie Preise als Lenkungsinstrument sind einige der möglichen Maßnahmen.

Um soziale Verwerfungen zu vermeiden, müssen diese Maßnahmen gut kommuniziert und in eine für alle nachvollziehbare Gesamtstrategie eingebettet werden. Die Umgestaltung der meist nachlaufenden Planungsverfahren in gestaltende Strategieprozesse ist ein wichtiger Schritt in diese Richtung. So sollten der Bundesverkehrswegeplan sowie Verkehrsentwicklungspläne der Länder und Kommunen in Mobilitätspläne mit Zielvorgaben für Treibhausgas-Emissionen, den Modal Split von Radverkehr und Umweltverbund, oder die Aufenthaltsqualität in Kommunen umgestaltet werden.

7) Daten und Evaluierung sind unerlässlich.

Der Überblick zur internationalen Praxis zeigt, dass politische Entscheidungen und etwaige Richtungskorrekturen informiert auf Basis solider Daten erfolgen sollten, die regelmäßig erhoben werden. Zudem ist ein kontinuierliches Monitoring der durchgeführten Maßnahmen und deren Wirkungen unerlässlich. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Programm "Copenhagen - The Best Cycling City in the World".¹⁷ An ähnlichen Beispielen sollte sich die in Deutschland eher schwach ausgeprägte Kultur von Wirkungskontrollen orientieren.

Um ressourcenintensive und bürokratische Hürden zu vermeiden, können Evaluierungsverfahren niedrigschwellig anhand weniger Kernindikatoren und unter Nutzung automatisch abrufbarer digitaler Datenquellen aufgebaut werden. Wichtig ist in jedem Fall die lernende Ausrichtung zukünftiger verkehrspolitischer Strategien an den verfügbaren Evaluierungsergebnissen.

8) Radverkehrsförderung ist Teil einer gesamtgesellschaftlichen Transformation.

Die Förderung des Radverkehrs in den hier skizzierten Bausteinen hat neben dessen Klimawirkung noch weitere bedeutende gesellschaftliche Vorteile. So sind Fahrradinfrastrukturen bei guter Auslastung platz- und kosteneffizient. Mehr aktive Mobilität erhöht die Gesundheit und Lebenserwartung der Menschen und kann darüber zur Einsparung volkswirtschaftlicher Kosten beitragen. Schließlich reicht die Transformation von Städten und Gemeinden für mehr Lebens- und Aufenthaltsqualität weit über den Verkehrssektor hinaus und berührt die Frage, wie wir in Zukunft zusammenleben wollen.

¹⁷ Online: <https://urbandevelopmentcph.kk.dk/mobility-cycling/copenhagen-the-best-cycling-city-in-the-world>

6.3 Prognosemethodik und Ausblick

Mit dem hier entwickelten Prognoseansatz können wir die sonst in der Verkehrsmodellierung vernachlässigte Größen wie die wahrgenommene Qualität und Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln oder den Ausbau der Fahrradinfrastruktur über ein aggregiertes statistisches Modell für die Szenarioanalyse nutzbar machen. Durch die Verbindung der Datensätze der Erhebung Mobilität in Deutschland mit den Ergebnissen des ADFC-Fahrradklima-Tests, durch Auswertungen über die Programmierschnittstelle von OpenStreetMap und Regionaldaten des Statistischen Bundesamts wurde hierfür ein breiter Datensatz zum Mobilitätsverhalten, verfügbaren Mobilitätswerkzeugen, regionalen Charakteristika und Infrastrukturangeboten erzeugt. Über ein multinomiales Regressionsverfahren wurden hieraus "Odds Ratios" als Schätzwerte (Prediktoren) für die Modalwahl für 11 Szenario-Variablen und 7 Kontrollvariablen geschätzt.

Dieser Ansatz wurde gewählt, da klassische netzbasierte Prognosemodelle gerade den nicht motorisierten Verkehr weniger gut erklären können, und gleichzeitig durch ihre detaillierte Darstellung von Verkehrsnetzen die Abschätzung von Verlagerungspotenzialen zwar lokal sehr fein, aber für Deutschland insgesamt nur mit großem Aufwand erlauben. Der hier verfolgte statistische Ansatz hat dabei Stärken und Schwächen.

Stärken sind der Einbezug weicher Faktoren in die Verkehrsmittelwahl. Diese sind insbesondere für den nichtmotorisierten Verkehr und damit für das Fahrrad wichtig, da hier bei vielen Menschen Ressentiments bezüglich Status, Sicherheit, Komfort, Wetterabhängigkeit oder Alltagstauglichkeit bestehen. Die Ergebnisse der mit diesem Ansatz geschätzten Szenarien bestätigen, dass mit Einbezug dieser Größen unter den Bedingungen des Fahrradlands Deutschland durchaus Modal-Split-Werte wie in den niederländischen Fahrradstädten erreichbar sind.

Bedingt durch die mittlerweile sechs Jahre alten MiD-Daten spiegeln die ermittelten "Odds Ratios" nicht mehr in jedem Fall das Mobilitätsverhalten heute (2023) wieder. Zwar wurde ein Basisdatensatz 2023 mit aktuellen Statistiken erzeugt, die Ergebnisse der Regressionsanalyse beschreiben jedoch immer noch das Verhalten vor der COVID-19-Pandemie, zur damaligen wirtschaftlichen Situation und ohne eine breite Marktdurchdringung von Pedelecs. Folgende Punkte können die Genauigkeit des Modells weiter steigern:

- **Neuberechnung mit Daten der MiD 2023/20224:** Die globale Aktualisierung der MiD-Daten vom Erhebungsjahr 2016/2017 auf das Jahr 2023 kann zu Verzerrungen führen. Sobald die Ergebnisse der MiD 2023 zur Verfügung stehen, ist eine Neuberechnung der Regressionskoeffizienten vielversprechend.
- **Übergang zu einem GLMM-Modellansatz:** Die verwendeten Datensätze sind auf drei Ebenen hierarchisch strukturiert (nested):
 - Mehrere Wege von jeweils einer Person
 - Mehrere Personen aus jeweils einem Haushalt
 - Mehrere Haushalte aus jeweils einem Landkreis/einer Region

Diese Strukturierung kann zu Verzerrungen führen, da die Zugehörigkeit zu einer dieser Hierarchien die Modalwahl stärker beeinflussen könnte als die Regressionsparameter. In einem sehr aufwändigen "Generalized Linear Mixed Model (GLMM)" können diese Einflüsse überprüft werden.

- Der Ansatz, die "Odds-Ratio" zu verwenden, um eine Fortentwicklung bekannter Werte (hier der Modalanteile) zu erzielen, entspricht nicht der schulbuchmäßigen Vorgehensweise. Weitere Validierungsrechnungen könnten dazu beitragen, die Ergebnisse zu untermauern. **Optimierte Auswahl von Szenario- und Kontrollvariablen:** Die Auswahl der Szenario- und Kontrollvariablen geschah vor allem aufgrund der Literaturrecherche, dem Input aus dem Exper-

tenbeirat und Erfahrungen aus ähnlichen Projekten. Eine stärkere Optimierung des Gesamtmodells anhand statistischer Kennzahlen könnte die Aussagekraft erhöhen. Eine unabhängige Optimierung der 12 Teilmodelle ist ebenfalls möglich, kann aber die Nachvollziehbarkeit und Erklärbarkeit des Modells stark beeinträchtigen.

Gerade in dünner besiedelten ländlichen Regionen stößt die Stichprobengröße und damit die Gültigkeit der "Odds Ratios" an Grenzen.

- **Einbezug zusätzlicher Erhebungen:** Lokale Sondererhebungen der MiD oder die Verbindung von Daten der MiD mit vergleichbaren Erhebungen wie die Mobilitätserhebung in Städten (SrV) könnten für eine höhere Prognosegüte sorgen. Der Aufwand für die Verknüpfung verschiedener Umfrageergebnisse ist jedoch erheblich und birgt größere methodische Schwierigkeiten.

Mit dem rein statistischen Ansatz, welcher hier zur Anwendung kam, lassen sich keine Aussagen über konkrete Städte, Regionen oder Verkehrsbeziehungen treffen. Zudem ist die Definition von Szenarien auf durchschnittliche Annahmen für Deutschland wie etwa den Umfang des Netzausbaus oder die Verbesserung des Fahrradklimas angewiesen. Auf die Verhältnisse in einzelnen Regionen kann dabei nicht eingegangen werden. Hier könnte die Einbettung der Elastizitäten oder "Odds Ratios" dieser Studie in klassische Verkehrsmodelle die Definition konkreter Szenarien nachvollziehbarer gestalten.

- **Nutzung in netzbasierten Verkehrsmodellen:** Prinzipiell spricht auch bei traditionellen Verkehrsprognosemodellen nichts dagegen, neben den klassischen Parametern Kosten und Zeiten auch weiche Parameter in die Modal- und Zielwahlfunktionen einfließen zu lassen. Die vorliegende Studie bietet hierfür erste Analysen und methodische Ansätze.

Die hier geschätzten Odds Ratios stellen Punktelastizitäten dar. Diese gelten nur für relativ kleine Änderungen der unabhängigen Variablen. Die Szenarien für das Leitbild "Fahrradland Deutschland" stellen den Verkehrsmarkt jedoch vor erhebliche Änderungen. Die getroffenen Aussagen sind deshalb nur als beschränkt gültige Potenziale und nicht als Prognosen im engeren Sinn zu verstehen.

