



VERA

Verlagerungswirkung von Rad- verkehrsanlagen

Ein Projekt finanziert im Rahmen der

D-A-CH Kooperation

Verkehrsinfrastrukturforschung 2022

D-A-CH 2022



November 2024



Impressum

Programmerstellung und -finanzierung der D-A-CH Kooperation:

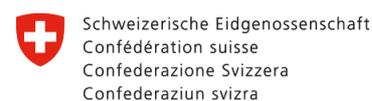
Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Deutschland



Bundesministerium für Klimaschutz (BMK)
Radetzkystraße 2
1030 Wien
Österreich



Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Papiermühlestrasse 13
3063 Ittigen
Schweiz



Bundesamt für Strassen ASTRA

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Sensengasse 1
1090 Wien
Österreich





Für den Projektinhalt verantwortlich:

Universität Salzburg
FB Geoinformatik
Schillerstraße 30
5020 Salzburg
Österreich



Herry Consult GmbH
Argentinierstraße 21
1040 Wien



Technische Universität Dresden
Fakultät für Verkehrswissenschaften
Professur für Verkehrsökologie
Helmholtzstraße 10
011069 Dresden



EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich



VERA

Verlagerungswirkung von Radverkehrsanlagen

DACH 2022

Auftragnehmer

Universität Salzburg¹

Herry Consult GmbH² (mit EBP Schweiz AG⁴ als Subauftragnehmerin)

Technische Universität Dresden³

Autorinnen und Autoren

Dr. Martin Loidl, MSc MSc BSc¹

Lea Effertz, BSc¹

Dana Kaziyeva, MSc¹

Mag. Rupert Tomschy²

Niklas Scheffer, MA²

Dr.-Ing. Sven Lißner³

Julius Reh, Dipl.Ing.³

Dr. Ralph Straumann⁴

Tiziana Speckert, MSc⁴

Kurzfassung

Problemstellung und Ziele

Eine qualitativ **hochwertige, durchgängige Infrastruktur** für den Radverkehr gilt als Voraussetzung für die erfolgreiche Förderung der Fahrradmobilität. Um den Anteil des Radverkehrs am gesamten Verkehrsaufkommen in der DACH-Region weiter steigern zu können, ist es erforderlich, bestehende Fahrradinfrastruktur qualitativ zu ertüchtigen und Lücken im Netz durch den Bau von Radverkehrsanlagen zu schließen.

Nachdem jeder Abschnitt eines Wegenetzes Teil eines Systems ist bzw. mit diesem in Wechselwirkung steht, ist die Abschätzung der Wirkung einzelner Maßnahmen besonders schwierig. Die zentrale Frage hierbei lautet, inwiefern es durch die Maßnahme zu einer **Verlagerung** von bestehenden Fahrten, oder zur **Erschließung zusätzlicher Radfahrer:innen** kommt. Global berechnete Wirkungszusammenhänge lassen sich nicht ohne weiteres auf Einzelmaßnahmen anwenden und für umfassende Verkehrsmodelle oder mathematische Modelle der Wirkungszusammenhänge (z.B. multivariate Verfahren) fehlen vielfach die erforderlichen Daten. Vor diesem Hintergrund gilt es, einerseits Aussagen zur Wirkung von Maßnahmen mit hoher Relevanz, Reliabilität und Validität treffen zu können und gleichzeitig den Datenbedarf zu minimieren. Dies für die DACH-Region zu bewerkstelligen und in einem Leitfaden aufzubereiten, definiert den Rahmen des nachfolgend ausführlich dargestellten Projekts VERA – Verlagerungswirkung von Radverkehrsanlagen.

Die Notwendigkeit für ein **nachvollziehbares, transferierbares** und **quantitatives** Methodenset ergibt sich aus der Tatsache, dass die Ertüchtigung und der Bau von Radverkehrsanlagen in einzelnen Losen projiziert wird. Für diese Projekte ist eine Abschätzung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses unerlässlich, stehen sie doch in mehrfacher Konkurrenz. Der verfügbare Straßenraum ist limitiert, während mehrere Nutzungsformen in der Organisation desselben miteinander konkurrieren. Darüber hinaus müssen in den Entscheidungs- und Planungsprozessen die verfügbaren, limitierten Finanzmittel derart allokiert werden, dass damit die bestmögliche Wirkung erzielt wird. Genau diesen Anspruch stellt auch die Ausschreibung, die den Hintergrund des Projekts VERA bildet:

es gilt herauszufinden, wie ein **optimaler Mitteleinsatz** gestaltet werden muss, um die größtmöglichen Hebel für die **Verlagerung auf den Radverkehr effektiv** und **effizient** in Bewegung zu setzen.

In VERA wurden die folgenden strategischen, das heißt zu den einzelnen Arbeitsschritten quer gelagerten, Ziele verfolgt:

- Für das gesamte Projektvorhaben werden **vorhandene Erkenntnisse und Daten bestmöglich genutzt** und für die Bearbeitung der Fragestellungen in Wert gesetzt.
- Das im Rahmen von VERA erarbeitete Methodenset folgt dem Prinzip der **Datensparsamkeit**, womit eine möglichst breite Anwendbarkeit des erstellten Leitfadens ermöglicht wird.
- Die Abschätzung der Verkehrsmittel- und Routenverlagerungseffekte soll zwischen bekannten und nicht quantifizierbaren Komponenten unterscheiden. Es gilt **Pseudogenauigkeiten** zu vermeiden.

Operativ wurde VERA entlang dieser operativen Ziele konzipiert und entsprechend bearbeitet:

- Die **bestehende Evidenz** aus der wissenschaftlichen Literatur wird synthetisiert und um eine Konsultation von Expert:innen, die für Planung und Bau von Radverkehrsanlagen verantwortlich sind, ergänzt. Es sollten **Einflussfaktoren** auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl, sowie Anhaltspunkte zu den **Wirkungsmechanismen** erhoben werden.
- Typische Maßnahmenkategorien sollten hinsichtlich ihrer Verlagerungswirkung auf Basis umfangreicher Trajektorienempirische Daten untersucht werden und in einem **Wirkungsmodell** kompiliert werden.
- Sämtliche Erkenntnisse sollten in einem einfach verständlichen, unkompliziert anwendbaren und für die gesamte DACH-Region relevanten **Leitfaden** zusammengeführt und für die Zielgruppe von Entscheidungsträger:innen und Planer:innen aufbereitet werden.
- Die **Praktikabilität und Plausibilität** des Leitfadens sollte in Testumgebungen evaluiert und mit potentiellen Anwender:innen kritisch reflektiert werden.

Methoden

Zur Erreichung der Ziele wurde ein mehrstufiger Arbeitsplan erstellt, der sich unterschiedlicher Methoden aus den (räumlichen) Daten- und Sozialwissenschaften sowie der verkehrsplanerischen Praxis bediente. Umgesetzt wurden die Arbeiten in insgesamt fünf inhaltlichen Arbeitspaketen.

Für die Erhebung der bestehenden Evidenz wurden eine **akademische Literaturanalyse** durchgeführt, sowie eine umfangreiche Expert:innenkonsultation lanciert. Für die Literaturanalyse wurde ein standardisiertes Protokoll herangezogen, welches das strukturierte Vorgehen definierte und die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse durchgängig gewährleistete. Für die Konsultation von Expert:innen, primär aus der öffentlichen Verwaltung, wurde ein **Online-Fragebogen** verwendet. Die Auswertung der qualitativen und quantitativen Daten erfolgte durch eine thematische Analyse sowie durch deskriptive Statistik und Visualisierung in Diagrammen. Aus den quantitativen Daten, die per Fragebogen erhoben wurde, wurde eine Wirkungsmatrix abgeleitet.

Für die empirische Untersuchung von Wirkungen verschiedener Maßnahmenkategorien wurden zwei Analyseansätze verfolgt. Für die **mikroskopische** Wirkungsabschätzung wurde ein **Differenz-von-Differenzen-Ansatz** (DID) gewählt und mit einem direkten Nachfragemodell umgesetzt, bei dem die Verkehrsstärke direkt als abhängige Variable geschätzt wird. Aufgrund des nicht-experimentellen Charakters der Daten und der damit verbundenen Störfaktoren wurden statistische Regressionsmodelle verwendet, die durch die Integration sogenannter fixierter Effekte (*fixed effects*) unbeobachtete Effekte und konfundierende Faktoren kontrollieren. Für die **makroskopische** Analyse, die für die Feststellung von etwaigen Routenverlagerungen essenziell ist, wurde der Moran's I verwendet. Damit wurde die **räumliche Autokorrelation** für Nachbarschaftsmatrizen berechnet, um unerwartete Veränderungen in der Anzahl der Radfahrten zu detektieren.

Für die Leitfadententwicklung und -evaluierung wurde ein iterativer Ansatz mit regelmäßigen **Konsultationen von Stakeholdern** angewendet, um die Erkenntnisse aus den Forschungsaktivitäten zielgruppenadäquat aufzubereiten.

Ergebnisse

Als zentrales Ergebnis aus VERA liegt ein **Leitfadendokument** vor, welches das Ziel verfolgt, Entscheidungsträger:innen in der DACH-Region ein **methodisches Instrument zur Wirkungs- und Verlagerungsabschätzung von Radverkehrsanlagen** an die Hand zu geben. Dabei werden für unterschiedliche Ausgangslagen hinsichtlich Verfügbarkeit von Daten und Vorgehensweisen für die Messung bzw. Abschätzung des **Radverkehrsaufkommens** am Ort der Maßnahmenimplementierung dargestellt. Das **Verlagerungspotenzial** auf den Radverkehr wird auf Basis eines mathematischen Modells definiert, welches im Rahmen von VERA entwickelt wurde. Für die **Verlagerungswirkung** werden Annahmen aus der akademischen Literatur sowie aus der Erfahrung von Expert:innen im Projektkonsortium und darüber hinaus eingeführt. Schließlich werden die zu erwartenden **Umwelteffekte** in Form von CO₂-Emissionen je Kilometer auf Basis der jeweils durchschnittlichen Werte für Deutschland, Österreich und der Schweiz berechnet.

Für die Erstellung des Leitfadens wurden mehrere Forschungsaktivitäten in VERA gekoppelt. Viele der Ergebnisse flossen unmittelbar in das Leitfadendokument ein. Unabhängig davon wurden im Rahmen von VERA folgende nennenswerte Ergebnisse erzielt:

- Die gesamte akademische Literatur wurde auf die Frage der Wirkung von Radverkehrsanlagen auf Verkehrsmittel- und Routenwahl systematisch untersucht. Es liegt eine strukturierte, nach standardisiertem Protokoll durchgeführte **Literaturanalyse** vor. Allerdings lassen sich keine einheitlichen Aussagen aus den vorliegenden Studien ableiten. Die Studiendesigns und die untersuchten Dimensionen sind zu unterschiedlich. Allerdings können aus der Zusammenschau der Studien Tendenzen abgeleitet werden. Zum einen entfalten **neugebaute Radwege eine größere Wirkung** (hinsichtlich Radverkehrsaufkommen) als der Ausbau von bestehenden Radwegen. **Maßnahmenbündel** im Rahmen umfassender Strategien erweisen sich als am effektivsten. Zum anderen ist ein Großteil der festgestellten Zunahme des Radverkehrs vorwiegend auf **Routenverlagerungseffekte** zurückzuführen. Insgesamt muss die Qualität der Studien zum gegenständlichen Thema als mittelmäßig bezeichnet werden. Vielfach werden grundlegende statistische Effekte

(v.a. der Basiseffekt) nur unzureichend kritisch reflektiert. Eine Veröffentlichung der jeweils zugrundeliegenden Daten würde die Nachvollziehbarkeit einerseits und die Möglichkeit zur Synthese (im Rahmen von Meta-Studien) erhöhen.

- Die Konsultation von über 160 Expert:innen vor allem aus der öffentlichen Verwaltung in der DACH-Region gewährte wertvolle Einblicke in den aktuellen Status der Wirkungsfeststellung von Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs. Zudem wurden wertvolle Anhaltspunkte für die Wirkung verschiedener Maßnahmen in mehreren Dimensionen erhoben und in einer **Wirkungsmatrix** zusammengeführt. Eine systematische, datenbasierte Evaluierung von Maßnahmen ist in der DACH-Region kaum etabliert; zumeist werden Wirkungen durch Experten schätzungsweise festgestellt.
- Zur Feststellung der Wirkungsstärke von Radverkehrsmaßnahmen wurde eine empirische Analyse durchgeführt und jeweils ein mikroskopisches und mesoskopisches **Modell** entwickelt. Die mikroskopische Wirkung von fünf Maßnahmenkategorien auf das Radverkehrsaufkommen konnte aus allen vorliegenden Daten abgeleitet werden. Der Neubau von Radwegen induziert demnach 70% mehr Radverkehr, die Öffnung von Einbahnen 56%, die Belagssanierung 48%, der Ausbau eines bestehenden Radwegenetzes 37% und die Markierung von Radverkehrsanlagen 36% mehr Radverkehr. Diese Werte tragen den spezifischen Situationen vor Ort und relevanten weiteren Einflussfaktoren nicht Rechnung und müssen entsprechend mit Bedacht interpretiert werden. Die Ergebnisse der räumlichen Statistik zeigen, dass eine Routenverlagerung nur teilweise stattfindet.

Schlussfolgerungen

Der Bedarf für **evidenzbasierte Werkzeuge** zur Wirkungsabschätzung von neu- bzw. ausgebauten Radverkehrsanlagen ist groß und konnte mit dem VERA-Leitfaden erstmals für die DACH-Region adressiert werden.

Für die dafür notwendigen Modelle und Analysen sind **belastbare Daten** und **vergleichbare Evaluierungsmethoden** eigentlich Voraussetzung. In den drei

Ländern der DACH-Region ist eine systematische Dokumentation von Maßnahmen, eine kontinuierliche Erhebung von Radverkehrsaufkommen und eine Evaluierung von implementierten Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkungen nicht flächendeckend üblich bzw. kaum vorhanden. Es wird daher empfohlen, **Anreize** für Gebietskörperschaften zu setzen, in die Datengenerierung und -bereitstellung zu investieren. Die Kopplung an Förderungen (z.B. verpflichtende Vorher-/Nachherzählungen, standardisiertes Schema für die Maßnahmenbeschreibung etc.) könnte eine operative Möglichkeit darstellen.

Die Bereitstellung des VERA-Leitfadens und die umfassende Dokumentation sämtlicher Forschungsaktivitäten stellt einen ersten Meilenstein dar. Mit einer sich verbessernden Datenlage kann die Methode für die Feststellung der Verlagerungswirkung von Radverkehrsanlagen substanziell **verbessert und erweitert** werden. Die im Rahmen von VERA zutage getretenen Forschungslücken sind Auftrag für weiterführende methodische und inhaltliche **Forschung** zur Wirkung von Maßnahmen zur Förderung der Fahrradmobilität.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Kurzfassung	5
Problemstellung und Ziele	5
Methoden	7
Ergebnisse	8
Schlussfolgerungen	9
1 Einleitung	14
1.1 Ausgangssituation und Motivation	14
1.2 Zielsetzung und Lösungsansätze	16
2 Wirkungszusammenhänge Verkehrsmittel- und Routenwahl	19
2.1 Webbasierte Umfrage	20
2.1.1 Fragebogendesign	21
2.1.2 Rekrutierung und Rücklauf	25
2.1.3 Umfrageergebnisse	26
2.2 Literaturanalyse	36
2.2.1 Design der Literaturanalyse	36
2.2.2 Charakter der untersuchten Studien	42
2.2.3 Resultate aus Literaturanalyse	45
2.2.4 Synthese aus der Literaturanalyse	50
2.3 Wirkungsmatrix	54
2.3.1 Erstellung der Wirkungsmatrix	54
2.3.2 Reflektion mit Expert:innen	56
3 Empirische Analyse von Wirkungszusammenhängen	59
3.1 Datenerhebung	59
3.1.1 Radverkehrsnachfragedaten	60
3.1.2 Daten zu Radverkehrsmaßnahmen	62
3.1.3 Sekundärdaten	65
3.2 Analysemethodik	66
3.2.1 Mikroskopische Ebene	67
3.2.2 Mesoskopische Ebene	70
3.3 Datenauswertung	72
3.3.1 Radverkehrsnachfrage	72
3.3.2 Mikroskopische Ebene	73

3.3.3	Mesoskopische Ebene	76
3.4	Diskussion	79
3.4.1	Interpretation der Ergebnisse	79
3.4.2	Reflexion der Analyseverfahren	81
3.5	Schlussfolgerungen und Abstrahierung von VERA-Faktoren	84
4	Evaluierung des Methodensets in Testumgebungen	86
4.1	Auswahl und Charakteristika der Testumgebungen.....	86
4.2	Ergebnisse aus der Testanwendung	88
4.2.1	Mödling	88
4.2.2	Salzburg.....	90
4.2.3	St. Pölten	91
4.2.4	Genf.....	92
4.2.5	Dresden	94
4.2.6	Lüchow-Dannenberg.....	97
4.3	Schlussfolgerungen aus der Evaluierung	99
5	Leitfaden	101
5.1	Zielsetzung.....	101
5.2	Leitfadenentwicklung.....	102
5.2.1	Betrachtete Radverkehrsmaßnahmen	103
5.2.2	Methoden zur Ermittlung des derzeitigen Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme	103
5.2.3	Verlagerungspotenzial der Maßnahmen für den Radverkehr	110
5.2.4	Abschätzung Verkehrsmittelverlagerung.....	111
5.2.5	Emissionsfaktoren	113
5.2.6	Berechnungsansatz	113
5.2.7	Mögliche Begleitmaßnahmen	116
5.3	Evaluierung des Leitfadens	117
5.3.1	Notwendigkeit eines Leitfadens / Strukturierte Wirkungsabschätzung.....	118
5.3.2	Aufbau des Leitfadens	120
5.3.3	Praktikabilität des Leitfadens.....	122
5.3.4	Plausibilität der Ergebnisse	125
5.3.5	Zukünftige Anwendung	126
5.4	Überarbeitungen auf Grund der Leitfadenevaluierung	127
6	Verzeichnisse	129

6.1	Literaturverzeichnis	129
6.2	Abbildungsverzeichnis	135
6.3	Tabellenverzeichnis	137
6.4	Formelverzeichnis.....	138
Anhang 1: Detailergebnisse Wirkungsdimensionen		139
Anhang 2: Leitfaden		144

1 Einleitung

Die Förderung des Radverkehrs ist ein wesentlicher Baustein für die anvisierte Mobilitätswende. Die Bereitstellung adäquater Infrastruktur stellt hierbei eine Voraussetzung dar, die weitere Maßnahmen erst möglich bzw. effektiv macht. Für die Planung und Umsetzung von Neuerrichtungen oder Ertüchtigungen von Radverkehrsanlagen ist es wesentlich, den zu erwartenden Verlagerungseffekt der jeweiligen Maßnahmen im Vorfeld abschätzen zu können.

Der vorliegende Ergebnisbericht beschreibt die Aktivitäten und Ergebnisse des transnationalen Projekts **VERA – Verlagerungswirkung von Radverkehrsanlagen**, welches im Rahmen der D-A-CH Kooperation Verkehrsinfrastrukturforschung 2022 beauftragt wurde.

Als primäres Ergebnis der Projektaktivitäten liegt ein **Leitfaden** für die Verwendung in der Planung von Projekten zum Neu- und Ausbau von Radverkehrsanlagen vor. Sämtliche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, die zu diesem Leitfaden beitragen, werden nachfolgend dokumentiert. Alle Details zum Projektmanagement finden sich im Endbericht an den Auftraggeber.

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Eine qualitativ hochwertige, durchgängige Infrastruktur für den Radverkehr gilt als Voraussetzung für erfolgreiche Förderung der Fahrradmobilität (Mölenberg et al., 2019, Félix et al., 2020, Fosgerau et al., 2023). Um den Anteil des Radverkehrs am gesamten Verkehrsaufkommen in der DACH-Region weiter steigern zu können, ist es erforderlich, bestehende Fahrradinfrastruktur qualitativ zu ertüchtigen und Lücken im Netz durch den Bau von Radverkehrsanlagen zu schließen.

Selten sind derartige bauliche Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung isoliert. Vielmehr sind sie eingebettet in ein System der Radverkehrsförderung und gesellschaftlicher Prozesse. Dazu kommen singuläre Ereignisse, die nachhaltige Wirkung entfalten können, wie die Sperre eines Straßenabschnitts für den motorisierten Individualverkehr (MIV) oder Maßnahmen zur Eindämmung einer Pandemie (Buehler & Pucher, 2021, Rérat et al., 2022). Folglich ist es kaum

möglich, den exakten Beitrag von Infrastrukturinvestitionen zu etwaigen Verkehrsverlagerungen festzustellen. Es bedarf daher einer Wirkungsabschätzung von Maßnahmentypen, in der die bekannten Kofaktoren erfasst und in der Kalkulation berücksichtigt werden.

Nachdem jeder Streckenabschnitt Teil eines Systems ist bzw. mit diesem in Wechselwirkung steht, ist die Abschätzung der Wirkung einzelner Maßnahmen besonders schwierig. Die zentrale Frage hierbei lautet, inwiefern es durch die Maßnahme zu einer **Verlagerung** von bestehenden Fahrten (Routenverlagerung), oder zur **Erschließung zusätzlicher Radfahrer:innen** (Verkehrsmittelverlagerung) kommt.

Global berechnete Wirkungszusammenhänge lassen sich nicht ohne weiteres auf Einzelmaßnahmen anwenden. Für umfassende Verkehrsmodelle oder mathematische Modelle der Wirkungszusammenhänge (z.B. multivariate Verfahren) fehlen vielfach die erforderlichen Daten. Vor diesem Hintergrund gilt es, einerseits Aussagen zur Wirkung von Maßnahmen mit hoher **Relevanz, Reliabilität** und **Validität** treffen zu können und gleichzeitig den **Datenbedarf zu minimieren**. Dies für die DACH-Region zu bewerkstelligen und in einem **Leitfaden** aufzubereiten ist der Anlass für das Projekt VERA.

Die Notwendigkeit für ein nachvollziehbares, transferierbares und quantitatives Methodenset ergibt sich aus der Tatsache, dass die Ertüchtigung und der Bau von Radverkehrsanlagen üblicherweise in einzelnen Losen projiziert wird. Für diese Projekte ist eine Abschätzung des Kosten-Nutzen Verhältnisses unerlässlich, stehen sie doch in mehrfacher Konkurrenz. Der verfügbare Straßenraum ist limitiert, während mehrere Nutzungsformen in der Organisation desselben miteinander konkurrieren. Darüber hinaus müssen in den Entscheidungs- und Planungsprozessen die verfügbaren, limitierten Finanzmittel derart allokiert werden, dass damit die bestmögliche Wirkung erzielt wird. Insgesamt geht es um einen **optimal gestalteten Mitteleinsatz**, der die größtmöglichen Hebel für die Verlagerung auf den Radverkehrs effektiv und effizient in Bewegung setzt.

1.2 Zielsetzung und Lösungsansätze

Zusammengefasst setzte sich das Projekt VERA zum Ziel, auf Basis mehrerer Quellen die zu erwartende Wirkung von Radverkehrsmaßnahmen abzuschätzen. Die dafür notwendigen Daten sowie die Methoden zur Modellierung in Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit sollten in einem Leitfaden für Planer:innen und Entscheidungsträger:innen zusammengeführt und verständlich aufbereitet werden.

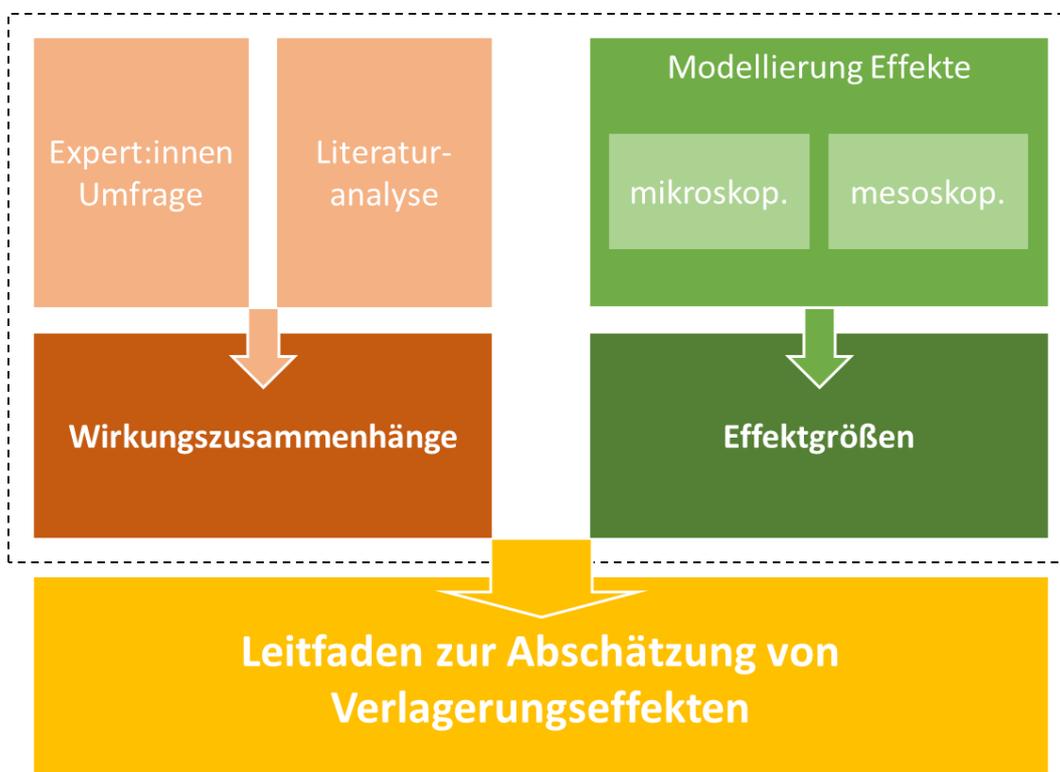


Abbildung 1: VERA-Ansatz – Wirkungszusammenhänge und Effektgrößen werden in einem Leitfaden zur Abschätzung von Verlagerungseffekten integriert.

Für die Abschätzung der Verlagerungswirkung von neu- oder ausgebauten Radverkehrsanlagen wurden drei Ansätze kombiniert (siehe Abbildung 1):

- 1) Aus einer strukturierten **Analyse der akademischen Literatur** konnten internationale Evidenzen aufbereitet werden.

- 2) In einer umfangreichen **Befragung von Expert:innen** in den Ländern der DACH-Region wurden Erfahrungen zur Wirkung von Maßnahmen gesammelt und in einer Wirkungsmatrix integriert.
- 3) Auf Basis großer Trajektorien-Datensätze aus unterschiedlichen Erhebungskampagnen in Deutschland, Österreich und der Schweiz wurde ein **Nachfragemodell** für verschiedene Maßnahmentypen entwickelt und in realweltlichen Testfällen erprobt.

Neben den operativen Zielen, die in VERA konsequent verfolgt wurden, orientierte sich das Projekt an den folgenden strategischen Zielen:

- Vorhandene Erkenntnisse und Daten werden bestmöglich einer **sekundären Nutzung** zugeführt. VERA baut auf zahlreichen Vorarbeiten auf und verzichtete auf eigene Datenerhebungskampagnen.
- Der VERA-Ansatz folgt dem Prinzip der **Datensparsamkeit**, womit eine möglichst breite Anwendung des Leitfadens für die Abschätzung der Verlagerungseffekte gewährleistet werden kann.
- Bei der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen im Hinblick auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl werden unbekannte oder nur vage quantifizierbare Komponenten als solche gekennzeichnet, um **Pseudogenauigkeiten zu vermeiden**.

Zur Erreichung der strategischen und operativen Ziele setzt sich das Projektteam von VERA aus einem multinationalen Konsortium zusammen (Abbildung 2), in das die einzelnen Partner ihr jeweilige Expertise synergetisch einbrachten:

- **Paris-Lodron Universität Salzburg**, die mit dem Mobility Lab am Fachbereich Geoinformatik über eine etablierte Forschungsgruppe an der Schnittstelle von Geoinformatik und nachhaltiger Mobilität verfügt.
- **Herry Consult GmbH**, die langjährige Expertise in der Mobilitätsdatenerhebung und -auswertung besitzt und zudem als Beraterin in zahlreichen Projekten zur Förderung des Umweltverbunds engagiert ist.
- **Technische Universität Dresden**, mit der Professur für Verkehrsökologie an der Fakultät für Verkehrswissenschaften, die für große Kam-

pagnen zur Erhebung von Trajektorien­daten aus dem Radverkehr verantwortlich ist und umfassendes Knowhow in der Verkehrsmodellierung besitzt.

- **EBP Schweiz AG**, die zu den führenden Consulting- und Forschungsunternehmen im Bereich räumlicher Daten und innovativer Verkehrslösungen zählt.

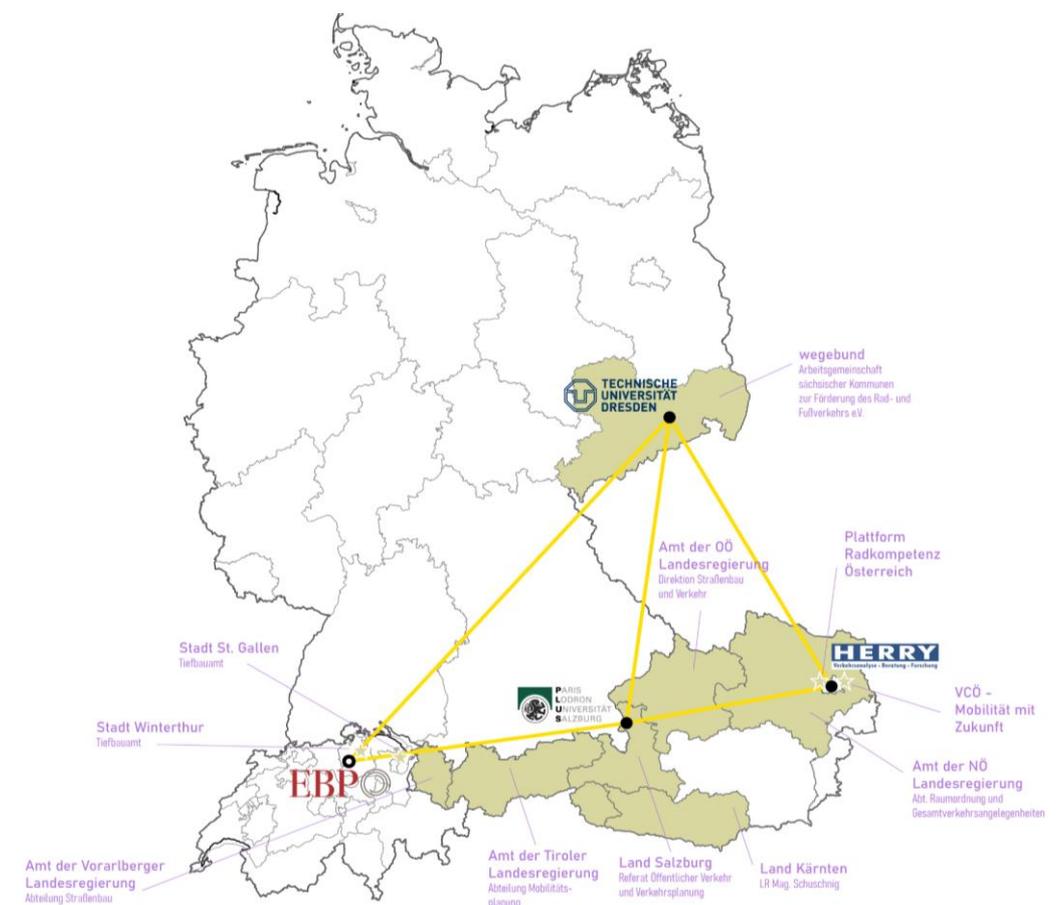


Abbildung 2: VERA-Konsortium mit assoziierten Partnern in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

Das Kernteam von VERA wurde durch eine Vielzahl von assoziierten Partnerinstitutionen, vor allem aus der öffentlichen Verwaltung, in den unterschiedlichen Projektphasen unterstützt. Dadurch konnten die Praktiken und Erfahrungen sowie die Anforderungen in den Ländern der DACH-Region bestmöglich im resultierenden Leitfaden berücksichtigt werden.

2 Wirkungszusammenhänge Verkehrsmittel- und Routenwahl

Seit mehr als 15 Jahren weisen internationale Studien den Zusammenhang zwischen dem Angebot **adäquater Radverkehrsinfrastruktur** und einer entsprechenden Steigerung des Radverkehrsanteils am gesamten Verkehrsaufkommen nach (Pucher & Buehler, 2008, Dill, 2009, Pucher et al., 2010). Das spanische Sevilla stellt ein eindruckliches Beispiel für die Hebelwirkung eines durchgängigen, qualitativ hochwertigen Radwegenetzes dar. Durch die systematische Umsetzung eines Masterplans für ein kohärentes Netz ab 2006 konnten nicht nur die Anzahl der Radfahrten erheblich gesteigert, sondern auch der Anteil des motorisierten Individualverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommens innerhalb von vier Jahren von 57,1% auf 48,3% gesenkt werden (Marqués et al., 2015). Auch die Verlagerungswirkungen der, während der COVID-19 Pandemie temporären und später fix implementierten Radverkehrsanlagen ist ausführlich in der wissenschaftlichen Literatur beschrieben (Kraus & Koch, 2021, Buehler & Pucher, 2024).

Bei den **Einflussfaktoren** auf die Verkehrsmittelwahl kann grob zwischen externen (bauliche, soziale, kulturelle, finanzielle, rechtliche Rahmenbedingungen, Wetter, Saisonalität usw.) und internen bzw. individuellen (Wertehaltung, Lifestyle, Wegezweck, Fahrzeugverfügbarkeit, Wahrnehmung der Rahmenbedingungen usw.) Faktoren unterschieden werden (Yang et al., 2019, Piras et al., 2022, Ton et al., 2019, Scheepers et al., 2014, Blitz, 2021). Bei der Routenwahl spielt zusätzlich die Anzahl von Alternativen bzw. die Morphologie des Netzwerkes eine Rolle (Prato, 2009, Alattar et al., 2021).

Auch wenn die Einflussfaktoren auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl bekannt sind und in diversen Choice Models abgebildet werden können, lassen sich Erkenntnisse aus aggregierten Betrachtungen nicht unmittelbar auf einzelne Maßnahmen anwenden. Dazu kommt, dass es selbst bei einer detaillierten Untersuchung einer Einzelmaßnahme schwierig ist, zwischen einer Verlagerung bestehender Routen und zusätzlichen Nutzer:innen zu unterscheiden.

Mölenberg et al. (2019) ziehen in ihrer Meta-Analyse von Studien zur Wirkungsfeststellung von Radverkehrsmaßnahmen hinsichtlich geeigneter **Methoden** folgende Schlüsse:

- Um Aussagen zu kausalen Zusammenhängen zu erhalten, gelten randomisierte kontrollierte Studien (*randomized controlled trial*, RCT) als Gold-Standard. Allerdings lassen sich RCT-Studien in einem realweltlichen Kontext (*naturalistic setting*) aufgrund der vielen, nicht kontrollierbaren Variablen sowie der Singularität von Maßnahmen (keine hundertprozentige Vergleichbarkeit möglich) kaum operationalisieren.
- Studien, die auf objektive Messungen (z.B. GNSS-Trajektorien oder Zählraten) basieren, weisen niedrigere Veränderungsraten auf als Studien, die sich auf Daten aus Befragungen stützen. Grund hierfür ist die Tendenz zu Überschätzungen aktiv zurückgelegter Wege in selbstberichteten Mobilitätsdaten (Loidl et al., 2020, Kelly et al., 2013).
- Um die Aussagekraft von Analysen erhöhen zu können, ist eine Verschneidung („Triangulation“) unterschiedlicher Datenquellen erforderlich.
- Beobachtete Veränderungen bei der Verkehrsmittel- und Routenwahl können auf zahlreiche Einflussfaktoren zurückzuführen sein, die entkoppelt von der eigentlich untersuchten Maßnahme sind.
- Die räumliche Nähe zu einer Maßnahme und der Zeitraum zwischen der Implementierung einer Maßnahme und der Messung der Wirkung haben beträchtlichen Einfluss auf die feststellbaren Effektgrößen.

Um der bekannten, hohen Komplexität der Fragestellung von VERA adäquat Rechnung begegnen zu können und gleichzeitig den übergeordneten Zielen (u.a. Datensparsamkeit) zu entsprechen, wurde versucht, das vorhandene Wissen von Praktiker:innen in der DACH-Region systematisch zu erheben und mit den Befunden aus der internationalen, akademischen Literatur zu verbinden.

2.1 Webbasierte Umfrage

Mittels einer groß angelegten Konsultation von Expert:innen sollten die momentanen Praktiken bei der Feststellung der Verlagerungswirkung von Radverkehrsanlagen sowie Wirkungszusammenhänge erhoben werden. Um eine möglichst große Anzahl von Expert:innen, vorzugsweise aus der öffentlichen Verwaltung, erreichen zu können, wurde die Umfrage als webbasierter Fragebogen konzipiert, welcher in einem Schneeballsystem verteilt wurde.

2.1.1 Fragebogendesign

Das Design des Fragebogens erfolgte innerhalb des Konsortiums, die Implementierung wurde auf einem Limesurvey-Server der Universität Salzburg umgesetzt. Der Fragebogen wurde sowohl für die Desktop- wie auch für die Ansicht auf mobilen Endgeräten optimiert (Responsive Design).

Zur Wahrung der Anonymität der teilnehmenden Personen wurde auf eine Registrierung der IP-Adresse und auf jegliche Datenerhebung, die einen Rückschluss auf Personen ermöglichen würde, verzichtet. Durch die Zirkulation der Umfrage in einem ausschließlichen Expert:innenumfeld wurde das Risiko einer absichtlichen Mehrfachausfüllung des Fragebogens zum Zweck der Verzerrung der Ergebnisse als insgesamt gering eingeschätzt.

Die Umfrage gliederte sich in vier Abschnitte mit insgesamt 32 geschlossenen und offenen Fragen. Die Verwendung von Multiple Choice Fragen sowie der Einsatz eines Schiebereglers (*slider*) zur Gewichtung von Aussagen minimiert den Aufwand bei der Beantwortung und ermöglicht eine effiziente Auswertung im Nachgang. Die Bearbeitungszeit für den gesamten Fragebogen lag der Auswertung aller vollständigen Rückmeldungen folgend bei 10,5 Minuten (Median). Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Inhalt des Fragebogens.

Tabelle 1: Fragegruppen, Fragen und Antwortmöglichkeiten des Fragebogens

Persönlicher Hintergrund	In welchem Land sind Sie tätig?	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Deutschland <input type="radio"/> Österreich <input type="radio"/> Schweiz <input type="radio"/> Lichtenstein <input type="radio"/> Sonstiges
	In welchem Bereich sind Sie aktuell tätig?	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Öffentliche Verwaltung <input type="radio"/> Privatwirtschaft <input type="radio"/> Forschung <input type="radio"/> Initiative und Vereine <input type="radio"/> Sonstiges
	Welcher Kategorie würden Sie Ihren Verantwortungsbereich zuordnen? Mehrfachzuordnungen sind möglich.	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Radverkehrsbeauftragte:r <input type="radio"/> Verkehrsplanung <input type="radio"/> Koordination nachhaltige Mobilität <input type="radio"/> Stadt-/Regionalplanung <input type="radio"/> Straßenbau <input type="radio"/> Smart City Management <input type="radio"/> Umwelt- und Nachhaltigkeitsagenden <input type="radio"/> Verkehrssicherheitsbeauftragte:r

		<input type="radio"/> Sonstiges
	Bitte geben Sie an auf welcher Ebene Sie hauptsächlich arbeiten.	<input type="radio"/> Kommunal <input type="radio"/> Regional (Landkreis, Bezirk, Regierungsbezirk, Kanton, Bundesland) <input type="radio"/> National
	Wie viele Einwohner leben ca. in dem Gebiet für das Sie (mit-) verantwortlich sind?	<input type="radio"/> bis 10.000 <input type="radio"/> bis 50.000 <input type="radio"/> bis 100.000 <input type="radio"/> bis 500.000 <input type="radio"/> bis 1.000.000 <input type="radio"/> über 1.000.000
	Für wie wichtig halten Sie den Neu- und Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur zur Erreichung strategischer Ziele in Bereichen wie Energie, Klimaschutz, Mobilität, Gesundheit oder Tourismus?	Slider: unwichtig -- wichtig
	Wurden in Ihrer Kommune bzw. Region in den letzten 5 Jahren Maßnahmen zum Neu- und Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur <u>geplant</u> ?	<input type="radio"/> Ja. <input type="radio"/> Nein. <input type="radio"/> Ich weiß nicht.
	Wurden in Ihrer Kommune bzw. Region in den letzten 5 Jahren Maßnahmen zum Neu- und Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur <u>umgesetzt</u> ?	<input type="radio"/> Ja. <input type="radio"/> Nein. <input type="radio"/> Ich weiß nicht.
	Maßnahmen	Welche Arten von Maßnahmen wurden in Ihrer Kommune bzw. Region in den letzten 5 Jahren umgesetzt? Mehrfachantworten sind möglich.
Sehen Sie in den umgesetzten Maßnahmen einen Beitrag zur Förderung des Alltagsverkehrs?		Slider: nein, gar nicht -- ja, sehr

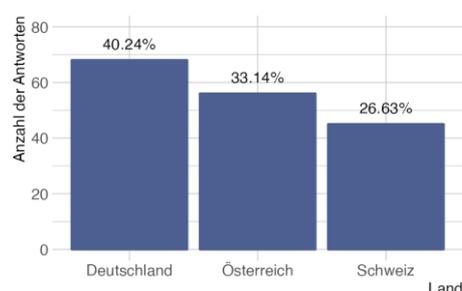
	Sehen Sie in den umgesetzten Maßnahmen einen Beitrag zur Förderung des touristischen Radverkehrs?	Slider: nein, gar nicht -- ja, sehr
	Setzen Sie in den vergangenen Jahren auf temporäre Einrichtungen für den Radverkehr (z.B. Pop-Up Radwege, temporäre Reduktion von Autoparkflächen, experimentelle Maßnahmen etc.)?	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ja. ○ Nein. ○ Ich weiß nicht.
	Wie werden bei Ihnen Maßnahmen typischerweise dokumentiert (WebGIS, CAD, Datenbank, Berichtsform usw.)?	Freitext
	Womit werden Wirkungen von Maßnahmen in Ihrem Wirkungsbereich festgestellt? Mehrfachantworten sind möglich.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gar nicht. ○ Erfahrungswissen und Einschätzung beteiligter Expert:innen ○ Begleitforschung ○ Stichprobenartige, manuelle Zählungen ○ Auswertung von Daten aus Zählstationen ○ Qualitative Erhebungen ○ Periodische Mobilitätshebungen ○ Analyse von Bewegungsdaten (z.B. Mobilfunk- oder Trackingdaten aus Apps) ○ Sonstiges
Wirkungen	<p>Sie sehen unten mehrere Arten von Maßnahmen angeführt. Bitte wählen Sie die 5 Maßnahmen aus, die Ihrer Meinung nach die größten Effekte auf den Radverkehr haben - unabhängig davon, ob die Maßnahmen bei Ihnen schon einmal umgesetzt wurden oder nicht.</p> <p>Reihen Sie die gewählten Maßnahmen nach ihrer jeweiligen Wirkung - die Maßnahme mit dem größten Effekt steht oben.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neubau von Radwegen ▪ Geschützte Fahrradstreifen ▪ Markierung von Radwegeinrichtungen (Mehrzweckstreifen, Schutzstreifen etc.) ▪ Einrichtung von Fahrradstraßen ▪ Öffnung von Einbahnstraßen ▪ Errichtung oder Ausbau von Radabstellanlagen ▪ Wegweisung, Beschilderung ▪ Belagssanierung ▪ Sanierung von Unfallhäufungsstellen ▪ Umbau von Kreuzungen ▪ Adaptierte Markierungen oder Lichtsignalanlagen an Kreuzungen ▪ Optimierung Ampelschaltung
	Wenn Sie einen Blick auf die von Ihnen gewählten Maßnahmen werfen, welche Wirkungen werden damit Ihrer Erfahrung bzw. Einschätzung nach erzielt?	<p>Jeweils Slider: trifft nicht zu -- trifft sehr zu</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Der Anteil des Radverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen (Modal Split) ist gestiegen. ○ Bestehende Radfahrer:innen fahren öfter und weiter mit dem Fahrrad. ○ Es konnten neue Gruppen von Radfahrer:innen gewonnen werden.