- **Nutzung in Kombination mit verhaltensbasierten Ansätzen:** Limitationen, Zwangspunkte aber auch Möglichkeiten täglicher Wegekettens benötigen dezidierte verhaltenspsychologische Daten und Modelle. Dies können in Form agentenbasierter oder "Discrete-Choice"-Modelle operationalisiert werden und die Ergebnisse des hier entwickelten breiten statistischen Ansatzes aufnehmen.

7 Schlussbemerkung

Methodisch konnten wir mit dieser Studie zeigen, dass eine geschickte Kombination der verfügbaren Daten zum Verkehrsverhalten, zu Sichtweisen der Radfahrenden und zur Verkehrsinfrastruktur zu neuen Prognoseansätzen genutzt werden kann. Trotz Einschränkungen und Weiterentwicklungsmöglichkeiten betrachten wir die grundlegenden Ergebnisse dieses explorativen Ansatzes unter den Annahmen der hierauf angewandten Szenarien für valide. Die Ergebnisse der entwickelten Methodik stellen jedoch grundlegende Potenziale und keine Prognosen im klassischen Sinn dar. Dies impliziert, dass nicht nur finanzielle und personelle Einschränkungen seitens der Kommunen, sondern auch Zwangspunkte bei der Gestaltung realer Wegeketten von Menschen weitgehend unberücksichtigt bleiben. Die methodischen Wege zur Überführung einer Potenzialschätzung zu einer belastbaren Prognose sind im vorangehenden Kapitel hinlänglich aufgelistet.

Inhaltlich bestätigt die Szenarioanalyse die Befunde erfolgreicher Fahrradstädte in Europa. Vergleichbar mit erfolgreichen niederländischen Regionen ermitteln wir mit der konsequenten Umsetzung des Leitbilds "Fahrradland Deutschland" einen möglichen Modal Split deutlich über 40 %. Diese Veränderungen brauchen Zeit und erhebliche Ressourcen. Vor dem Hintergrund mangelnder technologischer Optionen für eine schnelle Reduktion der THG-Emissionen im Verkehr bietet die Förderung des Radverkehrs jedoch einen unterstellten preiswerten Vermeidungspfad.

Die Vision „Fahrradland Deutschland 2030“ braucht konkrete Maßnahmen, um in die Umsetzung zu kommen sowie eine dauerhafte Verpflichtung von Bund, Ländern und Kommunen, dies umzusetzen. Die Aufstellung eines steuernden und gestaltenden "Mobilitätsplans Deutschland" mit dem Radverkehr und dem ÖPV als tragende Säulen in Ergänzung zum Bundesverkehrswegeplan erscheint hierfür geboten. Dieser muss Kommunen und die Menschen über offene Innovations- und Beteiligungsprozesse mitnehmen, um die immer deutlicher sichtbaren Risse in der Gesellschaft zugunsten eines fairen Miteinanders und der gemeinschaftlichen Gestaltung lebenswerter Städte, Gemeinden und Regionen zu überwinden.

Mit einer breit getragenen Roadmap und über eine grundlegende Reform des Straßenverkehrsrechts mit dem Menschen im Mittelpunkt sollte die Aufmerksamkeit für Klimaschutz und nachhaltige Mobilität fest und langfristig in Politik und Gesellschaft verankert werden. Finanzielle Engpässe, demographisch bedingter Personalmangel bei gleichzeitig zu vielen wenig qualifizierten Menschen, nahe bewaffnete Konflikte und Migration, eine sich deutlich verschiebende Weltordnung und der Aufstieg radikalerer politischer Kräfte beschäftigen die Politik zusehends. Die auf- und absteigende Prominenz der Klimapolitik um das Auftreten der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009 zeigt die Gefahr auf, dass zwar wichtige aber langfristige politische Ziele kurzfristigen und die Menschen direkter betreffenden Notwendigkeiten weichen können.

Die aufgezeichneten Szenarien für den Radverkehr könnten auf mehreren Ebene helfen, die Dilemmata der Politik zumindest etwas abzumildern. Die konsequente Umsetzung aller Bausteine der Vision "Fahrradland Deutschland" schafft lokale Jobs in der Fahrrad- und Bauindustrie, macht deutsche Kommunen attraktiver und lebenswerter im internationalen Vergleich und trägt zur Einhaltung der nationalen und internationalen Klimaziele bei. Leistungsfähige digitale Lösungen für die Verknüpfung der Verkehrsmittel, für Beteiligung und Information sollten auch in diesem Segment den Standort Deutschland stärken.

Mit der vorliegenden Studie wollen wir Mut zur Veränderung machen. Ein Blick ins Ausland zeigt, dass dies zwar Zeit braucht, aber möglich ist. Ein Reduktionspotenzial von über 15 % Treibhausgasemissionen im Personenverkehr ist enorm und könnte Deutschland bei einer schnelleren Verfügbarkeit und niedrigeren Kosten im Vergleich zu alternativen Reduktionspfaden ein gutes Stück in Richtung Klimaneutralität voranbringen.

8 Verzeichnisse

Tabellen

Tabelle 1:	Der Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Fahrradinfrastruktur und dem Radverkehr in ausgewählten Städten.	7
Tabelle 2:	Wirkungsanalyse von Investitionen in die Radinfrastruktur (Pull).....	11
Tabelle 3:	Indizes zu deutschen und internationalen Fahrradstädten.....	12
Tabelle 4:	Strategien der Radverkehrsstädte.....	15
Tabelle 5:	Variablen, Werte und Quellen	21
Tabelle 6:	Szenarien-Variablen je Submodell 2017 und 2023	24
Tabelle 7:	Wahrscheinlichkeiten und Chancen der Transportmodi.....	25
Tabelle 8:	Kernindikatoren Ist 2017, Basis 2023 und Referenz 2035.....	33
Tabelle 9:	Verteilung der Radnetzichten 2023 nach Kreisen mit OSM-Daten.....	35
Tabelle 10:	Verteilung der FKT-Noten nach Kreisen.....	36
Tabelle 11:	Kernindikatoren der Referenz und Bausteine 1 - 3 2035.....	39
Tabelle 12:	Emissionsfaktoren der Verkehrsmittel 2023 und 2035	42
Tabelle 13:	Verhaltens- und Infrastrukturdaten 2017 und 2023	69
Tabelle 14:	Exponenzierte Regressionskoeffizienten: Odds Ratios.....	70
Tabelle 15:	P-Werte der Regressions-Koeffizienten.....	71
Tabelle 16:	Ergebniswerte des statistischen Modells 2017, 2022 und 2035 nach Bausteinen und Verkehrsmitteln, alle Regionstypen	72
Tabelle 17:	Differenzen der Ergebnisse 2023 und 2035 zum Ausgangsjahr 2017, alle Regionstypen	73
Tabelle 18:	MobileCity verfügbare Maßnahmenbündel	74

Abbildungen

Abbildung 1:	Ausgewählte Fahrradstädte und deren Modal Split	14
Abbildung 2:	Modal Split 2035 nach Bausteinen	44
Abbildung 3:	Modal Split 2035 nach Regionstypen und Bausteinen	45
Abbildung 4:	Modal Split 2035 nach Entfernungsklassen und Bausteinen.....	46
Abbildung 5:	Verkehrsleistung total und Anteile 2035 nach Bausteinen	47
Abbildung 6:	Durchschnittliche Weglängen je Verkehrsmittel 2035 nach Bausteinen	48
Abbildung 7:	THG-Emissionen 2035 nach Bausteinen 2035.....	49
Abbildung 8:	MobileCity Ergebnisse ausgewählter Szenarien	75

Abkürzungen

ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V.
API	Application Programming Interface (Programmierschnittstelle)
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO _{2e}	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
ECF	European Cycling Foundation
EU	Europäische Union
GLMM	Generalized Linear Mixed Model
FKT	ADFC-Fahrradklima-Test
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
Km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
KKZ	Kreiskennziffer
LCA	Life Cycle Assessment
LK	Landkreis
MiD	Mobilität in Deutschland
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mrd.	Milliarden
Mt	Megatonne (1 Mio. Tonnen)
NPM	Nationale Plattform Mobilität
NRVP	Nationaler Radverkehrsplan
OEM	Original Equipment Manufacturer (Automobilindustrie)
ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr mit Regional- und Fernverkehr
OSM	Open Street Map
OSMXNX	OSM New Methods for Acquiring, Constructing, Analyzing, and Visualizing Complex Street Networks."
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
SRV	Verkehrserhebung "Mobilität in Städten - SRV"
RASt	Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen
StVO	Straßenverkehrsordnung
SUMP	Strategic Urban Mobility Plan
Sz.	Szenario
t	Tonne
THG	Treibhausgase

Tsd.	Tausend
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VIZ	Verkehr in Zahlen
ZIV	Zweirad-Industrieverband

1 Literatur

- Adam, L.; Jones, T.; te Brömmelstroet, M. (2020): Planning for cycling in the dispersed city: establishing a hierarchy of effectiveness of municipal cycling policies. In: *Transportation*, 47 (2), S. 503–527. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9878-3>.
- ADFC (2022): Fahrradklima-Test 2022. Städteranking. Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club.
- Aditjandra, P. T. (2013): The impact of urban development patterns on travel behaviour: Lessons learned from a British metropolitan region using macro-analysis and micro-analysis in addressing the sustainability agenda. In: *Research in Transportation Business & Management*, 7, S. 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2013.03.008>.
- Aldred, R.; Elliott, B.; Woodcock, J.; Goodman, A. (2016): Cycling provision separated from motor traffic: a systematic review exploring whether stated preferences vary by gender and age. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1200156>.
- Aldred, R.; Jungnickel, K. (2014): Why culture matters for transport policy: the case of cycling in the UK. In: *Journal of Transport Geography*, 34, S. 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.11.004>.
- Balogh, S. M. (2017): Perceived safety of cyclists. The role of road attributes. KTH Royal Institute of Technology.
- Baumeister, H.; Widemann, M. (2023): Verkehrsreduzierte Innenstädte in Europa – Vergleichende Analyse regulatorischer Ansätze anhand von Fallbeispielen. Literaturanalyse von Gutachten und Studien zum deutschen Rechtsrahmen Zwischenbericht zu LB I – 07.07.2023. Bremen: BBG und Partner.
- BBSR (2023): Rechtliche Bausteine für eine strategische Neuausrichtung der Mobilitätswende in Kommunen. Ein ExWoSt-Forschungsfeld. Berlin: Fraunhofer Allianz Verkehr; Fraunhofer ISI, BBG und Partner.
- BMDV (2023): Verkehr in Zahlen 2022/2023. Berlin: Bundesministerium für Digitales und Verkehr.
- BMVBS (2012): Nationaler Radverkehrsplan 2020. Den Radverkehr gemeinsam weiterentwickeln. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- BMVI (2021): Nationaler Radverkehrsplan 3.0. Fahrradland Deutschland 2030. Karlsruhe, Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Boeing, G. (2017): OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. In: *Computers, Environment and Urban Systems*, 65, S. 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004>.
- Braun, L. M.; Rodriguez, D. A.; Cole-Hunter, T.; Ambros, A.; Donaire-Gonzalez, D.; Jerrett, M.; Mendez, M. A.; Nieuwenhuijsen, M. J.; Nazelle, A. de (2016): Short-term planning and policy interventions to promote cycling in urban centers: Findings from a commute mode choice analysis in Barcelona, Spain. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 89, S. 164–183. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.05.007>.
- Buehler, R.; Pucher, J. (Hrsg.) (2021): *Cycling for sustainable cities // CYCLING FOR SUSTAINABLE CITIES*. MIT Press. ISBN: 9780262542029.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2019): Radschnellverbindungen – Leitfaden zur Potenzialanalyse und Nutzen-Kosten-Analyse. Bergisch Gladbach.

- Cabral, L.; Kim, A. M. (2020): An empirical reappraisal of the four types of cyclists. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, S. 206–221. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.05.006>.
- Carver, A.; Timperio, A. F.; Crawford, D. A. (2015): Bicycles gathering dust rather than raising dust—Prevalence and predictors of cycling among Australian schoolchildren. In: *Journal of science and medicine in sport*, 18 (5), S. 540–544. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.07.004>.
- Caselli, B.; Carra, M.; Rossetti, S.; Zazzi, M. (2022): Exploring the 15-minute neighbourhoods. An evaluation based on the walkability performance to public facilities. In: *Transportation Research Procedia*, 60, S. 346–353. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.045>.
- Copenhagenize (2019): Copenhagenize Index 2019. Our methodology. Online verfügbar unter <https://copenhagenizeindex.eu/about/methodology>, zuletzt geprüft am 07.06.2023.
- Crane, R. (2000): The Influence of Urban Form on Travel: An Interpretive Review. In: *Journal of Planning Literature*, 15 (1), S. 3–23. <https://doi.org/10.1177/08854120022092890>.
- Destatis (2022): 15. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Annahmen und Ergebnisse. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/begleitheft.html>.
- Destatis (2023): Bevölkerung: Kreise, Stichtag, Altersgruppen. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=12411-0017&bypass=true&levelindex=1&levelid=1701688196470#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 04.12.2023.
- Dill, J.; Carr, T. (2003): Bicycle Commuting and Facilities in Major U.S. Cities: If You Build Them, Commuters Will Use Them. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1828 (1), S. 116–123. <https://doi.org/10.3141/1828-14>.
- Dill, J.; Chris, M.; Nathan, M.; Kelly, C.; Nick, F.; Tara, G. (2014): Lessons from the Green Lanes. Evaluating Protected Bike Lanes in the U.S. National Institute for Transportation and Communities.
- Doll, C.; Bieker, S.; Duffner-Korbee, D.; Krauß, K. (2023): Das MobileCityGame: Gamification zur Unterstützung frühzeitiger Planung, Partizipation und Bildung für eine erfolgreiche Mobilitätswende. In: *Transforming Cities*, 2023 (4), S. 62–66.
- Doll, C.; Krauß, K. (2022): Nachhaltige Mobilität und innovative Geschäftsmodelle. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 10-2022. Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation.
- ECF (2023): The state of national cycling strategies in Europe (2023). 3rd edition. Online verfügbar unter https://www.ecf.com/system/files/The-State-of-National-Cycling-Strategies-2023_ECF.pdf.
- Freitas Miranda, H. de; Da Rodrigues Silva, A. N.; Geurs, K. (2023): Reverse engineering cycling culture using stakeholders' perceptions of well-established examples – Insights from Enschede and Münster. In: *Case Studies on Transport Policy*, 14, S. 101107. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101107>.
- Fyhri, A.; Heinen, E.; Fearnley, N.; Sundfør, H. B. (2017): A push to cycling—exploring the e-bike's role in overcoming barriers to bicycle use with a survey and an intervention study. In: *International Journal of Sustainable Transportation*, 11 (9), S. 681–695. <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1302526>.
- Gerike, R.; Koszowski, C.; Hubrich, S.; Wittwer, R.; Wittig, S.; Pohle, M. (2020): Aktive Mobilität: Mehr Lebensqualität in Ballungsräume. Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

- Goel, R.; Goodman, A.; Aldred, R.; Nakamura, R.; Tatah, L.; Garcia, L. M. T.; Zapata-Diomed, B.; Sa, T. H. de; Tiwari, G.; Nazelle, A. de; Tainio, M.; Buehler, R.; Götschi, T.; Woodcock, J. (2022): Cycling behaviour in 17 countries across 6 continents: levels of cycling, who cycles, for what purpose, and how far? In: *Transport Reviews*, 42 (1), S. 58–81.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1915898>.
- Götting, K.; Becker, S. (2020): Reaktion auf die Pop-Up-Radwege in Berlin. Ergebnisse einer explorativen Umfrage zur temporären Radinfrastruktur im Kontext der Covid-19 Pandemie. Institute for Advanced Sustainability.
- Hardinghaus, M.; Cyganski, R. (2019): Attraktive Radinfrastruktur. Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt.
- Harms, L.; Bertolini, L.; Brömmelstroet, M. t. (2016): Performance of Municipal Cycling Policies in Medium-Sized Cities in the Netherlands since 2000. In: *Transport Reviews*, 36 (1), S. 134–162.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1059380>.
- Haustein, S.; Koglin, T.; Nielsen, T. A. S.; Svensson, Å. (2020): A comparison of cycling cultures in Stockholm and Copenhagen. In: *International Journal of Sustainable Transportation*, 14 (4), S. 280–293. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1547463>.
- Heinen, E.; Maat, K.; van Wee, B. (2013): The effect of work-related factors on the bicycle commute mode choice in the Netherlands. In: *Transportation*, 40 (1), S. 23–43.
<https://doi.org/10.1007/s11116-012-9399-4>.
- Helms, H.; Kämper, C.; Biemann, K.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Meyer, K. (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Heidelberg: IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, zuletzt geprüft am 16.03.2022.
- Holz-Rau, C.; Scheiner, J. (2019): Land-use and transport planning – A field of complex cause-impact relationships. Thoughts on transport growth, greenhouse gas emissions and the built environment. In: *Transport Policy*, 74, S. 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.12.004>.
- Hong, J.; McArthur, D. P.; Livingston, M. (2020): The evaluation of large cycling infrastructure investments in Glasgow using crowdsourced cycle data. In: *Transportation*, 47 (6), S. 2859–2872.
<https://doi.org/10.1007/s11116-019-09988-4>.
- Hull, A.; O'Holleran, C. (2014): Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling? In: *Urban, Planning and Transport Research*, 2 (1), S. 369–406.
<https://doi.org/10.1080/21650020.2014.955210>.
- Intraplan (2022): Verkehrsprognose 2040. Teil 2: Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose 2040. Prognoseprämissen Prognosefall 1 „Basisprognose 2040“. München, Berlin: Intraplan, Trimode, MWP-ETR, Fraunhofer CML, Teralytics.
- ITF (2020): Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility. ITF - International Transport Forum.
- Jonkeren, O.; Harms, L.; jorritsma, P.; Huibregtse, O.; Bakker, P. (2018): Waar zouden we zijn zonder de fiets en de trein? Een onderzoek naar het gecombineerde fiets-treingebruik in Nederland. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- Jonkeren, O.; Kager, R.; Harms, L.; te Brömmelstroet, M. (2021): The bicycle-train travellers in the Netherlands: personal profiles and travel choices. In: *Transportation*, 48 (1), S. 455–476.
<https://doi.org/10.1007/s11116-019-10061-3>.
- KBA (2023): Fahrerlaubnisse (FE). Bestand an allgemeinen Fahrerlaubnissen im Zentralen Fahrerlaubnisregister (ZFER). 1. Januar 2023, FE4. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt.