		<ul style="list-style-type: none"> ○ Die Anzahl der Autofahrten wurde reduziert. ○ Routen von Radfahrer:innen verlagern sich. ○ Es wurden mehr direkte Verbindungen für Radfahrer:innen geschaffen. ○ Die Erreichbarkeit zentraler Einrichtungen des täglichen Lebens (z.B. Bahnhof, Bildungseinrichtungen, Bibliothek, Schwimmbad etc.) mit dem Fahrrad hat sich verbessert. ○ Die Unfallzahlen sind zurückgegangen. ○ Es kam zu mehr Konflikten mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen. ○ Der Radtourismus wurde gestärkt.
	Welche Faktoren, die Sie nicht unmittelbar beeinflussen können (z.B. Wetter), haben Ihrer Meinung nach Auswirkungen auf den Effekt von implementierten Maßnahmen?	Freitext
Details zu einer Beispielmaßnahme	Denken Sie an die Ihrer Meinung nach erfolgreichste umgesetzte Maßnahme in den letzten 5 Jahren. Können Sie uns dazu einige Informationen weitergeben?	
	Um welche Art von Maßnahme handelte es sich? Bitte beschreiben Sie kurz die Maßnahme selbst und helfen Sie uns mit wesentlichen Projektdetails (Umsetzungszeitraum, Budget, Herausforderungen etc.)	Freitext
	In welchem Umfeld (innerorts, überland, dörflich, städtisch, ländlich, ...) wurde die Maßnahme umgesetzt?	Freitext
	Welche Begleitmaßnahmen (Kommunikationskampagne, Informationsveranstaltung, bauliche Einrichtungen etc.) wurden implementiert?	Freitext
	Welche Wirkungen wurden mit der Maßnahme erzielt?	Freitext
	Wie wurden die Wirkungen festgestellt?	Freitext
	Wenn es in Ihrer Kommune oder Region auch Beispiele für Maßnahmen gibt, deren Wirkungen ausblieben oder die Erwartungen nicht erfüllten, würde uns interessieren, was die Gründe dafür waren. Können Sie uns dazu einige Details (Art der Maßnahme, Umstände, etc.) nennen?	Freitext

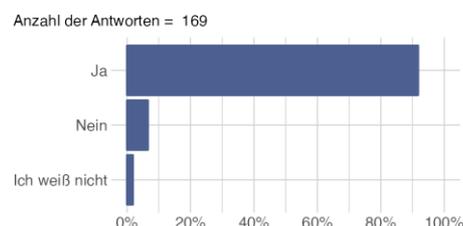
2.1.2 Rekrutierung und Rücklauf

Die Rekrutierung von Expert:innen erfolgte durch die Kontaktierung von Schlüsselorganisationen (Intermediäre) und Einzelpersonen, jeweils mit der Bitte um Verteilung in ihren Netzwerken. In Österreich wurden über den nationalen Auftraggeber (BMK) der Städte- und Gemeindebund sowie das Förderprogramm klimaaktiv mobil, über die österreichischen Projektpartner zudem Vertreter:innen aller neun Länder sowie das Klimabündnis zur Teilnahme eingeladen. In Deutschland wurde die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) über die Kontaktperson der Auftraggeber informiert. Der deutsche Städte- und Gemeindebund (DStGB) sowie das Deutsche Institut für Urbanistik (Difu) beschieden die Anfrage zur Distribution der Umfrage abschlägig. Als Multiplikatoren in Deutschland verblieben das Klima-Bündnis, das Mobilitätsforum BUND sowie der regionale Wegebund. In der Schweiz wurden Vertreter:innen der meisten deutschsprachigen Kantone, der größeren Städte in der Deutschschweiz sowie Interessensvertretungen gezielt kontaktiert.

In welchem Land sind Sie tätig?



Wurden in Ihrer Kommune bzw. Region in den letzten 5 Jahren Maßnahmen zum Neu- und Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur umgesetzt?



In welchem Bereich sind Sie aktuell tätig?

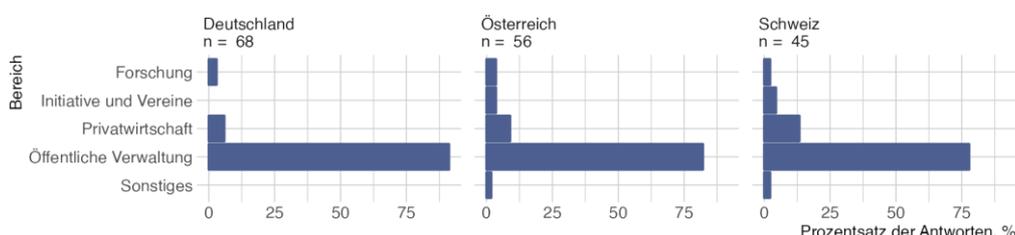


Abbildung 3: Profil der Umfrageteilnehmer:innen. Die Mehrheit der Umfrageteilnehmer:innen ist auf kommunaler Ebene tätig (57,4%), 38,5% auf regionaler und lediglich 4,1% auf nationaler Ebene. In über 90% der repräsentierten Verwaltungseinheiten wurden in den letzten 5 Jahren Maßnahmen umgesetzt.

Mit der dargestellten Rekrutierungsstrategie konnten **169 teilweise und 132 vollständig ausgefüllte Fragebogen** gesammelt werden.

Die Verteilung der Umfrageteilnehmer:innen nach Ländern der DACH-Region steht in keinem Verhältnis zur Bevölkerungszahl oder zur Anzahl der Gemeinden. Dies ist mitunter auf die unterschiedlich stark vorhandenen Zugänge zu Multiplikatoren in den drei Ländern zurückzuführen. Entsprechend der Ausrichtung der Umfrage und der gezielten Ansprache von Expert:innen in den öffentlichen Verwaltungen wurden in allen drei Ländern mehr als 75% der Teilnehmenden aus diesem Bereich rekrutiert. In mehr als 90% der Fälle konnte auf die Erfahrung aus umgesetzten Maßnahmen zurückgegriffen werden (Abbildung 3). Der überwiegende Teil dieser Personen (97 bzw. 57,4%) war gemäß der Eigenangaben auf kommunaler Ebene tätig. In Deutschland nahmen mehrheitlich Expert:innen aus kleineren und mittleren Städten teil. In Österreich und der Schweiz zeigt sich eine davon abweichende Verteilung (Abbildung 4).

Wie viele Einwohner leben ca. in dem Gebiet für das Sie (mit-) verantwortlich sind?

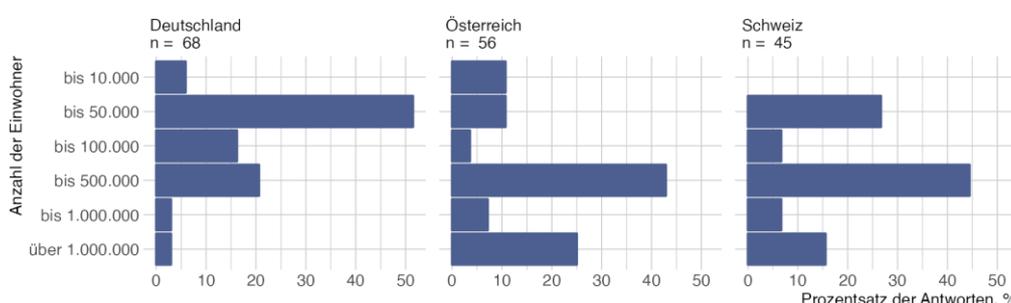


Abbildung 4: Einwohnerzahl in den Gebieten, für die die teilnehmenden Expert:innen verantwortlich sind.

2.1.3 Umfrageergebnisse

Die Palette an umgesetzten Maßnahmen ist breit. Die am häufigsten genannten sind über alle Länder der DACH-Region hinweg die Errichtung oder der Ausbau von Radabstellanlagen (genannt von 69,2% der rückmeldenden Expert:innen), der Neubau von Radwegen (67,5%), der Ausbau bestehender Radwege (66,9%), die Markierung von Radwegeeinrichtungen (66,3%), die Beschilderung und Wegweisung (60,9%) sowie die Belagssanierung (52,0%). Bei einer

getrennten Betrachtung der Ergebnisse in den drei Ländern zeigen sich ähnliche Muster. In der Schweiz scheint ein größerer Fokus auf den Kreuzungsbereichen zu liegen. Der Anteil der Maßnahmen in diesem Bereich ist dort relativ verglichen höher als in Deutschland und Österreich (Abbildung 5).

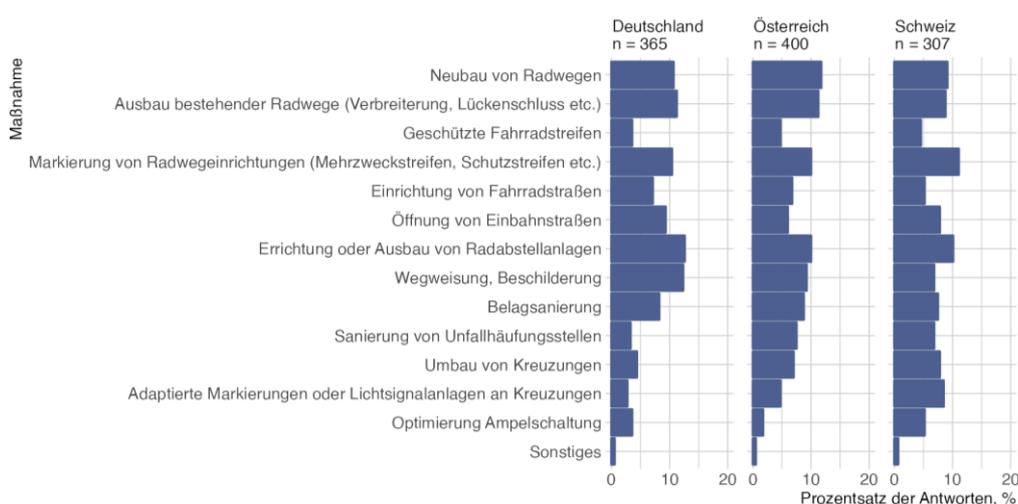


Abbildung 5: Umgesetzte Maßnahmen (kategorisiert) in den drei Ländern der DACH-Region. Für jede Maßnahmenkategorie wurde der Anteil aller im jeweiligen Land berichteten Aktivitäten berechnet. Mehrfachnennungen waren möglich.

Insgesamt kommt dem Radverkehr bei der Erreichung von strategischen Zielen in den Bereichen Energie, Klimaschutz, Mobilität, Gesundheit oder Tourismus gemäß den Antworten eine sehr wichtige Rolle zu. Das Bild ist hier über die gesamte DACH-Region hinweg eindeutig. Bei der Implementierung der diversen Maßnahmen steht in allen drei Ländern die Förderung des **Alltagsradverkehrs** im Mittelpunkt. Für diesen werden die Maßnahmen als besonders wichtig erachtet. Der touristische Radverkehr hat demnach eine etwas niedrigere Priorität (Abbildung 6).

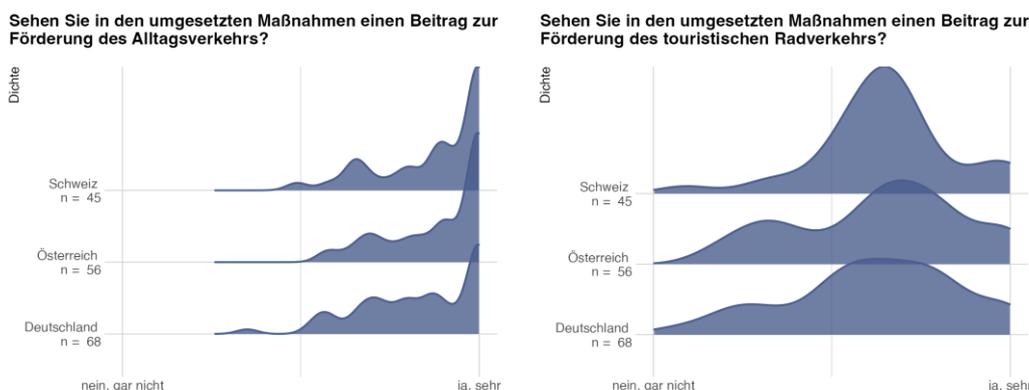


Abbildung 6: Auswirkungen der Maßnahmen auf den Alltags- bzw. touristischen Radverkehr.

Die Feststellung von Wirkungen erfolgt, wenn überhaupt, in den meisten Fällen durch die **Einschätzung von Expert:innen**. Daneben kommen der Auswertung von stationären Zähldaten und stichprobenartigen, manuellen Zählungen eine gewisse Relevanz zu. Die Analyse von Mobilfunkdaten oder Daten aus mobilen Anwendungen spielt gemäß den Rückmeldungen in keinem der Länder zum jetzigen Zeitpunkt eine große Rolle. Insgesamt ergibt sich in den untersuchten Ländern ein recht ähnliches Bild (Abbildung 7).

Womit werden Wirkungen von Maßnahmen in Ihrem Wirkungsbereich festgestellt?

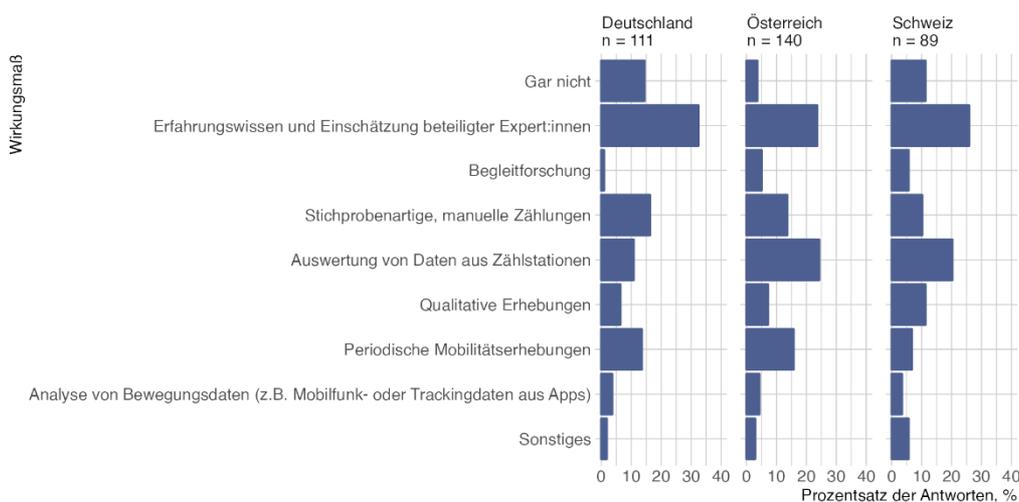


Abbildung 7: Feststellung von Wirkungen umgesetzter Maßnahmen.

Die Entscheidung der teilnehmenden Expert:innen, welche Maßnahme ihrer Meinung nach die größte (rad-)verkehrliche Wirkung entfaltet, fällt relativ eindeutig aus: Mit großem Abstand wurde der **Neubau von Radwegen** auf Rang 1 ausgewählt. Die weiteren vier gewählten Maßnahmen (Rang 2-5) lassen keine eindeutigen Tendenzen innerhalb und zwischen den Ländern erkennen (Abbildung 8).

Bitte wählen Sie die 5 Maßnahmen aus, die Ihrer Meinung nach die größten Effekte auf den Radverkehr haben - unabhängig davon, ob die Maßnahmen bei Ihnen schon einmal umgesetzt wurden oder nicht. Reihen Sie die gewählten Maßnahmen nach ihrer jeweiligen Wirkung.

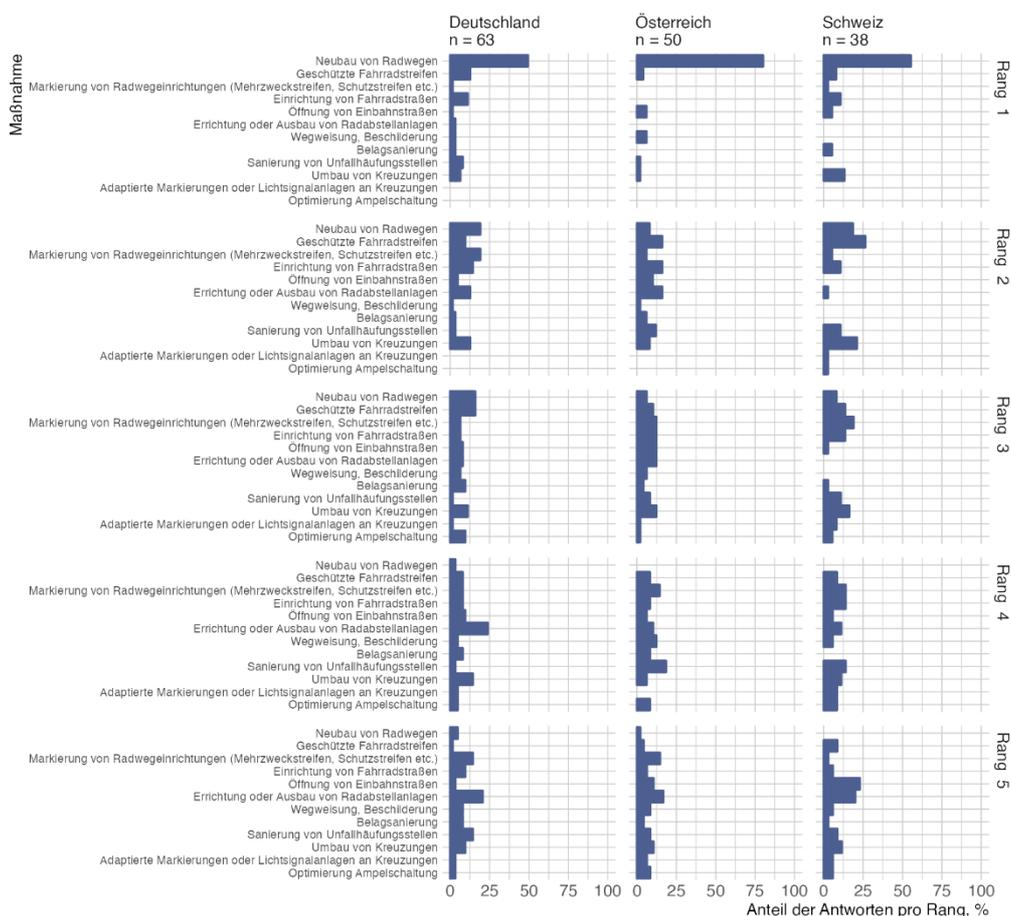


Abbildung 8: Rangfolge der Maßnahmenkategorie hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Radverkehr in den drei Ländern der DACH-Region.

Klar ist, dass von kleineren Maßnahmen keine weitreichenden Wirkungen erwartet werden; durch die Bank werden infrastrukturelle Interventionen höher

eingeorordnet als beispielsweise die Optimierung von Ampelschaltungen oder das Beschilderungs- bzw. Wegweisesystem. Das bedeutet, dass nach Einschätzung der konsultierten Expert:innen ein gewisser **Investitionsbedarf** besteht, wenn durch Fördermaßnahmen Wirkungen im Radverkehr erzielt werden sollten.

Die detaillierte Analyse der von den Expert:innen konstatierten Maßnahmenwirkungen erfolgte in insgesamt in zehn Dimensionen, wobei aufgrund der Fragestellung bzw. der dahinterliegenden zeitökonomischen Überlegungen keine direkte Zuordnung einer einzelnen Maßnahmenkategorie zu ihrer Wirkungsdimension möglich ist. Stattdessen bezieht sich die Stärke der Wirkung in den Dimensionen immer auf alle fünf zuvor ausgewählte Maßnahmenkategorien (Abbildung 9).

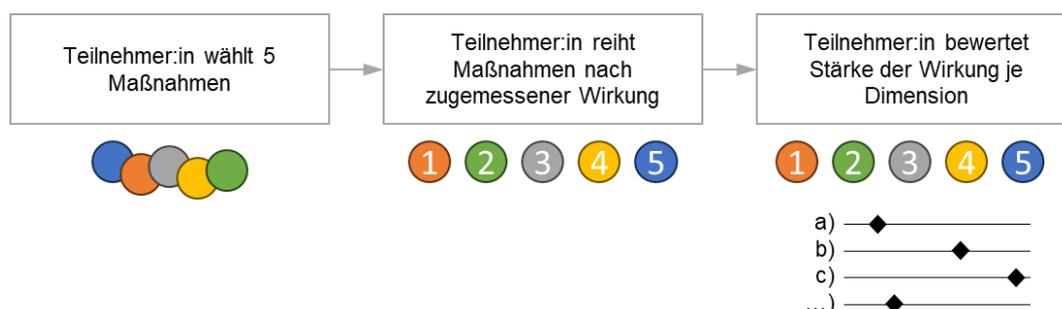


Abbildung 9: Einschätzung der Wirkung von Maßnahmen in 10 Dimensionen

Die Auswertungen der Kombination aus Maßnahmen und Wirkungen befinden sich in Anhang 1. Über alle Länder hinweg betrachtet zeigt sich ein klarer Befund: sämtliche Maßnahmen tragen eher zur **Verlagerung von Routen**, denn zu einer **Verkehrsmittelverlagerung** bei. Neben der Routenverlagerung führen die Maßnahmen tendenziell zu längeren Wegen, die per Fahrrad zurückgelegt werden, sowie zu einer Verbesserung der Erreichbarkeit von zentralen Einrichtungen des täglichen Lebens. Die Wirkungen der Maßnahmen auf den Fahrradtourismus können in der Zusammenschau als moderat bezeichnet werden. Bei der Beurteilung der Wirkung in der Dimension der Attraktion („Es konnten neue Gruppen von Radfahrer:innen gewonnen werden.“) stechen zwei Maßnahmenkategorien hervor, die nach Einschätzung der konsultierten Expert:innen lediglich eine untergeordnete Rolle spielen. Dazu zählen Wegweisung und Beschilderung sowie die Sanierung der Oberfläche. Der Schluss, dass nur

strukturelle Verbesserungen neue Gruppen an Radfahrer:innen gewinnen können, ist vor diesem Hintergrund naheliegend. Sämtliche Maßnahmen scheinen sich den Rückmeldungen der befragten Expert:innen folgend sehr gut ins gesamte Verkehrssystem einzufügen. In ihrer Wirkung auf Konflikte mit weiteren Verkehrsteilnehmer:innen werden die Maßnahmenkategorien durchwegs eher negativ bewertet, wobei eine geringfügige Abweichung (also leicht höhere Werte) bei Maßnahmen zum Knotenpunktdesign feststellbar sind.

Die Analyse der Ergebnisse für die einzelnen Länder der DACH-Region ergibt sehr ähnliche Bilder. Wie auch in der Zusammenschau aller Daten werden Maßnahmen bei einer länderspezifischen Auswertung durch die Bank eher Wirkungen hinsichtlich Routenverlagerungen, denn in Bezug auf die Verkehrsmittelwahl zugesprochen. Besonders bemerkenswert ist die untergeordnete Wirkung des Neubaus von Radwegen auf die Reduktion von Autofahrten, die nur in Deutschland in dieser Form konstatiert wird. Diesem Befund stehen die Einschätzungen in Österreich, und etwas schwächer in der Schweiz, ein Stück weit entgegen, dass durch den Neubau von Radwegen der Anteil des Radverkehrs im Modal Split eher steigt. Merklich geringer als in Deutschland und Österreich wird in der Schweiz die verkehrliche Wirkung einer Belagssanierung eingeschätzt. Dies trifft sowohl auf die Routen- wie auch auf die Verkehrsmittelwahl zu.

Von allen Umfrageteilnehmer:innen hinterließen 95 insgesamt 188 Anhaltspunkte für entscheidende Ko-Faktoren, also Begleitumstände, die unabhängig von der Maßnahme sind, deren Wirkung aber beeinflussen. Die per Freitext hinterlegten Ko-Faktoren wurden kategorisiert und quantitativ ausgewertet. Mit großem Abstand werden **Wettereinflüsse** als entscheidend erachtet ($n = 47$). Danach folgen kollektive, das heißt **gesellschaftliche Normen und Werte** ($n = 27$). Darunter fallen Aspekte wie Umweltbewusstsein, Fahrradkultur, aber auch die Rücksichtnahme auf die verschiedenen Verkehrsteilnehmer. In etwa gleich häufig werden sämtliche Maßnahmen, die den motorisierten Verkehr betreffen, die allgemeine **Verkehrspolitik** – von entsprechenden Regelwerken bis zu verkehrspolitischen Prioritäten – und die **räumlichen Gegebenheiten** (Distanzen, Topographie etc.) ins Treffen geführt. Als weiterer Faktor mit über 10 Nennungen sind noch individuelle Normen, also **Wertehaltungen und Lebensstile**, zu beachten (Abbildung 10).

Diese Ergebnisse sind insofern von hoher Relevanz, als dass sich viele der Ko-Faktoren direkt oder indirekt beeinflussen lassen und beim Bau bzw. Ausbau von Radverkehrsanlagen mitberücksichtigt werden sollten. Beispielsweise wird aus den Antworten deutlich, dass die reine Attraktivierung des Radwegenetzes ohne begleitende Kommunikation, aber auch Maßnahmen zur Reduktion des motorisierten Verkehrs wenig Wirkung in Hinblick auf eine Verkehrsmittelverlagerung erzeugen wird.

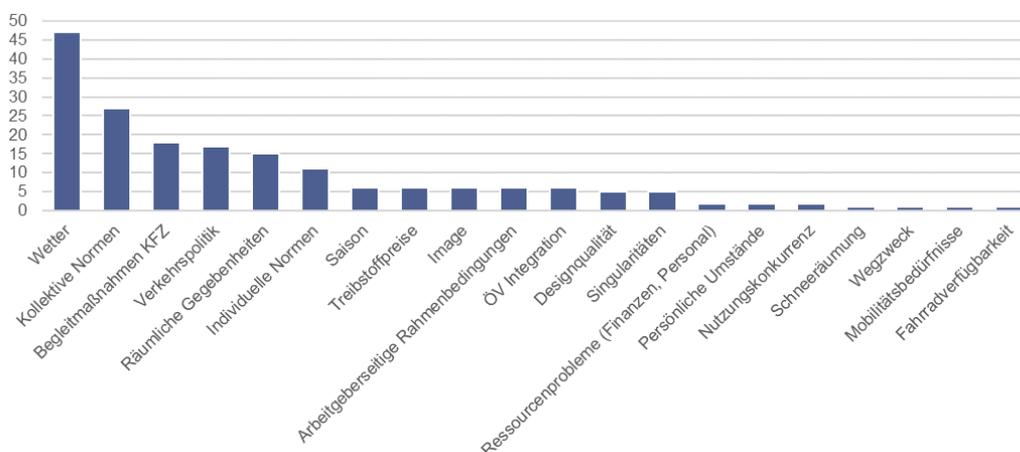


Abbildung 10: Auswertung der genannten Ko-Faktoren.

Die von den konsultierten Expert:innen genannten Ko-Faktoren zeigen deutlich, dass sämtliche Maßnahmen zum Ausbau und zur Ertüchtigung des Radwegenetzes in einen **Gesamtkontext** eingebettet werden müssen, um eine maximale Wirkung zu entfalten.

Die befragten Expert:innen wurden im letzten Teil des Fragebogens dazu aufgefordert, verschiedene Aspekte einer erfolgreichen Beispielmaßnahme aus ihrem Umfeld, sowie auch fehlgeschlagene Maßnahmen zu beleuchten. Auch hier wurde mit Freitextantworten gearbeitet, welche im Anschluss verschiedenen Kategorien zugeordnet und analysiert wurden. Dieser Fragebogen-Teil wurde insgesamt von 77 Fragebogenteilnehmer:innen beantwortet. Die Ergebnisse untermauern in großen Teilen die zuvor in den anderen Teilen des Fragebogens abgegebenen Meinungen und Einschätzungen.

Als Beispiele für erfolgreich durchgeführte Maßnahmen wurden vor allem der Neubau von Radwegen, die Umsetzung und Konzeption von Radverkehrskonzepten, die Errichtung von Fahrradstraßen, Radschnellverbindungen und Abstellmöglichkeiten – häufig in Bahnhofsnähe – genannt (Abbildung 11). Die dabei wahrgenommenen Herausforderungen waren vor allem der Zugriff auf Grundflächen, um die Maßnahmen umsetzen zu können, Auflagen des Naturschutzes, Kommunikation mit anderen Projektpartnern und die öffentliche Kritik an den Maßnahmen. Zwei wesentliche Argumente für den Aus- und Neubau von Radverkehrsanlagen waren einerseits die **Verkehrssicherheit** und andererseits das gezielte **Schließen von Lücken**, gerade auch zwischen Gemeinden.

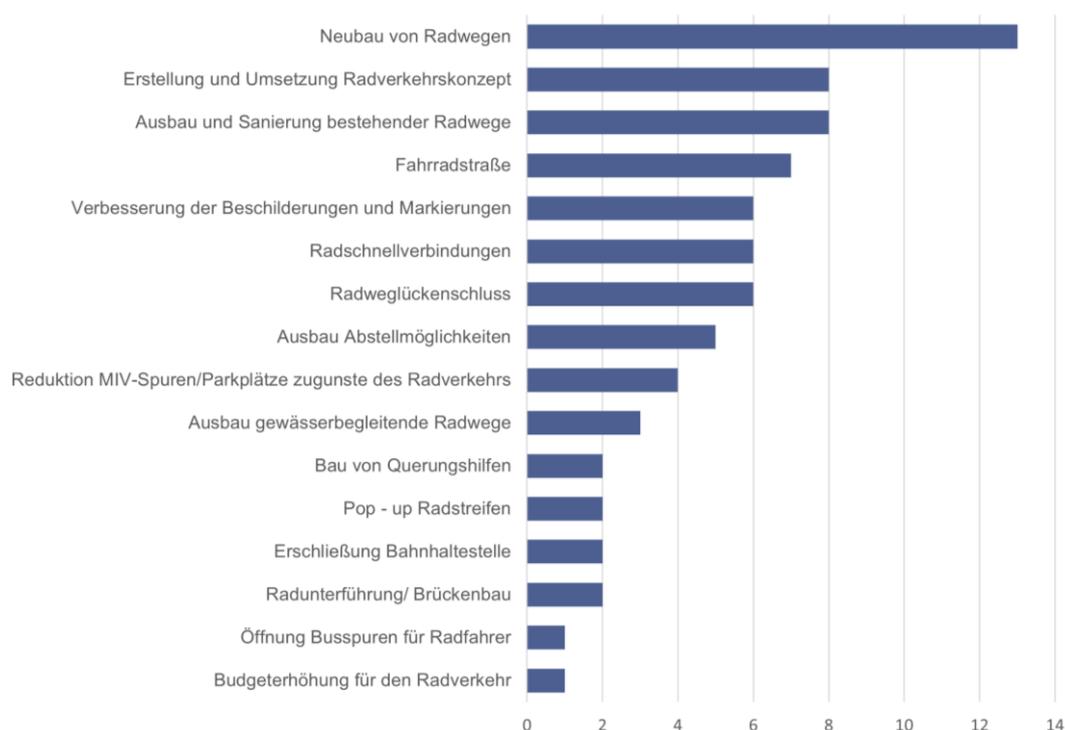


Abbildung 11: Kategorisierung der genannten Beispiele für erfolgreich umgesetzte Maßnahmen

Das Umfeld, in dem am häufigsten Maßnahmen umgesetzt wurden, war innerorts (n = 44). Dem folgend war die Umsetzung in einem ortsübergreifenden Umfeld (n = 23). Die Umsetzung von Maßnahmen außerorts (n = 4) sowie die regionale Maßnahmenumsetzungen (n = 3) wurden dementsprechend mit gro-

ßem Abstand seltener genannt. Dementsprechend finden die Maßnahmen entweder Umsetzung in besiedelten Gebieten oder sie schaffen gebietsübergreifenden Verbindungen zwischen einzelnen Gebieten, was sich mit den vorherigen Angaben zu Maßnahmentypen deckt.

Bei der Rückmeldung zu den näher beschriebenen Maßnahmen fällt auf, dass sehr häufig **keinerlei Begleitmaßnahmen** implementiert wurden. Wenn allerdings mit der eigentlichen Radverkehrsmaßnahme weitere Aktivitäten verbunden wurden, dann handelte es sich zumeist um verschiedene Kommunikationsformate (Medien, Informationstafeln bei Baustellen etc.) oder um partizipative Elemente während des Planungsprozesses (Abbildung 12).



Abbildung 12: Auswertung implementierte Begleitmaßnahmen

Die von den Expert:innen im Kontext der Beispielmaßnahme genannten Formen der Wirkungseinschätzungen der Maßnahmen decken sich mit den Rückmeldungen im allgemeinen Teil des Fragebogens zuvor. Hinsichtlich der Wirkung wurde insgesamt eine Verlagerung des Verkehrs hin zur vermehrten Radnutzung konstatiert, wobei hier zusätzlich zum Alltagsradverkehr auch der touristische beziehungsweise der Freizeitradverkehr herausgestellt wurde. Weitere wichtige Aspekte, die mehrfach genannt wurden, waren die Erhöhung von Komfort und Sicherheit, die Attraktivierung und Verbesserung der Infrastruktur und die Reduktion von Konfliktpotenzialen zwischen den verschiede-

nen Verkehrsteilnehmergruppen. Allerdings gab im Folgenden ein Teil der Befragten (n = 8) an, dass die genannten Maßnahmen noch nicht abgeschlossen seien, beziehungsweise deren Erfolg noch unklar sei. Außerdem machten sieben Befragte keine weiteren Angaben zu den von Ihnen genannten Maßnahmen.

Bei der Wirkungsfeststellung wurde die Rückmeldung von verschiedenen Personengruppen (Bevölkerung, Interessensgruppen, Politik, Presse), gezielte Konsultationen und die Eigenwahrnehmung als häufige Methoden zur Wirkungsfeststellung angeführt. Daneben kamen sowohl manuelle oder automatische Verkehrszählungen zum Einsatz (Abbildung 13).



Abbildung 13: Methoden zur Wirkungsfeststellung von Maßnahmen

Nur die Hälfte aller Personen, die weiterführende Angaben zu Beispielmaßnahmen machten, äußerte sich zu Misserfolgen. Hierbei stand die **mangelnde Nutzung der neuen bzw. verbesserten Infrastruktur** im Vordergrund. Als Gründe hierfür wurden die fehlende Integration in das bestehende Wegenetz und ein fehlendes Sicherheitsgefühl bei Radverkehrsanlagen genannt, wobei sich die Angaben zur fehlenden Sicherheit vor allem auf Schutzstreifen bezogen. Bei Abstellanlagen, die unter den Erwartungen bei der Nutzung blieben, wurde die hohe Preissensitivität der Nutzenden als Ursache ausgemacht. Unabhängig von der Ausführung der Radverkehrs- und Abstellanlagen monierten die konsultierten Expert:innen Schwierigkeiten in der internen und externen Kommunikation sowie in der Koordination über Fachabteilungen hinweg.

Insgesamt verdeutlichen die von den Expert:innen genannten Beispiele, dass einzelne Maßnahmen, die die Infrastruktur verbessern, zwar zu einer Veränderung der Nutzungsgewohnheiten führen können, diese jedoch auch in einem Rahmen umgesetzt werden müssen, der für die Zielgruppe transparent und verständlich ist. Zu einer ähnlichen Erkenntnis, wenn auch mit negativen Vorzeichen, führen die Angaben zu gescheiterten oder unter den Erwartungen gebliebenen Maßnahmen.

2.2 Literaturanalyse

In einer strukturierten, umfassenden Literaturanalyse wurden Studien zu Maßnahmen samt Wirkungsfeststellungen gesammelt und analysiert. Dabei wurden sowohl wissenschaftliche Studien, die in akademischen Zeitschriften veröffentlicht wurden, als auch Projektberichte und Dokumentationen (so genannte graue Literatur) von anerkannten Fachinstitutionen mit einbezogen. Um maximale Nützlichkeit, Transparenz und eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gewährleisten zu können, wurde für die Umsetzung der Literaturanalyse ein bewährtes Protokoll verwendet, entlang dessen der Inhalt, die Suchstrategie und die Datenerhebung definiert werden konnte.

2.2.1 Design der Literaturanalyse

Für das Design der Literaturanalyse wurde auf das **PRISMA Statement** (Page et al., 2021) als Protokoll zurückgegriffen, welches ursprünglich für medizinische Literatur- und Metaanalysen entwickelt wurde, jedoch auch im verkehrswissenschaftlichen Bereich vielfach verwendet wird. Von den 27 vorgesehenen Elementen des Protokolls (*items*) werden für den Zweck der systematischen Literaturanalyse im Rahmen von VERA 23 herangezogen. Im nachfolgend beschriebenen Design wird indirekt darauf referenziert. Eine vollständige Dokumentation gemäß PRISMA Protokoll liegt projektintern vor.

Das übergeordnete Ziel der Literaturanalyse ist die **Ableitung von Wirkungsbreiten verschiedener Maßnahmen** im Bereich der Radverkehrsinfrastruktur und die Sammlung von Ko-Faktoren, die sich auf die Effektstärke auswirken. Im Rahmen der Literaturanalyse werden die folgenden drei Hypothesen getestet bzw. die dahinterstehenden Fragestellungen adressiert:

1. Neue sowie ausgebaute Radverkehrsinfrastruktur erhöht den Anteil des Radverkehrs im Modal Split bzw. zieht neue Radfahrer:innen an.
2. Neue sowie ausgebaute Radverkehrsinfrastruktur zieht bestehende Radfahrer:innen an; es kommt zu einer Routenverlagerung.
3. Neue sowie ausgebaute Radverkehrsinfrastruktur führt eher zu einer Routenverlagerung, als dass neue Radfahrer:innen gewonnen werden.

Um diese Hypothesen zu testen, wurde eine Analyse der akademischen und grauen Literatur durchgeführt. In einer ersten Evaluierung vor der strukturierten Literaturanalyse zeigte sich, dass die zu erwartende Anzahl an Studien, die nach einem vergleichbaren Design durchgeführt wurden und die in kompatiblen Datensätzen resultierten, sehr gering sein würde. Folglich fokussierte die gegenständlichen Literaturanalyse nicht auf eine Meta-Analyse von Wirkungen und Effektstärken, sondern zielte auf die Darstellung von Bandbreiten und die Sammlung von Ko-Faktoren ab.

Für die Literaturanalyse wurden die folgenden Einschlusskriterien definiert:

- Von Experten begutachtete Journal-Artikel oder Konferenzbeiträge
- Relevante Projektberichte und Dokumentationen anerkannter Fachinstitutionen
- Veröffentlicht und zugänglich
- In deutscher und/oder englischer Sprache
- Zwischen 2000 und 2022 veröffentlicht
- Qualitatives, quantitatives oder Mixed-Methods-Studiendesign

Studien, die keine Angaben zur Effektgröße enthielten oder nur Informationen über die Wahrnehmung (und nicht über die tatsächliche Nutzung) von Infrastrukturänderungen enthielten, wurden von der Literaturanalyse ausgeschlossen.

Für die Literaturanalyse wurden drei verschiedene Datenbanken abgefragt, nämlich Google Scholar (über die Anwendung Harzing's Publish or Perish 8.8.4275.8412), PubMed und Web of Science (Clarivate). Graue Literatur wurde durch die Suche per Google Scholar abgedeckt. Google Scholar hat die Datenbanken von BASt (Bundesanstalt für Straßenwesen), ASTRA (Bundesamt für Straßen), FFG (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft)

und das Difu (Deutsches Institut für Urbanistik) Repository indiziert. Zudem ergänzten Expert:innen innerhalb des Konsortiums die Liste der berücksichtigten Literatur.

Für die Formulierung der Abfragen an die oben erwähnten Datenbanken wurden Suchbegriffe inklusive ihrer Synonyme definiert, die in weiterer Folge zu vier verschiedenen Konzepten kombiniert wurden (Tabelle 2).

Tabelle 2: Suchbegriffe in deutscher und englischer Sprache (links) samt den daraus abgeleiteten Such-konzepten (rechts).

Suchbegriffe in natürlicher Sprache (Schlüsselwörter und Synonyme)	Suchkonzepte
1) Fahrrad Fahrradfahren Fahrrad fahren Rad Radfahren Rad fahren Radverkehr	<ul style="list-style-type: none"> • Konzept 1 – Routenwahl: 1 & 2 & 3 & 6 • Konzept 2 – Verkehrsmittelwahl: 1 & 2 & 4 & 6 • Konzept 3 – Daten zu Routenwahl: 1 & 3 & 5 • Konzept 4 – Daten zur Verkehrsmittelwahl: 1 & 4 & 5
2) Infrastruktur Radverkehrsanlagen Radweg Radwegenetz Radroute Radnetz Fahrradweg	
3) Routenwahl Routenverlagerung Verlagerung	
4) Modal Split Modal Shift Verkehrsanteil Radverkehrsanteil Transportmittelwahl Verlagerung	
5) GPS GNSS Galileo Trajektorien Tracks Data Zählstelle Zählung	
6) Bau Verbesserung Lückenschluss Neubau Ausbau	
1) cycling cycle biking bike bicycling bicycle	
2) infrastructure facilities way lane path surface network	
3) route shift change of use attract route choice	
4) mode shift mode switch change of mode attract mode choice	
5) GPS GNSS Galileo trajectories tracks data counting	
6) build improve	

Die Syntax der Abfragen in den drei Datenbanken ist ähnlich. Je Konzept wurden die Abfragen entsprechend umgesetzt. Google Scholar wurde auch mit deutschsprachigen Abfragen abgefragt. Tabelle 3 zeigt beispielhaft die Abfrage von Konzept 2 in den drei Datenbanken.

Tabelle 3: Syntax der Abfragen je Datenbank für Konzept 2 als Beispiel. Im Fall von Google Scholar wurde der Zeitraum der Veröffentlichung in der verwendeten Applikation spezifiziert. Im Fall von PubMed und Web of Science wurden sämtliche Resultate berücksichtigt, bei Google Scholar lediglich die ersten 1.000 Resultate (sortiert nach dem Ranking).

PubMed	Google Scholar	Web of Science
("cycling"[All Fields] OR "cycle"[All Fields] OR "biking"[All Fields] OR "bike"[All Fields] OR "bicycling"[All Fields] OR "bicycle") AND ("infrastructure"[All Fields] OR "facilities"[All Fields] OR "way"[All Fields] OR "lane"[All Fields] OR "path"[All Fields] OR "surface"[All Fields] OR "network"[All Fields]) AND ("mode shift"[All Fields] OR "mode switch"[All Fields] OR "change of mode"[All Fields] OR "attract"[All Fields] OR "mode choice"[All Fields]) AND ("build"[All Fields] OR "improve"[All Fields]) AND 2000/01/01:2022/12/31[Date - Publication]	(cycling OR cycle OR biking OR bike OR bicycling OR bicycle) AND (infrastructure OR facilities OR way OR lane OR path OR surface OR network) AND (mode shift OR mode switch OR change of mode OR attract OR mode choice) AND (build OR improve) (Fahrrad OR Fahrradfahren OR Fahrrad fahren OR Rad OR Radfahren OR Rad fahren OR Radverkehr) AND (Infrastruktur OR Radverkehrsanlagen OR Radweg OR Radwegenetz OR Radroute OR Radnetz OR Fahrradweg) AND Modal Split OR Modal Shift OR Verkehrsanteil OR Radverkehrsanteil OR Transportmittelwahl OR Verlagerung) AND (Bau OR Verbesserung OR Lückenschluss OR Neubau OR Ausbau)	ALL=((cycling OR cycle OR biking OR bike OR bicycling OR bicycle) AND (infrastructure OR facilities OR way OR lane OR path OR surface OR network) AND (mode shift OR mode switch OR change of mode OR attract OR mode choice) AND (build OR improve)) AND PY=(2000-2022)

Für alle gesammelten Ergebnisse wurden die folgenden Metadaten festgehalten: Autoren, Titel, Jahr der Veröffentlichung, Medium, Abstract, ISSN, DOI, Link, Art der Veröffentlichung, Datenbank, Konzept und Sprache.