- Kipke, H.; Ullmann, D. (2021): Modellprojekte für den Radverkehr in Bayern. Forschungsbericht der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm NCT - Intelligente Verkehrsplanung in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft fahrradfreundliche Kommunen in Bayern e.V. Endbericht. Nürnberg. Online verfügbar unter <https://agfk-bayern.de/service/#533-486-mo-dellprojekte>, zuletzt geprüft am 03.11.2022.
- Klinger, T.; Jeffrey, R. K.; Martin, L. (2013): Dimensions of Urban Mobility Cultures - A Comparison of German cities. Goethe-University Frankfurt/Main, Department of Human Geography, Frankfurt/Main, Germany; Curtin University, Sustainability Policy Institute, Curtin University, Perth, Western Australia.
- Kühl, C.; Hollbach-Grömig, B. (2023): OB-Barometer 2023. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.
- Kuipers, G. (2013): The rise and decline of national habitus. In: European Journal of Social Theory, 16 (1), S. 17–35. <https://doi.org/10.1177/1368431012437482>.
- Lanzendorf, M.; Busch-Geertsema, A. (2014): The cycling boom in large German cities—Empirical evidence for successful cycling campaigns. In: Transport Policy, 36, S. 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.07.003>.
- Leape, J. (2006): The London Congestion Charge. In: Journal of Economic Perspectives, 20 (4), S. 157–176. <https://doi.org/10.1257/jep.20.4.157>.
- LUKO (2022): Globaler Fahrradstädte-Index 2022. Online verfügbar unter <https://de.luko.eu/service/tipps/fahrrad-index/>, zuletzt geprüft am 07.06.2023.
- Ma, M.; Jin, Y. (2024): Estimating time-saving benefits and mode shifts from improvements of sustainable transport modes in Cambridge, UK. In: Case Studies on Transport Policy, 15, S. 101127. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101127>.
- Mekuria, M. C.; Furth, P. G.; Nixon, H. (2012): Low-Stress Bicycling and Network Connectivity. Research Report. Mineta Transportation Institute.
- Monsere, C.; Dill, J.; McNeil, N.; Clifton, K.; Foster, N.; Goddard, T.; Berkow, M.; Gilpin, J.; Voros, K.; van Hengel, D.; Parks, J. (2014): Lessons from the Green Lanes: Evaluating Protected Bike Lanes in the U.S. National Institute for Transportation and Communities. <https://doi.org/10.15760/trec.115>.
- Nello-Deakin, S.; Brömmelstroet, M. t. (2021): Scaling up cycling or replacing driving? Triggers and trajectories of bike–train uptake in the Randstad area. In: Transportation, 48 (6), S. 3239–3267. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10165-9>.
- Nobis, C. (2019): Mobilität in Deutschland. MiD Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 in auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Nobis, C.; Kuhnimhof, T. (2018): Mobilität in Deutschland - MiD. Ergebnisbericht. Bonn, Berlin: infas, DLR, IVT, infas 360. Online verfügbar unter <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/>.
- NPM (2020): Werkstattbericht Antriebswechsel Nutzfahrzeuge. Wege zur Dekarbonisierung schwerer Lkw mit Fokus der Elektrifizierung. Arbeitsgruppe 1: Klimaschutz im Verkehr. Berlin: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität.
- NPM (2021): Wege für mehr Klimaschutz im Verkehr. AG 1 Bericht. Berlin: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität.
- Oldenziel, R. (Hrsg.) (op. 2016): Cycling Cities. The European experience : hundred years of policy and practice. Eindhoven: Foundation for the History of Technology. ISBN: 9789073192461.

- Oldenziel, R.; La Albert de Bruhèze, A. (2011): Contested Spaces. In: *Transfers*, 1 (2), S. 29–49. <https://doi.org/10.3167/trans.2011.010203>.
- Pol, m.; Hendriksen, B. (2018): Evaluatie nieuwe wegmarkering op snelfietsroutes. Het effect op beleving en gedrag van weggebruikers.
- Portland State University; Alta Planning (2014): Lessons from the Green Lanes. Evaluating Protected Bike Lanes in the U.S. National Institute for Transportation and Communities.
- Pritchard, R.; Bucher, D.; Frøyen, Y. (2019): Does new bicycle infrastructure result in new or re-routed bicyclists? A longitudinal GPS study in Oslo. In: *Journal of Transport Geography*, 77, S. 113–125. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.005>.
- Pucher, J.; Buehler, R. (2008): Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. In: *Transport Reviews*, 28 (4), S. 495–528. <https://doi.org/10.1080/01441640701806612>.
- Richter, T.; Beyer, O.; Hampel, S.; Junghanns, L.; (Keine Angabe) (2020): Maßnahmen zur Verbesserung der Radverkehrsqualität an Knotenpunkten. Ergebnisbericht. Berlin: Technische Universität Berlin, Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb. Online verfügbar unter https://www.strassenplanung.tu-berlin.de/fileadmin/fg96/forschung_projekte/Schlussbericht_Radverkehrsqualitaet.pdf.
- Ringwald, R.; Cagan, T.-P. (2019): Gute Straßen für Alle. Modernes Straßenverkehrsrecht für Fahrrad, Umweltverbund und MIV. Rechtsgutachten. Berlin: Becker Büttner Held.
- Schlaich, J. (2020): Mehr Platz für Radwege, weniger für Autos. Wo heute Autos fahren, könnten morgen geschützte Radwege entstehen. Greenpeace.
- Sinus (2021): Fahrrad-Monitor Deutschland 2021. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. Sinus Markt- und sozialforschung GmbH.
- Skov-Petersen, H.; Jacobsen, J. B.; Vedel, S. E.; Thomas Alexander, S. N.; Rask, S. (2017): Effects of upgrading to cycle highways - An analysis of demand induction, use patterns and satisfaction before and after. In: *Journal of Transport Geography*, 64, S. 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.09.011>.
- Sloman, L.; Cavill, N.; Cope, A.; Muller, L.; Kennedy, A. (2009): Analysis and synthesis of evidence on the effects of investment in six Cycling Demonstration Towns: Report for Department for Transport and Cycling England.
- Stadtplanungsamt Karlsruhe (2009): Verkehrsentwicklungsplan Karlsruhe. Teil 1: Zustandsanalyse. Karlsruhe: Stadt Karlsruhe.
- Statista (2023): Anzahl der Personen in Deutschland, die einen PKW-Führerschein besitzen, von 2018 bis 2021. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/172091/umfrage/besitz-eines-pkw-fuehrerscheins/>, zuletzt geprüft am 05.12.2023.
- Tennøy, A.; Gundersen, F.; Øksenholt, K. V. (2022): Urban structure and sustainable modes' competitiveness in small and medium-sized Norwegian cities. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 105, S. 103225. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103225>.
- UBA (2023): Emissionsdaten. Vergleich der durchschnittlichen 'Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland 2021. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich_personenverkehr_tabelle.
- United Nations (Hrsg.) (2017): Neue Urbane Agenda.

- van Goeverden, K.; Nielsen, T. S.; Harder, H.; van Nes, R. (2015): Interventions in Bicycle Infrastructure, Lessons from Dutch and Danish Cases. In: *Transportation Research Procedia*, 10, S. 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.090>.
- VCD (2009): VCD Hintergrund. Fahrradpolitik in Deutschland. Verkehrsclub Deutschland. Online verfügbar unter [https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationsdatenbank/Radverkehr/VCD Hintergrund Fahrradpolitik in Dtl 2009.pdf](https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationsdatenbank/Radverkehr/VCD_Hintergrund_Fahrradpolitik_in_Dtl_2009.pdf).
- VDV (2021): Statistik 2020. Köln: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V.
- Verduzco Torres, J. R.; Hong, J.; McArthur, D. P. (2022): How do psychological, habitual and built environment factors influence cycling in a city with a well-connected cycling infrastructure? In: *International Journal of Urban Sciences*, 26 (3), S. 478–498. <https://doi.org/10.1080/12265934.2021.1930111>.
- Wietschel, M.; Gnann, T. (2022a): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Treibhausgasneutrale Szenarien T45. Webinar Verkehr 21.11.2022. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Wietschel, M.; Link, S.; Biemann, K.; Helms, H. (2022b): Langfristige Umweltbilanz und Zukunftspotenzial alternativer Antriebstechnologien. Berlin: Fraunhofer ISI, IFEU.
- Xiao, C. S.; Sharp, S. J.; van Sluijs, E. M. F.; Ogilvie, D.; Panter, J. (2022): Impacts of new cycle infrastructure on cycling levels in two French cities: an interrupted time series analysis. In: *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 19 (1), S. 77. <https://doi.org/10.1186/s12966-022-01313-0>.
- ZIV (2023): Marktdaten Fahrräder und E-Bikes 2022. mit Zahlen und Analysen zum Jahr 2022 in Kooperation mit dem VDZ Verband des deutschen Zweiradhandels. Pressekonferenz | 15.03.2023. Berlin: ZIV Zweirad-Industrie-Verband.