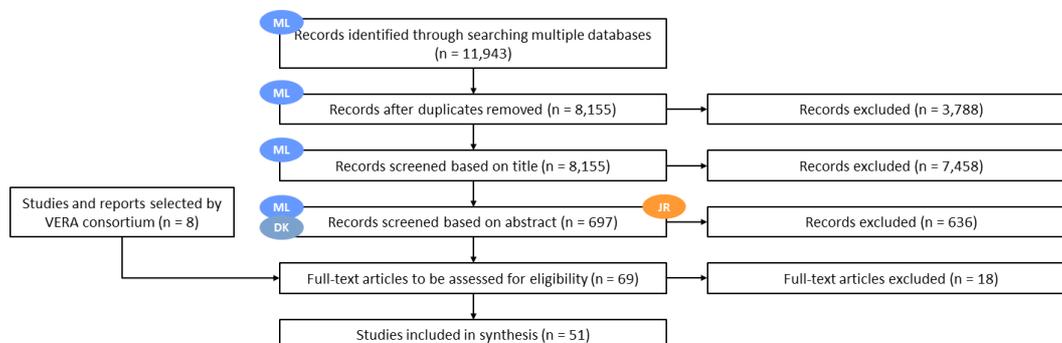


Abbildung 14: Systematische Literaturanalyse. Die Initialen stehen für die unabhängigen, involvierten Wissenschaftler:innen.

Der Ablauf der Literaturanalyse erfolgte gemäß PRISMA-Protokoll in mehreren Stufen. Sämtliche Ergebnisse aus den Abfragen der drei Datenbanken wurden gesammelt. Nach der Entfernung von Duplikaten wurden die Ergebnisse auf Basis des Titels vom Studienleiter aussortiert. Die verbliebenen Ergebnisse wurden per Zufallsgenerator auf zwei unabhängige Wissenschaftler:innen aufgeteilt, die auf Basis der Abstracts über die Berücksichtigung in der Analyse entschieden. Im Fall von divergierenden Bewertungen wurde eine weitere Person hinzugezogen. Die verbliebenen Studien wurden dann vollständig gelesen und evaluiert, um über die Berücksichtigung in der finalen Analyse zu entscheiden. Abbildung 14 gibt einen Überblick über den Ablauf und zeigt den Weg von 11.934 Ergebnissen zu den letztendlich **51 berücksichtigten Studien**.

Die eingeschlossenen Studien wurden entlang eines vordefinierten Schemas ausgewertet (Tabelle 4). Auf dieser Basis wurden dann in weiterer Folge die Charakteristik der Studien beschrieben und die Resultate abgeleitet.

Tabelle 4: Datenpunkte, die je Studie gesammelt wurden. Die Literaturanalyse bezieht sich primär auf englischsprachige Publikationen, weshalb für die Durchführung der Analyse englische Begrifflichkeiten verwendet wurden.

Datenpunkte	Merkmalsausprägungen
Type of intervention	<ul style="list-style-type: none"> ○ Newly built ○ Improving, extending existing ○ [Verbal description of intervention]
Metrics for measuring effects	<ul style="list-style-type: none"> ○ [List of all used metrics]
Methods for measuring effects	<ul style="list-style-type: none"> ○ [List of all methods]
Quantitative information of effect size	<ul style="list-style-type: none"> ○ [List of effect size]

Qualitative information of effect size	○ [List of effect size]
Types of supporting measures	○ [List of measures]
External co-factors	○ Weather ○ Seasonality ○ Topography ○ Other [List]
Study design	○ Use case report ○ Cross-sectional study ○ Longitudinal study ○ [List of other study designs]
Number of interventions	○ [List of numbers]
Types of subjects	Adults ○ Utilitarian cyclists, incl. commuter ○ Tourists ○ Sportive cyclists ○ Other Children ○ Utilitarian cyclists, incl. way to school ○ Tourists ○ Sportive cyclists ○ Other
Number of subjects	○ [List of numbers]
Study area	○ [List of study area] ○ Urban ○ Rural
Investigation period	○ [List of periods]
Bicycle type	○ eBike, pedelec ○ Conventional bicycle
Stated biases or limitations	○ [List of biases or limitations]

Nicht für alle Studien konnten alle Datenpunkte gesammelt werden und in manchen Fällen erforderte die Kategorisierung einen Abstraktionssprung. Sowohl die Art wie auch die Qualität der Studien erwiesen sich als höchst unterschiedlich. Durch die lückenlose Dokumentation, die im projektintern vorliegt, ist jedoch eine durchgängige **Rückverfolgbarkeit und Reproduzierbarkeit** der Ergebnisse gewährleistet.

2.2.2 Charakter der untersuchten Studien

Für die Literaturanalyse wurden Studien zwischen 2000 und 2022 berücksichtigt. Wie in Abbildung 15 deutlich zu sehen ist, stammt der Großteil der eingeschlossenen Studien aus der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums. Die akademische Beschäftigung mit der Wirkungsfeststellung von Maßnahmen zur Radverkehrsförderung korreliert mit dem Aufkommen entsprechender Strategiedokumente, wie beispielsweise dem Masterplan Radfahren, der in Österreich erstmals 2006 erstellt und 2011 überarbeitet wurde¹ oder dem Auftrag der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) zur Ausarbeitung eines Pan-Europäischen Masterplan für den Radverkehr im September 2016².

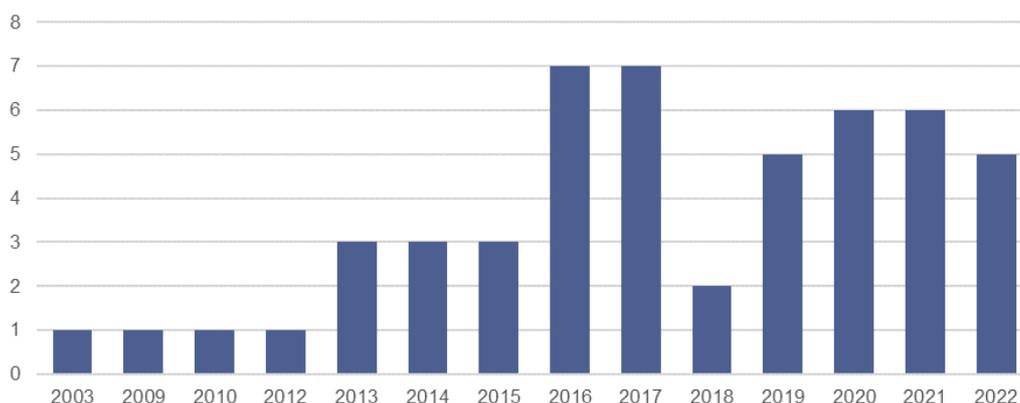


Abbildung 15: Publikationsjahr der berücksichtigten Studien.

Von den insgesamt 51 berücksichtigten Studien wurden 47 in begutachteten (*peer reviewed*) Fachjournalen veröffentlicht. Neben zwei Konferenzbeiträgen findet sich eine Studie aus der Grauen Literatur sowie eine akademische Qualifizierungsarbeit. Die Bandbreite der wissenschaftlichen Communities, die sich mit der Verlagerungswirkung von Radverkehrsanlagen im weiteren Sinn beschäftigen ist erstaunlich groß, wobei der Schwerpunkt in der **Verkehrswissenschaft**, **Geographie** und in den **Gesundheitswissenschaften** liegt. In neun Journalen wurden mehr als eine Studie zum untersuchten Thema veröf-

¹ https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/fuss_radverkehr/publikationen/masterplanradfahren.html [zuletzt abgerufen 07.10.2024]

² <https://unece.org/DAM/trans/doc/2016/wp5/ECE-TRANS-WP5-2016-04e.pdf> [zuletzt abgerufen 07.10.2024]

fentlicht. Das *Journal of Transport and Health* ist mit acht Studien das mit Abstand relevanteste. Das nächsthäufigste Journal, *Transport Research Part A – Policy and Practice*, veröffentlichte vier der berücksichtigten Studien (Abbildung 16).

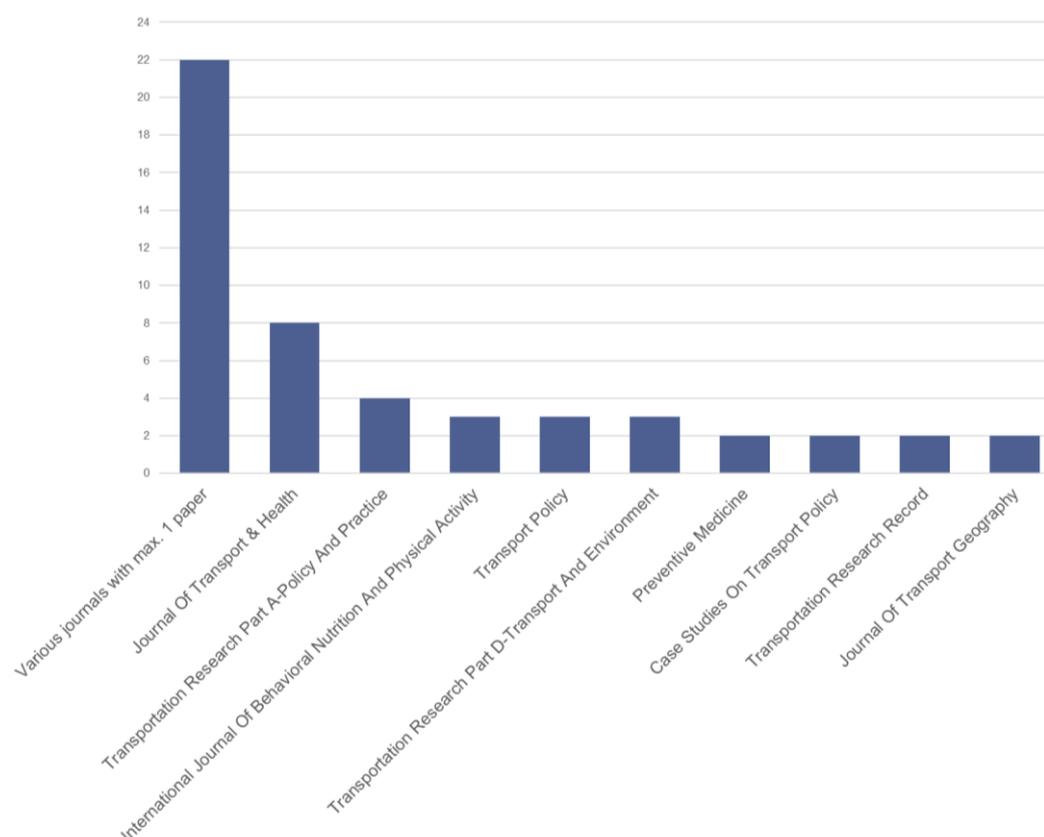


Abbildung 16: Fachzeitschriften in denen die berücksichtigten Studien veröffentlicht wurden.

Von den 51 eingeschlossenen Studien untersuchten 25 die Wirkung von neu gebauten Radverkehrsanlagen. 11 Studien widmeten sich der Wirkungsanalyse von Ausbau- und Erweiterungsmaßnahmen. Die restlichen 15 Studien untersuchten gesamtheitliche Ausbau- und Optimierungsstrategien (also Maßnahmenbündel), die Wirkung von Beschilderung oder den jeweiligen Stand der Studienlage (Review-Studien). Sämtliche Studien fanden im städtischen Umfeld statt oder es erfolgten – im Fall von Maßnahmenbündel – überregionale Analysen (bei 12% der Studien). Die überwiegende Anzahl der Studien behandelt Fälle in den USA (N = 12), in Großbritannien (N = 10), Kanada (N = 7) und

Australien (N = 7). **Europäische Studien sind in der Minderheit** (N = 9), wobei es lediglich aus Dänemark und den Niederlanden jeweils mehr als eine Studie gibt. Aus dem deutschsprachigen Raum liegt ein Fallbeispiel aus Hamburg vor (Gaffron & Waßmann-Krohn, 2020).

Das Design der Studien war unterschiedlich, wobei **Querschnittsstudien** mit zumindest zwei Erhebungen die Mehrzahl ausmachten. Nur neun der eingeschlossenen Artikel waren Längsstudien, die bedingt Aussagen über Kausalitäten zulassen. Insgesamt muss konstatiert werden, dass das Studiendesign in den meisten Fällen nicht mehr als die Berechnung von Korrelationen erlaubt, wodurch direkte Aussagen zur Wirkungszusammenhänge und -stärken schwierig sind.

Die Wirkungsdimensionen umfassten Radverkehrsvolumina, Wegehäufigkeit, Verkehrsmittelwahl sowie die Verkehrsmittelverlagerung, die nutzer:innenseitige Wahrnehmung, Reisezeit und -distanz, sowie Treibhausgasreduktionen (Tabelle 5). Einige Studien untersuchten mehrere Wirkungsdimensionen.

Tabelle 5: Wirkungsdimensionen und die jeweils verwendeten Messmethoden.

Anzahl der Studien	Wirkungsdimension	Messmethode
16	Radverkehrsvolumen (punktbasiert)	Stationäre Zählstelle (N = 12) GPS-Tracking (N = 2) Manuelle Zählung (N = 2)
12	Häufigkeit von Wegen per Fahrrad	Umfragen (N = 6) Repräsentative Mobilitätserhebung (N = 2) Mobilitätstagebuch (N = 1) Metaanalyse (N = 1) Zensusdaten (N = 1) Beschleunigungssensor (N = 1)
11	Radverkehrsanteil	Repräsentative Mobilitätserhebung (N = 4) Zensusdaten (N = 3) Umfragen (N = 2) Mobilitätstagebuch (N = 1) Daten aus Radverleihsystem + Modellberechnung (N = 1)
6	Verkehrsmittelverlagerung	Umfragen (N = 4) Mobilitätstagebuch (N = 1) Metaanalyse (N = 1)

Anzahl der Studien	Wirkungsdimension	Messmethode
6	Wahrnehmung	Umfragen (N = 3) Beobachtung + Umfrage (N = 1) Qualitative Interviews (N = 1) Qualitative Interviews + Videoanalyse (N = 1)
4	Radverkehrsvolumen (segmentbasiert)	GPS-Tracking (N = 3) Videoanalyse (N = 1)
3	Unfälle	Unfalldatenbank (N = 2) Zensusdaten (N = 1)
3	Reisedistanz	GPS-Tracking (N = 2) Umfragen (N = 1)
3	Reisezeit	Beschleunigungssensor (N = 1) Daten aus Radverleihsystem (N = 1) Umfragen (N = 1)
3	Treibhausgasreduktion	Modellberechnung (N = 2) Repräsentative Mobilitätsbefragung (N = 1)

2.2.3 Resultate aus Literaturanalyse

Die festgestellte Variabilität der Ergebnisse in den einzelnen Dimensionen ist erheblich. Es gibt große Unterschiede in den konstatierten Wachstums- bzw. Reduktionsraten. Für diese Bandbreite können zumindest zwei Ursachen festgehalten werden. Erstens wurden die meisten Studien in einem natürlichen Umfeld mit einer großen Anzahl nicht kontrollierbarer Variablen umgesetzt (*naturalistic studies*). Zweitens war die Ausgangssituation in den Studien mitunter höchst unterschiedlich. Dadurch ergeben sich mitunter enorme relative Veränderungen (Basiseffekt). Dies traf insbesondere für Studiengebiete zu, die einen sehr niedrigen oder nicht existenten Radverkehrsanteil vor Implementierung der Maßnahme aufwiesen.

Bezogen auf die einzelnen Wirkungsdimensionen lassen sich folgende Ergebnisse aus der untersuchten Literatur ableiten:

Radverkehrsvolumina: Die Feststellung der Änderung des Radverkehrsaufkommens ist in den meisten Studien die naheliegende Form der Wirkungsfeststellung. Folglich bedienen sich zahlreiche Studien dieser Kenngröße. Die temporäre Einrichtung von Radverkehrsanlagen während der COVID-19-Pandemie

in Vancouver, Kanada führte in zu einer Zunahme des Volumens von 84% bis 99,4% (Fischer et al., 2022). Niedriger liegen die von Kraus & Koch (2021) ebenfalls zu temporären Einrichtungen während der Pandemie berechneten Daten, nämlich zwischen 11% und 48%. Eine Studie aus Omaha, USA untersuchte die Wirkung von konsistenter Beschilderung von Radrouten. Als Datenbasis werden Strava-Daten (Trajektorien) verwendet. Die Wirkungen werden mithilfe von Machine-Learning-Algorithmen modelliert. Auf diese Weise wird eine Steigerung des Radverkehrsaufkommens von 56% berechnet (Al-Ramini et al., 2022). Der Neubau eines separaten Radweges in Brisbane, Australien führte zu einer durchschnittlichen Zunahme des Radverkehrsaufkommens von 69% (Heesch et al., 2016). Eine weitere Studie zum gleichen Projekt wies nach, dass es vor allem zu einer Routenverlagerung kam. 52,4% der Nutzer:innen kamen alleine von einer Hauptstraße, die zuvor benutzt wurde (Heesch & Langdon, 2016). Der Neubau einer Radverkehrsanlage in Sydney führte zu einer Zunahme des Radverkehrsaufkommens im Maßnahmenumfeld von 23% bis 97% (Rissel et al., 2015). Für ein konkretes Projekt in Hamburg wurde eine richtungsabhängige Zunahme von 52% in die eine und 196% in die andere Richtung festgestellt (Gaffron & Waßmann-Krohn, 2020). Der Ausbau eines bestehenden Radwegenetzes durch eine Adaption von Markierung und Verkehrsführung führte in Eugene, Oregon, USA zu einer Zunahme des Radverkehrsaufkommens zwischen 53,6% und 96,9% auf stündlicher Basis, wobei die Ausgangsgröße bei 50-175 Radfahrer:innen pro Stunde lag. Die Messungen wurden kamerabasiert und richtungsabhängig durchgeführt (Barnes & Schlossberg, 2013). Ähnliche Zahlen werden aus Kopenhagen nach Ausbau eines bestehenden Cycle Highways berichtet. Das Radverkehrsaufkommen wuchs – ebenfalls in stündlicher Auflösung gemessen – zwischen 33% und 73% (Skov-Petersen et al., 2017). In Gelderland, Niederlande wurde eine durchschnittliche Zunahme des Radverkehrsvolumens nach dem Bau einer Fahrrad-schnellverbindung von 39,8% modelliert (van der Horst, 2021). Für Singapur wird eine durchschnittliche Zunahme von 28% bei Ausbau einer Verbindung berichtet (Zhou et al., 2020). Der Neubau eines Super Cycle Highways in London führte zu einer Zunahme des gemessenen Volumens von durchschnittlich 27,1% (Li et al., 2018). Die vergleichende Analyse von Maßnahmen in Dänemark und den Niederlanden weist Zunahmen des Radverkehrsvolumens zwischen 8% und 140% aus (van Goeverden et al., 2015). Der Neubau von Rad-

verkehrsanlagen in Paris und Lyon führte zu einer Zunahme des Radverkehrsaufkommens von 24,5% bis 34,5% (Xiao et al., 2022). In einer landesweiten Analyse in Großbritannien wurde eine durchschnittliche Steigerung des Radverkehrsaufkommens im Umfeld der Maßnahme von 51,8% festgestellt (Le Gouais et al., 2021). Bei einer Untersuchung von mehreren Maßnahmen in London fanden die Autoren Zunahmen des Radverkehrsaufkommens zwischen 29,2% und 97,10% (Martin et al., 2021). Für Glasgow lagen die Werte zwischen 12% und 18%, gemessen auf Basis von Strava-Daten (Hong et al., 2020). Bei einer städteweiten Analyse in Lissabon stellten die Autoren eine 3,5fach höhere Zahl an Radfahr:innen innerhalb eines Jahres nach Ausbau der Radinfrastruktur fest; wobei die festgestellte Veränderung auf manuellen Zählraten an ausgewählten Stellen beruht (Félix et al., 2020). Dem gegenüber steht eine sehr umfassende Studie aus Salt Lake City, in der die Autoren nach Implementation eines so genannten „Complete Street“-Programms keine signifikante Änderung beim Radverkehrsaufkommen feststellen konnten (Brown et al., 2016).

Die Bandbreiten der Änderung des Radverkehrsaufkommens sind groß. In ihrer Review-Studie weisen Mölenberg et al. (2019) einen Medianwert von 62% aus.

Verkehrsmittelwahl und Verkehrsmittelverlagerung: Die Verkehrsmittelwahl bzw. die Verlagerung auf das Fahrrad sind nur schwer mit einzelnen Maßnahmen direkt in Verbindung zu bringen. Insofern müssen die Ergebnisse von Studien dazu stets im konkreten Kontext eingeordnet werden. In ihrer Längsstudie untersuchten Goodman et al. (2013) die Wirkung mehrerer Maßnahmen in England. Dabei stellten sie eine Veränderung des Radverkehrsanteils um 16,7% fest, wobei der Anteil des Radverkehrs am Modalsplit vor den Maßnahmenumsetzungen bei lediglich 5,81% lag. Henao et al. (2015) berechneten auf Basis von 20 Jahre umfassenden Zeitreihen für Boulder, Colorado, USA, dass mit jedem 10-Millionen-Dollar-Investment der Anteil am Gesamtverkehrsaufkommens des nichtmotorisierten Verkehrs um einen Prozentpunkt erhöht werden kann. Auf Basis von Längsdaten aus der Minneapolis-St. Paul Region, Minnesota, USA zwischen 1990 und 2000 berechneten Krizek et al. (2009) eine relative Zunahme des Radverkehrsanteils von 52% bis 73%. Allerdings beziehen sich diese Änderungen auf geringe Modal Share Werte von unter 4%. Eine 4 Jahre umfassende Untersuchung von Schulwegdaten und der Implementierung von Maßnahmen zur Schulwegsicherheit in Eugene, Oregon, USA weist eine Steigerung des Radverkehrsanteils um 11% aus (McDonald et al., 2013).

Durch das Schließen von Lücken in bestehenden Radwegenetzen in New Plymouth und Hastings in Neuseeland konnte ein Anstieg des Anteils von Radfahrer:innen und Fußgänger:innen von bis zu 37% festgestellt werden (Chapman et al., 2018). In einer Querschnittsstudie in Toronto, Kanada gaben 38% der Radfahrer:innen an, aufgrund der Neugestaltung der Radinfrastruktur aufs Fahrrad umgestiegen zu sein (Mitra et al., 2017). In einer Studie aus Sydney, Australien lag der Wert bei 40% (Standen et al., 2017), in einer aus Chicago, USA bei 11% (Thakuria et al., 2012). In einer stadtweiten Betrachtung diverser Maßnahmen berechneten Zahabi et al. (2016) einen Verlagerungseffekt von durchschnittlich 3,7%, wobei die Lage und Entfernung zur Maßnahme eine Rolle spielte. Eine ausführliche Untersuchung mehrerer Maßnahmen im Zusammenhang mit einem Cycle Highway in Kopenhagen legt eine durchschnittliche Verlagerungswirkung von 6% nahe (Skov-Petersen et al., 2017). 10% neue Radfahrer:innen wiesen Heesch et al. (2016) bei einem ähnlichen Projekt in Brisbane, Australien nach. Heinen et al. (2017) berechneten für die Verlagerung einer neuen Radverbindung eine Größenordnung von 8% bis 16%. In einer methodisch innovativen Studie wies Pritchard et al. (2019) für Oslo eine Steigerung der Radverkehrsanteils durch den Neubau einer attraktiven Radverbindung um 4,7% nach. Vergleichbare, aufgrund des bereits hohen Radverkehrsanteils gering anmutende Werte von 3,4% bis 7,5% liegen für Odense, Dänemark und Delft, Niederlande vor (Yang et al., 2010).

In ihrer Meta-Studie errechnen Mölenberg et al. (2019) einen Median für die Zunahme des Radverkehrsanteils durch Fördermaßnahmen von 23%, wobei die Bandbreite von -21% bis 262% reicht. Die 2% bis 11% Verlagerung, die aus einer vergleichenden Studie aus Dänemark und den Niederlanden vorliegen (van Goeverden et al., 2015), sind darunter angesiedelt.

Wegehäufigkeit: Eine Zunahme der Wegehäufigkeit wurde fast ausschließlich bei neu gebauten Radverkehrsanlagen festgestellt. Wieder ist eine große Spannweite der Daten festzustellen. Der Durchschnittswert für die Zunahme der Häufigkeit eines Weges, der mit dem Fahrrad zurückgelegt wird von Chowdhury & Costello (2016) für Auckland, Neuseeland ist mit 9% am niedrigsten. Der höchste Wert stammt mit 251% von Frank et al. (2021) aus Vancouver, in deren Studie der Effekt des Baus einer großen Radverbindung untersucht wurde. Dazwischen liegen Werte von 25% aus der Analyse der Wirkungen der Maßnahmen des LCN+ Programs, des Radverkehrsplans für London (Deegan,

2016) und 73,2%, die Li et al. (2018) aus den Daten des Radverleihsystems Londons nach dem Bau eines Super Cycle Highways in London berechneten.

Routenverlagerung: Die Feststellung einer Routenverlagerung ist hinsichtlich der erforderlichen Daten herausfordernd, da die Verteilung der Radverkehrsflüsse im Netz bekannt sein muss. Von den eingeschlossenen Studien, die die Routenverlagerung von Maßnahmen untersuchten, verwendete allerdings nur eine Studie Trajektorien Daten des Anbieters Strava (Heesch & Langdon, 2016). In einer Untersuchung einer neuen Schnellverbindung (Brisbane bikeway) wiesen die Autoren nach, dass 52,4% der Nutzer:innen der neuen Verbindung zuvor über eine alternative Brücke fuhren. Skov-Petersen et al. (2017) verwendeten für die Untersuchung der Routenverlagerung Daten von stationären Zählstellen sowie Umfragedaten. Die Untersuchung einer ausgebauten Radverbindung in Kopenhagen, Dänemark ergab eine mittlere Verlagerung von 61% der Nutzer:innen von anderen Verbindungen. Eine Befragung von Radfahrer:innen auf einer ausgebauten Verbindung in Toronto, Kanada ergab, dass 45% zuvor andere Verbindungen nutzen (Mitra et al., 2017). Einen ähnlichen Wert, nämlich 48%, berichten Standen et al. (2017) aus Sydney, Australien; ebenfalls basierend auf Befragungsdaten. Insgesamt kann auf Basis der berücksichtigten Studien davon ausgegangen werden, dass zumindest die Hälfte der gezählten Nutzer:innen von ausgebauten Radverkehrsanlagen schon zuvor im Umfeld unterwegs waren und es sich um kleinräumige Routenverlagerungseffekte handelt.

Reisezeit und -distanz: Die umfangreichste Untersuchung zur Wirkung von Radverkehrsanlagen auf die Reisezeit und -distanz stammt aus Großbritannien. Song et al. (2017) analysierten die Wirkung von Maßnahmen unter anderem in Cardiff, Kenilworth und Southampton. Sie stellten Reisezeitverkürzungen zwischen 0,43 und 1,8 Minuten je Weg, der mit dem Fahrrad zurückgelegt wurde, fest. Bei der Distanz kam es in einem Jahr zu einer Zunahme von 0,25 Meilen (0,4 km) und im darauffolgenden Jahr zu einer Abnahme von 0,21 Meilen (0,34 km) je Weg; also insgesamt zu marginalen Effekten. Auf Basis von Betriebsdaten aus dem Londoner Fahrradverleihsystem leiteten Li et al. (2018) eine durchschnittliche Reduktion der Reisezeit von 11% nach dem Bau des „London Cycle Superhighways“ ab. In einer methodisch anspruchsvollen Studie auf Basis von Trajektorien Daten aus Strava wiesen Garber et al. (2022) einen

Effekt von mehreren Baumaßnahmen in Atlanta, USA von 4% mehr Wegdistanz nach.

Nutzer:innenseitige Wahrnehmung der Sicherheit: Zwei der eingeschlossenen Studien untersuchten die Wirkung von Maßnahmen auf die wahrgenommene Sicherheit als Radfahrer:in. In der norwegischen Kleinstadt Levanger äußerten 69% der befragten 153 Nutzer:innen ein höheres Sicherheitsempfinden nach der Markierung von Sharrows (Vasilev et al., 2017). Bei einer ähnlich großen Stichprobe in Singapur gaben 70% der befragten Radfahrer:innen an, sich sicher zu fühlen; vor dem Ausbau des Radwegenetzes im untersuchten Bezirk lag dieser Wert bei 59% (Zhou et al., 2020).

Treibhausgasreduktionen: Brand et al. (2014) führten Mobilitätserhebungen bei über 1.800 Anwohner:innen von Maßnahmen in Großbritannien durch und konnten durch den Bau von hochwertiger Radverkehrsinfrastruktur nur eine insignifikante Treibhausgasreduktion von 1,5 bis 1,6 kgCO₂ pro Person und Woche nachweisen. Ebenfalls keine signifikante Reduktion stellten Gaffron & Waßmann-Krohn (2020) in ihrer Untersuchung der Sanierung der Liebigstraße in Hamburg fest. Einzig Zahabi et al. (2016) zeigten, dass durch eine 7%ige Zunahme der Länge des Radwegenetzes eine Reduktion von Treibhausgasen um 2% induziert werden konnte.

2.2.4 Synthese aus der Literaturanalyse

Die quantitativen Analysen wurden in Variablen geteilt, die eine Zu- bzw. Abnahme aufgrund der Interventionen aufweisen (siehe Abbildung 17). Bei Variablen mit negativen Effekten (Abnahme) handelt es sich um die Reisezeit, Unfällen und CO₂-Emissionen.

Für den **Anteil des Radverkehrs** (manchmal in Kombination mit dem Fußverkehr) am Gesamtverkehrsaufkommen liegt die Zunahme über alle Maßnahmenkategorien hinweg **zwischen 2% und 37%** mit einem Median von 16,7% (Chapman et al., 2018, Goodman et al., 2013, Henao et al., 2015, Hosford et al., 2019, Krizek et al., 2009, McDonald et al., 2013, Mölenberg et al., 2019, Pritchard et al., 2019, Yang et al., 2010, Zahabi et al., 2016).

Studien, die die **Verkehrsmittelverlagerung** untersuchten, weisen Werte **zwischen 6% und 40%** in Richtung Radverkehr aus, wobei der Median bei 11%

liegt (Heesch et al., 2016, Heinen et al., 2017, Mitra et al., 2017, Skov-Petersen et al., 2017, Standen et al., 2017, van Goeverden et al., 2015).

Die **Anzahl an Wegen**, die mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, nimmt den Studien nach **zwischen 9% und 73,2%** mit einem Medianwert von 32% zu (Chowdhury & Costello, 2016, Deegan, 2016, Li et al., 2018, Rissel et al., 2015); der Wert von 251% (Frank et al., 2021) ist ein signifikanter Ausreißer.

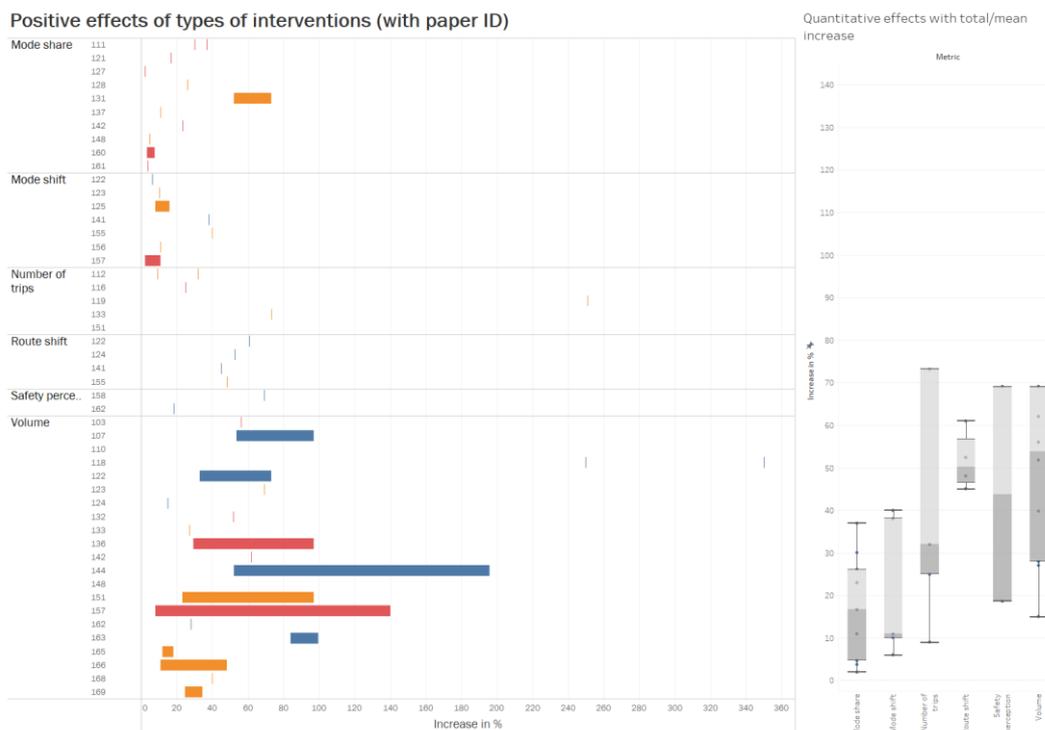


Abbildung 17: Positive Effekte von Interventionstypen in sechs Dimensionen mit der ID der Studien. Die Box-Plots zeigen den Median und die jeweils große Bandbreite.

Anders als bei den restlichen Variablen weisen die Studien beim Anteil der **Routenverlagerungen** recht ähnliche Werte aus. Diese liegen **zwischen 45% und 61%** mit einem Median von 50,2% (Heesch & Langdon, 2016, Mitra et al., 2017, Skov-Petersen et al., 2017, Standen et al., 2017).

Für das **Radverkehrsaufkommen** werden Zunahmen **zwischen 15% und 69%** (Median 53,9%) festgestellt (Al-Ramini et al., 2022, Barnes & Schlossberg, 2013, Brown et al., 2016, Fischer et al., 2022, Gaffron & Waßmann-Krohn, 2020, Heesch et al., 2016, Heesch & Langdon, 2016, Hong et al., 2020, Kraus

& Koch, 2021, Le Gouais et al., 2021, Li et al., 2018, Martin et al., 2021, Mölenberg et al., 2019, Pritchard et al., 2019, Rissel et al., 2015, Skov-Petersen et al., 2017, van Goeverden et al., 2015, van der Horst, 2021, Xiao et al., 2022, Zhou et al., 2020), wobei es eine Studie mit zwei Ausreißern mit Zunahmen von 250% bzw. 350% gibt (Félix et al., 2020).

Aus den lediglich zwei Studien zu **Wahrnehmung der Sicherheit** lässt sich eine Verbesserung ebendieser **zwischen 18,6% und 69%** festhalten (Vasilev et al., 2017, Zhou et al., 2020).

Eine Studie berichtet von einer **Reduktion der CO₂-Emissionen** um **2%** (Zahabi et al., 2016). Zwei Studien aus Nordamerika weisen eine rückläufige **Anzahl an Unfällen** von **-70% und -75%** nach (Ling et al., 2020, Ragland et al., 2014). Eine Publikationen berichtet von einer **Reisezeitreduktion** von **-11%** (Li et al., 2018).

Die Analyse einzelner Maßnahmentypen ergab, dass keine Studie Anhaltspunkte für eine Änderung des Modal Splits aufgrund der Verbesserung bestehender Radverkehrsanlagen beinhaltet. Allerdings deuten zwei Studien (Mitra et al., 2017, Skov-Petersen et al., 2017) Verlagerungseffekte in Richtung Fahrrad an, was sich – wenn die Anzahl der Wege insgesamt unverändert angenommen wird – in einen entsprechend höheren Radverkehrsanteil übersetzen lassen könnte. Effekte auf den Modal Split haben der Neubau von Radverkehrsanlagen und umfassende Maßnahmenbündel. Es konnte kein Nachweis gefunden werden, dass der Ausbau von Radverkehrsanlagen Auswirkungen auf die Anzahl der Wege per Fahrrad hätte; allerdings auf die Routenverlagerung und auf das Sicherheitsempfinden. Studien, die auf eine Zunahme des Radverkehrsaufkommens deuten, behandeln alle möglichen Arten von Interventionen.

Von den Studien, die in dieser Literaturanalyse berücksichtigt wurden, lassen sich keine Nachweise für einen direkten kausalen Zusammenhang zwischen Interventionen im Wegenetz und etwaigen Wirkungen finden. Allerdings zeigen die erhobenen Daten eindeutige Korrelationen zwischen verschiedenen Typen von Maßnahmen und Wirkungen in diversen Dimensionen. Bezugnehmend auf die eingangs formulierten Hypothesen kann folgendes festgehalten werden:

Ad 1) Es findet sich kein Nachweis eines direkten Zusammenhangs zwischen Radverkehrsanteil am Gesamtverkehrsaufkommen und inkrementellen Verbesserungen durch Einzelmaßnahmen. Vier Studien zeigen positive Wirkungen von neu gebauter Infrastruktur auf den Radverkehrsanteil (Heesch et al., 2016, Heinen et al., 2017, Standen et al., 2017, Thakuria et al., 2012). Darüber hinaus führen umfassende Interventionen (Maßnahmenbündel) zu höheren Radverkehrsanteilen (van Goeverden et al., 2015). Zwei Review-Studien zeigen eine positive Korrelation zwischen dem Radverkehrsanteil und groß angelegten Maßnahmen (Mölenberg et al., 2019, Zhou et al., 2020). Die Zunahme des Radverkehrs aufgrund des Aus- oder Neubaus von Radverkehrsanlagen wird vielfach gezeigt, wobei die hohen relativen Änderungen häufig auf die kleine Grundgesamtheit zurückzuführen sind (Basiseffekt). Insgesamt zeigt aber die überwiegende Mehrheit der Studien, die das Radverkehrsaufkommen untersuchten, einen **positiven Effekt von Maßnahmen auf das Radverkehrsaufkommen**. Im Hinblick auf den Modalsplit kann sich diese Entwicklung positiv manifestieren, wenn begleitend restriktive Maßnahmen für den motorisierten Individualverkehr implementiert werden.

Ad 2) Vier Studien liefern **Evidenz für Routenverlagerungseffekte**. Drei dieser Studien weisen diese Wirkung bei Ausbauprojekten bestehender Radverkehrsanlagen nach (Heesch & Langdon, 2016, Mitra et al., 2017, Skov-Petersen et al., 2017), während eine Studie (Standen et al., 2017) dies für eine Neuanlage tut.

Ad 3) Drei Studien halten Daten sowohl zur Verkehrsmittel- als auch zur Routenverlagerung bereit (Mitra et al., 2017, Skov-Petersen et al., 2017, Standen et al., 2017). Alle drei Fälle unterstützen die Hypothese, dass es **eher zu Routen- als zu Verkehrsmittelverlagerungseffekten** kommt.

Insgesamt kann die Sicherheit der Evidenz nicht quantitativ festgestellt werden. 21 Studien beinhalten Hinweise zu Unsicherheiten; allerdings keine davon quantitativ ausgedrückt. Aus den Diskussionen der Unsicherheiten lassen sich drei Fehlertypen zusammenfassen: Rekrutierungs- und Auswahlfehler bei Studien mit Probanden (*recruitment and selection biases*), kleine Stichproben und hohe Ausfallsquoten bei Studien mit Probanden, sowie fehlende Daten und fehlerhafte Messungen.

2.3 Wirkungsmatrix

Aus der Analyse der wissenschaftlichen Literatur konnten die Wirkungszusammenhänge der Konsultation der Expert:innen bestätigt werden. Allerdings war es nicht möglich aus den analysierten Studien einheitliche Effektgrößen abzuleiten. Dafür waren – wie dargestellt – die Studien zu unterschiedlich. Aus diesem Grund wurden für die Erstellung der Wirkungsmatrix die angegebenen Effektgrößen aus der webbasierten Umfrage herangezogen und in einem weiteren Schritt mit einer Gruppe von Expert:innen kritisch evaluiert.

2.3.1 Erstellung der Wirkungsmatrix

Für die Erstellung der Wirkungsmatrix wurden die Daten von 169 Expert:innen zu den relevantesten Maßnahmenkategorien und den jeweiligen Wirkungen in zehn vorgegebenen Dimensionen herangezogen (siehe Abbildung 8). Aus der Kombination von Rangfolge der Maßnahmenkategorien und Stärke der Wirkung lässt sich eine Matrix ableiten, welche die Größenordnung der Effekte gemäß der Einschätzung der konsultierten Expert:innen erlaubt. Zu beachten gilt, dass die Wirkungsstärken nicht je Maßnahme einzeln abgefragt wurden, sondern sich jeweils auf die fünf bedeutendsten Maßnahmen beziehen. Die Erstellung der Wirkungsmatrix erfolgte in drei Schritten:

Schritt 1: Relevanz der einzelnen Maßnahmen

Definiere $Q = N \times (5 - \bar{R})$, wobei N die Anzahl der Nennungen und \bar{R} der durchschnittliche Rang sind.

Klassifiziere Q in Quintile (fünf gleich große Gruppen)

$$\text{Relevanz } (Q) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } Q \leq Q_1 \\ 2 & \text{wenn } Q_1 < Q \leq Q_2 \\ 3 & \text{wenn } Q_2 < Q \leq Q_3 \\ 4 & \text{wenn } Q_3 < Q \leq Q_4 \\ 5 & \text{wenn } Q > Q_5 \end{cases}$$

Schritt 2: Stärke der Wirkung

Sei E die angegebenen Effektgröße je Dimension, klassifiziere E in Quintile (fünf gleich große Gruppen)

$$Wirkungsstärke (E) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } E \leq E_1 \\ 2 & \text{wenn } E_1 < E \leq E_2 \\ 3 & \text{wenn } E_2 < E \leq E_3 \\ 4 & \text{wenn } E_3 < E \leq E_4 \\ 5 & \text{wenn } E > E_5 \end{cases}$$

Schritt 3: Maßzahl Wirkungsmatrix

Sei $M = \text{Relevanz } (Q) \times \text{Wirkungsstärke } (E)$ die Maßzahl der Wirkungsmatrix

Die resultierende Wirkungsmatrix stellt die erwähnten Maßnahmenkategorien in der Reihenfolge ihres durchschnittlichen Ranges sowie die Stärke der Wirkung in den zehn abgefragten Dimensionen dar (Abbildung 18).

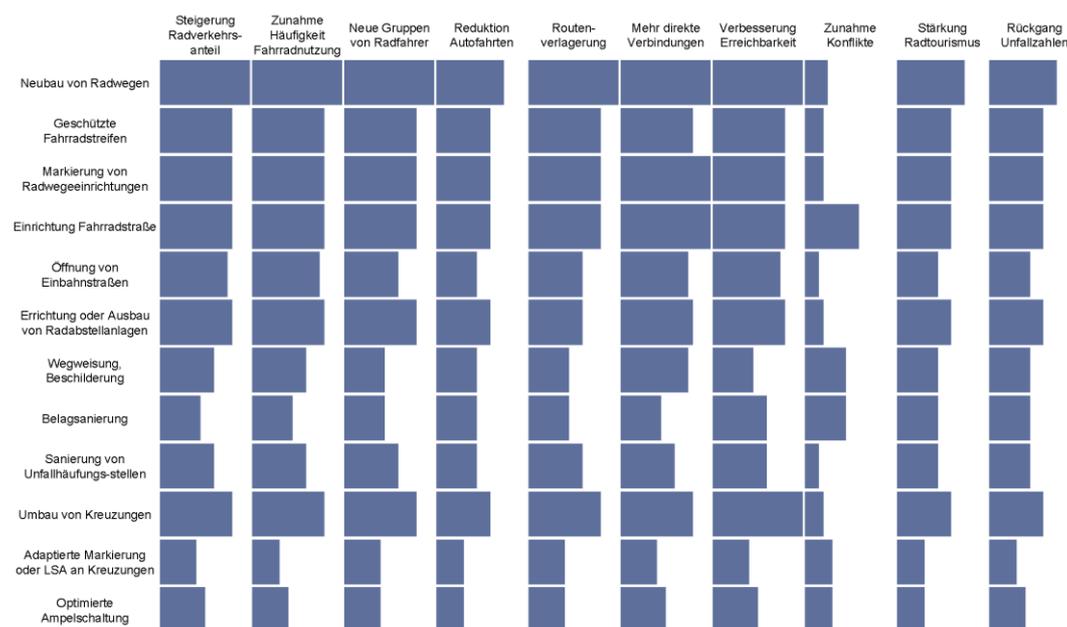


Abbildung 18: Resultierende Wirkungsmatrix aus den Rückmeldungen der Expert:innen, die per Online-Umfrage konsultiert wurden.

Die Belastbarkeit der Wirkungsmatrix hängt maßgeblich von der Anzahl der Nennungen und der Reihung der Maßnahme ab. Für jede Maßnahmenkategorie wurden deshalb die Anzahl der Nennungen in der Umfrage, sowie der durchschnittliche Rang erhoben. Mit großem Abstand wird dem **Neubau von Radwegen die größte Wirkungsstärke** zugesprochen. Die wenigsten Nennungen

und den durchschnittlich niedrigsten Rang verzeichnet die Maßnahmenkategorie der Adaptierung von Markierungen oder Lichtsignalanlagen an Kreuzungen. Die Details sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Häufigkeit der Nennungen und durchschnittlicher Rang in der Priorisierung der Maßnahmenkategorien nach ihrer Wirkungsstärke.

Maßnahmenkategorie	Anzahl der Nennungen	Durchschnittlicher Rang
Neubau von Radwegen	137	1,56
Geschützte Fahrradstreifen	75	2,65
Markierung von Radwegeeinrichtungen	70	3,43
Einrichtung Fahrradstraße	72	2,9
Öffnung von Einbahnstraßen	52	3,4
Errichtung oder Ausbau von Radabstellanlagen	82	3,72
Wegweisung, Beschilderung	36	3,58
Belagssanierung	35	3,34
Sanierung von Unfallhäufungsstellen	59	3,41
Umbau von Kreuzungen	80	3,07
Optimierte Ampelschaltung	28	3,89
Adaptierte Markierung oder LSA an Kreuzungen	19	4

Die Wirkungsmatrix fand Eingang in den Leitfaden. Sie unterstützt die Wirkungsabschätzung, wenn keine strukturierten Vorher-/Nachher-Messdaten bei Maßnahmenimplementierungen vorliegen.

2.3.2 Reflektion mit Expert:innen

Die Plausibilität der Wirkungsmatrix wurde in einem Workshop am 18. Jänner 2024 mit insgesamt fünf Vertreter:innen zweier Gebietskörperschaften (Stadt und Land Salzburg) evaluiert. Alle Expert:innen sind in der Radverkehrsplanung und der Umsetzung von Maßnahmen auf Landes- bzw. Stadtebene tätig. Die Evaluierung wurde anhand von fünf Leitfragen durchgeführt, nämlich:

- 1) Sind die Ergebnisse aus der Expert:innenbefragung nachvollziehbar?
- 2) Welche bedeutenden Maßnahmen oder Wirkungen fehlen?

- 3) Deckt sich die Wirkungsmatrix mit den eigenen Erfahrungen? Wo gibt es Abweichungen?
- 4) Wie werden Wirkungen im eigenen Verantwortungsbereich festgestellt?
- 5) Wie wichtig ist die Feststellung von Wirkungen für die eigene Arbeit und deren etwaigen Rechtfertigung?

Insgesamt wurde die Plausibilität und der Nutzen der Wirkungsmatrix bestätigt bzw. als sehr hoch eingeschätzt. Nachdem die Planung und Implementierung von Radverkehrsmaßnahmen stets in Konkurrenz zu weiteren Maßnahmen steht und insgesamt häufig nur nachrangig beachtet wird, erwarteten sich die Expert:innen eine belastbare Argumentationsgrundlage für interne Diskussionen bzw. Ressourcenallokationen.

Im Detail lassen sich die Rückmeldungen wie folgt zusammenfassen:

Ad 1) Laut den Rückmeldungen könnte es sich lohnen, die Reduktion des Autoverkehrs zu differenzieren und die Nähe zur Maßnahme zu berücksichtigen. Beispielsweise wird der Öffnung von Einbahnstraßen im unmittelbaren Umfeld, u.a. aufgrund der besseren Erreichbarkeit lokaler Ziele, höhere Wirkung attestiert. Auch Fahrradstraßen hätten vor allem eine lokale Wirksamkeit. Die Wirkungen von Abstellanlagen wird gemäß den Expert:innen überschätzt. Die Zunahme von Konflikten bei der Errichtung von Fahrradstraßen wird als plausibel, aber bemerkenswert eingeschätzt, da diese Wirkung entgegen den Ansprüchen an eine Fahrradstraße steht.

Ad 2) Weitere Maßnahmenkategorien, denen eine substanzielle Wirkung von den Expert:innen zugeschrieben wird, die jedoch in der Liste der untersuchten Maßnahmen fehlen sind: Einführung von flächendeckendem Tempo-30km/h, Verbesserung der Beleuchtung, Einfärben von Asphaltteilen und die Einrichtung von Begegnungszonen.

Ad 3) Es wird angemerkt, dass die Qualität und die Begleitumstände einer Maßnahme von Bedeutung hinsichtlich der Wirkung sind. Besonders wird auf die notwendige Durchgängigkeit von linearer Fahrradinfrastruktur (Vermeiden von Systembrüchen) hingewiesen. Die Öffnung von Einbahnen wird nicht bedingungslos als positiv erachtet, da die subjektive Sicherheit mancher Radfahrer:innen durch die Fahrerlaubnis entgegen dem Autoverkehr beeinträchtigt

wird. Die Wirkung von Maßnahmen kann bei Konzentration auf den touristischen Radverkehr zum Teil signifikant abweichen. Für den touristischen Radverkehr werden die Beschilderung und die Ausstattung der Zielorte mit e-Ladinfrastruktur und sicheren (absperrbaren) Abstellanlagen als ungleich wichtiger als für den Alltagsverkehr eingeschätzt.

Ad 4) In der Stadt Salzburg erfolgen nur punktuelle Vorher-Erhebungen an Knotenpunkten per Kamerasystemen. Bei Landesradwegen werden 2 Wochen im Vorfeld und 2 Wochen nach Implementierung einer Maßnahme per Seitenradar die Radverkehrszahlen erhoben. Die Nachher-Messung wird 4 Jahre lang wiederholt.

Ad 5) Die Messungen bei Projekten des Landes Salzburg erfolgen aufgrund der Erfordernisse bei der Akquise von Fördermitteln. In der Stadt Salzburg werden die Messdaten als Grundlage für Behördenverfahren, für Amtsberichte und zur Kategorisierung von Maßnahmen (Prioritätenliste) verwendet. In beiden Fällen werden Daten aus Messungen für interne, fachliche Diskussionen als hilfreich erachtet.

3 Empirische Analyse von Wirkungszusammenhängen

Um die Wirkungsstärke von Radverkehrsmaßnahmen zu ermitteln, wurde neben der Literaturrecherche auch eine empirische Analyse durchgeführt. Dafür wurden Informationen zu Radverkehrsmaßnahmen im gesamten DACH-Raum gesammelt, deren Wirkung auf zwei Ebenen analysiert werden sollte:

- **Mesoskopische Ebene** – Wirkung der Maßnahme auf die Routenwahl im Umfeld der Maßnahme
- **Mikroskopische Ebene** – Wirkung der Maßnahmen auf das Radverkehrsaufkommen am unmittelbaren Ort der Maßnahme

Bei der Wahl geeigneter Methoden wurden die Kriterien berücksichtigt, die schon in Abschnitt 1.2 formuliert wurden. Darüber hinaus sollten konfundierende Faktoren, die teilweise bereits bekannt waren (z. B. unterschiedliche Anzahl der Probanden zwischen den Messzeitpunkten) oder unbekannt blieben (z. B. gesellschaftliche Veränderungen), so weit wie möglich berücksichtigt und ausgeschlossen werden. Diese Ziele sollten mit möglichst einfachen Berechnungsansätzen verfolgt werden. Analysen mit klassischen Vier-Stufen-Modellen stellten folglich keine Option dar.

Neben den beiden oben genannten Wirkungsebenen war initial auch eine Ermittlung der Maßnahmeneffekte auf die Verkehrsnachfrage im ganzen Stadtgebiet angedacht. Primäres Ziel dieser Auswerteebene war die Abschätzung der Verkehrsverlagerung durch eine Maßnahme. Da der Einfluss einer einzigen Maßnahme auf einen stadtweiten Modal-Split insgesamt gering ist, sind die Anforderungen an die Input-Daten sowie an die Modelle entsprechend hoch. Ein klassisches Vier-Stufen-Modell wäre Voraussetzung und damit auch die Erhebung von Strukturdaten sowie Verkehrsdaten für alle Modi. Dieser Ansatz wäre nicht nur in Konflikt mit den Projektzielen, sondern auch der dessen Laufzeit gestanden. Die makroskopische Auswerteebene wurde in der empirischen Analyse folglich nicht berücksichtigt.

3.1 Datenerhebung

Die Wirkung von Radverkehrsmaßnahmen auf mikroskopischer und mesoskopischer Ebene konnte dafür mit etablierten Methoden analysiert werden. Die

Auswertungen stützen sich auf existierende Nachfragedaten aus Trajektorien-daten („GPS-Datensätze“), die in partizipativen Erhebungsformaten gewonnen wurden. Eine Erhebung von Radverkehrsnachfragedaten war für dieses Projekt somit nicht erforderlich. Notwendig war hingegen die gezielte Sammlung von Radverkehrsmaßnahmen, da kaum öffentlich verfügbare Datensätze in ausreichender Beschaffenheit existierten. Die Beschreibung von implementierten Maßnahmen wurden durch Konsultation von zuständigen Radverkehrsplaner:innen gewonnen. Darüber hinaus wurden weitere Sekundärdaten erhoben, mit denen die Randbedingungen beschrieben werden konnten. Im nachfolgenden werden die verschiedenen Datensätze und ihre Erhebung beschrieben.

3.1.1 Radverkehrsnachfragedaten

Als Datengrundlage für die Radverkehrsnachfrage dienen bereits existierende GPS-Datensätze von Radfahrenden aus Crowdsourcing-Kampagnen, die je nach Land in unterschiedlichen Kontexten erhoben wurden. Trajektorien-daten von Radfahrenden liefern präzise flächenhafte Informationen zur Umlegung der Verkehrsnachfrage und sind punktuellen Zählungen in ihrer Informationsdichte damit überlegen, repräsentieren allerdings nur eine Stichprobe. In den vergangenen Jahren wurden GPS-Daten in Forschungsarbeiten genutzt, um bspw. die Wirkung von Radverkehrsmaßnahmen zu evaluieren (Hong et al., 2020) oder das Routenwahlverhalten von Radfahrenden zu untersuchen (Huber, 2022). In dem Zuge wurde auch mehrfach deren Repräsentativität bestätigt (Hong et al., 2020, Boss et al., 2018).

Tabelle 7: GPS-Datensätze zur Radverkehrsnachfrage

	Österreich	Schweiz	Deutschland
Kampagne	Österreich radelt zur Arbeit https://www.radelt.at/arbeit	Strava https://metro.strava.com/	Stadtradeln https://www.stadtradeln.de/home
Erhebungsinstrument	Smartphone (GPS)	Smartphone (GPS)	Smartphone (GPS)
Untersuchungsraum	Wien	Zürich	Deutschland
Zeitliche Abdeckung	2013 – 2016	2019 – 2023	2018 – 2020, 2022 und 2023
Erhebungszeitraum	Ganzjährig	Ganzjährig	3 Wochen (Zeitraum je nach Kommune)

Zeitliche Aggregation	Monatlich	Monatlich	Jährlich
Map-Matching	OpenStreet Maps	OpenStreet Maps	OpenStreet Maps

Die Daten lagen in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung, variierender räumlicher Abdeckung und unterschiedlichen Stichprobengrößen vor. Tabelle 7 fasst die Datensätze zusammen.

Die Radverkehrsdaten für Deutschland wurden im Zug der landesweit jährlich stattfindenden Kampagne *Stadtradeln* erhoben. Über drei Wochen konnten Radfahrende einer Kommunen ihre Radfahrten per Smartphone aufzeichnen. Der Kampagnenzeitraum konnte von den Kommunen frei zwischen Mai und September gewählt werden. Die Daten standen für ganz Deutschland in aggregierter Form mit OpenStreetMaps (OSM) als Netzgrundlage für die Jahre 2018 – 2023 (ausgenommen 2021) zur Verfügung. Da die Stichprobe der Datenjahre 2018 und 2019 ungenügend war, wurden nur Daten ab 2020 in die Auswertung aufgenommen. Es wurden alle mit dem Rad befahrbaren Kanten in einem Radius von 2,5 km um die untersuchten Maßnahmen einbezogen.

Nachfragedaten für Österreich entsprangen der Kampagne *Österreich radelt zur Arbeit*. Zur Teilnahme konnten juristische Personen des öffentlichen Rechts (also Kommunen, aber auch Vereine und Betriebe) aufrufen und die Kampagne bewerben. Die Kampagne lief ganzjährig und wurde im Mai/Juni gesondert beworben. Daten lagen für die Jahre 2013 – 2016 für das ganze Land als Rohdaten vor und wurden auf das OSM-Netz gematcht. Eine ausreichend große Stichprobe existierte nur für Wien, weswegen sich der ausgewertete Datensatz für Österreich schlussendlich nur auf Wien beschränkte.

Als Datenquelle für die Schweiz wurden Daten von Strava Metro bezogen. Strava ist im Gegensatz zu beiden anderen Erhebungen proprietär und fokussiert auf die Aufzeichnung sportlicher Aktivitäten. Häufig wird moniert, dass Männer und Freizeitfahrten in den Datensätzen überrepräsentiert seien. Allerdings gibt es auch Studien, die repräsentative Aussagen über das Verhalten aller Radfahrenden auf Basis von Strava-Daten für möglich halten (Boss et al., 2018). Fahrten für die Schweiz waren für das ganze Land für die Jahre 2019 bis 2023 in aggregierter Form mit OSM als Netzgrundlage verfügbar, durften aber nur für einen Bereich von 1 km um die untersuchten Maßnahmen ausgewertet werden. Die Daten lagen in 24h-Auflösung vor und wurden schließlich

zur Harmonisierung der Datensätze zu Monats- bzw. Jahresintervallen aggregiert.

3.1.2 Daten zu Radverkehrsmaßnahmen

Die Daten zu Radverkehrsmaßnahmen wurden mit einer Online-Befragung erhoben, die an Radverkehrsplanende gerichtet war und per Schneeballsystem gestreut wurde. Ergänzt wurde diese durch Recherchen von verfügbaren Datensätzen in öffentlich zugänglichen Portalen.

Für die Wahl der zu erhebenden Maßnahmenparameter wurden unter anderem die Ergebnisse aus der Analyse der wissenschaftlichen Literatur verwendet. Folgende Informationen wurden zu allen Maßnahmen jeweils erhoben:

- Maßnahme (Name/Arbeitstitel)
- Straßename
- Abschnitt (Beginn und Ende)
- Art der Maßnahme
- Status der Umsetzung
- Beginn der Umsetzung
- Datum der Fertigstellung
- Projektkosten
- Anmerkungen (Freitextfeld)

Für die Untersuchung von Maßnahmen wurde in einem ersten Schritt die ganze DACH-Region in Betracht gezogen. In Deutschland wurden die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), der deutsche Städte- und Gemeindebund (DStGB), das Deutsche Institut für Urbanistik (Difu), Zusammenschlüsse von kommunalen Arbeitsgemeinschaften, das Klimabündnis und das Mobilitätsforum BUND um die Weiterleitung der Befragung gebeten. Außerdem wurden die Radverkehrskoordinator:innen der zwanzig größten deutschen Städte direkt kontaktiert sowie online nach bereits existierenden Datensätzen recherchiert. Da für Österreich Trajektoriendaten lediglich für die Stadt Wien vorlagen, wurden auch nur hier Maßnahmen erhoben. Diese stellte die Interessensvertretung Radlobby Österreich zur Verfügung. Bei den Daten handelt es sich um weiterverarbeitete und ergänzte Daten der Stadt Wien. In der Schweiz wurden gezielt Vertreter:innen der meisten deutschsprachigen Kantone, größerer Städte in der

Deutschschweiz sowie von Interessensvertretungen kontaktiert. Für die Rekrutierung in den italienisch- und französischsprachigen Landesteilen wurde der Fragebogen entsprechend übersetzt und an Radverkehrsplaner:innen ausgesendet.

Die Weiterleitung und der Rücklauf der Formulare verliefen insbesondere in Deutschland wenig erfolgreich. Hier leiteten nur vier der kontaktierten Instanzen den Fragebogen weiter. In Summe bestand der Rücklauf aus nur fünf Städten, wodurch dort nur 13 Maßnahmen gesammelt werden konnte. Die Recherche offener Datensätze führte nur in wenigen Fällen zu einsetzbaren Ergebnissen. Eine Ausnahme in Deutschland stellte die Stadt Berlin dar, die einen entsprechenden Datensatz veröffentlicht hat³, aus dem der Großteil der Stichprobe entnommen werden konnte. Der Rücklauf aus der Schweiz war von größerem Erfolg gekrönt. Hier gingen insgesamt sieben Bögen und 26 Maßnahmen ein. Für Österreich bzw. Wien wurden insgesamt 62 Maßnahmen erhoben.

Die Zuordnung der erhobenen Maßnahmen zu fünf vordefinierten Maßnahmenkategorien erfolgte durch Expert:innen aus dem Projektteam:

- Neubau von Radwegen
- Markierung von Radwegeeinrichtungen
- Ausbau des Radwegenetzes
- Belagssanierung
- Öffnung von Einbahnstraßen

Teilweise fehlte der Baubeginn bei den erhobenen Maßnahmen, der mit der mittleren Bauzeit aller anderen Maßnahmen berechnet wurde. Die Maßnahmen wurden basierend auf den Angaben im Formular georeferenziert respektive auf das Netz gematcht. Die räumliche Verteilung der Maßnahmen in der DACH-Region ist in Abbildung 19 ersichtlich.

³ <https://www.infravelo.de/karte/> [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

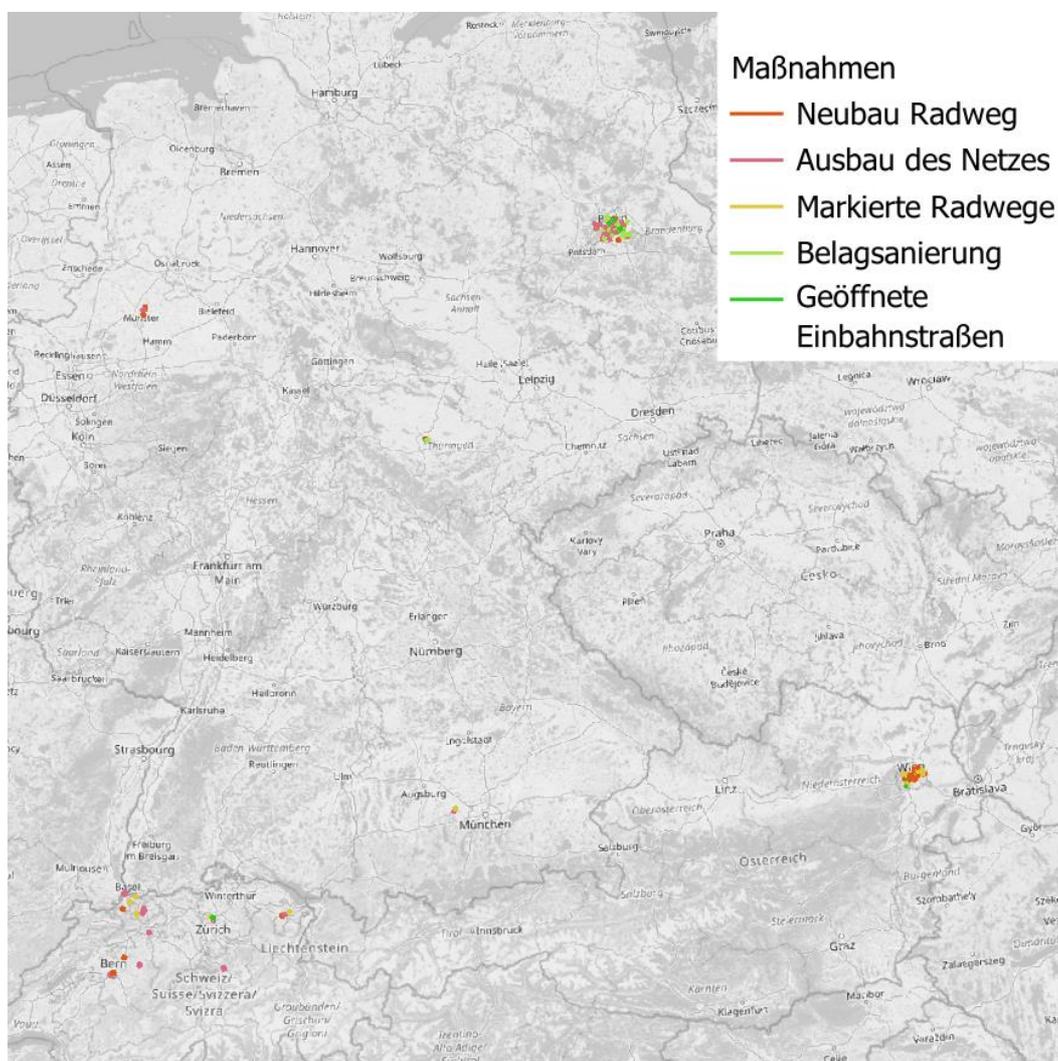


Abbildung 19: Lage der erhobenen Radverkehrsmaßnahmen im DACH-Raum

Wie in Tabelle 8 ersichtlich, wurden in Deutschland insgesamt 130 Maßnahmen erhoben. Der Großteil davon entfiel dabei auf die Stadt Berlin ($n = 117$), daneben befanden sich im Datensatz unter anderem auch Maßnahmen der Stadt Münster, Erfurt und Fürstentfeldbruck. Der Datensatz ist also in hohem Maße durch Maßnahmen im großstädtischen Raum geprägt. Am häufigsten wurden hier die Kategorien Ausbau, Markierung und Belagssanierung umgesetzt. Aus den erhobenen Maßnahmen für der Schweiz wurden 21 ausgewertet, wovon der größte Teil in Basel umgesetzt wurde. Bei etwa der Hälfte der Maßnahmen handelte es sich um Ausbauten des Radverkehrsnetzes. In der Stichprobe befand sich keine Belagssanierung und nur eine geöffnete Einbahnstraße. Unter

den 62 in Wien umgesetzten Maßnahmen waren keine Belagssanierungen enthalten und keine Maßnahmen, die dezidiert dem Ausbau des Radverkehrsnetzes gewidmet waren. Am häufigsten waren Neubauten vertreten.

Alle der erhobenen Maßnahmen lagen innerorts. Im Mittel waren die Maßnahmen 554,1 m lang, wobei 50% der Maßnahmen kürzer als 294,3 m lang waren. Markierungen von Radverkehrsanlagen waren hinsichtlich ihrer Länge am umfangreichsten, während die Einbahnstraßen, die für den Radverkehr geöffnet wurden, verhältnismäßig kurz waren.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Maßnahmen-Stichprobe

Maßnahmenkategorie	Deutschland	Schweiz	Österreich	\bar{X} [m]	\tilde{x} [m]
Neubau	10	4	26	572,4	342,9
Ausbau des Radwegenetzes	40	10	0	534,7	217,7
Markierung von Radverkehrsanlagen	33	6	22	843,6	520,7
Belagssanierung	35	0	0	726,6	367,0
Öffnung von Einbahnstraßen	12	1	14	197,5	149,0
Summe	130	21	62	554,1	294,3

3.1.3 Sekundärdaten

Für die Attribuierung der Infrastruktur wurde ebenfalls die existierende Literatur zum Einfluss von Radverkehrsmaßnahmen auf die Radverkehrsstärke sowie zur Routenwahl von Radfahrer:innen nach wichtigen Faktoren untersucht. Basierend auf dieser Recherche wurde eine Auswahl an Attributen getroffen, die für die Analyse erhoben werden sollten (siehe Tabelle 9). Ziel war eine Datenerhebung nach dem *one-fits-all*-Prinzip anstelle einer zeitaufwändigen Recherche von ortsspezifischen Datensätzen. Die OSM-Datensätze waren hinsichtlich Verfügbarkeit, räumlicher Abdeckung, Vollständigkeit und Qualität hierfür am besten geeignet. Ergänzt wurde der Datensatz um Zensus-Daten und Datensätze zu den Gebietsgrenzen.

Die Zusammenführung der Daten wurde wo möglich (Österreich und Schweiz) über OSM-IDs durchgeführt. Für den deutschen Nachfragedatensatz war eine

Veredelung der Daten mit einer räumlichen Vereinigung (*spatial join*) notwendig, die mit QGIS durchgeführt wurde. Die Berechnung der Gradienten basierend auf den digitalen Geländemodellen erfolgte mit dem R-Package *raster*⁴.

Tabelle 9: Übersicht über die, in der Analyse verwendeten Daten

Variablen Kategorien	Variable	Quelle
Infrastruktur	Straßenkategorie	OSM
	Steigung	Gadm.org
	Landuse (Anteil je Kante)	OSM
	Brücke (ja/nein)	OSM
	Zulässige Höchstgeschwindigkeit	OSM
Demographie	Bevölkerungszahl/Stadt	geo.admin.ch Esri Deutschland
	Gesamtzählwert/Stadt/Zeitraum	-
Räumliche Bezugseinheit	Postleitzahl	Wien.gv.at geo.admin.ch Esri Deutschland
	Stadt	Wien.gv.at geo.admin.ch Esri Deutschland
	Osm_id	OSM

3.2 Analysemethodik

Im Zuge einer explorativen Literaturrecherche wurden rezente Studien mit vergleichbaren Randbedingungen im Themenfeld hinsichtlich ihrer Analysemethodik verglichen. Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse dieser Recherche.

Tabelle 10: Überblick über eine Auswahl existierender Forschungsarbeiten und deren Analyse-methode

Studie	Forschungsfrage	Auswerteebene	Datenbasis	Analyse-methode
--------	-----------------	---------------	------------	-----------------

⁴ <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html> [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

Al-Ramini et al. (2022)	Quantifizierung der Veränderung von Radverkehrsmengen	Mikroskopisch	Strava	ITS
Boss et al. (2018)	Räumliche Veränderung von Radverkehrsströmen	Mesoskopisch	Strava	Clusteranalyse (Local Morans I)
Fischer et al. (2022)	Einfluss von COVID auf die räumliche Verteilung von Radfahrten	Mesoskopisch	Strava	Clusteranalyse (Getis Ord G*)
Hong et al. (2020)	Einfluss von vier Einflussfaktoren auf die Radverkehrsmengen	Mesoskopisch (Verkehrsmenge je Gegend)	Strava	DID (Poisson fixed effects)
Kraus & Koch (2021)	Einfluss von PUB auf Verkehrsmengen	Mikroskopisch	Zählstellen	DID (Poisson fixed effects regression)
Pritchard et al. (2019)	Einfluss und Verlagerungspotenzial einer Radverkehrsmaßnahme	Mikro- und mesoskopisch	Eigene Zählungen, GPS-Tracker, Befragung	t-tests (Modal Split) DID (lineare Regression) Deskriptiv (Routenwahl)
van der Horst (2021)	Einfluss von Rad-schnellverbindungen auf Verkehrsmengen	Mikroskopisch	Zählstellen	DID (Poisson/Negativ binomiale fixed effects)
Xiao et al. (2022)	Einfluss neuer Infrastruktur auf Radverkehrsmengen	Mikroskopisch	Dauerzählstellen	ITS (segmented regression)

Nahezu alle der Arbeiten der in Tabelle 10 aufgelisteten Stichprobe agierten auf der mikroskopischen Ebene. Auswertungen auf dieser Ebene basieren fast immer auf dem Differenz-von-Differenzen-Ansatz (*Difference-in-Differences, DID*), nur Al-Ramini et al. (2022) und Xiao et al. (2022) arbeiteten mit einer unterbrochenen Zeitreihenanalyse (*Interrupted Time Series, ITS*). Nur wenige Arbeiten existieren, die auf mesoskopischer Ebene die Veränderung von gewählten Routen untersuchten.

3.2.1 Mikroskopische Ebene

Analog zu einigen bereits existierenden Projekten wurde für VERA unter Berücksichtigung der vorliegenden Daten ein DID-Ansatz gewählt. Bei diesem

werden Trends der abhängigen Variable (Verkehrsstärke) zwischen den Erhebungszeitpunkten und den verschiedenen Netzkanten in Abhängigkeit von den durchgeführten Maßnahmen verglichen. Die Effektstärke einer Intervention wird dabei anhand der Differenz zwischen den Trends ermittelt. Adaptiert wurde der Ansatz mit einem Direct-Demand-Modell, bei dem die Verkehrsstärke direkt als abhängige Variable in einem Modell geschätzt wird. Diese Modellart wird häufig zur Schätzung von Verkehrsstärken in radverkehrsbezogenen Studien genutzt (Tao et al., 2024). Im Vergleich zu klassischen Vier-Stufen-Modelle sind weniger Daten nötig und die Berechnungs- und Spezifikationsaufwände sind geringer, allerdings sind Direct-Demand-Modelle weniger präzise als etablierte Verkehrsmodelle (Munira & Sener, 2017). Aufgrund des nicht-experimentellen Charakters der Daten und der damit verbundenen Störfaktoren wurden statistische Regressionsmodelle verwendet, die durch die Integration sogenannter fixierter Effekte (Fixed Effects) unbeobachtete Effekte und konfundierende Faktoren kontrollieren. Um die Schätzgenauigkeit zu erhöhen und die Randbedingungen besser einordnen zu können, wurden Unterschiede zwischen den Infrastrukturen durch weitere erklärende Variablen beschrieben.

Die aus der Literatur abgeleitete Methodik wurde schließlich technisch umgesetzt und in einer Testumgebung ausgiebig geprüft. Als Testumgebung diente die Stadt Berlin, da hier eine besonders umfangreiche Stichprobe hinsichtlich der Radverkehrsdaten und der Maßnahmendaten vorlag. In einem vorbereitenden Schritt wurden die benötigten Daten bezogen, die Zusammenführung der Datensätze im Geoinformationssystem QGIS erarbeitet und die statistische Auswertung mit der Programmiersprache R aufgesetzt. Die Modellergebnisse erwiesen sich je nach Spezifikation und Stichprobe als sehr volatil, weswegen für den gesamten Datensatz besonderer Fokus auf die Spezifikation gelegt wurde. Für diese wurde eine Reihe von verschiedenen Fixed Effects für verschiedenen Datensätze getestet und das Modell schließlich unter Berücksichtigung des AIC (Akaike-Information-Criterion) sowie des BIC (Bayesian-Information-Criterion) iterativ bestückt.

Das finale Modell berücksichtigt mehrere Fixed Effects und wurde mit synthetischen Daten auf seine Sensitivität geprüft. Die Modellberechnung wurde mit

dem R-Package *fixest*⁵ durchgeführt. Für die erhobenen und ausgewerteten Datensätze wurde es jeweils mit dem R-Package *overdisp*⁶ auf Überdispersion getestet. Da diese nicht auszuschließen war, wurde jedes Modell mit einer negativen Binomialverteilung geschätzt. Als Kontrolle wurde außerdem ein lineares Modell mit der Kleinst-Quadrate-methode sowie ein Poisson-Modell mit denselben Variablen geschätzt. Da von einer räumlichen Autokorrelation der Zählwerte auszugehen war, wurden cluster-robuste Standardfehler nach Conley geschätzt, deren Radien variabel für das entsprechende Modell berechnet wurde. Das Modell kann formal schließlich wie folgt ausgedrückt werden:

Formel 1: Modellberechnung der Fixed Effects mithilfe synthetischer Daten

$$\log(E[Y_{\{it\}}]) = \beta \cdot m_{treat_{\{it\}}} + \alpha_{\{i\}} + \gamma_{\{t\}} + \delta_{\{k\}} + \theta_{\{PLZ\}} + \lambda_{\{g\}} + \lambda_{\{g \times t\}} + \theta_{\{c \times t\}} + \varepsilon_{\{it\}}$$

Dabei sei $Y_{\{it\}}$ die Radverkehrsstärke (z.B. Anzahl der Radfahrenden auf einem Straßensegment i zu einem Zeitpunkt t) und β der Koeffizient, der den Effekt von m_treat auf die Verkehrsstärke angibt.

$m_{treat_{\{it\}}}$ sei eine kategoriale Variable, die ausdrückt, ob an einem Segment i zu einem Zeitpunkt t eine Maßnahme einer bestimmten Kategorie umgesetzt wurde.

$\alpha_{\{i\}}$ (FE: *edgeuid*) sei der Fester Effekt für jedes Straßensegment i . Dieser ist kontrolliert hochauflösend für zeitinvariante Eigenschaften der Straßensegmente und damit bspw. für die Breite oder Straßenklasse.

$\gamma_{\{t\}}$ (FE: *date*) gibt den Zeitpunkt der Beobachtung an, $\delta_{\{k\}}$ (FE: *m_id_na*) sei der Fester Effekt für alle Segmente einer Maßnahme und $\theta_{\{PLZ\}}$ (FE: *PLZ*) sei der Fester Effekt für die Postleitzahl, um Unterschiede in verschiedenen geografischen Regionen zu berücksichtigen.

$\lambda_{\{g\}}$ (FE: *gebiet*) sei der Fester Effekt für das Gebiet g , um potenzielle Einzugsgebiete für den Radverkehr voneinander abzugrenzen.

⁵ <https://cran.r-project.org/web/packages/fixest/index.html> [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

⁶ <https://cran.r-project.org/web/packages/overdisp/index.html> [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

$\lambda_{\{g \times t\}}$ (FE: gebiet^jahr) sei der Interaktionseffekt zwischen Gebiet und Jahr, um zu modellieren, wie sich der Effekt eines Gebiets über die Zeit verändert. Dadurch werden unter anderem Verschiebungen in der Stichprobe kontrolliert.

$\theta_{\{c \times t\}}$ (FE: country^jahr) sei der Interaktionseffekt zwischen Land und Jahr, um nationale zeitliche Trends zu erfassen.

Um den Einfluss verschiedener Maßnahmenkategorien in Abhängigkeit unterschiedlicher Rahmenbedingungen zu schätzen, wurde der Datensatz entsprechend der jeweiligen kategorialen Ausprägung geteilt. Bei stetigen Variablen wurden homogene Klassengrößen gebildet.

3.2.2 Mesoskopische Ebene

Auf mesoskopischer Analyseebene sollten potenzielle Routenverlagerungen durch implementierte Radverkehrsmaßnahmen analysiert werden. Bisher gibt es nur wenige Studien, die sich räumlichen Verlagerungen von Radverkehrsströmen gewidmet haben. Methodisch basieren die meisten auf einer Adaption von Moran's I (Anselin, 1995), das erstmals von Boss et al. (2018) auf ein Verkehrsnetz bezogen wurde. Mit der von Boss et al. (2018) vorgestellten Methoden lassen sich signifikante Veränderungen von Verkehrsströmen zwischen zwei Zeitpunkten kartographisch darstellen. Diese Methode wurde auch für die mesoskopische Analyseebene angewandt und wird inhaltlich wie nachfolgend berechnet und über die Programmiersprache Python technisch umgesetzt. Die Kartendarstellung wurde schließlich in QGIS visualisiert.

In einem ersten Schritt wird die Veränderung der Verkehrsstärke je Segment wie in Formel 2 berechnet, wobei sowohl die absolute als auch die relative Veränderung berücksichtigt wird. Beispielhaft für einen Vergleich der Jahre 2023 und 2022 wird diese Veränderung wie folgt berechnet:

Formel 2: Berechnung der Veränderung der Verkehrsstärke je Segment

$$x = (v_{23} - v_{22}) \left(\frac{|v_{23} - v_{22}|}{v_{23} + v_{22}} \right)$$

Definiere x als Veränderung der Verkehrsstärke an einem Straßensegment, v_{23} als Verkehrsstärke im Jahr 2023 und v_{22} als Verkehrsstärke im Jahr 2022.

In einem zweiten Schritt wird dann der räumliche Zusammenhang der Veränderungen geprüft. Basierend auf einer Nachbarschaftsmatrix wird die räumliche Autokorrelation berechnet, um Bereiche zu bestimmen, in denen unerwartete Veränderungen in der Fahrtenanzahl auftraten. Die räumliche Autokorrelation gibt an, inwiefern räumliche Merkmale und deren zugehörige Datenwerte im Verkehrsnetz clusterartig angeordnet sind (positive räumliche Autokorrelation) oder sich verteilen (negative räumliche Autokorrelation). In Bezug auf Radverkehrsströme deuten positive räumliche Autokorrelationen auf Cluster von Straßen mit statistisch signifikant gestiegenen oder gesunkenen Fahrtenzahlen, während negative räumliche Autokorrelation einen Straßenabschnitt identifiziert, dessen Veränderung sich von den umliegenden Abschnitten unterscheidet. Mit dem Wert von Moran's I lässt sich schließlich sowohl das Vorhandensein als auch das Vorzeichen der signifikanten Veränderung identifizieren:

Formel 3: Berechnung von Moran's I

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij}(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

I_i : Moran's I. Hohe bzw. niedrige Werte von Moran's-I geben darüber Auskunft, ob es sich um positive oder negative Veränderungen handelt.

Definiere n als Anzahl an Straßensegmenten, i als Straßensegment i , j als Straßensegment j und \bar{x} als mittlere Veränderung über alle Straßensegmente.

Formel 4: Clusterung von Straßensegmenten

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } i \text{ und } j \text{ direkte Nachbarn sind und } i \neq j \\ 0, & \text{für alle anderen Fälle} \end{cases}$$

Für Österreich und die Schweiz konnte die Methodik direkt auf Basis des OSM-Netzes berechnet werden. Hier lagen jeweils eindeutige Identifikatoren vor, mithilfe derer eine eindeutige Zuordnung verschiedener Datenjahre zu einem Straßensegment möglich war. Da der Nachfragedatensatz für Deutschland ohne einen Identifikator für jedes Straßensegment vorlag, musste eine räumlich basierte Zusammenführung der Datenjahre durchgeführt werden, die sich als zu fehleranfällig erwies. Deshalb wurde für die Berechnung des Moran's I ein hexagonales Hilfsnetz (H3) verwendet.

3.3 Datenauswertung

3.3.1 Radverkehrsnachfrage

Bis auf wenige Teilmodelle wurden die Verkehrsstärken zu Jahressummen aggregiert und ausgewertet. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Verteilung der Verkehrsstärken abhängig von den Datenjahren. In den ausgewerteten Datensätzen flossen nur Ereignisse mit einer Verkehrsstärke >1 ein. Die Maxima variieren abhängig vom Ursprung der jeweiligen Daten stark.

Tabelle 11: Lagemaße der jährlichen Verkehrsstärken je Kante

Jahr	Min.	1 st Qu.	Median	Mean	3 rd Qu.	Max.	Länder
2013	1	1	2	5,157	6	160	AT
2014	1	1	2	6,072	6	341	AT
2015	1	1	2	6,756	7	453	AT
2016	1	1	2	6,54	7	700	AT
2019	5	125	570	1342	1708	36315	CH
2020	0	16	75,16	305,82	210	46560	CH,DE
2021	5	150	767,5	1977,1	2543,8	41525	CH
2022	0	25,67	104	363,49	298	38745	CH,DE
2023	0	41,5	152	435,4	405	41095	CH,DE

In den Jahren 2013 bis 2016 stammen die Daten ausschließlich aus Österreich (AT). Zu beobachten sind hier geringe Verkehrsstärken im Vergleich zu den Aufzeichnungen aus Deutschland und der Schweiz. 50% der Kanten wurden höchstens zweimal befahren. Über die Jahre ist nur eine geringe Zunahme der mittleren Anzahl der Radfahrenden festzustellen. Eine Sichtung der Monatswerte zeigte erwartungsgemäß höhere Verkehrsstärken in den warmen Monaten, wobei hier die höchsten Werte im Mai zu verzeichnen sind, die der offensiven Bewerbung der Aktion in diesem Monat geschuldet waren.

Ab dem Jahr 2019 werden zusätzlich Daten aus der Schweiz (CH) und Deutschland (DE) berücksichtigt, was zu einer stärkeren Streuung der Verkehrsmengen führt. Auffällig sind hier die deutlich höheren Verkehrsstärken im Vergleich zu Österreich, die auf eine deutlich höhere Popularität von Stadtradeln bzw. Strava

schließen lassen. Der zunehmende Erfolg der Kampagne in Deutschland äußert sich an den jährlich zunehmenden Verkehrsstärken. Im Gegensatz dazu konnten derart große Schwankungen bei den Schweizer Daten nicht festgestellt werden. Die geringeren Verkehrsstärken in Deutschland im Vergleich zur Schweiz lassen sich durch den nur dreiwöchigen Kampagnenzeitraum im Vergleich zu einer ganzjährigen Laufzeit erklären.

3.3.2 Mikroskopische Ebene

Tabelle 12 zeigt die Modellschätzungen basierend auf allen Kanten mit Jahressummen unabhängig der Anzahl der Befahrungen für das lineare Modell (OLS) und für die Modelle basierend auf der Poisson (POI) und negative Binomialverteilung (NB). Alle weiteren Modelle liegen intern vor.

Tabelle 12: Modellergebnisse des Modells mit allen Kanten und Ländern basierend auf jährlichen Verkehrsstärken

Maßnahmenkategorie	OLS	POI	NB
Ausbau des Radwegenetzes	1392,532* (678,733)	1,474** (0,186)	1,366+ (0,244)
Belagsanierung	579,067+ (346,857)	1,519* (0,262)	1,480** (0,209)
Markierung von Radverkehrsanlagen	263,511 (221,638)	1,072 (0,184)	1,359 (0,345)
Neubau Radweg	326,164+ (170,174)	1,266 (0,232)	1,720*** (0,275)
Öffnung von Einbahnstraßen	635,731 (402,993)	1,751*** (0,184)	1,561** (0,248)
theta			290,896***
theta			(204,860<)
Num.Obs.	696.022	696.022	696.022
R2	0,953		0,295
R2 Adj.	0,931		0,238
R2 Within	0,016		0,204
R2 Within Adj.	0,016		0,204
AIC	9.873.046,0	13.213.098,0	5.902.595,5
BIC	12.427.015,3	15.767.067,3	8.456.564,8

*** $p \leq .001$ ** $p \leq .01$ * $p \leq .05$ + $p \leq .1$

Die Kennziffern zur Modellgüte weisen darauf hin, dass die negativ-binomialverteilten Modelle eine deutlich bessere Anpassung an die Daten liefern als das Poisson-Modell und das lineare Modell, was sich auch in allen anderen Model-

len (siehe Anhang 2) bestätigt. Es lässt sich feststellen, dass die Modelle weitestgehend konsistent sind und auch durch die prinzipiell für Zählraten weniger geeigneten linearen Modelle bestätigt werden.