A.1 Anhang 1: Eingangs- und Ergebnisdaten

Anhang 1.1: Eingangsdaten

Tabelle 13: Verhaltens- und Infrastrukturdaten 2017 und 2023

2017																			
Regionstyp	Wege-Länge	Strukturdaten			Durchschnittliche Wegelänge (Datensatz "Wege")					Modal Split Wege (Datensatz "Wege")				Verkehrsleistung Gesamt				TOTAL	
		Bevölkerung	Wege Anteil	Wege gesamt	Gesamt	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV		Mio. Pkm
	Mio.	Wege	Mrd./Jahr	km/Weg	km/Weg	km/Weg	km/Weg	km/Weg	km/Weg	% Wege	% Wege	% Wege	% Wege	Mio. Pkm	Mio. Pkm	Mio. Pkm	Mio. Pkm	Mrd. Pkm	
metropolitane Stadtregion	0 bis <2	36,0	18%	15,2	1,0	0,8	1,2	1,3	1,3	53%	17%	26%	4%	6.432	3.025	5.133	893	15	
	2 bis <15		23%	19,7	6,3	4,4	5,1	6,7	6,9	9%	12%	60%	19%	7.898	12.000	78.799	25.786	124	
	15 bis 30		5%	4,0	21,2	20,2	20,5	21,3	20,9	1%	3%	74%	22%	862	2.269	62.191	18.618	84	
regio-politane Stadtregion	0 bis <2	16,1	7%	6,4	1,0	0,8	1,2	1,3	1,3	48%	18%	31%	3%	2.487	1.396	2.561	220	7	
	2 bis <15		10%	9,0	6,3	4,4	4,9	6,7	6,7	10%	11%	68%	10%	3.878	5.018	41.677	6.285	57	
	15 bis 30		2%	1,9	21,2	21,0	21,0	21,2	21,2	1%	3%	84%	12%	351	1.124	33.148	4.707	39	
stadt-regions-nahe	0 bis <2	15,1	7%	5,8	1,1	0,8	1,2	1,3	1,2	44%	14%	40%	2%	2.134	931	2.972	122	6	
	2 bis <15		9%	8,0	6,4	4,5	5,0	6,7	7,1	9%	7%	77%	7%	3.166	2.961	41.056	3.825	51	
	15 bis 30		2%	1,8	21,1	20,9	21,1	21,1	21,5	1%	3%	88%	8%	410	1.008	33.665	3.197	38	
periphere ländliche Region	0 bis <2	14,6	6%	5,6	1,1	0,8	1,1	1,3	1,2	45%	16%	38%	1%	2.040	1.012	2.699	99	6	
	2 bis <15		9%	7,5	6,5	4,5	4,9	6,9	6,9	9%	8%	76%	7%	2.997	3.068	39.151	3.754	49	
	15 bis 30		2%	1,9	21,4	20,5	21,9	21,5	20,2	1%	2%	90%	7%	423	849	36.289	2.727	40	
		82,2	100%	86,6	5,97	1,63	3,38	7,92	8,60	23%	12%	55%	9%	33.077	34.660	379.339	70.232	517	
2023																			
Regionstyp	Faktoren	1,027	1,000	1,027	1,067	1,153	1,134	1,080	0,938	0,973	1,070	0,979	1,122	1,151	1,240	1,083	1,072	1,096	
		Wege-Länge	Bevölkerung	Wege Anteil	Wege gesamt	Gesamt	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV	Zu Fuß	Fahrrad	MIV	ÖPV	TOTAL
	Mio.	Wege	Mrd./Jahr	km/Weg	km/Weg	km/Weg	km/Weg	km/Weg	km/Weg	% Wege	% Wege	% Wege	% Wege	Mio. Pkm	Mio. Pkm	Mio. Pkm	Mio. Pkm	Mrd. Pkm	
metropolitane Stadtregion	0 bis <2	37,3	18%	15,6	1,1	0,9	1,4	1,4	1,3	52%	18%	25%	5%	7438	3781	5591	967	17,78	
	2 bis <15		23%	20,2	6,7	5,0	5,7	7,2	6,5	9%	13%	58%	21%	8962	14716	84233	27424	135,34	
	15 bis 30		5%	4,1	22,2	23,2	23,3	23,0	19,6	1%	3%	71%	25%	981	2790	66665	19856	90,29	
regio-politane Stadtregion	0 bis <2	16,6	7%	6,5	1,2	0,9	1,4	1,4	1,2	47%	20%	30%	3%	2879	1745	2791	239	7,65	
	2 bis <15		10%	9,3	6,7	5,1	5,5	7,3	6,3	9%	12%	67%	12%	4456	6233	45120	6769	62,58	
	15 bis 30		2%	1,9	22,5	24,3	23,8	22,8	19,9	1%	3%	83%	13%	406	1404	36066	5096	42,97	
stadt-regions-nahe	0 bis <2	15,6	7%	5,9	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	44%	15%	39%	2%	2482	1171	3257	133	7,04	
	2 bis <15		9%	8,2	6,9	5,2	5,6	7,2	6,7	9%	8%	76%	8%	3670	3710	44837	4156	56,37	
	15 bis 30		2%	1,9	22,6	24,2	23,9	22,8	20,1	1%	3%	87%	9%	476	1265	36835	3480	42,06	
periphere ländliche Region	0 bis <2	15,0	6%	5,7	1,2	0,9	1,3	1,4	1,1	44%	17%	37%	2%	2369	1270	2953	108	6,70	
	2 bis <15		9%	7,7	7,0	5,2	5,6	7,4	6,5	9%	9%	74%	8%	3469	3838	42696	4073	54,08	
	15 bis 30		2%	1,9	22,9	23,7	24,8	23,2	18,9	1%	2%	89%	8%	493	1067	39786	2975	44,32	
		84,4	100%	89,0	6,37	1,87	3,82	8,55	8,06	23%	13%	54%	10%	38.081	42.990	410.831	75.276	567	

Quelle: Fraunhofer ISI

Tabelle 14: Exponentierte Regressionskoeffizienten: Odds Ratios

		Modus	IQ_autopP	I_P_FS_PKW1	I_Fahrrad1	I_Pedelec1	I_Entf_OPV_u1km1	I_quali_opnv	I_quali_nv	I_pkwdicht_krs	I_Radwege_alle	I_FKI2018_ne	I_wegkm_imp
metropolitane Stadtregion	0 bis <2	Fahrrad	0,434	1,192	13,315	2,902	2,058	1,026	1,123	1,020	1,001	0,566	3,521
		Pkw	3,016	3,306	0,850	0,909	1,854	1,239	1,415	1,073	0,999	0,654	5,486
		ÖP(N)V	0,222	0,849	0,538	0,448	2,386	0,869	1,217	0,977	1,001	0,840	7,755
	2 bis <15	Fahrrad	0,354	1,367	7,605	2,183	1,302	1,026	0,911	0,838	1,003	0,716	1,147
		Pkw	2,756	3,280	0,932	0,934	1,250	1,089	1,224	0,947	1,000	0,781	1,331
		ÖP(N)V	0,196	0,779	0,686	0,545	1,637	0,910	0,945	0,806	1,002	1,213	1,376
	15 bis <30	Fahrrad	0,684	2,154	6,664	3,835	1,152	0,878	0,987	0,996	1,003	0,878	0,976
		Pkw	3,703	7,029	1,529	0,551	0,624	1,169	1,042	1,168	1,002	0,540	1,031
		ÖP(N)V	0,344	1,859	1,316	0,374	1,353	0,977	0,886	1,089	1,002	0,793	1,017
regiopolitane Stadtregion	0 bis <2	Fahrrad	0,469	1,524	9,332	2,718	0,609	1,012	1,143	1,001	1,004	0,682	3,422
		Pkw	2,109	4,387	0,966	0,890	0,796	1,284	1,314	1,040	0,997	1,086	4,722
		ÖP(N)V	0,212	1,142	0,894	0,903	0,035	0,753	1,212	0,905	0,999	1,633	4,668
	2 bis <15	Fahrrad	0,498	1,295	4,362	3,601	0,720	0,955	1,082	0,964	1,004	0,468	1,103
		Pkw	2,936	3,158	0,932	1,021	1,009	1,074	1,318	0,951	0,998	1,001	1,326
		ÖP(N)V	0,237	0,618	0,597	0,506	1,784	0,877	1,028	0,903	1,002	1,018	1,371
	15 bis <30	Fahrrad	0,531	1,230	1,227	26,054	2,946	2,394	1,786	1,247	1,010	1,050	0,997
		Pkw	1,676	3,461	0,440	4,807	1,453	1,719	2,284	1,203	1,009	1,341	1,010
		ÖP(N)V	0,119	1,044	0,441	5,950	2,037	1,313	1,906	0,964	1,011	1,286	1,026
stadtreionsnahe ländliche Region	0 bis <2	Fahrrad	0,760	1,558	6,824	1,871	0,910	0,884	1,157	0,973	1,004	0,707	3,330
		Pkw	2,411	3,012	1,235	1,045	0,997	1,424	1,057	0,990	0,997	0,997	4,540
		ÖP(N)V	0,536	0,529	0,177	0,399	0,094	1,090	0,719	0,675	0,993	2,020	7,009
	2 bis <15	Fahrrad	0,786	0,972	5,703	2,318	1,614	0,959	1,084	0,975	1,007	0,650	1,082
		Pkw	2,777	2,397	0,997	0,956	0,911	1,107	1,053	1,057	1,000	0,817	1,266
		ÖP(N)V	0,176	0,386	0,587	0,669	1,670	1,020	0,863	0,962	1,010	1,510	1,346
	15 bis <30	Fahrrad	1,513	8,404	1,097	1,783	2,841	0,322	2,366	1,409	1,006	0,048	1,067
		Pkw	2,125	1,522	0,230	0,330	0,879	0,257	1,867	1,664	1,008	0,159	1,027
		ÖP(N)V	0,247	0,221	0,511	0,279	1,096	0,171	2,116	1,901	1,011	0,179	1,095
periphere ländliche Region	0 bis <2	Fahrrad	0,353	0,987	7,338	4,469	1,331	1,281	1,056	1,198	1,002	0,401	3,004
		Pkw	1,552	3,671	1,171	0,996	0,957	1,284	1,215	1,156	0,999	1,105	5,954
		ÖP(N)V	0,097	0,374	1,061	1,446	0,719	0,857	1,676	1,239	0,999	1,657	4,131
	2 bis <15	Fahrrad	0,502	0,352	4,555	2,461	1,116	1,036	1,130	0,788	1,002	0,694	1,115
		Pkw	2,256	2,187	0,800	0,496	1,204	0,906	1,353	1,020	1,002	0,744	1,306
		ÖP(N)V	0,644	0,237	0,627	0,229	1,199	0,782	1,329	0,949	1,002	0,900	1,377
	15 bis <30	Fahrrad	1,729	2,554	2,506	35,310	2,481	0,541	4,363	1,770	1,018	0,566	0,966
		Pkw	1,469	10,917	0,716	5,591	1,391	0,732	3,978	1,896	1,017	0,580	0,980
		ÖP(N)V	0,087	0,334	1,003	2,091	1,415	0,226	4,112	1,896	1,019	4,370	0,926