Die für diese Studie relevanten Werte sind die Koeffizienten zu den Maßnahmenkategorien. Diese drücken aus, wie sich die Verkehrsstärke am Ort der Maßnahme nach Umsetzung im Vergleich zu trendähnlichen Kanten verändert haben. Die Werte des linearen Modells sind vor allem als Kontrollwerte hinsichtlich ihres Vorzeichens zu verstehen, die absoluten Werte drücken dabei die absolute Veränderung bezogen auf diese Stichprobe aus und sind nicht als allgemeingültige, absolute Zuwächse zu interpretieren. Die Koeffizienten der Poisson bzw. Negativen Binomialverteilungen sind dabei exponiert und lassen sich als Veränderungsfaktor lesen. Die Anzahl der Radfahrenden steigt demnach nach Ausbau des Radwegenetzes im Vergleich zu anderen trendähnlichen Kanten nach negativer Binomialverteilung um 1,366, wobei dieser Wert nur bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 10\%$ signifikant ist.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die Belagssanierung, die Öffnung von Einbahnstraßen und Neubauten die stärkste Wirkung auf Radverkehrsstärken am Ort der Maßnahme haben, wobei anzumerken ist, dass die Ergebnisse je nach Randbedingung und Modell nicht konsistent sind. Die Wirkungsstärke schwankt je nach betrachtetem Teilmodell deutlich. Bis auf wenige Ausnahmen entsprechen sich die Modellergebnisse für Österreich und die Schweiz unabhängig davon, ob monatlich oder jährlich aggregierte Verkehrsnachfragedaten dem Modell zu Grunde liegen. Auffällig ist in Bezug auf diese Länder, dass die Modellgüte nicht von der feineren zeitlichen Auflösung profitiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Ausbau des Radwegenetzes durchweg positive und signifikante Effekte auf die Radverkehrsstärken hat, wobei die Effektstärke in Negativ-Binomial-Modellen am höchsten ausfällt. Die Anzahl der Radfahrenden nahm also entlang von Segmenten überdurchschnittlich zu, an denen ein Ausbau stattfand. Über alle Kanten ist eine signifikante Zunahme von 37% zu verzeichnen, nachdem die Maßnahmen umgesetzt wurden. In der Schweiz konnten sogar Zuwächse von 69,1% ($p < 0,001$) respektive 64,2% ($p < 0,05$) (jährliche/monatliche Zeitscheiben) festgestellt werden. Kanten, an denen das Radwegenetz in Deutschland ausgebaut wurde, entwickelten sich gegenüber dem allgemeinen Trend hingegen unterdurchschnittlich, hier befuhren

12,9% weniger Radfahrende die entsprechenden Netzelemente. Dieses Ergebnis erwies sich allerdings nicht als signifikant. In mittelgroßen Agglomerationen (+131,1% – $p < 0,001$) und ländlich zentral gelegenen Gemeinden (+109,2% – $p < 0,001$) ist eine besonders starke Zunahme festzustellen, Netzerweiterungen in Städten größerer Agglomerationen wiesen ebenfalls eine positive Entwicklung vor, die allerdings nicht signifikant und weniger stark ausfielen (+31,1%).

Belagssanierungen weisen konsistent signifikant positive Effekte auf, insbesondere bei stärker frequentierten Kanten (+48,0% – $p < 0,01$). Hier ist anzumerken, dass dieses Ergebnis nur auf Maßnahmen in Deutschland basiert, da für Maßnahmen dieser Kategorie in der Schweiz und Österreich keine Daten vorlagen. Maßnahmen im Bereich leichter Anstiege wirken stärker (+105,4% – $p < 0,05$) als solche in flachem Gelände (+45,4% – $p < 0,05$).

Die Öffnung von Einbahnstraßen zeigt bezogen auf das Gesamtmodell einen deutlich positiven Effekt und ist in allen Modellen signifikant, was auf eine erhebliche Zunahme der Radverkehrsstärke durch die Maßnahme hindeutet. Bei den länderspezifischen Ergebnissen sind besonders starke Zuwächse in der Schweiz zu verzeichnen (+110,8%), wobei einschränkend anzumerken ist, dass dort nur eine Einbahnstraße umgesetzt wurde. In Deutschland ($n = 12$, +13,4%) und Österreich ($n = 14$, +39,4%) fällt der Zuwachs hingegen deutlich geringer und nicht signifikant aus. Die Wirkung von geöffneten Einbahnstraßen ist in Städten mittelgroßer Agglomerationen (+44,8% – $p < 0,001$) geringfügig schwächer als die in großen Agglomerationen (+59,4% – $p < 0,001$).

Gemischte Ergebnisse zeigen sich bei der Markierung von Radverkehrsanlagen. Zwar deutet das Modell mit allen Verkehrskanten auf eine positive Wirkung hin (+35,9%), die aber nicht signifikant ist. Die verschiedenen Teilmodelle zeigen hier die größten Sprünge. In Österreich unterscheidet sich das Ergebnis zwischen monatlicher und jährlicher zeitlicher Auflösung beispielsweise deutlich (+90,1% – $p < 0,05$ vs. +15,9% – $p < 1$). Die Schätzung nur mit deutschen Daten deutet gar auf eine negative Entwicklung der Radverkehrszahlen an markierten Radverkehrsanlagen hin. Auffällig ist der Trend von geringeren Zunahmen bei höheren Bevölkerungsdichten.

Nach den Modellen ist der **Neubau von Radverkehrsinfrastruktur die am stärksten positiv wirkende Maßnahme**. An Neubauten in Österreich und der

Schweiz konnte beinahe eine Verdopplung der Verkehrsstärken festgestellt werden ($p < 0,001$). Auch in Deutschland wirkt diese Maßnahme am positivsten, wobei der Effekt als geringer eingeschätzt wird (+37,4% – $p < 0,001$). Trends in Abhängigkeit weiterer Randbedingungen ließen sich hier keine ausmachen.

Eine separate Berechnung der Modelle unter Berücksichtigung der Länge der Maßnahmen unabhängig von der Art dieser zeigt intuitive Ergebnisse. Aus den vier Längenklassen lässt sich die Schlussfolgerung ableiten, dass **längere Maßnahmen tendenziell einen stärkeren positiven Effekt** auf die Anzahl der Radfahrer:innen haben. Wurden Maßnahmen über 1,00 m umgesetzt, nahm die Anzahl der Radfahrenden im Vergleich zum generellen Trend um 81,3% zu ($p < 0,001$), während beispielsweise der Zuwachs bei Maßnahmen von einer Länge zwischen 100 und 500 m bei 52% lag ($p < 0,001$). Bezogen auf die Schweiz und Österreich war hier sogar eine Zunahme um 127,8% festzustellen.

Eine pauschale Aussage hinsichtlich einer stärkeren Wirkung von Maßnahmen in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte lässt sich nicht treffen. Je nach betrachteter Maßnahme schwanken die Ergebnisse, ohne, dass sich Trends ausmachen ließen. Die Unterschiede sind daher wohl eher der Verteilung der Stichprobe zuzuschreiben, als dass hier ein Einfluss der Bevölkerungsdichte festzustellen wäre.

3.3.3 Mesoskopische Ebene

Die Analyse der Einzelmaßnahmen ergab ein sehr **heterogenes Bild** hinsichtlich der Wirkung auf die Routenwahl von Radfahrenden. Pauschale Aussagen im Sinne einer stärkeren Wirkung von bestimmten Maßnahmenkategorien oder -längen lassen sich nur bedingt treffen.

Beispielhaft seien drei Beispiele von umgesetzten Fahrradstraßen aufgeführt, die in Dresden und Berlin umgesetzt wurden. Idealtypisch zeigt sich die *Radroute Ost* in Dresden, wo über eine Länge von 3,0 km eine Reihe von zusammenhängenden Straßen zu Fahrradstraßen umgewidmet wurden und somit effektiv das existierende Radverkehrsnetz erweitert wurde. Abbildung 20 zeigt die Lage der umgesetzten Maßnahme sowie die Veränderung der Radverkehrsströme. Zu beobachten sind Zuwächse entlang der *Radroute Ost*. Während teilweise eine signifikante Abnahme der Verkehrsströme parallel verlaufender Routen zu beobachten ist.



Abbildung 20: Moran's i im Bereich um die umgesetzte Fahrstraße in Dresden

Im Gegensatz dazu lässt sich diese Tendenz in Berliner Stadtteil Schöneberg nicht feststellen. Hier wurde über eine Länge von 1,5 km mit der Widmung von Fahrradstraßen und der Markierung von Radfahrstreifen das Radverkehrsnetz ebenfalls ausgebaut. Wie Abbildung 21 zeigt, ist dort allerdings nur punktuell eine Zunahme der Radfahrten festzustellen, eine Abnahme der Radverkehrsstärken an parallel verlaufenden Netzelementen hingegen nicht. Im Gegensatz dazu sind linienhafte Rückgänge des Radverkehrsaufkommens festzustellen, bei der hingegen keine andere Kante im Sinne einer Routenverlagerung signifikante Zuwächse vorweist.

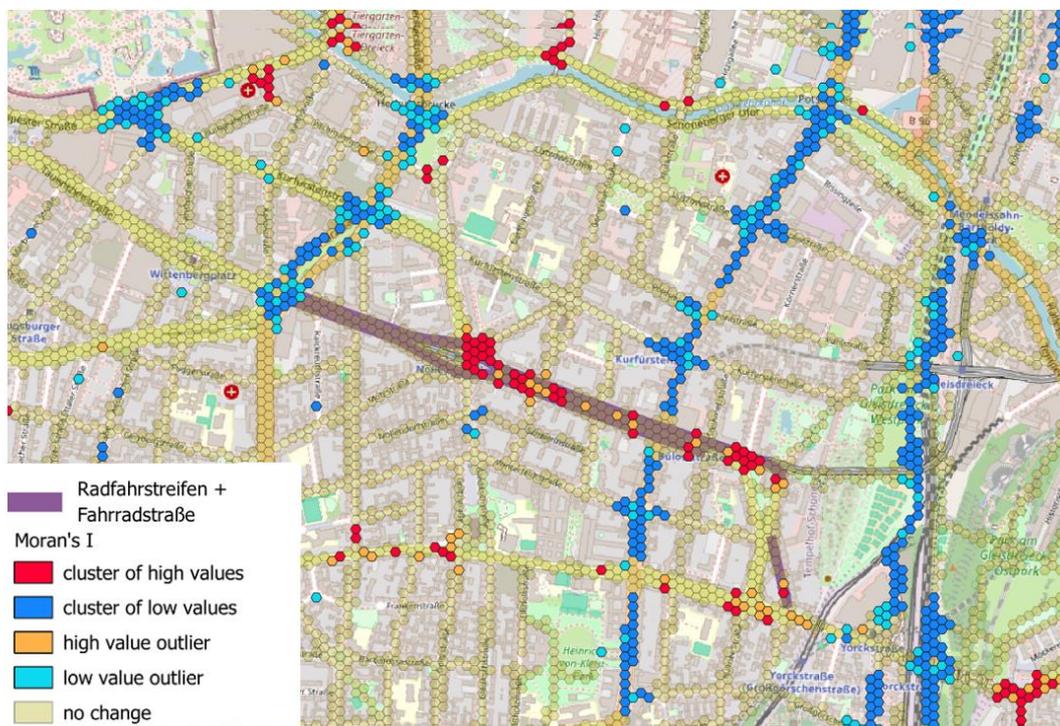


Abbildung 21: Moran's i im Bereich um die umgesetzte Radverkehrsmaßnahme in Berlin Schöneberg

Diese **Inkonsistenz** zieht sich durch alle untersuchten Maßnahmen und lässt nur schwer eine generalisierbare Aussage zu. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass neue Radverkehrsinfrastruktur einen Einfluss auf die Routenwahl von Radfahrenden haben kann, aber nicht muss. In der Tendenz war entlang längerer Radverkehrsmaßnahmen häufiger eine signifikante Zunahme von Radfahrten festzustellen als an kurzen. Wie das Beispiel Berlin zeigt, ist dies allerdings nicht zwingend der Fall. Dies bestätigt nochmal, dass die Verlagerungswirkung einer Maßnahme nicht nur durch die Art und Länge einer Maßnahme beeinflusst wird, sondern in hohem Maße von den Alternativen – also der Qualität der parallel verlaufenden Streckenzüge – aber auch vielen weiteren Faktoren. Eine seriöse **Interpretation der Verlagerungswirkung** bedarf dieser These folgend **genaue Kenntnisse von den lokalen Gegebenheiten** und war in der Tiefe nicht im Zuge dieses Projekts für alle 213 Maßnahmen durchführbar.

3.4 Diskussion

Nach Darstellung der Methoden für die mikroskopische und mesoskopische Analyse von Verlagerungswirkungen, sowie der Präsentation sämtlicher Modellergebnisse, sollen diese im Folgenden kritisch reflektiert werden.

3.4.1 Interpretation der Ergebnisse

Die **Modellergebnisse** zeigen sich zunächst intuitiv. In nahezu allen Konstellationen waren die verschiedenen Maßnahmenkategorien jeweils mit höheren Radverkehrsstärken im Vergleich zu allen Vergleichskanten verbunden. Die Größenordnung der Zuwächse ordnet sich in die Ergebnisse existierender Forschungsarbeiten ein (siehe Abschnitt 2.2). Allerdings gibt es Ausreißer: Teilweise deuten die Modelle auf eine unterschiedliche Entwicklung der Verkehrsstärken hin. In manchen Fällen konnten keine signifikanten Änderungen festgestellt werden oder es wurden gar rückläufige Radverkehrsstärken modelliert. Zu erklären ist diese Entwicklung wohl teilweise durch ungleiche Stichproben zwischen den Jahren (siehe dazu auch Abschnitt 3.4.2). Eine Validierung der Ergebnisse durch Zähldaten bestätigten teilweise die Schätzungen; allerdings gab es auch Fälle, in denen dies nicht der Fall war. Letzterer Fall ist allerdings nicht nur etwaigen Modellfehlern zuzuschreiben, sondern auch der Referenzmethode, die teilweise nur aus eintägigen Zählungen besteht und somit ebenso Schwankungen unterworfen ist.

Die **Wirkrichtung und Stärke** von Maßnahmen zum Neu- bzw. Ausbau von Radverkehrsanlagen erscheinen intuitiv. Hier konnten fast durchwegs positive Wirkungen festgestellt werden. Die linienhafte Ergänzung von Radinfrastruktur ist für Radfahrende ein besonders deutliche Attraktivierung des Verkehrsangebots und durch seine Länge als solche auch deutlicher wahrnehmbar als kurze Abschnitte, an denen etwa ein Schutzstreifen markiert wird. Die stärkere Wirkung an untersuchten Maßnahmen im ländlichen Raum macht insofern Sinn, als dass es insgesamt ein eingeschränkteres Radverkehrsangebot gibt und somit weniger Alternativen, was zu einem höheren Mehrwert von neuer Infrastruktur beiträgt.

Auch die Zuwächse der Radverkehrsstärken nach **Sanierung des Belags** erscheinen plausibel. Zu berücksichtigen ist bei diesem positiven Ergebnis allerdings, dass es sich bei dieser Maßnahmenkategorie häufig um Fälle handelte,

wo Kopfsteinpflaster gegen Asphaltdecken getauscht wurde, was vermutlich die größtmögliche Verbesserung für diese Maßnahmenkategorie bedeutet. Bei geringfügigeren Änderungen wie der Erneuerung einer bestehenden Asphaltdecke sind hier deutlich geringere Zuwächse zu erwarten.

Die Wirkung von in beide Richtungen **geöffneten Einbahnstraßen** entsprechen bezogen auf den ersten Blick den Erwartungen, auf dem zweiten hingegen nur bedingt. So sind die deutlichen Zuwächse das natürliche Resultat eines (einseitig) neuen Netzelements, wo vorher – zumindest unter der Annahme, es gäbe keine regelwidrigen Durchfahrten – noch keines war. Der Blick in die Teilmodelle zeigt hier allerdings ein gemischteres Bild, wonach eine geöffnete Einbahnstraße in der Schweiz zu mehr als doppelte so viele Nutzer:innen führte, im Fall von Deutschland hingegen zu deutlich geringeren Zuwächsen. Denkbar ist hier, dass das Szenario in St. Gallen – welches als einziger Fall in der Schweiz untersucht wurde – den Optimalfall darstellt, während je nach Regelakzeptanz und Lage der Einbahnstraße sonst geringere Zuwächse zu verzeichnen sind, weil die Einbahnstraße unter Umständen sowieso schon verbotswidrig genutzt wird.

Die unterschiedlichen Ergebnisse zu **markierten Radverkehrslösungen** sind wohl in besonderem Maße durch eine hohe Abhängigkeit von den Randbedingungen zu erklären. In dicht besiedeltem Raum funktioniert die Maßnahme am schlechtesten, also an dem Ort, wo vermutlich besonders viele Alternativen zur Verfügung stehen. Es lässt sich spekulieren, dass markierte Radverkehrslösungen dann eine in der Tendenz eher unpopuläre Infrastrukturform im Vergleich zu beispielsweise einer Führung im Seitenraum darstellen, während sie in dünn besiedeltem Gebiet wiederum unter Umständen sogar die einzige Routenalternative mit dezidierter Radverkehrsführung darstellen.

Neben der Belagssanierung stellt der **Neubau von Maßnahmen** wohl die stärkste relative Veränderung dar und wird von Radfahrenden offenbar besonders positiv angenommen. Die Verdopplung lässt sich wohl dadurch erklären, dass am Ort der Maßnahme bis dahin noch gar keine Radverkehrsanlage existierte und somit für Radfahrende vorher teilweise noch gar nicht als Alternative wahrgenommen wurden, nachher dann aber Infrastruktur in besonders hoher Qualität existierte. Denkbar ist auch, dass Neubauten unabhängig vom Vorher-

Zustand besonders sichtbar sind und dadurch eine stärkere Anziehung als andere Maßnahmenkategorien haben.

3.4.2 Reflexion der Analysemethode

Im Zuge der Analyse der Veränderung der räumlichen Verteilung von Radfahrten offenbarte sich die **Stichprobenverzerrung** zwischen den verschiedenen Jahren der Kampagnen. Im Datensatz für die Stadt Wien zeigt sich beispielsweise ein nur schwer durch äußere Rahmenbedingungen erklärbarer Rückgang der Verkehrsstärken innerhalb eines ganzen Viertels, wie in Abbildung 22 ersichtlich.



Abbildung 22: Relative Veränderung der Verkehrsstärken in Wien zwischen 2013 und 2016

Hier wird die relative Veränderung der Verkehrsstärken zwischen 2013 und 2016 dargestellt. Erkennbar ist eine deutliche Zunahme der Verkehrsstärken im Westen der Stadt. Erklärbar ist dieses Beispiel wohl mit einer veränderten Teilnehmer:innenschaft zwischen den Jahren. Insbesondere kleine Stichproben wie im Wiener Beispiel sind für solche Schwankungen anfällig und beeinflussen

die Genauigkeit der Schätzung. Dieser wiegt umso schwerer bei Vergleich längeren Zeiträumen. Hier offenbart sich der Nachteil dieser Erhebungsmethode, der sich mit zum Teil, aber wohl nicht gänzlich mit fixierten Effekten ausgleichen lässt. Es handelt sich eben nicht wie in einem idealtypischen Experiment um ein Panel, sondern genau genommen um einen Trend.

Als zweckmäßig, aber nur bedingt sinnvoll erscheint rückblickend die Wahl von OSM-Kanten als Bezugseinheit für die Verkehrsnachfrage. Durch diesen sehr hochauflösenden Ansatz wird durch das Modell jeweils die Veränderung am exakten Ort der Maßnahme verglichen. Dies liefert als Ergebnis eine Schätzung darüber, wie sich die Nachfrage an dieser Kante, nicht aber entlang des ganzen Straßenquerschnitts verändert hat. In zukünftigen Arbeiten zu dem Themenfeld wäre hier Aggregation der Nachfragedaten auf Straßenebene sinnvoll. Mit dieser Betrachtungsebene könnten weitere Modelle geschätzt werden, die zwischen mikroskopischer und mesoskopischer Ebene wertvolle Ergebnisse liefern würden und Rückschluss darüber geben können, inwiefern ein ganzer Straßenzug attraktiver wurde. Die Routenverlagerung wird durch den verwendeten Ansatz in der Tendenz wohl überschätzt.

Kritisch zu betrachten ist auch die **Stichprobenszusammensetzung** der Radverkehrsmaßnahmen, die kaum repräsentativ Maßnahmen in den Ländern abbildet. Im Datensatz für Deutschland macht Berlin einen Großteil der Maßnahmen aus, für Österreich flossen nur Maßnahmen aus Wien ein – Untersuchungsräume, wo Netzabschnitte mit neuen Infrastrukturelemente eine Routenalternative von vielen anderen darstellen und dadurch wohl weniger stark wirken dürften als Maßnahmen in ländlichen Gebieten. Letztere hingegen sind kaum in der Stichprobe vertreten, außerörtliche Maßnahmen überhaupt nicht. Die Modellergebnisse repräsentieren daher tendenziell eher die Wirkung von Radverkehrsmaßnahmen im (groß-)städtischen Raum, als dass sie stellvertretend für jedes Szenario gültig wären. Daneben treten bestimmte Maßnahmenkategorien in manchen der Länder gar nicht auf – wie etwa die Belagssanierung in der Schweiz.

Die Wahl der verwendeten Maßnahmenkategorien ist für zukünftige Arbeiten zu dem Thema nochmals zu überarbeiten. Durch die Korrelation der Variablenausprägungen – der Ausbau des Radverkehrsnetzes war bspw. teilweise nur schwer von den anderen Kategorien abzugrenzen – war eine eindeutige

Zuweisung der Kategorien teilweise schwer. Begründet ist dieses Problem durch die Abbildung zweier Dimensionen in einer Variablen – der Art der neuen Infrastruktur und der Wirkung dieser. Für zukünftige Forschungsarbeiten ist hier auf eine konsistente und eindeutig abgrenzbare Kategoriebildung zu achten.

Die **begrenzte ökologische Validität** ist als generelle Schwäche der hier verwendeten mikroskopischen Analysemethodik zu sehen. Während sie (abhängig von der Qualität der Nachfragedaten) zuverlässig die Wirkung einer einzelnen Maßnahme schätzen kann, ist sie nur bedingt für allgemeingültige Aussagen zur Wirkung unterschiedlicher Randbedingungen geeignet, da zu viele andere Faktoren die Wirkung einer Maßnahme beeinflussen. Die explizite Erfassung aller Randbedingungen vor Ort (also z.B. Anzahl und Qualität der Alternativen) hingegen bedarf einer deutlich komplexeren Erhebungs- und Analysemethodik. Hier offenbart sich auch der **Zielkonflikt zwischen Datensparsamkeit und Präzision**, der in dieser Arbeit mit der Kompromisslösung bedient wurde, fixierte Effekte zur Berücksichtigung der Ko-Faktoren in das Modell zu integrieren. Mit diesen können effizient Veränderungen im Modell berücksichtigt werden, ohne aber explizit benannt oder interpretiert zu werden.

Durch Zusammenstellung einer großen Maßnahmenstichprobe werden die Ko-Faktoren zwar ausgemittelt, sind für repräsentative Ergebnisse aber wieder in hohem Maße von einer repräsentativen Stichprobenszusammensetzung abhängig. Hinsichtlich der tatsächlich erhobenen Größen ist durch den Umstand, dass die Verkehrsstärke als abhängige Variable geschätzt wird, eine Berücksichtigung der Randbedingungen nur durch Subsets oder Interaktionsvariablen möglich. Bei diesem Ansatz führt die asymmetrische Maßnahmenstichprobe wiederum zu dem Problem, dass bestimmte Merkmalskombinationen kaum im Datensatz vertreten sind und somit teilweise nur durch eine einzige Maßnahme vertreten sind. Somit wurden Teilmodelle gebildet, was allerdings auch bedeutet, dass immer nur für eine Kovariable kontrolliert werden konnte und dass die tendenziell nicht repräsentative Maßnahmenstichprobe zu einer falschen Einschätzung bestimmter Merkmalskombinationen führen kann.

Die mesoskopische Methode erwies sich als effizienter und intuitiver Ansatz, die räumliche Wirkung von Einzelmaßnahmen sichtbar zu machen. Damit war sie auch ein gutes Werkzeug zur Validierung der Ergebnisse der mikroskopischen Ebene. Kritisch anzumerken ist allerdings die in dieser Form fehlende

Möglichkeit, große Maßnahmenstichproben quantitativ und systematisch auszuwerten und daraus generalisierbare Schlussfolgerungen zu ziehen. Im Rahmen von VERA konnte aus Ressourcengründen kein umfassender, quantitativer Analyseansatz entwickelt werden. Für den Leitfaden wurde diese Ebene daher nicht aufgegriffen und floss nur mittelbar – als Kalibrierungs- und Validierungshilfe der Modelle – ein. Eine Weiterentwicklung zur quantitativen Auswertung mehrerer Maßnahmen wäre für allgemeinere Schlussfolgerungen sinnvoll und ist für gesonderte Auswertungen im Zuge von nachgelagerten akademischen Publikationen angedacht.

3.5 Schlussfolgerungen und Abstrahierung von VERA-Faktoren

Es ist festzuhalten, dass die Ergebnisse der empirischen Untersuchung die Literaturrecherche bestätigten: Eine Veränderung am Verkehrsangebot verändert mutmaßlich das Verhalten von Radfahrer:innen. Nach einer Aufwertung der Infrastruktur konnten häufig Zuwächse am Ort der Maßnahme festgestellt werden und Veränderungen in der Routenwahl identifiziert werden. Den Ergebnissen zufolge wirken sich insbesondere Neubauten, Belagssanierungen und geöffnete Einbahnstraßen auf das Verhalten der Radfahrenden aus. Allerdings ist dies nicht immer so. Wieder lässt sich festhalten, dass **die Wirkungen unterschiedlicher Maßnahmen eine gewisse Bandbreite haben**, die von einer Vielzahl von Rahmenbedingungen abhängig ist und in ihrer Gänze nur schwer explizit zu erfassen sind.

Für den Leitfaden wurde diese **Komplexität auf einen Faktor vereinfacht**, während lokale Spezifika mit zusätzlichen Parametern berücksichtigt wurden. Für die Wahl der Wirkungsfaktoren war das Modell mit der größten Maßnahmenstichprobe maßgebend. Daher wurde als Berechnungsgrundlage der Maßnahmenwirkung die Modellschätzung aufgegriffen, in der für den gesamten Datensatz über alle Länder geschätzt wurde. Unter den drei geschätzten Verteilungen wurde das Modell mit einer negativen Binomialverteilung gewählt, da es die höchste Modellgüte aufwies.

Die nachfolgende Tabelle führt die Ergebnisse der Modellschätzungen auf. Relevant für das Verlagerungspotenzial sind die Werte im oberen Teil der Tabelle.

Der Koeffizient gibt den Faktor an, um den sich die Radverkehrsmenge im Vergleich zu Segmenten ohne Maßnahme verändert hat und entspricht dem, was im Leitfaden als VERA-Faktor bezeichnet wird. Demzufolge hat sich an Segmenten, an denen eine Einbahnstraße geöffnet wurde, die Anzahl der Radfahrenden signifikant um den Faktor 1,56 erhöht.

Diese Ergebnisse sind die Zuspitzung aller Ergebnisse auf einen Faktor je Maßnahmenkategorie (siehe Tabelle 13), bei denen allerdings berücksichtigt werden muss, dass eine solche Aussage pauschal nur schwer zu treffen ist. Die Faktoren bilden vielmehr den Mittelpunkt einer möglichen Wirkungs-Bandbreite ab, die in der Auswertung tiefergehend betrachtet wurden.

Tabelle 13: Abstrahierte VERA-Faktoren

Maßnahmenkategorie	Effekt
Ausbau des Radwegenetzes	1.366+
Belagsanierung	1.480**
Markierung von Radverkehrsanlagen	1.359
Neubau Radweg	1.720***
Öffnung von Einbahnstraßen	1.561**

*** $p \leq .001$ ** $p \leq .01$ * $p \leq .05$ + $p \leq ,1$

4 Evaluierung des Methodensets in Testumgebungen

Die Plausibilität der Wirkungszusammenhänge und Effektstärken einzelner Maßnahmen, wie sie schlussendlich auch im Leitfaden (Anhang 2) dargestellt werden, sollte in einem eigenen Arbeitspaket durch die testweise Anwendung der entwickelten Methode geprüft werden. Der folgende Evaluierungsbericht diene als Input für die Finalisierung des Leitfadens bzw. der darin erwähnten Parameter für die Wirkungsabschätzung (vergleiche die Ausführungen in Kapitel 5.2).

4.1 Auswahl und Charakteristika der Testumgebungen

Die Auswahl der Testumgebungen erfolgte entlang vorgegebener Kriterien, die einerseits die unterschiedlichen Maßnahmenkategorien, die Verteilung in den drei Ländern der DACH-Region und andererseits die drei Level von Datenverfügbarkeit reflektierten, wobei Level A von vorliegenden Messdaten am Ort der Maßnahmenimplementierung ausgeht, während bei Level C mit raumstrukturellen Schätzwerten operiert wird. Zudem mussten Testumgebungen auch nach pragmatischen Gesichtspunkten gewählt werden, da die Datenverfügbarkeit in der DACH-Region, sowohl die Dokumentation von Maßnahmen wie auch die verkehrlichen Kennzahlen betreffend, nur eingeschränkt gegeben war. Letztlich wurde der Leitfaden in seiner präfinalen Version in den in Tabelle 14 angeführten Testumgebungen getestet.

Tabelle 14: Testumgebungen für die Evaluierung des Leitfadens.

Testumgebung	Maßnahmen	Level der Datenverfügbarkeit
Mödling, Österreich	1 Ausbau des Radwegenetzes 1 Belagssanierung	Level B, C
Salzburg, Österreich	2 Ausbau des Radwegenetzes 2 Belagssanierung 1 Markierung von Radverkehrsanlagen	Level B
St. Pölten, Österreich	1 Neubau Radweg 1 Ausbau des Radwegenetzes 1 Markierung von Radverkehrsanlagen	Level B
Genf, Schweiz	7 Neubau Radweg	Level A

Testumgebung	Maßnahmen	Level der Datenverfügbarkeit
	7 Markierung von Radverkehrsanlagen 7 Öffnung Einbahnstraßen	
Dresden, Deutschland	3 Ausbau des Radwegenetzes 6 Belagssanierung 6 Markierung von Radverkehrsanlagen 1 Öffnung Einbahnstraßen	Level A, B
Landkreis Lüchow-Dannenberg	1 Ausbau des Radwegenetzes	Level A

Von den sechs Testumgebungen sind fünf städtisch. Drei liegen in Österreich, eine in der Schweiz und zwei in Deutschland. Die Anzahl der jeweils untersuchten Maßnahmen variiert stark. Das Level der Datenverfügbarkeit (siehe Abschnitt 5.2.2) ist unterschiedlich. Im Fall von Dresden war es möglich, zwei Optionen anzuwenden und so Anhaltspunkte für die Plausibilität der Schätzverfahren (Level B und C) im Vergleich zur Anwendung des Modells (Level A) zu erhalten. Für Mödling konnten Level B und C miteinander verglichen werden.

Für alle gewählten Testumgebungen wurden folgende Datensätze, soweit sie verfügbar waren, erhoben:

- Maßnahmen in den Kategorien: Neubau von Radwegen, Ausbau des Radwegenetzes, Markierung von Radverkehrsanlagen, Belagssanierung und Öffnung von Einbahnstraßen
- Kataster von Ausbildungs- und Arbeitsstätten
- Daten aus stationären Zählstellen oder von anderen Zählkampagnen vor und nach Umsetzung der Maßnahme
- Trajektorien, die vor und nach Umsetzung der Maßnahme gesammelt wurden
- Mobilitätserhebungen von zwei Zeitpunkten vor und nach Umsetzung der Maßnahme

Bei den Maßnahmen wurden weiterführende Informationen gezielt erhoben. Dazu zählten neben der genauen Verortung im Straßennetz die Bauzeit, die Kosten und etwaige Begleitmaßnahmen. Bei den weiteren Datensätzen wurden die Metadaten, insbesondere auch die Lizenzbestimmungen miterhoben.

Die Sammlung und Harmonisierung aller Informationen bzw. Datensätze erfolgte durch die jeweiligen Ansprechpartner seitens des VERA-Konsortiums. Die Durchführung der Analysen lag bei der TU Dresden für Deutschland und die Schweiz sowie bei Herry Consult für die Testumgebungen in Österreich.

4.2 Ergebnisse aus der Testanwendung

Die Anwendung des Workflows, wie er für die unterschiedlichen Level im Leitfaden beschrieben ist, führte zu den nachfolgend dokumentierten Ergebnissen für konkrete Einzelmaßnahmen. Als Ergebnisgröße wird für alle Testanwendungen die berechnete CO₂-Reduktion durch die Verkehrsmittelverlagerung verwendet; Emissionen aus dem Bau und Betrieb der Infrastruktur werden nicht berücksichtigt. Die Details zu den unterschiedlichen Schätzverfahren in Abhängigkeit von den Eingangsdaten (Level A, B, C) werden im nachfolgenden Abschnitt und im angehängten Leitfaden ausführlich beschrieben (siehe Kapitel 5.2 und Anhang 2). Die Synthese und Schlussfolgerung aus den unterschiedlichen Testanwendungen folgen dann in einem weiteren Abschnitt.

Der Leitfaden, wie er für die Testanwendungen eingesetzt wurde, umfasste vier aufeinander aufbauende Schritte. Je nach Datenverfügbarkeit (ausgedrückt durch Level A, B, C) wurde das Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahmenimplementierung gemessen bzw. geschätzt (Schritt 1). Anschließend wurden die VERA-Faktoren laut Tabelle 13 für die Berechnung der zu erwartenden Wirkungen angewendet (Schritt 2). Aus der Menge der verlagerten Wege wird der KFZ-Anteil geschätzt (Schritt 3). Daraus lassen sich schließlich die zu erwartenden Emissionsreduktionen ableiten (Schritt 4). Für den letzten Schritt wurden die nationalen Kennzahlen für die Flottenzusammensetzung bzw. für den durchschnittlichen CO₂ Ausstoß herangezogen.

Nachfolgend werden die einzelnen Testumgebungen eingeführt und die Ergebnisse der Anwendung des Leitfadens präsentiert. Die Erkenntnisse aus dieser Evaluierung flossen in die Finalisierung des Leitfadens (siehe Anhang 2) ein.

4.2.1 Mödling

In Mödling wurden zwei Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung untersucht (Tabelle 15). Dabei kam der Leitfaden für Level B und C zum Einsatz. Bei den

Maßnahmen handelte sich um den Ausbau eines Radweges im Stadionweg (Maßnahme 1), sowie um die Sanierung des Belags in der Bebenbergerstraße (Maßnahme 2). Beide Maßnahmen fielen in die Längenkategorie 101-500 m und wiesen keine nennenswerte Steigung auf. Als Eingangsdaten für Level B diente eine städtische Mobilitätserhebung aus 2024 sowie soziodemographische Daten auf Zählsprengelebene. Für Level C wurde anstelle der Mobilitätserhebung auf die generischen Mobilitätskennzahlen aus VERA zurückgegriffen.

Für Maßnahme 1 wurden der Methode von Level B folgend eine CO₂-Reduktion von 0,98 Tonnen pro Jahr berechnet. Dieser Wert basierte auf 2.633 Personen im Einzugsgebiet, 3,1 Wege pro Tag und Person sowie einem Radverkehrsanteil von 24,3%. Das Verlagerungspotenzial wurde mit 109 zusätzlichen Fahrradfahrten pro Tag berechnet, was in einer Reduktion von jährlich 7.078 km Autofahrten resultierte.

Für dieselbe Maßnahme wurde auch Level C angewendet. Dabei kam es zu einer geschätzten CO₂-Reduktion von 0,32 Tonnen pro Jahr. Der Unterschied ist auf den viel niedrigeren, angenommenen Radverkehrsanteil von 6,6% zurückzuführen.

Für Maßnahme 2 wurde der Methode von Level B folgend eine CO₂-Reduktion von 0,77 Tonnen pro Jahr berechnet. Dieser Wert basierte auf 1.975 Personen im Einzugsgebiet und den gleichen Mobilitätskennzahlen wie bei Maßnahme 1. Das Verlagerungspotenzial wurde mit täglich 107 Fahrradfahrten beziffert, was in einer Reduktion von 5.570 km Autofahrten resultierte.

Bei Anwendung von Level C belief sich die abgeschätzte CO₂-Reduktion auf 0,26 Tonnen pro Jahr.

Tabelle 15: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Mödling.

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
1	Stadionweg	Ausbau des Radwegenetzes	B	0,98
1	Stadionweg	Ausbau des Radwegenetzes	C	0,32
2	Bebenbergerstraße	Belagssanierung	B	0,77
2	Bebenbergerstraße	Belagssanierung	C	0,26

4.2.2 Salzburg

Für Salzburg wurde die Wirkung von insgesamt fünf Maßnahmen abgeschätzt, wobei Level B gemäß Leitfaden zur Anwendung kam (Tabelle 16). Bei Maßnahme 1 handelte es sich um einen Ausbau des Radwegenetzes durch die Errichtung straßenbegleitender Radwege entlang der Münchner Bundesstraße. Maßnahme 2 war ein Lückenschluss in der Robinigstraße zur Erhöhung der Schulwegsicherheit. Maßnahme 3 war eine Belagssanierung eines bahnbegleitenden Radweges. Bei Maßnahme 4 handelte es sich um eine Markierung, die den Radweg in einen Kreisverkehr einbindet. Schließlich handelte es sich bei Maßnahme 5 um eine Belagssanierung einer Fahrradstraße.

Für Maßnahme 1 wurde der Methode von Level B folgend eine CO₂-Reduktion von 5,55 Tonnen pro Jahr berechnet. Dieser Wert basierte auf 13.912 Personen im Einzugsgebiet, 3,2 Wege pro Tag und Person sowie einem Radverkehrsanteil von 22,8%. Das Verlagerungspotenzial wurde mit 372 zusätzlichen Fahrradfahrten pro Tag eingeschätzt, was in einer Reduktion von 39.991 km Autofahrten resultierte.

Für Maßnahme 2 wurde eine CO₂-Reduktion von 6,51 Tonnen pro Jahr berechnet. Dieser Wert basierte auf 10.879 Personen im Einzugsgebiet. Die Mobilitätskennzahlen waren die gleichen wie bei Maßnahme 1. Das Verlagerungspotenzial wurde mit 436 zusätzlichen Fahrradfahrten pro Tag eingeschätzt, was in einer Reduktion von 46.908 km Autofahrten resultierte.

Bei Maßnahme 3 wurde eine CO₂-Reduktion von 10,82 Tonnen pro Jahr abgeschätzt. Dieses Ergebnis basierte auf angenommenen 25.866 Personen im Einzugsgebiet, bei den für alle Maßnahmen verwendeten Mobilitätskennzahlen. Das Verlagerungspotenzial wurde mit 906 zusätzlichen Fahrradfahrten pro Tag eingeschätzt, was in einer jährlichen Reduktion von 78.009 km Autofahrten resultierte.

Für Maßnahme 4 lag die abgeschätzte CO₂-Reduktion von 6,44 Tonnen pro Jahr. Das Verlagerungspotenzial wurde mit 431 zusätzlichen Fahrradfahrten pro Tag eingeschätzt, was in einer Reduktion von 46.417 km Autofahrten pro Jahr resultierte.

Bei Maßnahme 5 wurde eine CO₂-Reduktion von 5,59 Tonnen pro Jahr berechnet. Es konnte laut Schätzmodell von täglich 468 zusätzlichen Fahrradfahrten und einer Reduktion von 40.317 km Autofahrten pro Jahr ausgegangen werden.

Tabelle 16: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Salzburg.

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
1	Münchner Bundesstraße	Ausbau des Radwegenetzes	B	5,55
2	Robinigstraße	Ausbau des Radwegenetzes	B	6,51
3	Bahnbegleitweg Itzling	Belagssanierung	B	10,82
4	Kreisverkehr Parsch	Markierung von Radverkehrsanlagen	B	6,44
5	Fahrradstraße Elisabeth Vorstadt	Belagssanierung	B	5,59

4.2.3 St. Pölten

In St. Pölten wurden insgesamt drei Maßnahmen auf ihre Wirkung hin untersucht (Tabelle 17). Dabei handelte es sich um einen Ausbau des Radwegenetzes durch eine Neuverteilung des Straßenraums (Maßnahme 1), um eine neue Brückenverbindung, die das Radwegenetz komplettiert (Maßnahme 2), sowie als dritte Maßnahme die Markierung eines Fahrradstreifens. Die Wirkungen wurden Level B folgend berechnet. Als Mobilitätskennzahlen für alle drei Maßnahmen wurden aus einer rezenten Mobilitätserhebung 3,19 Wege pro Tag und Person sowie ein Radverkehrsanteil von 14,4% verwendet.

Für Maßnahme 1 wurde der Methode von Level B folgend eine CO₂-Reduktion von 3,34 Tonnen pro Jahr berechnet. Dabei ist von täglich 220 zusätzlichen Fahrradfahrten und einer jährlichen Reduktion von 24.052 km per Auto ausgegangen worden.

Durch Maßnahme 2 konnte eine CO₂-Reduktion von 0,64 Tonnen pro Jahr angenommen werden. Das Verlagerungspotenzial wurde mit 42 zusätzlichen Fahrradfahrten pro Tag eingeschätzt, was in einer Reduktion von 4.633 km Autofahrten pro Jahr resultierte.

Für Maßnahme 3 schließlich wurde eine CO₂-Reduktion von 4,23 Tonnen pro Jahr berechnet. Dem lagen täglich 279 zusätzliche Fahrradfahren zugrunde.

Die jährliche Kilometerleistung mit dem Auto wurde laut Schätzung um 30.501 km reduziert.

Tabelle 17: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in St. Pölten.

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
1	Neuverteilung Straßenraum Dr. Karl-Renner-Promenade	Ausbau des Radwegenetzes	B	3,34
2	Brücke E-Werkweg - Bimbo Binder Promenade	Neubau	B	0,64
3	Schulring	Belagssanierung	B	4,23

4.2.4 Genf

Für Genf wurden die mit Abstand meisten Maßnahmen, nämlich insgesamt 21, hinsichtlich ihrer Wirkung untersucht (Tabelle 18). Für die Analyse wurden Trajektorien-Daten aus der proprietären Fitness-App Strava, die Zeitreihen einer stationären Fahrradzählstelle, Mobilitätskennzahlen aus Erhebungen sowie die Maßnahmenbeschreibungen verwendet.

Für die Berechnung der Verlagerungswirkung wurden die VERA-Faktoren verwendet und auf die gemessene Anzahl der Radfahrenden (von Trajektorien mit Hilfe der Zähl Daten hochgerechnet) angewendet. Als durchschnittliche Weglänge von Radfahrten wurden 4,1 km angenommen.

Bei den untersuchten Maßnahmen 1, 3-7 und 14 wurden Einbahnstraßen für den Radverkehr geöffnet. Damit konnten geschätzte CO₂-Reduktionen von jährlich 0,26, 0,17, 0,09, 0,53, 0,7, 0,9 und 0,3 Tonnen erzielt werden.

Die Maßnahmen 2, 10-12, 15, 20-21 beschreiben jeweils Markierungen von Radverkehrsanlagen. Die festgestellten Verlagerungswirkungen sind in ihrer Größenordnung höchst unterschiedlich. Für Maßnahme 2 wurde eine jährliche CO₂-Reduktion von 22,68 Tonnen angenommen, für Maßnahme 11 32,2 Tonnen. Alle anderen Maßnahmen wiesen deutlich geringere Wirkungen auf; primär aufgrund von viel niedrigeren gemessenen Radverkehrsstärken. Bei Maß-

nahme 10 lag die Schätzung bei 3,15 Tonnen, bei Maßnahme 12 bei 4,45 Tonnen, bei Maßnahme 15 bei 0,06 Tonnen, bei Maßnahme 20 bei 0,54 Tonnen und schließlich bei Maßnahme 21 bei 4,18 Tonnen CO₂-Reduktion pro Jahr.

Bei weiteren sieben Maßnahmen handelte es sich um Neubauten von Radverkehrsanlagen. Für die Maßnahmen 8 und 9 wurden jährliche CO₂-Reduktionen von 2,95 Tonnen und 96,27 Tonnen berechnet. Während es sich bei erstgenannter Maßnahme um eine kleine Intervention an einer Stelle mit lediglich 224 täglich registrierten Radfahrer:innen handelte, beschreibt zweitens den Bau einer Radverkehrsanlagen entlang des Ufers des Genfersees mit einer bereits vorhandenen Radverkehrsstärke von 7.303 Radfahrer:innen pro Tag. Für Maßnahme 13 wurden 14,65 Tonnen, für die Maßnahmen 16-19 wurden 0,06 Tonnen, 0,01 Tonnen, 63,33 Tonnen und 38,98 Tonnen CO₂-Reduktion geschätzt. Die großen Unterschiede lassen sich auch hier auf die unterschiedlichen Radverkehrsstärken vor Ort zurückführen.

Tabelle 18: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Genf.

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
1	Rue des Jardins	Öffnung von Einbahnstraßen	A	0,26
2	Rue des deux Ponts	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	22,68
3	Rue Charles Humbert	Öffnung von Einbahnstraßen	A	0,17
4	Rue du Diorama	Öffnung von Einbahnstraßen	A	0,09
5	Rue des Savoises - Passage Cabriol	Öffnung von Einbahnstraßen	A	0,53
6	Rue de la Coulouvrenière	Öffnung von Einbahnstraßen	A	0,7
7	Rue marguerite Dellenbach	Öffnung von Einbahnstraßen	A	0,9
8	Route de Chêne	Neubau Radweg	A	2,95
9	Quai Gustave Ador	Neubau Radweg	A	96,27
10	Rue du 31 Décembre	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	3,15
11	Rue de Frontenex	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	32,2

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
12	Avenue Pictet-De-Rochemont	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	4,45
13	Boulevard des Philosophes	Neubau Radweg	A	14,65
14	Rue Guillaume- De-Marcossay	Öffnung von Einbahnstraßen	A	0,3
15	Rue Saint-Ours	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	0,06
16	Rue du Diorama	Neubau Radweg	A	0,06
17	Rue des Savoises - Passage Cabriol	Neubau Radweg	A	0,01
18	Rue de la Coulouvrenière	Neubau Radweg	A	63,33
19	Rue marguerite Dellenbach	Neubau Radweg	A	38,98
20	Route de Chêne	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	0,54
21	Quai Gustave Ador	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	4,18

4.2.5 Dresden

Für Dresden wurde die Wirkung für 16 Maßnahmen auf zwei verschiedene Arten berechnet (Tabelle 19). Damit erlaubt dieser Testfall die beste Vergleichbarkeit zwischen daten- bzw. schätzbasierten Ansätzen (Level A bzw. B, C). Bis auf den Neubau von Radwegen sind sämtliche Maßnahmenkategorien in die Analyse integriert worden.

Die Maßnahmen 1-3, 6-7 und 12 umfassen Markierungen von Radverkehrsanlagen in unterschiedlicher Ausprägung und Lage im Netz. Für Level A wurden CO₂-Reduktionen von 2,5, 2,37, 1,04, 2,17, 2,07 und 0,62 Tonnen pro Jahr berechnet. Für dieselben Maßnahmen lagen die Reduktionspotenziale gemäß Berechnung Level B bei 14,03, 16,29, 4,8, 17,97, 38,51 und 16,07 Tonnen pro Jahr.

Etwas geringere Divergenzen waren bei den Maßnahmen 4-5, 8-9 und 14-15, die Belagssanierungen umfassen, festzustellen. Für Level A lagen die CO₂-Reduktionen pro Jahr bei 1,89, 1,04, 0,91, 1,12, 1,08 und 0,95 Tonnen. Die Werte, die auf dem Schätzverfahren (Level B) beruhen, liegenlagen für dieselben Maßnahmen bei 3,26, 3,5, 2,25, 0,49, 2,7 und 3,28 Tonnen.

Für die Maßnahmen, die zum Ausbau des Radwegenetzes zählten (Maßnahmen 10-11, 16) wurden mit dem messdatenbasierten Ansatz (Level A) jährliche CO₂-Reduktionspotenziale von 2,16, 2,11 und 0,68 Tonnen berechnet. Die Werte lagen, berechnet mit dem Level B Ansatz, bei 0,73, 22,77 und 1,38 Tonnen. Hier zeigt sich, dass es sowohl zu eklatanten Unter- wie Überschätzungen kommen kann.

Schlussendlich wurde in Dresden noch die Öffnung einer Einbahnstraße (Maßnahme 13) untersucht. Für Level A wurde eine CO₂-Reduktion von 2,27 Tonnen pro Jahr berechnet. Für Level B lag der Wert bei 4,89 Tonnen pro Jahr.

Tabelle 19: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Dresden.

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
1	Terrassenufer (Theaterkahn bis Steinstraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	2,5
1	Terrassenufer (Theaterkahn bis Steinstraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	B	14,03
2	Terrassenufer (Sachsenplatz bis Rietschelstraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	2,37
2	Terrassenufer (Sachsenplatz bis Rietschelstraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	B	16,29
3	Radeburger Straße (Ludwig-Kossuth-Straße bis Anschlussstelle Hellerau)	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	1,04
3	Radeburger Straße (Ludwig-Kossuth-Straße bis Anschlussstelle Hellerau)	Markierung von Radverkehrsanlagen	B	4,8
4	Harkortstraße (Moritzburger Platz bis Großenhainer Straße)	Belagssanierung	A	1,89

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
4	Harkortstraße (Moritzburger Platz bis Großenhainer Straße)	Belagssanierung	B	3,26
5	Ziegelstraße (Lothringer Straße bis Sachsenallee)	Belagssanierung	A	1,04
5	Ziegelstraße (Lothringer Straße bis Sachsenallee)	Belagssanierung	B	3,5
6	Bautzner Straße (Radeberger Straße bis Waldschlößchen)	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	2,17
6	Bautzner Straße (Radeberger Straße bis Waldschlößchen)	Markierung von Radverkehrsanlagen	B	17,97
7	Großenhainer Straße (Liststraße Haltestelle bis Conradstraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	2,07
7	Großenhainer Straße (Liststraße Haltestelle bis Conradstraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	B	38,51
8	Ockerwitzer Straße (Gottfried-Keller-Straße bis Max-Grahl-Straße)	Belagssanierung	A	0,91
8	Ockerwitzer Straße (Gottfried-Keller-Straße bis Max-Grahl-Straße)	Belagssanierung	B	2,25
9	Lockwitzbachweg (Hausnummer 18 bis Schrebergärten)	Belagssanierung	A	1,12
9	Lockwitzbachweg (Hausnummer 18 bis Schrebergärten)	Belagssanierung	B	0,49
10	Radroute Ost (Knotenpunkt Schlüterstraße/Glashüter Straße)	Ausbau des Radwegenetzes	A	2,16
10	Radroute Ost (Knotenpunkt Schlüterstraße/Glashüter Straße)	Ausbau des Radwegenetzes	B	0,73

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
11	Radroute Ost (Knotenpunkt Altenberger Straße/Kipsdorfer Straße)	Ausbau des Radwegenetzes	A	2,11
11	Radroute Ost (Knotenpunkt Altenberger Straße/Kipsdorfer Straße)	Ausbau des Radwegenetzes	B	22,77
12	Julius-Vahlteich-Straße (Kesselsdorfer Straße bis Coventrystraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	A	0,62
12	Julius-Vahlteich-Straße (Kesselsdorfer Straße bis Coventrystraße)	Markierung von Radverkehrsanlagen	B	16,07
13	Pulsnitzer Straße (Martin-Luther-Platz bis Louisenstraße)	Öffnung von Einbahnstraßen	A	2,27
13	Pulsnitzer Straße (Martin-Luther-Platz bis Louisenstraße)	Öffnung von Einbahnstraßen	B	4,89
14	Liststraße (komplett)	Belagssanierung	A	1,08
14	Liststraße (komplett)	Belagssanierung	B	2,7
15	Riesaer Straße (Großenhainer bis Coswiger Straße)	Belagssanierung	A	0,95
15	Riesaer Straße (Großenhainer bis Coswiger Straße)	Belagssanierung	B	3,28

4.2.6 Lüchow-Dannenberg

Der Landkreis Lüchow-Dannenberg sticht insofern heraus, als dass es sich um eine Untersuchung im ländlichen Raum handelt und lediglich eine Maßnahme analysiert werden konnte (Tabelle 20). Die Wirkung eines größeren Ausbaus eines bestehenden Radwegenetzes (Einrichtung einer Fahrradstraße) wurde auf zweierlei Weise berechnet; es kamen Level A und Level B aus dem Leitfaden zur Anwendung. Für beide Levels wurde eine durchschnittliche Weglänge von 4,1 km verwendet.

Bei Anwendung der Methode für Level A, wurde von den gemessenen 120 Radfahrer:innen pro Tag am Ort der Maßnahme ausgegangen. Die Anwendung des VERA-Faktors für diese Art von Maßnahme ergab 44 zusätzlich Fahrradfahrten pro Tag. Auf's Jahr gerechnet wurde eine Reduktion der per Auto zurückgelegten Kilometerleistung von 4.726 km geschätzt. Dies führt zu einer CO₂-Reduktion von 0,68 Tonnen pro Jahr.

Bei Anwendung der Methode für Level B wurde eine jährliche CO₂-Reduktion von 1,38 Tonnen geschätzt. Angenommen wurden 4.000 Personen im Einzugsgebiet, 2,9 Wege pro Tag und Person und ein Radverkehrsanteil von 21%. Die Steigerung der Fahrradfahrten pro Tag wurde mit 89 berechnet. Die jährliche Reduktion der per Auto zurückgelegten Kilometerleistung lag bei 9.593 km. Die doppelt so hohe Umweltwirkung im Vergleich zur gemessenen Radverkehrsstärke ist auf eine Überschätzung bei der Definition des Einzugsgebiets bzw. der von der Maßnahme betroffenen Personen zurückzuführen.

Tabelle 20: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen im Landkreis Lüchow-Danzenberg.

ID	Maßnahme	Maßnahmentyp	Level	CO ₂ -Reduktion (t/Jahr)
1	Fahrradstraße zwischen Lüchow und Wustrow	Ausbau des Radwegenetzes	A	0,68
1	Fahrradstraße zwischen Lüchow und Wustrow	Ausbau des Radwegenetzes	B	1,38

4.3 Schlussfolgerungen aus der Evaluierung

Die Anwendung des Leitfadens auf unterschiedliche Testfälle zeigt, wie abhängig die Ergebnisse von der Art und Qualität der Eingangsdaten sowie von der Parametrisierung der Schätzverfahren sind. Vor diesem Hintergrund wird die generelle Empfehlung aus VERA unterstrichen, dass die Abschätzung von Wirkungen von Interventionen stets mit Bedacht und idealerweise als Bandbreiten kommuniziert werden müssen.

Die Zusammenfassung aller Ergebnisse, wie in Abbildung 23 gezeigt, verdeutlicht, die große Bandbreite an Wirkungen, die festgestellt wurde.

VERA-Ansatz – Wirkungszusammenhänge und Effektgrößen werden in einem Leitfaden zur Abschätzung von Verlagerungseffekten integriert.

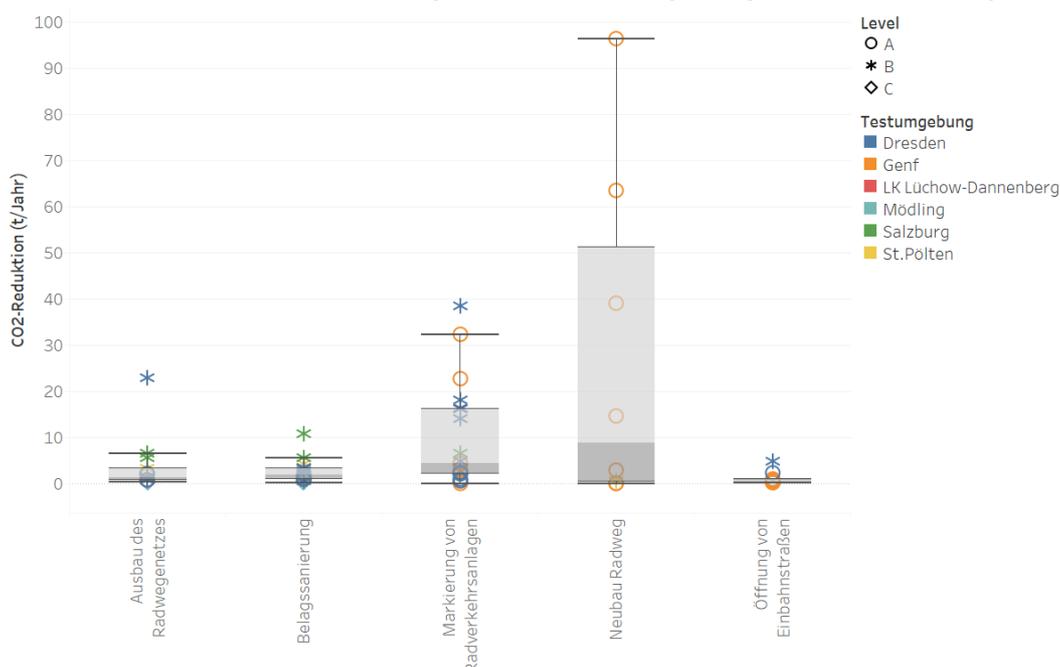


Abbildung 23: Wirkungen der Maßnahmenkategorien in den Testumgebungen, festgestellt mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen (Level A, B, C).

Die VERA-Faktoren, die aus dem empirischen Teil des Projekts abgeleitet wurden, sowie die im Leitfaden angenommenen Verlagerungseffekte bewährten sich in der testweisen Anwendung des Leitfadens. Zwei Aspekte erwiesen sich dabei jedoch als besonders kritisch:

- 1) Die Definition von Einzugsgebieten und die damit verbundene Ableitung von potentiellen Nutzer:innen der Radverkehrsanlage bei Level B und C. Durch die Verwendung eines euklidischen Buffers um die Maßnahme wird der Morphologie des Straßennetzes und damit der systemischen Bedeutung des Abschnitts, in dem die Maßnahme implementiert wird, genauso wenig Rechnung getragen wie topographischen Elementen (z.B. Flüssen, Bahnlinien etc.), die Barrieren darstellen können. Dazu kommt noch die Ableitung der Nutzer:innen von der Wohnbevölkerung. Diese Abstraktion führt tendenziell zu Überschätzungen von Wirkungen im dichtbewohnten Raum und zu einer Unterschätzung entlang wichtiger Verbindungen zwischen Siedlungszentren.
- 2) Die Verteilung von Radverkehrsflüssen im Netz erfolgt nicht gleichmäßig. Insofern ist die Hochskalierung von Trajektorien Daten (die eine kleine Stichprobe aller Radfahrer:innen darstellen) anhand nur weniger Zählstellen (Vollerhebung am Querschnitt) mit großen Unsicherheiten verbunden. Hier kann es, wie das Beispiel Genf zeigt, zu sehr großen Bandbreiten abgeleiteter Wirkungen kommen.

Beide genannten Aspekte sind Limitationen, denen im Rahmen von VERA nicht ausreichend begegnet werden konnten. Vor dem Hintergrund des übergeordneten Ziels eines datensparsamen Vorgehens, müssen derartige Implikationen in Kauf genommen werden. Beide Aspekte würden aufwendige, datenbasierte Modelle notwendig machen, die einer breiten und einfachen Anwendung des Leitfadens entgegenstehen würden.

5 Leitfaden

Die Ergebnisse von VERA werden in einem Leitfaden zusammengefasst, der Kommunen, Städte und Regionen dabei unterstützt die Verlagerungswirkungen von Neu- und Ausbauten von Radverkehrsanlagen abschätzen zu können. Dafür werden die im Projekt gesammelten Erkenntnisse und ein entwickeltes datenbasiertes Modell herangezogen.

Der VERA-Leitfaden bietet eine Zusammenstellung relevanter Einflussfaktoren auf die Wirkung unterschiedlicher Radverkehrsmaßnahmen sowie eine Anleitung zur methodischen Vorgangsweise für Potenzialabschätzungen von neuen und verbesserten Radverkehrsanlagen. Der erarbeitete Leitfaden wurde im Rahmen von Pilotanwendungen in mehreren Gemeinden anhand von 48 bereits durchgeführten Radverkehrsmaßnahmen überprüft. Darüber hinaus wurde der Leitfaden mit Hilfe von Leitfadeninterviews mit Expert:innen aus der Praxis auf Verständlichkeit, Plausibilität und Tauglichkeit überprüft und darauf aufbauend überarbeitet.

5.1 Zielsetzung

Ziel des Leitfadens ist es, ein in der Praxis **einfach anwendbares Instrument zur quantitativen Ermittlung von Verlagerungspotenzialen von Radverkehrsmaßnahmen** in Kommunen unterschiedlicher Größe in der gesamte DACH-Region bereit zu stellen, ohne dass dafür umfangreiche und aufwendig zu beschaffende Eingangsdaten benötigt werden. Zielgruppe des Leitfadens sind dabei sowohl Planer:innen, Entscheidungsträger:innen in den Umsetzungsgemeinden bzw. -regionen als auch der Auftraggeber (Ministerien, Förderstellen), wobei insbesondere die Planer:innen im Mittelpunkt stehen.

Der VERA-Leitfaden dient als Anhaltspunkt und ersetzt keine Messungen und Einschätzungen vor Ort. Des Weiteren werden in die Potenzialabschätzungen keine Randbedingungen explizit berücksichtigt. Die verkehrliche Wirkung bezieht sich im Kontext von VERA auf die Verlagerung von Pkw-Fahrten auf den Radverkehr. Exemplarisch wurden die dabei zu erwartenden CO₂ Emissionsreduktionen berechnet. Diese Kenngröße ist sowohl für diverse Förderprogramme relevant wie auch für das Monitoring der Erreichung der Klimaziele.

Weitere Kenngrößen ließen sich in ähnlicher Weise ableiten. Dazu zählen beispielsweise gesundheitliche Wirkungen mit Hilfe des HEAT-Tools, Reisezeitcharakteristika, Auswirkungen auf Lärmemissionen oder auf die Lebensqualität (Quality of Life). Die Ableitung dieser und ähnlicher Wirkungen war nicht Gegenstand dieses Vorhabens und wurde aus Gründen der Ressourcenverfügbarkeit nicht weiter verfolgt. Für die Weiterentwicklung des Leitfadens, aber auch für die weiterführende Forschung zum Thema sollten diese Wirkungsdimensionen jedenfalls beachtet werden.

5.2 Leitfadenentwicklung

Die Entwicklung des Leitfadens erfolgte in einem iterativen Prozess in Abstimmung mit den Ergebnissen der einzelnen Arbeitspakete und den damit verfügbaren Gestaltungsoptionen. Zunächst wurde eine Grundstruktur erarbeitet, die im Wesentlichen auf 4 Schritte aufbaut:

- Schritt 1: Ermittlung des derzeitigen Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme.
- Schritt 2: Anwendung der VERA-Faktoren zur Abschätzung des Steigerungspotenzials der jeweiligen Maßnahme für den Radverkehr.
- Schritt 3: Abschätzung des Anteils vom Pkw auf das Rad verlagerter Wege.
- Schritt 4: Ermittlung der eingesparten Pkw-Kilometer und Berechnung der Umwelteffekte (via nationaler Emissionskennzahlen).

Zusätzlich zu diesen 4 Schritten sollte der Leitfaden neben einer obligatorischen Einleitung zur Erläuterung der Ziele und des Anwendungsbereichs auch eine **Beschreibung der betrachteten Radverkehrsmaßnahmen** beinhalten. Darüber hinaus werden **mögliche Begleitmaßnahmen** aufgezeigt, die dazu beitragen können, die Effekte der umgesetzten Radverkehrsmaßnahmen zu verbessern. Diese beiden Punkte wurden im Rahmen der Leitfadenentwicklung erarbeitet und bilden als erstes bzw. letztes Kapitel den Rahmen, in dem der Kern des Leitfadens – nämlich die Abschätzung der Verlagerungspotenziale und der Umwelteffekte – eingebettet ist.

5.2.1 Betrachtete Radverkehrsmaßnahmen

In VERA wurden die nachfolgend aufgelisteten Maßnahmenkategorien betrachtet und Verlagerungseffekte für diese Maßnahmen berechnet. Dabei ist anzumerken, dass die Maßnahmenkategorien nicht immer trennscharf bestimmbar sind. Fällt eine Maßnahme potenziell in mehr als eine Kategorie, ist jene auszuwählen, die aus Sicht der Anwender:innen des Leitfadens im überwiegenden Maße entspricht.

- **Neubau Radweg:** Der Neubau von Radwegen umfasst die Schaffung neuer, eigenständiger Radverkehrsanlagen, wo zuvor keine dezidierte Infrastruktur für Radfahrende existiert hat.
- **Ausbau bestehendes Radwegenetz (Lückenschluss, Verbreiterung):** Der Ausbau des bestehenden Radwegenetzes kann verschiedene Maßnahmen zur Herstellung oder Erweiterung eines systematisch miteinander verbundenen Geflechts von Radverkehrsanlagen umfassen.
- **Markierung von Radverkehrsanlagen (Schutzstreifen, Radstreifen, Mehrzweckstreifen):** Bodenmarkierungen stellen eine kostengünstige Möglichkeit dar, um durchgängige Radverkehrsverbindungen zu schaffen und dabei die Sicherheit für Radfahrer:innen zu erhöhen.
- **Öffnung von Einbahnstraßen:** Das Radfahren gegen die Einbahn wird durch die Kundmachung der Zusatztafel „ausgenommen Radfahrende“/„Radfahrer frei“ unterhalb der Verkehrszeichen „Einbahnstraße“ bzw. „Einfahrt verboten“ gestattet.
- **Belagssanierung:** Der Ausbau beinhaltet auch die Verbesserung der Qualität der vorhandenen Radwege. Dies kann durch Reparatur und Instandhaltung von bestehenden Wegen geschehen, um sicherzustellen, dass sie sicher, gut befahrbar und komfortabel sind.

5.2.2 Methoden zur Ermittlung des derzeitigen Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme

Um das Steigerungspotenzial an Radfahrten durch eine Radverkehrsmaßnahme zu quantifizieren ist es zwingend erforderlich, die Baseline – also die Höhe des Radverkehrsaufkommens vor Maßnahmenumsetzung – festzustellen. Im Zuge der Leitfadenerarbeitung haben sich dazu 3 Vorgehensweisen herauskristallisiert, die in weiterer Folge als die 3 Varianten behandelt wurden:

- **Level A** stellt die Optimalvariante dar; die Daten zum Radverkehrsaufkommen sind vorhanden.
- **Level B** erfordert die Ermittlung des Radverkehrsaufkommens mit örtlichen Mobilitätsdaten.
- **Level C** erfordert die Ermittlung des Radverkehrsaufkommens mit generischen Mobilitätsdaten.

Bei **Level A** sind Aufkommensdaten vor Umsetzung der Maßnahme vorhanden oder werden dafür extra erhoben. Aufkommensdaten beziehen sich auf das Radverkehrsaufkommen vor Ort und optimalerweise auch im Umfeld der Maßnahme. Wie derartige Zählungen und/oder Analysen aus GPS-Erhebungen umgesetzt werden können und welche Daten benötigt werden, wird im Leitfaden in Kapitel 2.1 beschrieben. Dort finden sich potenzielle Bezugsquellen für GPS-Daten aus der DACH-Region sowie die Beschreibung einer möglichen Vorgehensweise zur Hochrechnung solcher GPS-Daten. Weiters werden in diesem Kapitel stationäre und mobile Möglichkeiten für Radverkehrszählung inkl. Anwendungsempfehlungen und Links zu Anbietern von mobilen Zählgeräten in der DACH-Region beschrieben.

Die Empfehlung im Leitfaden lautet, wann immer möglich, eine Radverkehrszählung mit Zählgeräten oder via GPS-Daten durchzuführen.

Level B beschreibt die Ermittlung des Radverkehrsaufkommens mit örtlichen Mobilitätsdaten für den Fall, dass keine konkreten Zählungen, aber örtliche Mobilitätserhebungsdaten (nicht älter als 5 Jahre) verfügbar sind. Dazu werden für die Berechnungen Daten aus Mobilitätserhebungen (**Wege pro Person, Verkehrsmittelwahl, Weglängen**) benötigt.

Level C unterscheidet sich von Level B nur insofern, dass keine lokalen Mobilitätskennzahlen aus örtlichen Mobilitätserhebungen vorhanden sind. Die notwendigen Daten werden hier auf Basis einer Gemeindezuordnung zu Gemeindeclustern mit ähnlichen Strukturen und Mobilitätskennzahlen durch VERA bereitgestellt. Die Daten stammen aus größeren, landesweiten oder bundeslandweiten Verkehrserhebungen, die im Rahmen von VERA gewählte Vorgehensweise dazu und die genutzten Daten werden nachfolgend beschrieben.

Verfügbare, nationale Mobilitätserhebungsdaten: Mobilitätsdaten bilden die Ausgangsdaten, um das Radverkehrsaufkommen abschätzen zu können. Bestehende Mobilitätserhebungen können verwendet werden, solange sie nicht älter als 5 Jahre sind. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei neben regionalen oder lokalen Mobilitätserhebungen die landesweiten Erhebungen in den drei Ländern:

- **Deutschland:** Die wichtigste Mobilitätserhebung in Deutschland ist die MiD („Mobilität in Deutschland“). Die „MiD“ ist eine großangelegte Verkehrserhebung, die detaillierte Daten über das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung in Deutschland sammelt. Sie wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr finanziert und in regelmäßigen Abständen durchgeführt, zuletzt 2023⁷.
- **Österreich:** Die Erhebung „Österreich Unterwegs“ wurde 2014 im Wesentlichen mit derselben Methode wie die MiD erhoben, die Erhebungsdaten sind öffentlich verfügbar⁸. Eine Aktualisierung ist derzeit in Vorbereitung.
- **Schweiz:** Die Mikrozensuserhebung zum Verkehrsverhalten (MZMV) in der Schweiz ist eine bedeutende statistische Erhebung, die seit 1974 durchgeführt wird und darauf abzielt, ein detailliertes Bild des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung zu erfassen. Die Ergebnisse der MZMV sind ebenfalls öffentlich zugänglich⁹.

Für die Ermittlung des Radverkehrsaufkommens im Rahmen dieses Leitfadens werden die folgenden Daten aus Mobilitätserhebungen herangezogen.

Personendaten: Die Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl der Wege pro Person, beziehungsweise die Wegehäufigkeit, wobei alle Personen gezählt werden, unabhängig davon, ob Sie am Stichtag Außer-Haus unterwegs waren.

Wegedaten: Die zu Erhebenden Wegedaten umfassen zum einen die Verkehrsmittelwahl, beziehungsweise den Modal-Split. Diese Daten enthalten die jeweiligen Anteile der (Haupt-)Verkehrsmittel am Gesamtverkehrsaufkommen.

⁷ <https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/> [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

⁸ https://www.bmk.gv.at/oesterreich_unterwegs/ [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

⁹ <https://www.are.admin.ch/are/de/home/mobilitaet/grundlagen-und-daten/mzmv.html> [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

Dazu zählen Wegen welche zu Fuß, mit dem Fahrrad, als MIV-Lenker:in, als MIV-Mitfahrer:in oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden. Zum anderen wird die durchschnittliche Wegelänge verwendet. Dieser Wert beschreibt den Mittelwert der Wegelängen, wobei nach Hauptverkehrsmitteln unterschieden wird. Insbesondere die mittleren Wegelängen, die mit dem Rad zurückgelegt wurden werden benötigt.

Generische Mobilitätskennzahlen / Gemeindecluster: Wenn keine aktuellen, örtlichen Mobilitätserhebungen für die Untersuchungsregion vorliegen und auch nicht erhoben werden können, bleibt nur die Möglichkeit, mit generischen Mobilitätsdaten zu rechnen. Diese generischen Mobilitätsdaten werden von VERA für alle 3 Länder der DACH-Region zur Verfügung gestellt. Sie wurden im Rahmen der Leitfadententwicklung generiert und werden in Form von Excel-Tabellen zur Verfügung gestellt.

Für die generischen Mobilitätsdaten wurden die oben genannten landesweiten Erhebungen herangezogen und länderspezifisch unterschiedlichen Raumtypen / Gemeindecluster erarbeitet oder übernommen und die entsprechenden Mobilitätskennzahlen für diese Gemeindecluster ausgewertet.

- **Deutschland:** Diese MID-Daten aus Deutschland beinhalten bereits eine raumstrukturelle Zuordnung aller Gemeinden auf Basis der regionalstatistischen Raumtypologie „RegioStar17“ des BMDV, welche für VERA übernommen wurden.
- **Österreich:** Die letzte österreichweite Mobilitätserhebung „Österreich Unterwegs“ wurde im Jahr 2013/2014 durchgeführt, daher wurde für Österreich auch auf aktuellere, regionale Datensätze zurückgegriffen (Niederösterreich 2018, Oberösterreich und Salzburg 2022, Vorarlberg 2023). Die raumstrukturelle Clusterung der Gemeinden für Österreich wurde im Rahmen von VERA vorgenommen. Basis für diese Clusterung waren dabei eine Vielzahl an statistischen Daten wie etwa die Urban-Rural-Typologie der Statistik Austria, Bevölkerungsdaten, Pendlerstatistiken, die ÖV-Gütekategorie, die Pkw-Dichte und Erreichbarkeitsverhältnisse. Darauf aufbauend erfolgte eine Einteilung der Gemeinden in Österreich in 7 Cluster, die sich hinsichtlich des Mobilitätsverhaltens voneinander unterscheiden, aber in sich möglichst homogen sind.

Durch die Verfügbarkeit von regionalen Mobilitätsdaten unterschieden nach den Bundesländern Oberösterreich, Salzburg, Niederösterreich und Vorarlberg besteht neben der Zuordnung der Untersuchungsregion zu einem der Gemeindecluster auch die Möglichkeit, jene Mobilitätskennzahlen auszuwählen, die für die jeweilige Gemeinde am ehesten zutreffen. Diese Auswahl, der am ehesten zutreffenden Mobilitätskennzahlen muss im Einzelfall auf Basis der Ortsspezifika getroffen werden.

- **Schweiz:** Die Daten der Mikrosensuserhebung zum Verkehrsverhalten (MZMV) in der Schweiz waren für das Jahr 2021 verfügbar. Ähnlich wie in Deutschland ist hier bereits eine offizielle, raumstrukturelle Zuordnung der Gemeinden enthalten, die übernommen werden konnte. Diese 9 Kategorien basieren auf einer Einteilung nach Dichte-, Größe und Erreichbarkeitskriterien.

Zur Auswahl der geeigneten Mobilitätskennzahlen für die weiteren Berechnungen ist eine Zuordnung der Untersuchungsregion / Gemeinde zu einem „Gemeindecluster“ erforderlich. In VERA wurde dazu eine Liste aller Gemeinden in Deutschland, Österreich und der Schweiz erstellt, die eine entsprechende Zuordnung zu den Gemeindeclustern und den entsprechenden Mobilitätskennzahlen enthält.

Aufkommensabschätzung Level B/C: In einem ersten Ansatz wurde die Abschätzung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme mittels eines angepassten Gravitationsmodells versucht. Das Gravitationsmodell ist ein analytisches Werkzeug, das ursprünglich aus der Physik stammt und in der Verkehrsplanung sowie in der Geographie angewendet wird, um Verkehrsströme zwischen verschiedenen Orten zu modellieren. Es basiert auf der Idee, dass der Verkehrsfluss zwischen zwei Orten direkt proportional zur „Anziehungskraft“ der Orte (z.B. Bevölkerungsgröße oder wirtschaftliche Aktivität) und umgekehrt proportional zur Entfernung zwischen den Orten ist. Im konkreten Anwendungsfall war das Gravitationsmodell dazu angedacht, um das Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme abzuschätzen.

Es hat sich aber schnell gezeigt, dass der Aufwand für die Beschaffung der notwendigen Daten in keinem Verhältnis zur Qualität des Abschätzungsergebnisses steht und die Gefahr birgt, dass der Leitfaden in der Praxis nicht an-

wendbar ist. Für das Gravitationsmodell ist neben der Abgrenzung des Untersuchungsgebiets auch eine Unterteilung in mehrere, sinnvolle Teilgebiete (z.B. Stadtteile, Katastralgemeinden oder Rasterzellen), für die eine unterschiedliche Anziehungskraft bzw. Wirkung der Maßnahme erwartet wird, erforderlich. Für jedes dieser Teilgebiete müssten dann Grundlagendaten wie Einwohnerzahl, Anzahl der Arbeitsplätze, Anzahl der Ausbildungsplätze und Anzahl der Freizeiteinrichtungen ermittelt werden. Darüber hinaus müssten die räumlichen Beziehungen anhand von Entfernungen und Wegzeiten ermittelt werden.

Somit wurde ein vereinfachtes Verfahren entwickelt und in Berechnungsbeispielen den Ergebnissen aus dem Gravitationsmodellansatz gegenübergestellt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Abweichungen zwischen der Überschlagsrechnung und dem detaillierten Gravitationsmodell relativ gering waren und sich so das **vereinfachte Verfahren als brauchbare Alternative** herausgestellt hat.

Für das vereinfachte Verfahren ist im ersten Schritt lediglich eine grobe Einschätzung des erwarteten Effekts der Maßnahme erforderlich. Je nach Umfang der Maßnahme bzw. Höhe des Effekts ist dafür eine der folgenden drei Kategorien auszuwählen:

- **„Kleine“ Radverkehrsmaßnahme:** Maßnahmen wie kurze Radwege, geschützte lokale Radstreifen, Nebenstraßen, Einbahnöffnung, Färbung von Radwegen oder Belagssanierung.
- **„Mittelgroße“ Radverkehrsmaßnahme:** Maßnahmen wie Lückenschlüsse oder längere Radwege.
- **„Umfangreiche“ Radverkehrsmaßnahme:** Maßnahmen wie neue Fahrradbrücken oder die Errichtung einer Fahrradstraße.

Die Gebietsabgrenzung, also die Abgrenzung der Größe des Einzugsbereichs der Radverkehrsmaßnahme und damit die potenziell betroffene Personenanzahl, erfolgt durch Festlegung des Radius um die Maßnahme in Abhängigkeit des erwarteten Maßnahmeneffekts. Diese Abgrenzung muss aber jedenfalls an die lokalen Begebenheiten angepasst werden und durch lokale Expert:innen abgesichert werden. In VERA wurde der Radius anhand verfügbarer Daten von Einzelmaßnahmen (Maßnahmen, bei denen entweder Vorher- und Nachherzählungen oder GPS-Daten zur Verfügung standen) folgendermaßen festgelegt:

- **„Kleine“ Radverkehrsmaßnahme:** Radius von bis 0,5 km um die Maßnahme.
- **„Mittelgroße“ Radverkehrsmaßnahme:** Radius von > 0,5 bis 1 km um die Maßnahme.
- **„Umfangreiche“ Radverkehrsmaßnahme:** Radius von > 1 bis 2 km um die Maßnahme

Die Gebietsabgrenzung sollte so gewählt werden, dass die Einwohner:innenzahl ermittelt werden kann. Bei Städten und Gemeinden liegen Einwohnerdaten in der Regel für Stadtteile / Bezirke / Zählsprenkel / Quartiere vor; gegebenenfalls kann die Einteilung anhand der Raumstruktur weiter verfeinert werden. Es ist festzuhalten, dass diese räumliche Abgrenzung nur eine grobe Orientierung darstellt.

Die Abschätzung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme erfolgt durch **Multiplikation der folgenden Parameter:**

Formel 5: Abschätzung des Radverkehrsaufkommens

Relevantes Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme

$$\begin{aligned}
 &= \text{Bevölkerungszahl im abgegrenzten Gebiet} \\
 &\times \text{Wege pro Person und Tag} \times \text{Radverkehrsanteil} \\
 &\times \text{Abschwächungsfaktor relevanter Radverkehr}
 \end{aligned}$$

Dabei stammen die **Bevölkerungszahlen** aus statistischen Erhebungen, die **Wege pro Person und Tag** gehen aus den Mobilitätserhebungen hervor, ebenso wie der **Radverkehrsanteil**.

Der **Abschwächungsfaktor** berücksichtigt, dass nicht alle Radfahrten den konkreten Ort der Maßnahme bzw. den neuen oder besserten Radweg passieren. Im Rahmen der Evaluierung im Projekt VERA, für die auch detaillierte Berechnungen des Radverkehrsaufkommens für unterschiedlich gelagerte Radverkehrsmaßnahmen mittels Gravitationsmodell durchgeführt wurden, hat sich eine Größenordnung von rund 0,1 (10%) für diesen Faktor als valide erwiesen, der in Abhängigkeit des Umfangs (bzw. des Effekts) der Maßnahme variiert. Je kleiner der Effekt der Maßnahme und somit das relevante Einzugsgebiet ist, desto größer ist der Anteil des Radverkehrs, der über die Maßnahme verläuft

und umgekehrt. Als Ergebnis der Berechnungen mittels Gravitationsmodell wurden in VERA folgende Abschwächungsfaktoren ermittelt:

- Für „**kleine**“ Radverkehrsmaßnahmen: 15%
- Für „**mittelgroße**“ Radverkehrsmaßnahme: 12,5%
- Für „**umfangreiche**“ Radverkehrsmaßnahme: 10%

Dieser Faktor muss ebenso wie die Abgrenzung des Einzugsgebiets gemeinsam mit ortskundigen Personen und Mobilitätsexpert:innen überprüft werden und hängt stark von den verkehrlichen, räumlichen und geographischen Begebenheiten vor Ort ab.

Das Ergebnis der Aufkommensabschätzung ergibt die Anzahl an relevanten Radwegen je Tag am Ort der Maßnahme und diese stellt die Basis für die Potenzialabschätzung dar.

5.2.3 Verlagerungspotenzial der Maßnahmen für den Radverkehr

Um für die gegebenen Verkehrsstärken am Maßnahmenort die Umwelteffekte zu ermitteln, wird das Verlagerungspotenzial durch die Radverkehrsmaßnahme benötigt. Dazu ist zunächst die Wirkung bereits existierender Maßnahmen der gleichen Kategorie zu ermitteln. Für die wird der Faktor berechnet, mit dem sich die Radverkehrszahlen am Ort der Maßnahme im Vergleich zu vorher verändert hat. Für eine solche Fragestellung ist der Difference-in-Differences-Ansatz eine in der Forschung etablierte Methode (Hong et al., 2020). Bei diesem wird die Entwicklung einer Größe einer Behandlungs- mit der einer Kontrollgruppe verglichen. Bezogen auf Radverkehrsmaßnahmen wird die Entwicklung der Verkehrsstärken zwischen mehreren Zeitpunkten entlang von Orten mit Maßnahmen denen gegenübergestellt, an denen keine Intervention stattfand. Verglichen werden dabei mindestens zwei Zeitpunkte miteinander.

Die Vorgehensweise dazu in VERA wird in Kapitel 3 im Detail beschrieben. Als Ergebnis wurden folgende valide Faktoren für die unterschiedlichen Maßnahmenkategorien ermittelt:

- Ausbau des Radwegenetzes: 1.366
- Belagssanierung: 1.480
- Markierung von Radverkehrsanlagen: 1.359

- Neubau Radweg: 1.720
- Öffnung von Einbahnstraßen: 1.561

Diese Faktoren werden mit dem Radverkehrsaufkommen vor Umsetzung der Maßnahme multipliziert. Aus der Differenz zwischen dem Zählwert und der prognostizierten Verkehrsstärke ergibt sich das absolute Verlagerungspotenzial bzw. die Anzahl der zusätzlichen Radfahrten durch die Radverkehrsmaßnahme.

Neben den oben genannten Faktoren wurden im Rahmen von VERA auch weitere, spezifische Faktoren für bestimmte Maßnahmenumgebungen wie bestimmte Straßenkategorien ermittelt.

5.2.4 Abschätzung Verkehrsmittelverlagerung

Um in weiterer Folge Umwelteffekte berechnen zu können, ist es erforderlich abzuschätzen, wie groß die Verlagerungseffekte von anderen Routen oder von anderen Verkehrsträgern (insbesondere vom Pkw) sind. Die möglichen Verlagerungseffekte können im Wesentlichen in 4 Kategorien eingeteilt werden:

- 1) Verlagerung von Wegen per Fahrrad von anderen Routen zur Radmaßnahme: keine Umwelteffekte
- 2) Verlagerung von Fußwegen auf das Fahrrad: keine Umwelteffekte
- 3) Verlagerung vom Öffentlichem Verkehr auf das Fahrrad: geringe Umwelteffekte berechenbar
- 4) Verlagerung vom Pkw auf das Fahrrad: Umwelteffekte berechenbar

Auch bei diesem Schritt kann zwischen den Varianten „Level A“ (Optimalvariante mit vorhandenen Zählwerten / GPS-Daten) und den Varianten „Level B“ und „Level C“ (keine konkreten Zählwerte vorhanden) unterschieden werden. Die beiden letztgenannten Varianten sind auf eine Abschätzung der Verlagerungseffekte wie unten beschrieben angewiesen, wenn nicht andere örtliche Anhaltspunkte verfügbar sind. Bei „Level A“ können gegebenenfalls lokale Zählwerte am oder im Nahbereich der Maßnahme (wenn diese auch Zählungen für MIV, ÖV und Fußwege beinhalten) herangezogen werden, um die Verlagerungspotenziale besser abzuschätzen. Dafür werden sehr gute örtliche Kenntnisse be-

nötigt und die erwarteten Verlagerungseffekte sind gemeinsam mit lokalen Expert:innen und Verkehrsplaner:innen zu bestimmen. Eine exakte Vorgehensweise dafür kann nicht vorgegeben werden.

Für alle anderen Fälle können die nachfolgend aus Literatur und Expert:innenbefragungen (vergleiche Kapitel 2) abgeleiteten Größenordnungen von Verlagerungseffekten herangezogen werden. Eine weitere Variation der unten genannten Größenordnungen kann gegebenenfalls über unterschiedliche Annahmen zur Verlagerungswirkung nach Größe des Einzugsgebiets erfolgen. Je kleiner das Einzugsgebiet und je kürzer die Entfernungen sind, desto höher ist potenziell der Anteil der vom Pkw weg verlagerten Wege.

Die Zusammenfassung der Literatur zeigt, dass eine exakte Bestimmung der Verlagerungseffekte im Zusammenhang mit baulichen Radverkehrsmaßnahmen ohne genaue Kenntnis der örtlichen Begebenheiten nur näherungsweise möglich ist. Folgende Durchschnittswerte von Verlagerungseffekten die – wenn keine genauere Kenntnis der Situation vor Ort vorhanden ist – näherungsweise herangezogen werden können, werden vorgeschlagen:

- Verlagerung von Wegen per Fahrrad von anderen Routen zur Radmaßnahme: 56%
- Verlagerung von Fußwegen auf das Fahrrad: 13%
- Verlagerung vom Öffentlichem Verkehr auf das Fahrrad: 22%
- Verlagerung vom Pkw auf das Fahrrad: 9%

Anhand der Ergebnisse der Expert:innenbefragung wurden für den VERA-Leitfaden die oben genannten Größenordnungen der Verlagerungseffekte je nach Maßnahme leicht variiert, wobei hier im Wesentlichen die vom Pkw auf das Rad verlagerten Wege relevant sind. Für die unterschiedlichen Maßnahmenkategorien werden auf dieser Basis folgende Verlagerungseffekte vorgeschlagen. Der Prozentsatz gibt an, wie viele der zusätzlichen Radfahrten vom Pkw auf das Rad verlagert werden.