Quelle: Fraunhofer ISI

Tabelle 15: P-Werte der Regressions-Koeffizienten

		Modus	IQ_autopP	I_P_FS_PKW1	I_Fahrrad1	I_Pedelec1	I_Entf_OPV_u1km1	I_quali_opnv	I_quali_nv	I_pkwdicht_krs	I_Radwege_alle	I_FKI2018_neu	I_wegkm_imp	
metropolitane Stadtregion	0 bis <2	Fahrrad	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,157	0,000	0,123	0,000	0,000	0,000	
		Pkw	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
		ÖP(N)V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,369	0,164	0,027	0,000
	2 bis <15	Fahrrad	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,261	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		Pkw	0,000	0,000	0,013	0,183	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,195	0,000	0,000
		ÖP(N)V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
	15 bis <30	Fahrrad	0,212	0,001	0,000	0,000	0,000	0,617	0,377	0,917	0,970	0,185	0,706	0,267
		Pkw	0,000	0,000	0,016	0,055	0,005	0,227	0,722	0,107	0,291	0,045	0,106	
		ÖP(N)V	0,000	0,001	0,122	0,002	0,125	0,858	0,291	0,381	0,482	0,454	0,368	
regiopolitane Stadtregion	0 bis <2	Fahrrad	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,660	0,000	0,966	0,000	0,000	0,000	
		Pkw	0,000	0,000	0,421	0,098	0,025	0,000	0,000	0,033	0,000	0,105	0,000	
		ÖP(N)V	0,000	0,166	0,201	0,540	0,000	0,000	0,000	0,038	0,574	0,000	0,000	
	2 bis <15	Fahrrad	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,200	0,013	0,121	0,000	0,000	0,000	
		Pkw	0,000	0,000	0,128	0,773	0,930	0,018	0,000	0,009	0,000	0,989	0,000	
		ÖP(N)V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,414	0,000	0,005	0,802	0,000	
	15 bis <30	Fahrrad	0,168	0,671	0,665	0,000	0,000	0,000	0,006	0,198	0,007	0,910	0,930	
		Pkw	0,190	0,003	0,057	0,000	0,043	0,007	0,000	0,230	0,006	0,435	0,729	
		ÖP(N)V	0,000	0,919	0,063	0,000	0,001	0,189	0,001	0,816	0,001	0,519	0,413	
stadtreionsnahe ländliche Region	0 bis <2	Fahrrad	0,000	0,000	0,000	0,000	0,235	0,006	0,000	0,255	0,000	0,000	0,000	
		Pkw	0,000	0,000	0,000	0,490	0,959	0,000	0,028	0,632	0,000	0,963	0,000	
		ÖP(N)V	0,003	0,000	0,000	0,017	0,000	0,459	0,003	0,000	0,002	0,006	0,000	
	2 bis <15	Fahrrad	0,026	0,769	0,000	0,000	0,000	0,459	0,060	0,414	0,000	0,000	0,000	
		Pkw	0,000	0,000	0,947	0,577	0,180	0,018	0,101	0,019	0,967	0,008	0,000	
		ÖP(N)V	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,771	0,004	0,288	0,000	0,001	0,000	
	15 bis <30	Fahrrad	0,513	0,051	0,877	0,223	0,061	0,004	0,001	0,071	0,266	0,000	0,106	
		Pkw	0,159	0,442	0,004	0,011	0,779	0,000	0,005	0,002	0,092	0,001	0,449	
		ÖP(N)V	0,018	0,008	0,218	0,020	0,850	0,000	0,002	0,000	0,032	0,003	0,016	
periphere ländliche Region	0 bis <2	Fahrrad	0,000	0,864	0,000	0,000	0,000	0,000	0,101	0,000	0,006	0,000	0,000	
		Pkw	0,000	0,000	0,002	0,964	0,434	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,134	0,000
		ÖP(N)V	0,000	0,000	0,726	0,165	0,099	0,201	0,000	0,002	0,599	0,037	0,000	
	2 bis <15	Fahrrad	0,000	0,000	0,000	0,000	0,234	0,541	0,007	0,000	0,003	0,001	0,000	
		Pkw	0,000	0,000	0,001	0,000	0,008	0,022	0,000	0,454	0,000	0,000	0,000	
		ÖP(N)V	0,003	0,000	0,000	0,000	0,096	0,000	0,000	0,194	0,023	0,425	0,000	
	15 bis <30	Fahrrad	0,352	0,103	0,070	0,000	0,081	0,030	0,000	0,002	0,001	0,288	0,386	
		Pkw	0,463	0,000	0,442	0,000	0,490	0,214	0,000	0,000	0,001	0,252	0,568	
		ÖP(N)V	0,000	0,025	0,995	0,008	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,049	

Quelle: Fraunhofer ISI

Anhang 1.2: Modellergebnisse

Die folgenden Tabellen geben die Modellergebnisse für alle Wege bis 30 km und Schätzwerte für Distanzen über 30 km aggregiert für alle Raumtypen wieder. Treibhausgasemissionen umfassen Produktion und Nutzung von Fahrzeugen sowie Vorlaufemissionen der Kraftstoff- und Stromerzeugung.

Tabelle 16: Ergebniswerte des statistischen Modells 2017, 2022 und 2035 nach Bausteinen und Verkehrsmitteln, alle Regionstypen