- Neubau Radweg: 12%
- Geschützte Fahrradstreifen, Markierung von Radverkehrsanlagen, Ausbau des Radwegenetzes: 10%
- Öffnung von Einbahnstraßen, Belagssanierung: 8%

5.2.5 Emissionsfaktoren

Um die Reduktion der Emissionen von CO₂, NO_x und anderen Schadstoffen durch eingesparte Pkw-Kilometer zu berechnen, müssen spezifische Emissionskennzahlen für Österreich, Deutschland und die Schweiz berücksichtigt werden. Diese variieren je nach Land aufgrund unterschiedlicher Fahrzeugflotten, Fahrverhalten und Treibstoffqualität. Die im VERA-Leitfaden dargestellten Emissionskennzahlen je Land wurden aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs¹⁰ entnommen, welches für alle drei Länder vergleichbare Zahlen bereitstellt. Es wird vorgeschlagen, die Werte der Prognose 2025 für direkte Emissionen (CO₂-Äquivalente) bei einem Pkw-Besetzungsgrad von 1,14 (AT)¹¹, 1,4 (DE)¹² bzw. 1,53 (CH)¹³ und auf Basis des Durchschnittswerts der Fahrzeugflotte und Verkehrssituation je Land in g/Personenkilometer heranzuziehen. Diese Werte variieren vorwiegend auf Grund der deutlich unterschiedlichen Besetzungsgrade der Pkw relativ stark.

5.2.6 Berechnungsansatz

Der Berechnungsansatz wurde im Rahmen der Leitfadeneentwicklung erarbeitet und wird im Leitfaden detailliert dargestellt. Im Wesentlichen sind dazu die folgenden Schritte erforderlich.

Um die Reduktion der Emissionen zu berechnen, muss in einem **ersten Schritt** die, durch die Maßnahme, gestiegene Anzahl der Radfahrten pro Tag am Ort der Maßnahmen wie folgt errechnet werden:

Formel 6: Berechnung der gestiegenen Radfahrten pro Tag

Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag

$$\begin{aligned}
 &= \text{Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag} \\
 &\times \text{Steigerungsfaktor der entsprechenden Maßnahme} \\
 &- \text{Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag}
 \end{aligned}$$

¹⁰ <https://www.hbefa.net/de/startseite> [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

¹¹ <https://www.umweltbundesamt.at/umwelthemen/mobilitaet/mobilitaetsdaten/emissionsfaktoren-verkehrsmittel> [zuletzt abgerufen 16.01.2025]

¹² <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/fahrgemeinschaften#hintergrund> bzw. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/bilder/dateien/uba_emissionstabelle_personenverkehr_2022_0.pdf [zuletzt abgerufen 16.01.2025]

¹³ <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/24267566> [zuletzt abgerufen 16.01.2025]

In einem **zweiten Schritt** werden die dadurch reduzierten Pkw-Kilometer pro Tag errechnet. Dazu werden die durchschnittlichen Weglängen der Radwege entweder aus einer aktuellen lokalen Mobilitätsenerhebung oder aus generischen Mobilitätsdaten ebenso wie der Pkw-Reduktionsfaktor (Höhe der Verlagerung weg vom Pkw auf das Rad) benötigt:

Formel 7: Berechnung der Reduktion der Pkw-Kilometer pro Tag

Reduktion der PKW Kilometer pro Tag

$$\begin{aligned}
 &= \text{Steigerung der Radfahrtenanzahl pro Tag} \\
 &\times \text{PKW Reduktionsfaktor der jeweiligen Maßnahme} \\
 &\times \text{durchschnittliche Weglänge der Radwege}
 \end{aligned}$$

In einem **dritten Schritt** werden die reduzierten Tageskilometer auf Jahreskilometer hochgerechnet. Dazu werden die Tageskilometer mit der Anzahl von 5 Arbeitstagen und 52 Wochen multipliziert:

Formel 8: Hochrechnung der Tageskilometer auf Jahreskilometer

Reduktion PKW Kilometer pro Jahr

$$= (\text{Reduktion PKW Kilometer pro Tag} \times \text{Tage}) \times \text{Wochen}$$

Im **abschließenden Schritt** werden die reduzierten Pkw-Jahreskilometer mit den spezifischen Emissionswerten multipliziert:

Formel 9: Berechnung der Emissionsreduktion

Reduktion der Emissionen

$$= \text{Reduktion PKW Kilometer pro Jahr} \times \text{Emissionsfaktor}$$

Die Summe ergibt so die Höhe der jährlichen Umwelteffekte der Radverkehrsmaßnahme.

Berechnungsbeispiel und Berechnungsvorlage: Um die Anwendbarkeit des Leitfadens weiter zu verbessern, wurde im Rahmen eines Projektworkshops vorgeschlagen, ein möglichst einfaches und anschaulich dargestelltes Berechnungsbeispiel in den Leitfaden mit aufzunehmen und zusätzlich ein Excel-Tool dazu bereitzustellen.

Allgemeine Informationen	
Beschreibung der Maßnahme:	Neuverteilung des Straßenraums, Verbesserung der Infrastruktur für den Radverkehr.
Land:	Österreich
Maßnahmenart:	Ausbau des Radwegenetzes
Berechnungslevel:	B/C - Radaufkommensdaten nicht vorhanden
Level A	
Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag:	
	oder
Level B/C	
Maßnahmenumfang (Effektgröße):	Mittelgroße Radverkehrsmaßnahme
Einzugsgebiet Info:	Einzugsgebiet Radius >0,5 bis 1 km
Personenanzahl im Einzugsgebiet:	10571
Wege pro Person:	3,19
Radverkehrsanteil:	14,4%
Radwegeanzahl gesamt:	4.856
Abschwächungsfaktor relevanter Radverkehr:	13%
Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag:	607
Berechnungen	
Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag:	607
Steigerungsfaktor aus VERA:	1,366
Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag:	222
Pkw-Reduktionsfaktor VERA:	10%
Durchschnittliche Weglänge der Radwege :	4,2
KM Pkw-Reduktion pro Tag:	93
Anzahl Tage pro Woche:	5
Anzahl Wochen pro Jahr:	52
CO ₂ -Ausstoß pro Personen-KM in g:	138,7
Ergebnis	
Verlagerte Pkw-Kilometer pro Jahr:	24.260
Eingesparte Tonnen CO ₂ pro Jahr	3,36

Abbildung 24: Excel-Tool zur Berechnung des Verlagerungspotenzials und der Emissionsreduktion

Beides wurde im Rahmen der Leitfadententwicklung umgesetzt. Als anschauliches Berechnungsbeispiel dient eine Radverkehrsmaßnahme aus der Stadt St. Pölten, nämlich die im Jahr 2023 teilweise bereits umgesetzte Neuverteilung des Straßenraums und Verbesserung der Infrastruktur des Radverkehrs in

Form einer fahrradfreundlichen Straße auf dem Abschnitt der Dr. Karl Renner-Promenade zwischen Linzer Tor und Schulgasse (Länge rund 300 m).

Darüber hinaus wird ein Excel-Tool zur Verfügung gestellt, das neben dem Berechnungsblatt auch die ausgewerteten generischen Mobilitätskennzahlen für die einzelnen Gemeindecluster der drei DACH-Länder enthält (Abbildung 24).

5.2.7 Mögliche Begleitmaßnahmen

Zur Ergänzung und Abrundung des VERA-Leitfadens wurden mögliche Begleitmaßnahmen zur Erhöhung der Effekte der Radverkehrsmaßnahmen zusammengestellt. Wichtigste Quelle war dabei der Leitfaden „Kosteneffiziente Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in Gemeinden“¹⁴, den das damalige Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Jahr 2017 veröffentlicht hat. Die im Folgenden aufgelisteten Begleitmaßnahmen werden im VERA-Leitfaden kurz beschrieben und hinsichtlich Kosten, administrativem Aufwand, Nutzen und Akzeptanz qualitativ bewertet.

- **Infrastruktur für den ruhenden Radverkehr:** Die Infrastruktur des ruhenden Radverkehrs umfasst jegliche Einrichtungen und Möglichkeiten des Fahrradparkens.
- **Service und Dienstleistungen:** Service und Dienstleistungen bieten Gemeinden eine Möglichkeit ohne großen administrativen oder finanziellen Aufwand Maßnahmen zu setzen, die die Sicherheit und den Komfort von Radfahrenden erhöhen.
- **Vernetzung mit dem öffentlichen Verkehr:** Personen, die mit dem Fahrrad unterwegs sind, nutzen auch überproportional den öffentlichen Verkehr. Daher ist es wichtig eine gute Symbiose der beiden Verkehrsmittel sicherzustellen und somit die das Potenzial des Umweltverbundes bestmöglich auszunutzen.
- **Information und Kommunikation:** Nur wenn die, den Radverkehr betreffend, umgesetzten Maßnahmen und Aktionen gut kommuniziert werden, kann ihr Potenzial voll ausgeschöpft werden.

¹⁴ https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/fuss_radverkehr/publikationen/foerderung_radverkehr.html [zuletzt abgerufen 29.11.2024]

- **Förderungen:** Neben den Verkehrsabteilungen der Gemeinden gibt es zahlreiche externe Akteure, die mit gezielten Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs beitragen können.
- **Evaluierung und Qualitätsmanagement:** Evaluierung und Qualitätsmanagement haben einen großen positiven Effekt auf die Förderung des Radverkehrs. Beim Qualitätsmanagement steht die Überprüfung der Qualität der Maßnahme im Vordergrund.
- **Komplementärmaßnahmen:** Maßnahmen, die in erster Linie andere Verkehrsmittel adressieren, können indirekt zu einer Förderung des Radverkehrs beitragen.
- **Nachhaltige und langfristige Planung:** Eine nachhaltige und vorausschauende Planung hilft Gemeinden und Regionen bei der Implementierung einer erfolgreichen Radverkehrsförderung.

5.3 Evaluierung des Leitfadens

Zur Evaluierung des Aufbaus, der Verständlichkeit, der Praktikabilität, der Plausibilität der Ergebnisse und der Anwendbarkeit des VERA-Leitfadens wurden insgesamt 5 persönliche Leitfadeninterviews in den DACH-Ländern durchgeführt. Ziel war eine kritische Beurteilung des Leitfadens ebenso wie das Einbringen von Verbesserungsvorschlägen von potenziellen Anwender:innen in den Kommunen bzw. durch Entscheidungsträger im Radverkehrsbereich.

In der folgenden Tabelle (Tabelle 21) werden die Personen gelistet, die für ein Interview bereitstanden, alle Interviewpartner haben der Listung in diesem Dokument zugestimmt. Die nachfolgenden Aussagen und Ergebnisse werden anonymisiert dargestellt und können keiner Person zugeordnet werden.

Tabelle 21: Interviewpartner:innen Leitfadenevaluierung

Institution	Funktion	Land
Landeshauptstadt Dresden	Radverkehrskordinator	DE
Stadt St. Gallen	Verkehrsplaner	CH
BMK	Bundesradkordinator	AT
Gemeinde Mödling	Stadtbauamt	AT
Stadt St. Pölten	Geschäftsbereich Stadtentwicklung, Abt. Verkehrsplanung	AT

Der Interviewleitfaden war in folgende Themenbereiche aufgeteilt:

- Notwendigkeit eines Leitfadens / Strukturierte Wirkungsabschätzung
- Aufbau des Leitfadens
- Praktikabilität des Leitfadens
- Plausibilität der Ergebnisse
- Zukünftige Anwendung

Die Rückmeldungen waren sehr vielfältig und betrafen nicht nur den Leitfaden selbst, sondern auch grundlegende Anmerkungen zur Vorgehensweise bei der Radverkehrsplanung. Im Folgenden werden die gestellten Fragen und die entsprechenden Rückmeldungen zusammenfassend dargestellt.

5.3.1 Notwendigkeit eines Leitfadens / Strukturierte Wirkungsabschätzung

In einem ersten Teil wurde die generelle Notwendigkeit bzw. Relevanz des Leitfadens abgefragt.

Werden in der Stadt bzw. Region, in der Sie tätig sind, Wirkungen von Maßnahmen strukturiert erhoben, beispielsweise durch Vorher-/Nachher-Untersuchungen?

Strukturierte Erhebungen der Wirkungen von Maßnahmen werden bisher nur teilweise durchgeführt, wurden aber von allen Interviewpartnern als wünschenswert und wichtig erachtet. Teilweise sind Radzählstellen vorhanden, teilweise werden nur anlassbezogene Zählungen durchgeführt. Dort, wo strukturiert erfasst wird, werden Vorher-Nachher-Erhebungen am Ort der Maßnahme wie Zählungen, aber auch Beobachtungen und Abstandsmessungen durchgeführt. Bei der Förderung von Radwegenetzen ist in Österreich die Errichtung einer Dauerzählstelle verpflichtend. Untersuchungen im Nachhinein finden in den meisten Fällen nicht strukturiert statt.

Die strukturierten Erhebungen scheitern oft an verfügbaren Ressourcen oder die Maßnahmen sind zu wenig umfangreich, dass eine solche Evaluierung sinnvoll erscheint. In manchen Bereichen ist man auch froh über jede umgesetzte Maßnahme (Radnetzausbau vorantreiben), so dass eine Wirkungsabschätzung teilweise auch als nicht notwendig erachtet wird. Manchmal ist es auch nicht im

Interesse der Beteiligten, Wirkungen festzustellen (z.B., wenn die prognostizierte Verlagerung gar nicht eintrifft und sich mitunter Forderungen nach Rückzahlung einer Förderung argumentieren ließen).

Wie wird die Wirkung von Maßnahmen in der Planungsphase eingeschätzt?

Derzeit erfolgt die Wirkungseinschätzung von Maßnahmen in der Planungsphase oft durch Expertenabschätzung und teilweise durch eine strukturierte Bewertung. In einigen Fällen erfolgt die Abschätzung von potenziellen Verlagerungen auf Basis von Einwohnern und Quell-/Zieleinrichtungen (Schul- und Arbeitsstandorte sowie Einkaufs- und Freizeittorte) im Umfeld von Maßnahmen(bündeln). Berücksichtigt werden auch Ergebnisse von örtlichen Mobilitäts-erhebungen.

Werden auf Basis dieser Wirkungsabschätzungen Entscheidungen getroffen bzw. adaptiert (z.B. Priorisierung, Budgetverteilung usw.)?

Teilweise werden auf Basis von Wirkungsabschätzungen auch Entscheidungen getroffen, das ist aber bei den meisten Interviewpartnern (noch) nicht die Regel.

Die Entscheidung, ob eine Maßnahme durchgeführt wird oder nicht erfolgt oft auf Basis von Expert:inneneinschätzung und durch die eigene Expertise der Gemeindemitarbeiter:innen vor Ort bzw. teilweise mittels anlassbezogener Zählungen. Teilweise werden auch Bevölkerungsbefragungen durchgeführt und Verkehrszählungen aus anderen Projekten genutzt. In einigen Fällen spielen auch politische Wünsche eine entscheidende Rolle. Teilweise ist man auch froh über jedes umgesetzte Projekt unabhängig von der Höhe der Wirkung, wodurch keine Reihung vorgenommen wird. Bei Maßnahmenbündeln hat die abgeschätzte CO₂ Reduktion teilweise Auswirkung auf eine mögliche Förderung und die Förderhöhe.

Für wie wichtig halten Sie eine wissenschaftliche Wirkungsabschätzung, wie sie im vorliegenden Leitfaden angeboten wird?

Die wissensbasierte Wirkungsabschätzung, wie sie im vorliegenden Leitfaden angeboten wird, wird überwiegend als wichtig und nützlich angesehen. Sie bietet eine solide Grundlage, um Maßnahmen fundiert zu argumentieren und hilft, insbesondere bei einem derzeit niedrigen Rad-/Veloverkehrsanteil schnell und einfach eine grobe Abschätzung vorzunehmen.

Für einige wird sie zwar nicht als entscheidend betrachtet, jedoch als hilfreich für die Kommunikation. Generell wird die Wirkungsabschätzung in Form von Variantenuntersuchungen positiv bewertet, da sie vor allem dann von Vorteil ist, wenn Projekte nicht nur auf Vorschlägen von Gemeindeexperten basieren. Besonders bei kostenintensiven oder politisch sensiblen Projekten wäre eine solche Abschätzung von großer Bedeutung.

Zudem werden Wirkungsabschätzungen als zentrale Steuerungsinstrumente gesehen, die eine gezielte Förderung und einen effizienten Mitteleinsatz ermöglichen. Allerdings spielen in der Praxis oft finanzielle Ressourcen und der politische Wille eine entscheidende Rolle.

5.3.2 Aufbau des Leitfadens

In einem zweiten Teil wurde der Aufbau des Leitfadens konkret diskutiert und systematische evaluiert.

Wie leicht oder schwer fiel Ihnen die Orientierung im VERA-Leitfaden?

Die Orientierung im VERA-Leitfaden wird insgesamt als gut strukturiert und nachvollziehbar empfunden. Der Aufbau ist sinnvoll gestaltet, und die Inhalte sind größtenteils gut gegliedert. Allerdings gibt es den Wunsch nach zusätzlichen Hilfestellungen, um die Navigation weiter zu erleichtern.

Teilweise wird das Fehlen eines allgemeinen Überblicks am Anfang bemängelt, der den Aufbau des Leitfadens erklärt.

Trotz einzelner Verbesserungsvorschläge wird der Leitfaden im Allgemeinen als zweckmäßig und gut aufgebaut bewertet. Ein einfaches, gut nachvollziehbares Rechenbeispiel wird als ausreichend, aber auch notwendig angesehen, um die Inhalte zu verdeutlichen.

Wie beurteilen Sie das Verhältnis von Text und Grafiken?

Das Verhältnis von Text und Grafiken im VERA-Leitfaden wird insgesamt als angemessen empfunden, insbesondere für die Zielgruppe von Expert:innen und Planer:innen. Die Grafiken werden als hilfreich für die Orientierung angesehen und das Verhältnis zwischen Text und visuellen Darstellungen als passend eingeschätzt.

Allerdings gibt es auch Hinweise, dass einige Grafiken besser lesbar oder größer dargestellt werden sollten, insbesondere in Kapitel 4.2 zur Verlagerungseffekt- und Wirkungsmatrix. Zudem wird angemerkt, dass der Textanteil teilweise etwas „zu hoch“ ist, insbesondere zu Beginn, etwa bei den Abschnitten zu Erhebungstechnologien und wissenschaftlichen Herleitungen. Eine Kürzung des Textes könnte hier hilfreich sein, ohne dass wesentliche Inhalte verloren gehen.

Gibt es Anregungen zur Verbesserung des Aufbaus des Leitfadens?

Es gibt einige Anregungen zur Verbesserung des Aufbaus des VERA-Leitfadens. Ein Vorschlag ist, deutlicher zu unterscheiden, was als notwendiges Vorwissen oder Allgemeinwissen vorausgesetzt wird und was aus der Literaturanalyse stammt. Ebenso sollte klar hervorgehoben werden, was im Leitfaden neu ist.

Ein weiterer Punkt betrifft die Zählungen bei Radweg-Neubauten. Da an Orten ohne bestehende Radwege oder mit geringem Radverkehr das Potenzial oft unterschätzt werden könnte, wird vorgeschlagen, in solchen Fällen eher die Abschätzungen nach Level B und C zu verwenden, da der Leitfaden sonst mit zu niedrigen Steigerungsfaktoren arbeitet.

Der Leitfaden könnte zudem durch klarere Schritt-für-Schritt-Anleitungen und mehr Praxisbeispiele profitieren. Einige der detaillierten Formeln, wie etwa in Kapitel 2.1.1.2 (Hochrechnung GPS-Daten) und Kapitel 3 (Verlagerungspotenzial), könnten in den Anhang verschoben werden, um den Text übersichtlicher zu gestalten.

Ein einfaches grafisches Schema zur Erläuterung des Einzugsgebiets, der Maßnahmen und der Zählstellen wäre hilfreich, besonders für die Analyse nach

Level B/C. Einige bestehende Grafiken, wie Abb. 5 auf Seite 34, werden als schwer verständlich empfunden, und es wird angeregt, diese durch aggregierte Bewertungen pro Maßnahmentyp zu ersetzen. Eine Gesamtübersicht oder ein Ablaufdiagramm, idealerweise auf einem A4-Blatt, das alle relevanten Schritte und Faktoren zusammenfasst, wäre ebenfalls wünschenswert.

Zusätzlich wird angemerkt, dass es Unterschiede in der Benennung von Radverkehrsanlagen zwischen den Ländern gibt (z.B. „Radstreifen“ in der Schweiz und „Schutzstreifen“ in Österreich/Deutschland), die klarer herausgearbeitet werden könnten.

5.3.3 Praktikabilität des Leitfadens

Um eine möglichst langfristige Nutzung des Leitfadens in der Anwendungspraxis zu unterstützen, wurde die Praktikabilität des Leitfadens evaluiert.

Können Sie sich vorstellen den Leitfaden zukünftig für Planungsprozesse zu verwenden?

Die zukünftige Nutzung des VERA-Leitfadens für Planungsprozesse wird unterschiedlich eingeschätzt. Einige sehen sich nicht in der Lage, den Leitfaden in seiner Gesamtheit zu verwenden, aber einzelne Teilaspekte könnten in bestimmten Fällen nützlich sein. In einigen Gemeinden wird die Anwendung konkret vor Ort als eher unwahrscheinlich eingeschätzt, da viele Maßnahmen anstehen und jede individuell bewertet wird.

Der Leitfaden wird jedoch als wertvoll für die Wirkungsabschätzung einzelner Maßnahmen gesehen, insbesondere im Unterschied zu umfassenden Ausbau- oder Förderprogrammen. Dabei wird die Kommunikation von Bandbreiten bevorzugt, um Scheingenaugigkeiten zu vermeiden.

Andere Stimmen betonen, dass der Leitfaden in ihrer Gemeinde definitiv Verwendung finden wird. Allerdings wird die Anwendung nach Level A als machbar eingeschätzt, während es bei den komplexeren Leveln B und C schwieriger wird, da mehr Annahmen getroffen werden müssen.

Wenn ja, wie könnte ein Anwendungsszenario aussehen?

Ein mögliches Anwendungsszenario für den VERA-Leitfaden könnte darin bestehen, geplante Maßnahmen durchzurechnen und die Ergebnisse mit der Prioritätenliste der Gemeinde zu vergleichen. Die Nutzung des Leitfadens wäre besonders sinnvoll, wenn er für Expert:innen auf Gemeindeebene einfach und praxistauglich anzuwenden ist und keinen großen Aufwand verursacht.

Ein weiteres Szenario könnte die Verwendung des Leitfadens für Förderanträge sein oder bei der Planung und Umsetzung eines Radbasisnetzes, indem die Maßnahmen nach ihrer Wirkung gereiht werden.

Auch für mehrere bereits geplante Radprojekte wäre eine Wirkungsabschätzung mithilfe des Leitfadens von Vorteil, nicht nur für die Planung, sondern auch für die politische Kommunikation. Zudem könnte der Leitfaden in Vorstudien oder Vorprojekten für neue Routen oder Lückenschließungen im Rahmen von Agglomerationsprogrammen eingesetzt werden, insbesondere bei der Priorisierung vor Projektbeginn.

Wenn nein, woran würde eine Verwendung des Leitfadens Ihrer Meinung nach scheitern?

Die Anwendung des Leitfadens könnte am notwendigen Zusatzaufwand und den dafür nicht vorhandenen Kapazitäten scheitern. In einigen Gemeinden gibt es bereits viele Projekte, die in der Schublade liegen. Hier ist man über jede einzelne Maßnahme froh, die umgesetzt werden kann, unabhängig davon, welche am Ende mehr bringt.

Bei Neubauten ist eine Berechnung des Potenzials mittels Steigerungsfaktoren nicht möglich, da bisher am Ort der Maßnahme kein oder wenig Radverkehrsaufkommen vorhanden ist. Hier müsste eine Abschätzung (Level B oder C) erfolgen.

Wie beurteilen Sie den Aufwand für die Sammlung und Aufbereitung der notwendigen Daten?

Der Aufwand für die Sammlung und Aufbereitung der notwendigen Daten zur Anwendung des VERA-Leitfadens wird unterschiedlich beurteilt, je nach Verfügbarkeit von Zähldaten und der Komplexität des Projekts.

In Szenarien, in denen bereits Zähldaten vorliegen, wird der Aufwand als moderat eingeschätzt, insbesondere wenn es sich um die Berechnung einzelner Maßnahmen handelt. Hier ist der Aufwand überschaubar, auch wenn er bei der Analyse mehrerer Maßnahmen spürbar ansteigen könnte.

Wenn jedoch nur GPS-Daten zur Verfügung stehen, erhöht sich der Aufwand deutlich, da diese Daten noch auf den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) hochgerechnet werden müssen, was zusätzliche Arbeit erfordert. Besonders bei fehlenden Dauerzählstellen ist die Datenerhebung aufwendiger und kostspieliger, da manuelle oder mobile Zählungen teuer sind, insbesondere für kleinere Projekte.

Für die Anwendung auf Level B und C wird der Aufwand als gering eingeschätzt wenn bereits lokale Mobilitätserhebungen vorliegen, was in einigen Fällen der Fall ist. Zudem wird erwartet, dass sich die Verfügbarkeit von Daten durch die wachsende Anzahl an Dauerzählstellen und neuen mobilen Zählmethoden verbessern wird, wodurch die Datensammlung zukünftig weniger problematisch sein dürfte.

Insgesamt wird betont, dass der Aufwand für kleinere Projekte wirtschaftlich bleiben muss und idealerweise nicht mehr als ein bis zwei Tage in Anspruch nehmen sollte.

Können Sie den Instruktionen zur Wirkungsmodellierung gut folgen?

Die Instruktionen zur Wirkungsmodellierung im Leitfaden werden insgesamt als verständlich und gut nachvollziehbar eingeschätzt. Für Planer sollten sie keine großen Schwierigkeiten darstellen. Es wird jedoch angemerkt, dass eine Übersicht, wie ein A4-Blatt mit dem Ablauf und den relevanten Faktoren, hilfreich wäre, um den Gesamtprozess noch klarer darzustellen.

Das beigefügte Excel-Tool wird positiv bewertet, allerdings könnten bestimmte Ergebnisse, wie die Steigerung der Radfahranzahl pro Tag oder die Reduktion der Pkw-Kilometer pro Jahr, besser hervorgehoben und unter „Ergebnis“ klarer dargestellt werden. Die Umweltresultate sind in einigen Fällen von geringerer Priorität, während die erwartete Radfahranzahl (heute plus Steigerung) als wichtige Information betrachtet wird.

Wenn ja, was hat Ihnen beim Nachvollziehen des Modells geholfen?

Die Grafiken/Ablaufdiagramme im Leitfaden sind hilfreich und schlüssig. Das Berechnungsbeispiel ist gut aufbereitet und bietet eine gute Schritt-für-Schritt-Anleitung.

Wenn nein, an welcher Stelle gibt es Schwierigkeiten?

Einer von fünf Interviewpartnern konnte den Instruktionen zur Wirkungsmodellierung nicht folgen. Laut diesem fehlt ein Schritt-für-Schritt-Plan.

5.3.4 Plausibilität der Ergebnisse

Neben der Relevanz und Praktikabilität des Leitfadens als Werkzeug wurde auch die Plausibilität der damit erzielbaren Ergebnisse diskutiert.

Bezogen auf die Ergebnisse, die Ihnen vorgelegt wurden, oder die Sie mit eigenen Daten erzeugt haben, wie bewerten Sie die Plausibilität der Wirkungsabschätzung?

Die Plausibilität der Wirkungsabschätzung wird insgesamt als relativ überzeugend eingeschätzt. Die Verlagerungseffekte sind grundsätzlich nachvollziehbar und weichen nur wenig von den Erwartungen ab. Die Verlagerungseffekte sowie der Einzugsbereich und die Einschätzung, wie viele Radfahrende von den Maßnahmen profitieren, werden als gut nachvollziehbar bewertet. Auf Ebene A (Level A) wurde die Benutzung als einfach empfunden, jedoch lassen sich die Resultate nicht im Detail beurteilen. Auf Ebene B (Level B) gestaltet sich die Anwendung deutlich schwieriger. Es wird vorgeschlagen, im Leitfaden zu erwähnen, dass eine vorherige Datenerhebung – wann immer möglich – sinnvoll ist, da die Ergebnisse ansonsten eine große Spannweite aufweisen können. Von einem Interviewpartner wird der Reduktionsfaktor für den Pkw-Verkehr als etwas willkürlich empfunden, obwohl dieser aus der Literatur abgeleitet und durch Expert:inneninterviews abgesichert ist.

Eine Anmerkung bezog sich darauf, dass die Wirkung von Gesamtprojekten, wie etwa bei der Achsenentwicklung, eine größere Bedeutung hat als die Bewertung einzelner Teilprojekte. Daher könnte eine Weiterentwicklung des Leit-

fadens darin bestehen, die Gesamtwirkung von Projekten, etwa durch die Bewertung ganzer Radverkehrskonzepte von Gemeinden, stärker in den Fokus zu rücken.

Wo sehen Sie die größten Abweichungen zwischen den präsentierten Ergebnissen und Ihren Erwartungen bzw. Ihrer Lokalexpertise?

In Bezug auf die Größenordnungen der Einzelmaßnahmen gibt es weitgehend Übereinstimmung mit der Lokalexpertise, sodass hier keine wesentlichen Abweichungen erwartet werden. Eine Frage wirft allerdings der hohe Verlagerungspotenzial-Faktor bei Belagssanierungen (1,48) im Vergleich zu Markierungen von Radverkehrsanlagen (1,356) und dem Ausbau der Radinfrastruktur (1,366) auf. Der hohe Wert für Belagssanierungen wird hinterfragt, scheint aber unter Umständen aufgrund von Faktoren wie schweren Straßenschäden nachvollziehbar. Ansonsten erscheinen die Ergebnisse insgesamt plausibel.

In Interviewpartner merkt an, dass der zeitliche Aspekt bei der Bewertung von Radverkehrsmaßnahmen fehlt. Es wird nicht berücksichtigt, wie sich diese Maßnahmen über einen bestimmten Zeitraum auswirken.

5.3.5 Zukünftige Anwendung

In einem abschließenden Teil wurden noch mögliche zukünftige Anwendungen ausgelotet.

Für welchen Kreis von Anwender:innen ist der VERA-Leitfaden besonders geeignet bzw. Relevant?

Laut Einschätzung der Interviewpartner:innen richtet sich der VERA-Leitfaden vor allem an Radverkehrsplanende, insbesondere auf kommunaler oder Landesebene, die für die strategische Planung von Radverkehrsnetzen zuständig sind. Er ist auch relevant für Gemeindebedienstete, die Entscheidungsträger:innen wie Bürgermeister:innen oder andere politische Akteure unterstützen, sowie für Planer:innen, die direkt an der Umsetzung von Projekten beteiligt sind. Weiter ist er für Radverkehrskordinator:innen interessant.

Da der Planungsprozess in der gesamten DACH-Region (Deutschland, Österreich, Schweiz) als ähnlich eingeschätzt wird, ist der Leitfaden in allen drei Ländern einsetzbar. Besonders in frühen Projektphasen kann er als wertvolle Grundlage dienen, um Entscheidungsträger zu überzeugen und Projekte voranzutreiben.

Welchen Beitrag kann der Leitfaden in der zukünftigen Planungspraxis, Ihrer Meinung nach, spielen?

Der Leitfaden kann in der zukünftigen Planungspraxis insofern wertvolle Beiträge leisten, als er eine Grundlage für die Forschung und die Entwicklung von Modellen, die in größerem Maßstab angewendet und zur Entscheidungsfindung genutzt werden können, bilden kann. Zudem könnte er bei der politischen Argumentation helfen, um mehr Investitionen in den Rad- und Fußverkehr zu fördern, da diese wichtige Zubringer zum öffentlichen Verkehr sind.

Der Leitfaden ermöglicht auch ein strukturiertes Vorgehen bei der Wirkungsabschätzung, das den Vergleich und die Beurteilung verschiedener Maßnahmen erleichtert. Der Leitfaden ermöglicht auch eine grobe Einschätzung des Nutzens von Maßnahmen, wobei eine endgültige Bewertung diesbezüglich eigentlich erst nach seiner Anwendung erfolgen kann.

5.4 Überarbeitungen auf Grund der Leitfadenevaluierung

Die nachfolgenden gelisteten Überarbeitungen des Leitfadens wurden auf Grund der Empfehlungen aus der Evaluierung vorgenommen:

- 1) Zu Beginn wurde ein Kapitel als allgemeiner Gesamtüberblick eingefügt, der eine Kurzzusammenfassung enthält und den Aufbau des Leitfadens in Form von vier Schritten (Schritt-für-Schritt-Anleitung) erklärt.
- 2) Ein Inhaltsverzeichnis wurde eingefügt.
- 3) Die erforderlichen Eingangsdaten werden nun im Leitfaden im Rahmen des Berechnungsbeispiels nochmals explizit hervorgehoben.
- 4) Die Grafik zum Verlagerungseffekt/Wirkungsmatrix in Kapitel 4.2 wurde zur besseren Lesbarkeit überarbeitet.
- 5) Das Berechnungsblatt im Excel-Format wurde überarbeitet, so dass alle Ergebnisse entsprechend übersichtlich dargestellt werden, inklusive Radverkehrsaufkommen aktuell pro Tag, Steigerung Radfahrtenanzahl

pro Tag, Erwartete, zukünftige Radfahrtenanzahl pro Tag absolut, KM Pkw-Reduktion pro Tag, Verlagerte Pkw-Kilometer pro Jahr, Eingesparte Tonnen CO2 pro Jahr.

- 6) Unter der Empfehlung, wann immer es möglich ist Zählungen durchzuführen, wurde ein Hinweis zum Basiseffekt eingefügt. Die Berechnung der Effekte einer Maßnahme mittels Steigerungsraten ist hier nur bedingt oder gar nicht möglich, wenn das Aufkommen sehr gering ist oder gar kein Aufkommen vorhanden ist (z.B. Lückenschluss, Radbrücke). In solchen Fällen kann daher die Abschätzung der Baseline über die in diesem Leitfaden als Level B/C beschriebene Vorgehensweise sinnvoller sein.
- 7) Es wurde eine textliche Überarbeitung durchgeführt, die die Herleitung der Verlagerungseffekte bzw. des Reduktionsfaktors Pkw über Literatur und Expert:innen-Einschätzung besser erläutert.
- 8) Es erfolgte eine Überarbeitung des Leitfadens hinsichtlich der Vereinheitlichung von Begrifflichkeiten so, dass sie für alle 3 Länder verständlich sind.

Die finale Version befindet sich in Anhang 2.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- AL-RAMINI, A., TAKALLOU, M. A., PIATKOWSKI, D. P. & ALSALEEM, F. 2022. Quantifying changes in bicycle volumes using crowdsourced data. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49, 1612-1630.
- ALATTAR, M. A., COTTRILL, C. & BEECROFT, M. 2021. Modelling cyclists' route choice using Strava and OSMnx: A case study of the City of Glasgow. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100301.
- ANSELIN, L. 1995. Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27, 93-115.
- BARNES, E. & SCHLOSSBERG, M. 2013. Improving Cyclist and Pedestrian Environment While Maintaining Vehicle Throughput: Before- and After-Construction Analysis. *Transportation Research Record*, 2393, 85-94.
- BLITZ, A. 2021. How does the individual perception of local conditions affect cycling? An analysis of the impact of built and non-built environment factors on cycling behaviour and attitudes in an urban setting. *Travel Behaviour and Society*, 25, 27-40.
- BOSS, D., NELSON, T., WINTERS, M. & FERSTER, C. J. 2018. Using crowdsourced data to monitor change in spatial patterns of bicycle ridership. *Journal of Transport & Health*, 9, 226-233.
- BRAND, C., GOODMAN, A. & OGILVIE, D. 2014. Evaluating the impacts of new walking and cycling infrastructure on carbon dioxide emissions from motorized travel: A controlled longitudinal study. *Applied Energy*, 128, 284-295.
- BROWN, B. B., THARP, D., TRIBBY, C. P., SMITH, K. R., MILLER, H. J. & WERNER, C. M. 2016. Changes in bicycling over time associated with a new bike lane: Relations with kilocalories energy expenditure and body mass index. *Journal of Transport & Health*, 3, 357-365.
- BUEHLER, R. & PUCHER, J. 2021. COVID-19 Impacts on Cycling, 2019–2020. *Transport Reviews*, 41, 393-400.
- BUEHLER, R. & PUCHER, J. 2024. COVID-19 and cycling: a review of the literature on changes in cycling levels and government policies from 2019 to 2022. *Transport Reviews*, 44, 299-344.
- CHAPMAN, R., KEALL, M., HOWDEN-CHAPMAN, P., GRAMS, M., WITTEN, K., RANDAL, E. & WOODWARD, A. 2018. A Cost Benefit Analysis of an Active Travel Intervention with Health and Carbon Emission Reduction Benefits. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15.
- CHOWDHURY, S. & COSTELLO, S. B. 2016. An examination of cyclists' and non-cyclists' mode choice under a new cycle network. *Road & Transport Research*, 25, 50-61.

- DEEGAN, B. 2016. Cycling infrastructure in London. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 169, 92-100.
- DILL, J. 2009. Bicycling for Transportation and Health: The Role of Infrastructure. *Journal of Public Health Policy*, 30, S95-S110.
- FÉLIX, R., CAMBRA, P. & MOURA, F. 2020. Build it and give 'em bikes, and they will come: The effects of cycling infrastructure and bike-sharing system in Lisbon. *Case Studies on Transport Policy*, 8, 672-682.
- FISCHER, J., NELSON, T. & WINTERS, M. 2022. Riding through the pandemic: Using Strava data to monitor the impacts of COVID-19 on spatial patterns of bicycling. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 15, 100667.
- FOSGERAU, M., ŁUKAWSKA, M., PAULSEN, M. & RASMUSSEN, T. K. 2023. Bikeability and the induced demand for cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120, e2220515120.
- FRANK, L. D., HONG, A. & NGO, V. D. 2021. Build it and they will cycle: Causal evidence from the downtown Vancouver Comox Greenway. *Transport Policy*, 105, 1-11.
- GAFFRON, P. & WAßMANN-KROHN, C. 2020. Evaluation der verkehrlichen Umbaumaßnahmen in der Liebigstraße | Industriegebiet Billbrook | Hamburg. Institut für Verkehrsplanung und Logistik.
- GARBER, M. D., FLANDERS, W. D., WATKINS, K. E., LOBELO, F., KRAMER, M. R. & MCCULLOUGH, L. E. 2022. Have Paved Trails and Protected Bike Lanes Led to More Bicycling in Atlanta?: A Generalized Synthetic-Control Analysis. *Epidemiology*, 33.
- GOODMAN, A., PANTER, J., SHARP, S. J. & OGILVIE, D. 2013. Effectiveness and equity impacts of town-wide cycling initiatives in England: A longitudinal, controlled natural experimental study. *Social Science & Medicine*, 97, 228-237.
- HEESCH, K. C., JAMES, B., WASHINGTON, T. L., ZUNIGA, K. & BURKE, M. 2016. Evaluation of the Veloway 1: A natural experiment of new bicycle infrastructure in Brisbane, Australia. *Journal of Transport & Health*, 3, 366-376.
- HEESCH, K. C. & LANGDON, M. 2016. The usefulness of GPS bicycle tracking data for evaluating the impact of infrastructure change on cycling behaviour. *Health Promotion Journal of Australia*, 27, 222-229.
- HEINEN, E., HARSHFIELD, A., PANTER, J., MACKETT, R. & OGILVIE, D. 2017. Does exposure to new transport infrastructure result in modal shifts? Patterns of change in commute mode choices in a four-year quasi-experimental cohort study. *Journal of Transport & Health*, 6, 396-410.
- HENAO, A., PIATKOWSKI, D., LUCKEY, K. S., NORDBACK, K., MARSHALL, W. E. & KRIZEK, K. J. 2015. Sustainable transportation infrastructure investments and mode share changes: A 20-year background of Boulder, Colorado. *Transport Policy*, 37, 64-71.

- HONG, J., MCARTHUR, D. P. & LIVINGSTON, M. 2020. The evaluation of large cycling infrastructure investments in Glasgow using crowdsourced cycle data. *Transportation*, 47, 2859-2872.
- HOSFORD, K., WINTERS, M., GAUVIN, L., CAMDEN, A., DUBÉ, A.-S., FRIEDMAN, S. M. & FULLER, D. 2019. Evaluating the impact of implementing public bicycle share programs on cycling: the International Bikeshare Impacts on Cycling and Collisions Study (IBICCS). *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16, 107.
- HUBER, S. 2022. *Analyse des Routenwahlverhaltens von Radfahrenden auf Grundlage GPS-basierter Daten zum real beobachteten Verkehrsverhalten*. Dissertation, TU Dresden.
- KELLY, P., KRENN, P., TITZE, S., STOPHER, P. & FOSTER, C. 2013. Quantifying the Difference Between Self-Reported and Global Positioning Systems-Measured Journey Durations: A Systematic Review. *Transport Reviews*, 33, 443-459.
- KRAUS, S. & KOCH, N. 2021. Provisional COVID-19 infrastructure induces large, rapid increases in cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118, e2024399118.
- KRIZEK, K. J., BARNES, G. & THOMPSON, K. 2009. Analyzing the Effect of Bicycle Facilities on Commute Mode Share over Time. *Journal of Urban Planning and Development*, 135, 66-73.
- LE GOUAIS, A., PANTER, J. R., COPE, A., POWELL, J. E., BIRD, E. L., WOODCOCK, J., OGILVIE, D. & FOLEY, L. 2021. A natural experimental study of new walking and cycling infrastructure across the United Kingdom: The Connect2 programme. *Journal of Transport & Health*, 20, 100968.
- LI, H., DING, H., REN, G. & XU, C. 2018. Effects of the London Cycle Superhighways on the usage of the London Cycle Hire. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 111, 304-315.
- LING, R., ROTHMAN, L., CLOUTIER, M.-S., MACARTHUR, C. & HOWARD, A. 2020. Cyclist-motor vehicle collisions before and after implementation of cycle tracks in Toronto, Canada. *Accident Analysis & Prevention*, 135, 105360.
- LOIDL, M., STUTZ, P., FERNANDEZ LAPUENTE DE BATTRE, M. D., SCHMIED, C., REICH, B., BOHM, P., SEDLACEK, N., NIEBAUER, J. & NIEDERSEER, D. 2020. Merging self-reported with technically sensed data for tracking mobility behavior in a naturalistic intervention study. Insights from the GISMO study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30, 41-49.
- MARQUÉS, R., HERNÁNDEZ-HERRADOR, V., CALVO-SALAZAR, M. & GARCÍA-CEBRIÁN, J. A. 2015. How infrastructure can promote cycling in cities: Lessons from Seville. *Research in Transportation Economics*, 53, 31-44.
- MARTIN, A., MORCIANO, M. & SUHRCKE, M. 2021. Determinants of bicycle commuting and the effect of bicycle infrastructure investment in

- London: Evidence from UK census microdata. *Economics & Human Biology*, 41, 100945.
- MCDONALD, N. C., YANG, Y., ABBOTT, S. M. & BULLOCK, A. N. 2013. Impact of the Safe Routes to School program on walking and biking: Eugene, Oregon study. *Transport Policy*, 29, 243-248.
- MITRA, R., ZIEMBA, R. A. & HESS, P. M. 2017. Mode substitution effect of urban cycle tracks: Case study of a downtown street in Toronto, Canada. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11, 248-256.
- MÖLENBERG, F. J. M., PANTER, J., BURDORF, A. & VAN LENTHE, F. J. 2019. A systematic review of the effect of infrastructural interventions to promote cycling: strengthening causal inference from observational data. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16, 93.
- MUNIRA, S. & SENNER, I. 2017. Use of Direct-Demand Modeling in Estimating Nonmotorized Activity: A Meta-analysis. Bryan/College Station: Texas A&M Transportation Institute.
- PAGE, M. J., MCKENZIE, J. E., BOSSUYT, P. M., BOUTRON, I., HOFFMANN, T. C., MULROW, C. D., SHAMSEER, L., TETZLAFF, J. M., AKL, E. A., BRENNAN, S. E., CHOU, R., GLANVILLE, J., GRIMSHAW, J. M., HRÓBJARTSSON, A., LALU, M. M., LI, T., LODER, E. W., MAYO-WILSON, E., MCDONALD, S., MCGUINNESS, L. A., STEWART, L. A., THOMAS, J., TRICCO, A. C., WELCH, V. A., WHITING, P. & MOHER, D. 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- PIRAS, F., SCAPPINI, B. & MELONI, I. 2022. The transformation of urban spaces as a cycling motivator: the case of Cagliari, Italy. *Transportation Research Procedia*, 60, 60-67.
- PRATO, C. G. 2009. Route choice modeling: past, present and future research directions. *Journal of Choice Modelling*, 2, 65-100.
- PRITCHARD, R., BUCHER, D. & FRØYEN, Y. 2019. Does new bicycle infrastructure result in new or rerouted bicyclists? A longitudinal GPS study in Oslo. *Journal of Transport Geography*, 77, 113-125.
- PUCHER, J. & BUEHLER, R. 2008. Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews*, 28, 495-528.
- PUCHER, J., DILL, J. & HANDY, S. 2010. Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine*, 50, 106-125.
- RAGLAND, D. R., PANDE, S., BIGHAM, J. & COOPER, J. F. 2014. Examining Long-Term Impact of California Safe Routes to School Program: Ten Years Later. *Transportation Research Record*, 2464, 86-92.
- RÉRAT, P., HALDIMANN, L. & WIDMER, H. 2022. Cycling in the era of Covid-19: The effects of the pandemic and pop-up cycle lanes on cycling practices. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 15, 100677.