Alle Raumtypen	Verkehrsmittel	Ausgangswerte MiD 2017			Aktualisierung Basis 2022/2023			Referenz 2035			Baustein 1: Infrastruktur			Baustein 2: Umweltverbund			Baustein 3: Kommunen		
		<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt
Verkehrsaufkommen (Mio. Wege)																			
zu Fuß		20312	24	20336	20313	24	20337	16920	20	16940	13020	20	13041	12269	20	12290	11952	20	11972
Fahrrad		10252	122	10375	11270	134	11404	13308	105	13414	28698	105	28803	31630	105	31735	39010	105	39115
MIV		47871	5817	53687	48154	5851	54005	47634	5247	52882	34125	5247	39372	30562	5247	35809	25152	5247	30400
ÖPV		8164	1413	9578	9415	1630	11045	8737	1471	10208	10756	1471	12227	12138	1471	13609	10485	1471	11956
Gesamt		86599	7376	93975	89152	7639	96791	86599	6844	93443	86599	6844	93443	86599	6844	93443	86599	6844	93443
Modal Split des Verkehrsaufkommens (% Wege)																			
zu Fuß		23%	0%	22%	23%	0%	21%	20%	0%	18%	15%	0%	14%	14%	0%	13%	14%	0%	13%
Fahrrad		12%	2%	11%	13%	2%	12%	15%	2%	14%	33%	2%	31%	37%	2%	34%	45%	2%	42%
MIV		55%	79%	57%	54%	77%	56%	55%	77%	57%	39%	77%	42%	35%	77%	38%	29%	77%	33%
ÖPV		9%	19%	10%	11%	21%	11%	10%	21%	11%	12%	21%	13%	14%	21%	15%	12%	21%	13%
Verkehrsleistung (Mrd. Pkm)																			
zu Fuß		33,1	1,0	34,0	38,1	1,1	39,2	34,0	1,1	35,1	24,4	1,1	25,5	23,3	1,1	24,4	21,1	1,1	22,1
Fahrrad		34,7	6,1	40,8	43,0	7,6	50,6	56,7	6,8	63,4	127,6	6,8	134,4	141,0	6,8	147,8	194,7	6,8	201,5
MIV		379,3	498,0	877,3	410,8	541,1	952,0	426,7	523,6	950,3	346,5	523,6	870,1	323,9	523,6	847,5	261,3	523,6	784,9
ÖPV		70,2	150,6	220,9	75,3	162,9	238,1	96,0	137,5	233,5	112,8	137,5	250,2	130,3	137,5	267,7	96,2	137,5	233,6
Gesamt		517,3	655,7	1173,0	567,2	712,7	1279,9	613,4	668,9	1282,3	611,3	668,9	1280,1	618,5	668,9	1287,4	573,2	668,9	1242,1
Modal Split der Verkehrsleistung (% Pkm)																			
zu Fuß		6%	0%	3%	7%	0%	3%	6%	0%	3%	4%	0%	2%	4%	0%	2%	4%	0%	2%
Fahrrad		7%	1%	3%	8%	1%	4%	9%	1%	5%	21%	1%	10%	23%	1%	11%	34%	1%	16%
MIV		73%	76%	75%	72%	76%	74%	70%	78%	74%	57%	78%	68%	52%	78%	66%	46%	78%	63%
ÖPV		14%	23%	19%	13%	23%	19%	16%	21%	18%	18%	21%	20%	21%	21%	21%	17%	21%	19%
Durchschnittliche Wegelänge (km)																			
zu Fuß		1,6	39,4	1,7	1,9	45,5	1,9	2,0	52,4	2,1	1,9	52,4	2,0	1,9	52,4	2,0	1,8	52,4	1,8
Fahrrad		3,4	50,2	3,9	3,8	57,0	4,4	4,3	64,4	4,7	4,4	64,4	4,7	4,5	64,4	4,7	5,0	64,4	5,2
MIV		7,9	85,6	16,3	8,5	92,5	17,6	9,0	99,8	18,0	10,2	99,8	22,1	10,6	99,8	23,7	10,4	99,8	25,8
ÖPV		8,6	106,6	23,1	8,0	99,9	21,6	11,0	93,4	22,9	10,5	93,4	20,5	10,7	93,4	19,7	9,2	93,4	19,5
Gesamt		6,0	88,9	12,5	6,4	93,3	13,2	7,1	97,7	13,7	7,1	97,7	13,7	7,1	97,7	13,8	6,6	97,7	13,3
THG-Emissionen (Mt CO2e)																			
zu Fuß		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fahrrad		0,3	0,0	0,3	0,3	0,1	0,4	0,5	0,1	0,6	1,2	0,1	1,3	1,4	0,1	1,4	1,9	0,1	1,9
MIV		54,7	71,9	126,6	59,3	78,1	137,4	52,5	64,5	117,0	42,7	64,5	107,1	39,9	64,5	104,3	32,2	64,5	96,6
ÖPV		6,3	13,5	19,8	6,7	14,6	21,3	3,8	5,4	9,1	4,4	5,4	9,8	5,1	5,4	10,5	3,8	5,4	9,1
Gesamt		61,3	85,4	146,7	66,4	92,7	159,1	56,8	69,9	126,7	48,3	69,9	118,2	46,3	69,9	116,2	37,8	69,9	107,7

Quelle: Fraunhofer ISI

Tabelle 17: Differenzen der Ergebnisse 2023 und 2035 zum Ausgangsjahr 2017, alle Regionstypen

Alle Regionstypen	Verkehrsmittel	Ausgangswerte MiD 2017			Aktualisierung Basis 2022/2023			Referenz 2035			Baustein 1: Infrastruktur			Baustein 2: Umweltverbund			Baustein 3: Kommunen		
		<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt	<=30 km	>30 km	Gesamt
Verkehrsaufkommen (Mio. Wege)																			
	zu Fuß	20312	24	20336	+1,1	+0,0	+1,1	-3392,1	-3,7	-3395,9	-7291,6	-3,7	-7295,3	-8042,3	-3,7	-8046,0	-8359,9	-3,7	-8363,6
	Fahrrad	10252	122	10375	+1017,6	+12,1	+1029,7	+3056,0	-17,0	+3039,0	+18445,9	-17,0	+18428,9	+21377,2	-17,0	+21360,2	+28757,6	-17,0	+28740,6
	MIV	47871	5817	53687	+283,5	+34,4	+317,9	-236,1	-569,3	-805,4	-13745,8	-569,3	-14315,1	-17308,4	-569,3	-17877,8	-22718,2	-569,3	-23287,6
	ÖPV	8164	1413	9578	+1250,4	+216,5	+1466,9	+572,3	+57,4	+629,6	+2591,5	+57,4	+2648,8	+3973,5	+57,4	+4030,9	+2320,5	+57,4	+2377,9
	Gesamt	86599	7376	93975	+2552,7	+263,0	+2815,7	-0,0	-532,7	-532,7	-0,0	-532,7	-532,7	-0,0	-532,7	-532,7	-0,0	-532,7	-532,7
Modal Split des Verkehrsaufkommens (% Wege)																			
	zu Fuß	23%	0%	22%	-0,7%	-0,0%	-0,6%	-3,9%	-0,0%	-3,5%	-8,4%	-0,0%	-7,7%	-9,3%	-0,0%	-8,5%	-9,7%	-0,0%	-8,8%
	Fahrrad	12%	2%	11%	+0,8%	+0,1%	+0,7%	+3,5%	-0,1%	+3,3%	+21,3%	-0,1%	+19,8%	+24,7%	-0,1%	+22,9%	+33,2%	-0,1%	+30,8%
	MIV	55%	79%	57%	-1,3%	-2,3%	-1,3%	-0,3%	-2,2%	-0,5%	-15,9%	-2,2%	-15,0%	-20,0%	-2,2%	-18,8%	-26,2%	-2,2%	-24,6%
	ÖPV	9%	19%	10%	+1,1%	+2,2%	+1,2%	+0,7%	+2,3%	+0,7%	+3,0%	+2,3%	+2,9%	+4,6%	+2,3%	+4,4%	+2,7%	+2,3%	+2,6%
Verkehrsleistung (Mrd. Pkm)																			
	zu Fuß	33,08	0,95	34,03	+5,0	+0,1	+5,1	+0,9	+0,1	+1,0	-8,7	+0,1	-8,6	-9,8	+0,1	-9,6	-12,0	+0,1	-11,9
	Fahrrad	34,66	6,14	40,80	+8,3	+1,5	+9,8	+22,0	+0,6	+22,6	+92,9	+0,6	+93,6	+106,3	+0,6	+107,0	+160,0	+0,6	+160,7
	MIV	379,34	497,99	877,32	+31,5	+43,1	+74,6	+47,4	+25,6	+72,9	-32,8	+25,6	-7,2	-55,4	+25,6	-29,8	-118,0	+25,6	-92,5
	ÖPV	70,23	150,63	220,87	+5,0	+12,2	+17,3	+25,8	-13,2	+12,6	+42,5	-13,2	+29,3	+60,0	-13,2	+46,9	+26,0	-13,2	+12,8
	Gesamt	517,31	655,71	1173,02	+49,9	+57,0	+106,9	+96,1	+13,1	+109,2	+94,0	+13,1	+107,1	+101,2	+13,1	+114,3	+55,9	+13,1	+69,1
Modal Split der Verkehrsleistung (% Pkm)																			
	zu Fuß	6%	0%	3%	+0,3%	+0,0%	+0,2%	-0,9%	+0,0%	-0,2%	-2,4%	+0,0%	-0,9%	-2,6%	+0,0%	-1,0%	-2,7%	+0,0%	-1,1%
	Fahrrad	7%	1%	3%	+0,9%	+0,1%	+0,5%	+2,5%	+0,1%	+1,5%	+14,2%	+0,1%	+7,0%	+16,1%	+0,1%	+8,0%	+27,3%	+0,1%	+12,7%
	MIV	73%	76%	75%	-0,9%	-0,0%	-0,4%	-3,8%	+2,3%	-0,7%	-16,6%	+2,3%	-6,8%	-21,0%	+2,3%	-9,0%	-27,7%	+2,3%	-11,6%
	Gesamt	14%	23%	19%	-0,3%	-0,1%	-0,2%	+2,1%	-2,4%	-0,6%	+4,9%	-2,4%	+0,7%	+7,5%	-2,4%	+2,0%	+3,2%	-2,4%	-0,0%
Durchschnittliche Wegelänge (km)																			
	zu Fuß	1,63	39,44	1,67	+0,2	+6,1	+0,3	+0,4	+12,9	+0,4	+0,2	+12,9	+0,3	+0,3	+12,9	+0,3	+0,1	+12,9	+0,2
	Fahrrad	3,38	50,24	3,93	+0,4	+6,7	+0,5	+0,9	+14,2	+0,8	+1,1	+14,2	+0,7	+1,1	+14,2	+0,7	+1,6	+14,2	+1,2
	MIV	7,92	85,62	16,34	+0,6	+6,9	+1,3	+1,0	+14,2	+1,6	+2,2	+14,2	+5,8	+2,7	+14,2	+7,3	+2,5	+14,2	+9,5
	ÖPV	8,60	106,57	23,06	-0,6	-6,7	-1,5	+2,4	-13,1	-0,2	+1,9	-13,1	-2,6	+2,1	-13,1	-3,4	+0,6	-13,1	-3,5
	Gesamt	5,97	88,89	12,48	+0,4	+4,4	+0,7	+1,1	+8,8	+1,2	+1,1	+8,8	+1,2	+1,2	+8,8	+1,3	+0,6	+8,8	+0,8
THG-Emissionen (Mt CO2e)																			
	zu Fuß	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Fahrrad	0,3	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,9	0,0	0,9	1,0	0,0	1,0	1,5	0,0	1,6
	MIV	54,7	71,9	126,6	4,5	6,2	10,8	5,8	3,1	9,0	-4,0	3,1	-0,9	-6,8	3,1	-3,7	-14,5	3,1	-11,4
	ÖPV	6,3	13,5	19,8	0,5	1,1	1,5	1,0	-0,5	0,5	1,7	-0,5	1,1	2,3	-0,5	1,8	1,0	-0,5	0,5
	Gesamt	61,3	85,4	146,7	5,1	7,3	12,4	7,1	2,6	9,7	-1,5	2,6	1,2	-3,4	2,6	-0,8	-12,0	2,6	-9,3

Quelle: Fraunhofer ISI

A.2 Anhang 2: Szenarien des MobileCity-Modells

Analysen zur Reaktion von Pkw und ÖPV auf regulatorische und preisliche Maßnahmen wurden dem Simulationsmodell MobileCity durch KIT und Fraunhofer entnommen.¹⁸ MobileCity ist als allgemein zugängliches und daher einfach gehaltenes Verkehrs- und Nachhaltigkeitssimulationsmodell mit integrierten erklärenden Texten und einer intuitiven Bedienoberfläche konzipiert. Im aktuell frei verfügbaren Demonstrator für Karlsruhe sind folgende Maßnahmenbündel implementiert:

Tabelle 18: MobileCity verfügbare Maßnahmenbündel

Kategorie	Mode	Maßnahme	Beschreibung
Bauen	Fahrrad	Radschnellwege	6 Radschnellwege
	Pkw	E-Lade-Stationen	Erhöhung stadtteilweise Innenstadtprojekt
	ÖPV	Straßenbahntunnel	Bis 2030 werden alle Busse auf E-Antriebe umgestellt
	ÖPV	E-Busse	
Preisgestaltung	PKW	Parkgebühren	4 Varianten wählbar
	ÖPV	Tarifreform	4 Varianten wählbar
Regulierung	Pkw	Geschwindigkeits- begrenzungen Straßenraum- gestaltung	3 Varianten wählbar
	Fuß/Rad- verkehr		Wählbar für Innenstadt und Außenstadtteile
Anreize	Carsharing	Gutscheine	Akzeptanz durch Kennen- lernen
	Pkw	Urban Living Lab	Akzeptanz durch Vorzeige- projekte

Quelle: Doll et al. (2023)

In Doll et al. (2023) wurden hieraus folgende Maßnahmenbündel gebildet und in zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten (früh: 2025, spät: 2035) aktiviert:

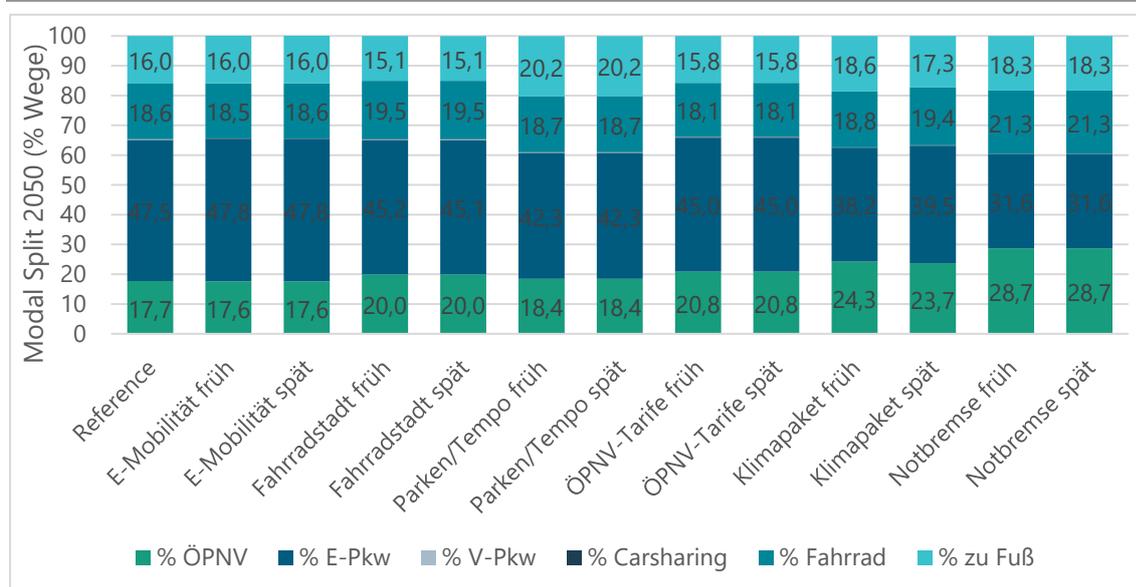
- 1) **Referenz:** Nur Maßnahmen, die im Spiel ohne Einfluss der Spielenden aktiviert werden, bspw. Markteinführung von E-Autos, mäßiger Hochlauf von E-Ladestationen im Stadtgebiet und vollständige Elektrifizierung der Busse bis zum Jahr 2030.
- 2) **E-Mobilität:** Maximal 130 % jährlicher Zuwachs von E-Ladestationen im Vergleich zur Entwicklung in Norwegen, kostenloses Parken, Anreizprogramme für die Nutzung von E-Autos wie Gutscheine für Freifahrten und Straßenlabore.
- 3) **Fahrradstadt:** Umsetzung aller Radschnellwege, Straßenraumumgestaltung in der gesamten Stadt Innenstadt sowie am Stadtrand (alle Stadtteile) mit 30 % weniger Pkw-Parkplätzen.

¹⁸ Projektwebseite MobileCity: www.isi.fraunhofer.de/mobilecitygame.

- 4) **Parken & Geschwindigkeit:** Parkgebühren von 10 EUR in der Innenstadt mit 50 % Rabatt für E-Autos, 75 % der ehemals kostenlosen Parkplätze sind gebührenpflichtig, außerdem Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h auf allen Straßen.
- 5) **ÖPV-Tarife:** Monatskarte für 29 EUR mit entsprechender Ermäßigung bei Einzel- und Sonderfahrtscheinen für alle Fahrgäste.
- 6) **Klimapaket:** Bündel „Fahrradstadt“, „Parken & Geschwindigkeit“ und „ÖPV-Tarife“ kombiniert.
- 7) **Klima-Notbremse:** Bündel Fahrradstadt plus 70 % der öffentlichen Parkplätze entfernt, 20 EUR Gebühren für jeden Parkvorgang im Zentrum - für alle Parkplätze und alle Autos, 9 EUR Monatskarte für den ÖPV; 130 % E-Ladestationen

Die Modal-Split-Werte der resultierenden 13 Varianten sind in folgender Abbildung dargestellt. Die Ergebnisse wurden für die Abschätzung von Pkw-Anteilen in den Szenarien 2 und 3 (vgl. Abschnitte 4.2.2 und 4.2.3) interpretiert.

Abbildung 8: MobileCity Ergebnisse ausgewählter Szenarien



Quelle: Doll et al. (2023)

A.3 Anhang 3: Expertenworkshop Methodik und Szenarien

Workshop "Radverkehrspotenziale für Deutschland"

Montag, 11.09.2023, ADFC-Bundesgeschäftsstelle, Berlin mit hybrider Teilnahme

Themen

- 1) Projektdarstellung (Fraunhofer ISI / ADFC)
- 2) Modellansatz und Datenbasis
- 3) Szenarien und vorläufige Ergebnisse
- 4) Weiteres Vorgehen

Externe Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- Claudia Nobis: DLR Institut für Verkehrsforschung:
- Annette Kindl: Senatsverwaltung Berlin
- Weert Canzler: Wissenschaftszentrum Berlin
- Angela Francke: Universität Kassel
- Arne Kördt: Verkehrsministerium Baden-Württemberg
- Ineke Spapé: SOAB BV, NL
- Ralph Bühler: Virginia-Tech-University, USA
- Sven Kesselring: Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geißlingen
- Volker Waßmuth (online): PTV AG

Auftraggeber: Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. (ADFC), Bundesgeschäftsstelle

- Angela Kohls (Projektleitung).
- Melissa Gómez (Projektkoordination)
- Sarah Karge,
- Thomas Böhmer,
- Vincent Busche,

Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

- Claus Doll (Projektleitung),
- Clemens Brauer,
- Dorien Duffner-Korbee.