- RISSEL, C., GREAVES, S., WEN, L., CRANE, M. & STANDEN, C. 2015. Use of and short-term impacts of new cycling infrastructure in inner-Sydney, Australia: a quasi-experimental design. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12, 129.
- SCHEEPERS, C. E., WENDEL-VOS, G. C. W., DEN BROEDER, J. M., VAN KEMPEN, E. E. M. M., VAN WESEMAEL, P. J. V. & SCHUIT, A. J. 2014. Shifting from car to active transport: A systematic review of the effectiveness of interventions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, 264-280.
- 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. *Journal of Transport Geography*, 64, 203-210.
- SONG, Y., PRESTON, J. & OGILVIE, D. 2017. New walking and cycling infrastructure and modal shift in the UK: A quasi-experimental panel study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 95, 320-333.
- STANDEN, C., CRANE, M., COLLINS, A., GREAVES, S. & RISSEL, C. 2017. Determinants of mode and route change following the opening of a new cycleway in Sydney, Australia. *Journal of Transport & Health*, 4, 255-266.
- TAO, T., LINDSEY, G., STERN, R. & LEVIN, M. 2024. The use of crowdsourced mobile data in estimating pedestrian and bicycle traffic: A systematic review. *Journal of Transport and Land Use*, 17, 41-65.
- THAKURIAH, P., METAXATOS, P., LIN, J. & JENSEN, E. 2012. An examination of factors affecting propensities to use bicycle and pedestrian facilities in suburban locations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17, 341-348.
- TON, D., DUIVES, D. C., CATS, O., HOOGENDOORN-LANSER, S. & HOOGENDOORN, S. P. 2019. Cycling or walking? Determinants of mode choice in the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 123, 7-23.
- VAN DER HORST, P. 2021. *The effect of the construction of cycling highways on cycling counts - An impact assessment of cycling highways and their usage in the province of Gelderland in the Netherlands*. Master Thesis, Radboud University Nijmegen.
- VAN GOEVERDEN, K., NIELSEN, T. S., HARDER, H. & VAN NES, R. 2015. Interventions in Bicycle Infrastructure, Lessons from Dutch and Danish Cases. *Transportation Research Procedia*, 10, 403-412.
- VASILEV, M., PITERA, K. & JONSSON, T. 2017. Evaluation of bicycle sharrows within the Norwegian context. *Transportation Research Procedia*, 27, 1097-1104.
- 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. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 19, 77.
- YANG, L., SAHLQVIST, S., MCMINN, A., GRIFFIN, S. J. & OGILVIE, D. 2010. Interventions to promote cycling: systematic review. *BMJ: British Medical Journal*, 341.
- YANG, Y., WU, X., ZHOU, P., GOU, Z. & LU, Y. 2019. Towards a cycling-friendly city: An updated review of the associations between built environment and cycling behaviors (2007–2017). *Journal of Transport & Health*, 14, 100613.
- ZAHABI, S. A. H., CHANG, A., MIRANDA-MORENO, L. F. & PATTERSON, Z. 2016. Exploring the link between the neighborhood typologies, bicycle infrastructure and commuting cycling over time and the potential impact on commuter GHG emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 89-103.
- ZHOU, Q., CHE, M., KOH, P. P. & WONG, Y. D. 2020. Effects of improvements in non-motorised transport facilities on active mobility demand in a residential township. *Journal of Transport & Health*, 16, 100835.

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: VERA-Ansatz – Wirkungszusammenhänge und Effektgrößen werden in einem Leitfaden zur Abschätzung von Verlagerungseffekten integriert.....	16
Abbildung 2: VERA-Konsortium mit assoziierten Partnern in Deutschland, Österreich und der Schweiz.....	18
Abbildung 3: Profil der Umfrageteilnehmer:innen. Die Mehrheit der Umfrageteilnehmer:innen ist auf kommunaler Ebene tätig (57,4%), 38,5% auf regionaler und lediglich 4,1% auf nationaler Ebene. In über 90% der repräsentierten Verwaltungseinheiten wurden in den letzten 5 Jahren Maßnahmen umgesetzt.....	25
Abbildung 4: Einwohnerzahl in den Gebieten, für die die teilnehmenden Expert:innen verantwortlich sind.....	26
Abbildung 5: Umgesetzte Maßnahmen (kategorisiert) in den drei Ländern der DACH-Region. Für jede Maßnahmenkategorie wurde der Anteil aller im jeweiligen Land berichteten Aktivitäten berechnet. Mehrfachnennungen waren möglich.....	27
Abbildung 6: Auswirkungen der Maßnahmen auf den Alltags- bzw. touristischen Radverkehr.....	28
Abbildung 7: Feststellung von Wirkungen umgesetzter Maßnahmen.....	28
Abbildung 8: Rangfolge der Maßnahmenkategorie hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Radverkehr in den drei Ländern der DACH-Region.....	29
Abbildung 9: Einschätzung der Wirkung von Maßnahmen in 10 Dimensionen.....	30
Abbildung 10: Auswertung der genannten Ko-Faktoren.....	32
Abbildung 11: Kategorisierung der genannten Beispiele für erfolgreich umgesetzte Maßnahmen.....	33
Abbildung 12: Auswertung implementierte Begleitmaßnahmen.....	34
Abbildung 13: Methoden zur Wirkungsfeststellung von Maßnahmen.....	35
Abbildung 14: Systematische Literaturanalyse. Die Initialen stehen für die unabhängigen, involvierten Wissenschaftler:innen.....	40
Abbildung 15: Publikationsjahr der berücksichtigten Studien.....	42
Abbildung 16: Fachzeitschriften in denen die berücksichtigten Studien veröffentlicht wurden.....	43
Abbildung 17: Positive Effekte von Interventionstypen in sechs Dimensionen mit der ID der Studien. Die Box-Plots zeigen den Median und die jeweils große Bandbreite.....	51
Abbildung 18: Resultierende Wirkungsmatrix aus den Rückmeldungen der Expert:innen, die per Online-Umfrage konsultiert wurden.....	55
Abbildung 19: Lage der erhobenen Radverkehrsmaßnahmen im DACH-Raum.....	64

Abbildung 20: Moran's i im Bereich um die umgesetzte Fahrstraße in Dresden	77
Abbildung 21: Moran's i im Bereich um die umgesetzte Radverkehrsmaßnahme in Berlin Schöneberg	78
Abbildung 22: Relative Veränderung der Verkehrsstärken in Wien zwischen 2013 und 2016.....	81
Abbildung 23: Wirkungen der Maßnahmenkategorien in den Testumgebungen, festgestellt mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen (Level A, B, C).	99
Abbildung 24: Excel-Tool zur Berechnung des Verlagerungspotenzials und der Emissionsreduktion	115

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fragegruppen, Fragen und Antwortmöglichkeiten des Fragebogens	21
Tabelle 2: Suchbegriffe in deutscher und englischer Sprache (links) samt den daraus abgeleiteten Such-konzepten (rechts).	38
Tabelle 3: Syntax der Abfragen je Datenbank für Konzept 2 als Beispiel. Im Fall von Google Scholar wurde der Zeitraum der Veröffentlichung in der verwendeten Applikation spezifiziert. Im Fall von PubMed und Web of Science wurden sämtliche Resultate berücksichtigt, bei Google Scholar lediglich die ersten 1.000 Resultate (sortiert nach dem Ranking).	39
Tabelle 4: Datenpunkte, die je Studie gesammelt wurden. Die Literaturanalyse bezieht sich primär auf englischsprachige Publikationen, weshalb für die Durchführung der Analyse englische Begrifflichkeiten verwendet wurden.	40
Tabelle 5: Wirkungsdimensionen und die jeweils verwendeten Messmethoden.	44
Tabelle 6: Häufigkeit der Nennungen und durchschnittlicher Rang in der Priorisierung der Maßnahmenkategorien nach ihrer Wirkungsstärke.	56
Tabelle 7: GPS-Datensätze zur Radverkehrsnachfrage.....	60
Tabelle 8: Zusammenfassung der Maßnahmen-Stichprobe	65
Tabelle 9: Übersicht über die, in der Analyse verwendeten Daten.....	66
Tabelle 10: Überblick über eine Auswahl existierender Forschungsarbeiten und deren Analysemethode.....	66
Tabelle 11: Lagemaße der jährlichen Verkehrsstärken je Kante	72
Tabelle 12: Modellergebnisse des Modells mit allen Kanten und Ländern basierend auf jährlichen Verkehrsstärken	73
Tabelle 13: Abstrahierte VERA-Faktoren	85
Tabelle 14: Testumgebungen für die Evaluierung des Leitfadens.	86
Tabelle 15: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Mödling.	89
Tabelle 16: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Salzburg.....	91
Tabelle 17: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in St. Pölten.....	92
Tabelle 18: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Genf.....	93
Tabelle 19: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen in Dresden.	95
Tabelle 20: Ergebnisse für Wirkungsuntersuchung der Maßnahmen im Landkreis Lüchow-Dannenberg.	98
Tabelle 21: Interviewpartner:innen Leitfadenevaluierung	117

6.4 Formelverzeichnis

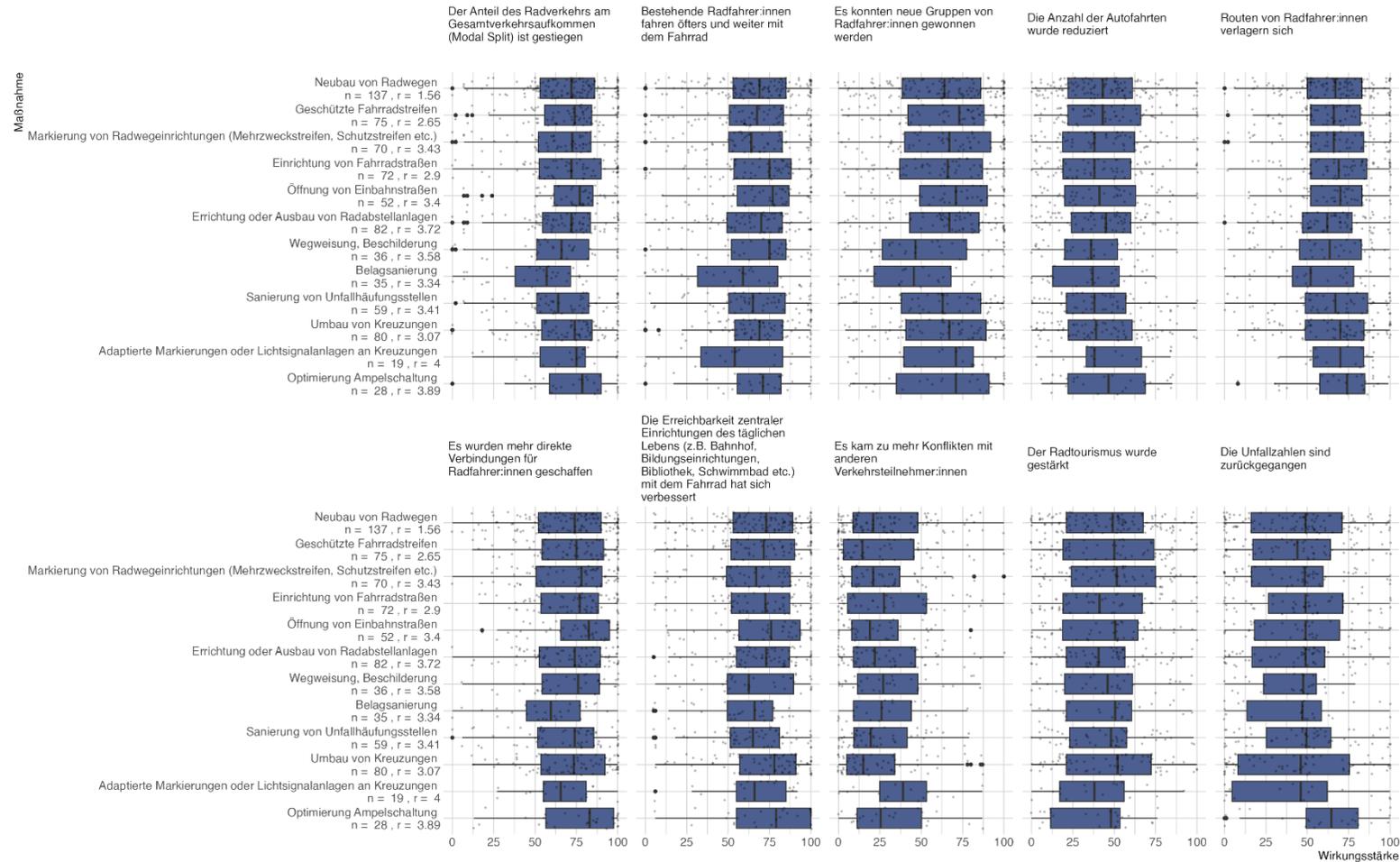
Formel 1: Modellberechnung der Fixed Effects mithilfe synthetischer Daten	69
Formel 2: Berechnung der Veränderung der Verkehrsstärke je Segment	70
Formel 3: Berechnung von Moran's I	71
Formel 4: Clusterung von Straßensegmenten	71
Formel 5: Abschätzung des Radverkehrsaufkommens	109
Formel 6: Berechnung der gestiegenen Radfahrten pro Tag	113
Formel 7: Berechnung der Reduktion der Pkw-Kilometer pro Tag	114
Formel 8: Hochrechnung der Tageskilometer auf Jahreskilometer	114
Formel 9: Berechnung der Emissionsreduktion	114

Anhang 1: Detailergebnisse Wirkungsdimensionen

Bewertung der Stärke der Wirkungen in den zehn vorgegebenen Dimensionen für die fünf ausgewählten Maßnahmen:

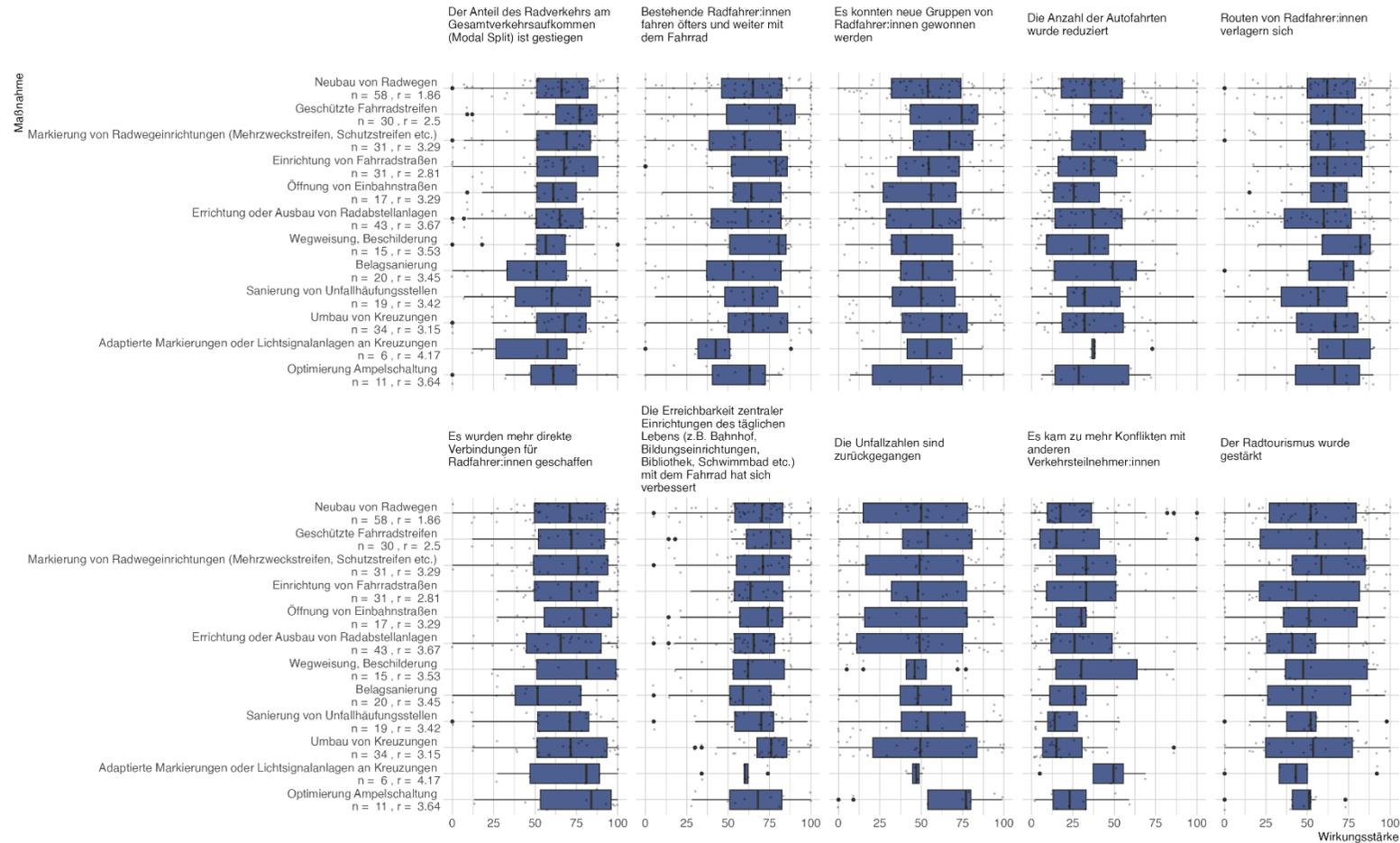
- Für die gesamte DACH-Region
- Für Deutschland
- Für Österreich
- Für die Schweiz

Wenn Sie einen Blick auf die von Ihnen gewählten Maßnahmen werfen, welche Wirkungen werden damit Ihrer Erfahrung bzw. Bewertung nach erzielt?



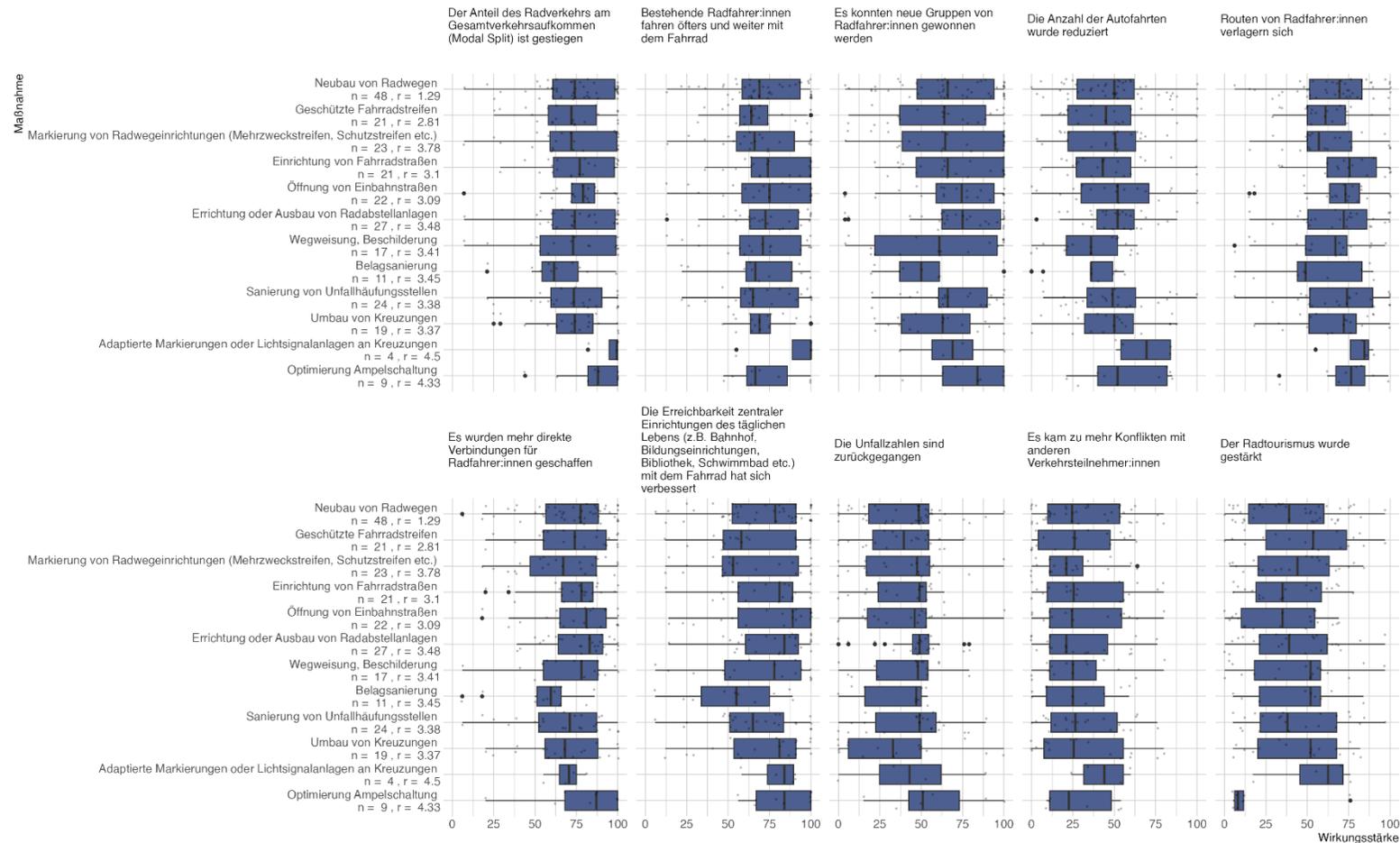
Wenn Sie einen Blick auf die von Ihnen gewählten Maßnahmen werfen, welche Wirkungen werden damit Ihrer Erfahrung bzw. Bewertung nach erzielt?

Deutschland



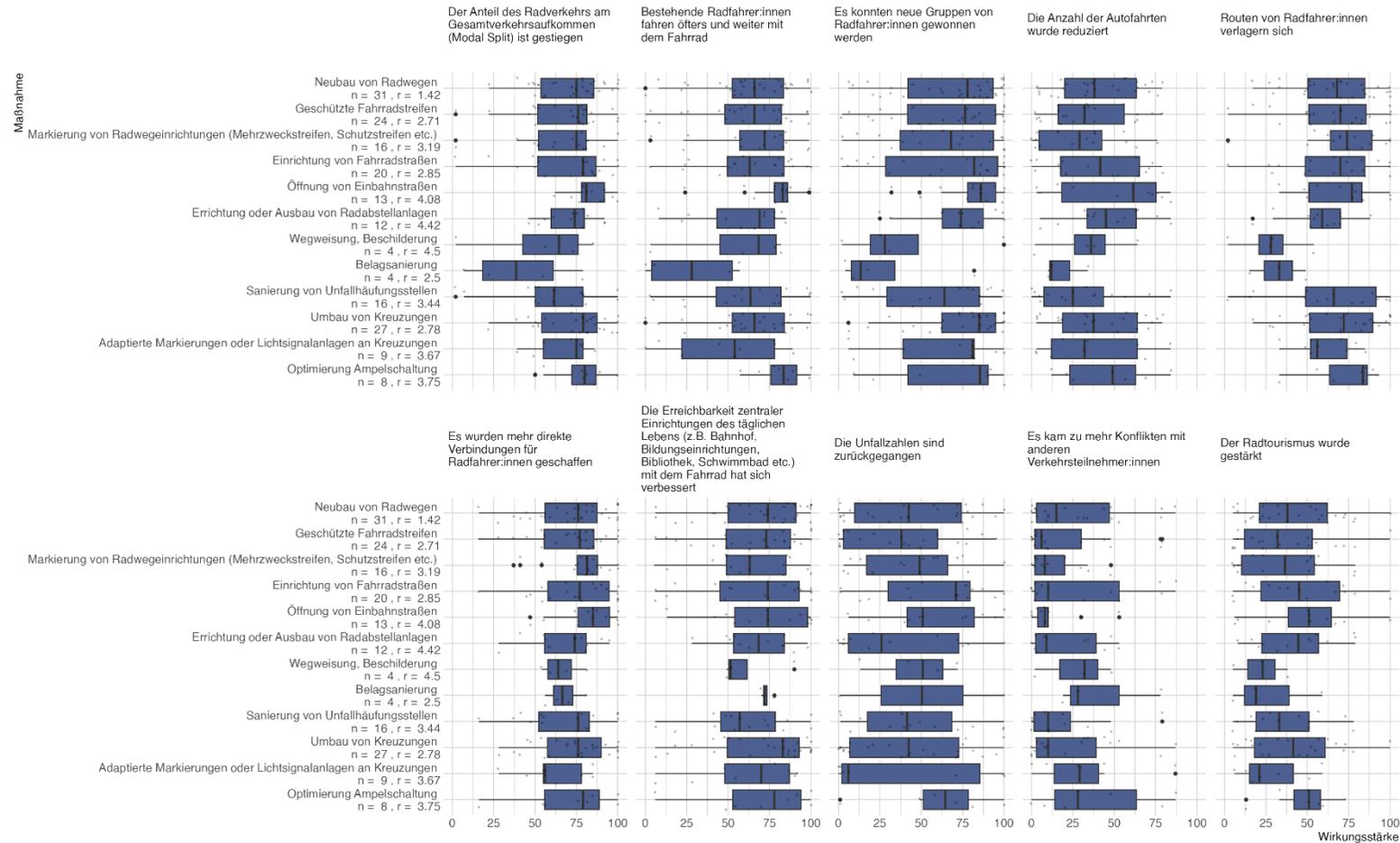
Wenn Sie einen Blick auf die von Ihnen gewählten Maßnahmen werfen, welche Wirkungen werden damit Ihrer Erfahrung bzw. Bewertung nach erzielt?

Österreich



Wenn Sie einen Blick auf die von Ihnen gewählten Maßnahmen werfen, welche Wirkungen werden damit Ihrer Erfahrung bzw. Bewertung nach erzielt?

Schweiz



Anhang 2: Leitfaden

Der Leitfaden in einer ersten Version für die Anwendung in der DACH-Region.

VERA Leitfaden



November 2024

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG – ÜBERBLICK	2
1.1 ZIELE UND INHALT DES LEITFADENS	2
1.2 ZIELGRUPPEN	3
1.3 ÜBERBLICK ZUR VORGEHENSWEISE	3
1.4 BETRACHTETE MAßNAHMEN – BESCHREIBUNGEN	4
1.4.1 <i>Neubau Radweg</i>	6
1.4.2 <i>Ausbau bestehendes Radwegenetz (Lückenschluss, Verbreiterung)</i>	6
1.4.3 <i>Markierung von Radverkehrsanlagen (Schutzstreifen, Radstreifen, etc.)</i>	7
1.4.4 <i>Öffnung von Einbahnstraßen</i>	8
1.4.5 <i>Belagssanierung</i>	9
2 RADVERKEHRSAUFKOMMEN	10
2.1 LEVEL A: ERHEBUNGSMETHODEN VON ZÄHLDATEN FÜR DEN RADVERKEHR	12
2.1.1 <i>Nutzung von GPS-Daten</i>	12
2.1.2 <i>Andere Methoden zur Ermittlung des Radverkehrsaufkommens</i>	15
2.1.3 <i>Ermittlung der durchschnittlichen Fahrtweiten im Falle von Zählraten</i>	20
2.2 LEVEL B UND C: ERMITTLUNG DES RADVERKEHRSAUFKOMMENS AUF BASIS VON MOBILITÄTSERHEBUNGSDATEN	20
2.2.1 <i>Abgrenzung des für die Maßnahme relevanten Untersuchungsgebietes</i>	20
2.2.2 <i>Ermittlung der betroffenen Einwohner:innenanzahl</i>	23
2.2.3 <i>Inputdaten aus Mobilitätserhebungen</i>	25
2.2.4 <i>Ermittlung des Radverkehrsaufkommens (Baseline) am Ort der Maßnahme</i>	30
3 VERLAGERUNGSPOTENZIAL DER MAßNAHMEN FÜR DEN RADVERKEHR	31
4 ABSCHÄTZUNG VERLAGERUNGSWIRKUNG	33
4.1 ERGEBNISSE DER LITERATURANALYSE	34
4.1.1 <i>Zusammenfassung der Bandbreiten aus der Literatur</i>	36
4.2 MÖGLICHE VARIATION DER VERLAGERUNGSEFFEKTE	36
5 BERECHNUNG DER (UMWELT-)EFFEKTE	41
5.1 BERECHNUNGSANSATZ	41
6 BERECHNUNGSBEISPIEL	43
6.1 BERECHNUNGSBEISPIEL: DR. KARL-RENNER-PROMENADE, ST. PÖLTEN, AT (LEVEL B)	43
7 BEGLEITMAßNAHMEN	48
7.1 INFRASTRUKTUR FÜR DEN RUHENDEN RADVERKEHR	48
7.2 SERVICE UND DIENSTLEISTUNGEN	48
7.3 VERNETZUNG MIT DEM ÖFFENTLICHEN VERKEHR	48
7.4 INFORMATION UND KOMMUNIKATION	49
7.4.1 <i>Informationsmaterial</i>	49
7.4.2 <i>Bewusstseinsbildung</i>	49
7.4.3 <i>Kampagnen</i>	49
7.4.4 <i>Veranstaltungen</i>	49
7.5 FÖRDERUNGEN	50
7.6 EVALUIERUNG UND QUALITÄTSMANAGEMENT	50
7.7 KOMPLEMENTÄRMAßNAHMEN	50
7.8 NACHHALTIGE UND LANGFRISTIGE PLANUNG	50
7.9 ÜBERSICHT ÜBER DIE MAßNAHMEN	51
8 QUELLEN UND LITERATUR	52

1 Einleitung – Überblick

Die Förderung des Radverkehrs leistet einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen und sozial gerechteren Mobilität. Radfahren ist umweltfreundlich, kostensparend und fördert die Gesundheit. Voraussetzung für eine erfolgreiche Förderung der Fahrradmobilität ist dabei eine qualitativ hochwertige, durchgängige Infrastruktur für den Radverkehr. Damit der Anteil des Radverkehrs am gesamten Verkehrsaufkommen in der DACH-Region (Deutschland, Österreich und Schweiz) weiter steigt, ist es wichtig bestehende Fahrradinfrastruktur qualitativ zu ertüchtigen und Lücken im Netz durch den Bau von Radverkehrsanlagen zu schließen.

Selten sind derartige bauliche Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung isoliert. Vielmehr sind sie eingebettet in ein System der Radverkehrsförderung und gesellschaftlicher Prozesse. Folglich ist es nur schwer möglich eine Abschätzung der Wirkung einzelner Maßnahmen zu treffen. Im vorliegenden Leitfaden wird aufbauend auf kombinierten Befunden aus der wissenschaftlichen Literatur sowie einem datengetriebenen Ansatz auf Basis großer Mengen von Trajektorien eine einheitliche Vorgehensweise aufgezeigt, wie Verlagerungseffekte von Radverkehrsmaßnahmen abgeschätzt werden können.

1.1 Ziele und Inhalt des Leitfadens

Der Leitfaden verfolgt das Ziel, Entscheidungsträger:innen in der DACH-Region ein methodisches Instrument zur Wirkungs- und Verlagerungsabschätzung von Radverkehrsinfrastrukturen an die Hand zu geben. Im Mittelpunkt stehen dabei die folgenden Punkte:

- **Ermittlung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme**

Um eine Verlagerungswirkung oder Umwelteffekte berechnen zu können, ist es existenziell, das Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme zu kennen. Wie dieses erhoben werden kann und welche Methoden dabei zur Anwendung kommen können, wird zu Beginn des Leitfadens aufgezeigt.

- **Verlagerungspotenzial der Maßnahme**

Das Verlagerungspotenzial zeigt auf, um welchen Faktor sich die Radverkehrszahlen am Ort der Maßnahme durch die jeweilige Maßnahme erhöhen. Diese Faktoren wurden mithilfe eines mathematischen Modells berechnet. Im Leitfaden werden fünf unterschiedliche Maßnahmen betrachtet.

- **Abschätzung der Verlagerungswirkung durch die Maßnahme**

Das Verlagerungspotenzial zeigt auf, unterschieden nach Maßnahme, wie viele Fahrten vom motorisierten Individualverkehr (MIV) auf das Fahrrad verlagert werden könnten. Die abgeleiteten Größenordnungen von Verlagerungseffekten basieren dabei auf Literaturrecherchen und Expert:innenbefragungen.

- **Berechnung des Umwelteffektes durch die Maßnahme**

Die Umwelteffekte der jeweiligen Maßnahme werden durch die Reduktion der Emissionen von CO₂, NO_x und anderen Schadstoffen durch eingesparte PKW-Kilometer berechnet, wobei spezifische Emissionskennzahlen für Österreich, Deutschland und die Schweiz berücksichtigt werden. Diese Berechnung ermöglicht es, die

Umweltauswirkungen der Radverkehrsmaßnahmen zu quantifizieren und entsprechend die Verlagerungswirkung der Maßnahmen abzuschätzen.

1.2 Zielgruppen

Der Leitfaden richtet sich dabei an:

- Kommunale Entscheidungsträger:innen und Verkehrsplaner:innen, die für die Planung und Umsetzung von Radverkehrsinfrastruktur verantwortlich sind.
- Berater:innen und Planungsbüros, die im Auftrag von Städten und Gemeinden arbeiten und fundierte Empfehlungen für den Ausbau von Fahrradinfrastrukturen geben.
- Wissenschaftliche Einrichtungen und Forschungsinstitute, die sich mit der Verkehrsplanung und Mobilitätsforschung befassen.
- Nationale und regionale Behörden in der DACH-Region, die Strategien zur Förderung des Radverkehrs entwickeln und bewerten.

Der Leitfaden zielt darauf ab, praktische und leicht umsetzbare Lösungen für die Planung von Radverkehrsmaßnahmen bereitzustellen, die sowohl große Städte als auch kleinere Gemeinden in der DACH-Region anwenden können. Dabei gibt der Leitfaden einen Überblick über mögliche Wirkungen und stellt damit eine Basis dar, auf Entscheidungen hinsichtlich Mitteleinsatz getroffen werden können.

1.3 Überblick zur Vorgehensweise

Die Abschätzung des Verlagerungspotenzials unterschiedlicher Radverkehrsmaßnahmen erfolgt im vorliegenden VERA-Leitfaden anhand von vier Schritten, die in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben werden.

Schritt 1 – Baseline

Schritt 1:

Um die Effekte von Radverkehrsmaßnahmen – insbesondere im Hinblick auf die Reduktion von Emissionen – bewerten zu können, ist es zunächst erforderlich, das **Radverkehrsaufkommen** am jeweiligen Ort zu ermitteln. Dieser Leitfaden behandelt drei unterschiedliche Ansätze (Level A, B und C), die sich nach den verfügbaren Daten richten.

Schritt 2 – Potenzial

Schritt 2:

Im zweiten Schritt muss das **Verlagerungspotenzial** der Radverkehrsmaßnahmen ermittelt werden. Dazu gibt es zwei methodische Ansätze. Im Idealfall liegen GPS-Daten und Metadaten aus vorangegangenen Maßnahmen vor, sodass die lokale Situation detailliert bewertet werden kann (Level A). Falls keine solchen Daten verfügbar sind, können auf Basis von VERA für das DACH-Gebiet ermittelte Faktoren (Level B und C) genutzt werden.

Schritt 3 – Verlagerung

Schritt 3:

Im nächsten Schritt wird die **Verlagerungswirkung** untersucht, um festzustellen, wie viele Wege von anderen Verkehrsträgern, insbesondere vom Pkw, auf das Fahrrad verlagert werden können. Diese Verlagerung ist von besonderer Relevanz, da hier signifikante Emissionsreduktionen zu erwarten sind. Bei vorhandenen Zählwerten können genauere Einschätzungen getroffen werden (Level A), während bei fehlenden Daten Schätzungen aus Literaturquellen und Expert:innenbefragungen genutzt werden (Level B und C).

Schritt 4 – Umwelteffekte

Schritt 4:

Abschließend werden die **Umwelteffekte**, insbesondere die Reduktion von CO₂, NO_x und anderen Schadstoffen, durch eingesparte Pkw-Kilometer berechnet. Dabei werden spezifische Emissionskennzahlen für Österreich, Deutschland und die Schweiz herangezogen. Diese Berechnungen basieren auf Durchschnittswerten und Prognosen, die von offiziellen Umweltbehörden und Forschungsinstituten bereitgestellt werden, um die Wirksamkeit der Radverkehrsmaßnahmen präzise bewerten zu können.

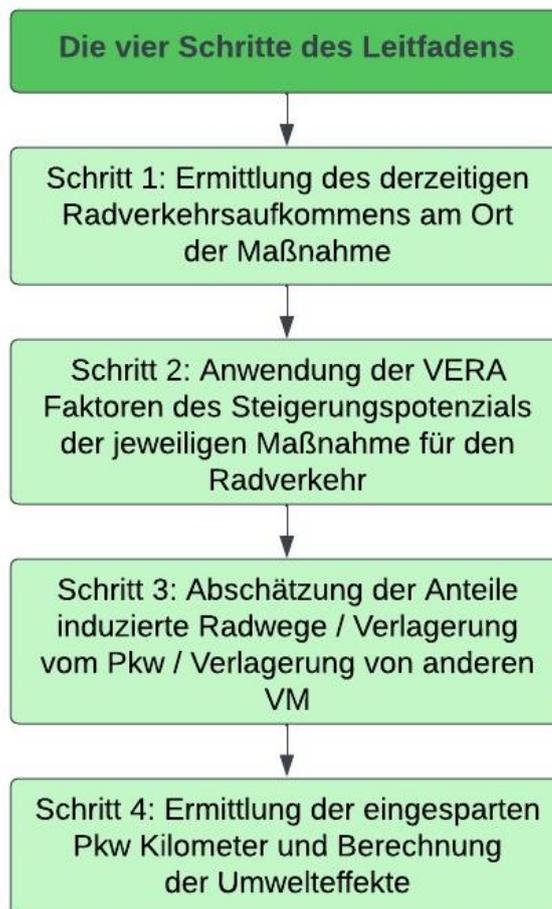


Abbildung 1: Die vier Schritte des Leitfadens

Maßnahmen

1.4 Betrachtete Maßnahmen – Beschreibungen

Im DACH-Raum sehen die landesspezifischen Richtlinien je nach räumlichen Gegebenheiten und der Verkehrsstärke bestimmte Anlagen für den Radverkehr vor. Die unterschiedlichen Radverkehrsinfrastrukturtypen der drei Länder ähneln sich weitestgehend und werden unter vergleichbaren Rahmenbedingungen verbaut. Die nachfolgende Tabelle bietet einen Überblick über die geläufigsten Typen und deren landesspezifische Bezeichnungen. Für die Schweiz werden der Sprache des Leitfadens entsprechend nur die deutschsprachigen Bezeichnungen genannt.

Führungsform (landesspezifische Bezeichnung)	Beschreibung
Mischverkehr (D/AT/CH)	Radfahrende und motorisierte Fahrzeuge teilen sich die Fahrbahn ohne gesonderte Radverkehrsanlagen. Üblich auf Straßen mit niedrigen Geschwindigkeiten und geringem Verkehrsaufkommen.
Fahrradstraße (D/AT) / Velostraße (CH)	Straße, die überwiegend oder ausschließlich dem Fahrradverkehr gewidmet ist. Autos dürfen hier oft nur mit Einschränkungen fahren (z. B. Anliegerverkehr) und müssen sich dem Tempo der Radfahrenden anpassen. Vorrang für Radfahrende. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt in der Regel 30 km/h oder weniger.
Schutzstreifen (D) / Mehrzweckstreifen (AT) / Radstreifen (CH)	Durch eine unterbrochene Linie markierter Bereich am rechten Fahrbahnrand, der hauptsächlich für Radfahrende vorgesehen ist. Motorisierte Fahrzeuge dürfen diesen bei Bedarf überfahren, z. B. zum Ausweichen, müssen jedoch Rücksicht auf Radfahrende nehmen.
Radfahrstreifen (D/AT) / Straßenbegleitender Einrichtungsweg (CH)	Exklusiv für Radfahrende markierter und meist durchgezogener Streifen am rechten Fahrbahnrand, den motorisierte Fahrzeuge nicht überfahren dürfen. Häufig breiter als Schutzstreifen. Für Radfahrende besteht in der Regel eine Benutzungspflicht.
Protected Bike Lane / Geschützter Radfahrstreifen (D) / Geschützter Radstreifen (AT/CH)	Durch Bordsteine, Poller oder physische Barrieren vom motorisierten Verkehr abgetrennter Radfahrstreifen bzw. straßenbegleitender Einrichtungsweg.
Begleitender Radweg (D/AT) / Abgesetzter Einrichtungsweg (CH)	Verläuft parallel zu einer Straße und ist räumlich von der Fahrbahn getrennt, meist durch Bordsteinkanten, Grünstreifen oder andere Abgrenzungen. Er ist oft für Zweirichtungsverkehr ausgelegt.
Geh- und Radweg (D/AT) / Fuss- und Radweg (CH)	Anlage, die dem Fuß- und Radverkehr vorbehalten ist, mit oder ohne Trennung zwischen Fuß- und Radverkehr. Kann straßenbegleitend sein, aber auch eigenständig verlaufen.
Eigenständiger Radweg	Unabhängiger Radweg, der nicht parallel zu einer Straße verläuft. Die Nutzung ist meist nur durch Radfahrende erlaubt.

Tabelle 1 Wichtigste Führungsformen des Radverkehrs mit deren landesspezifischen Bezeichnungen

Für den Leitfaden wurden Kategorien erstellt, die unabhängig von einem spezifischen Infrastrukturtyp sind, wie er in Tabelle 1 dargestellt ist. Stattdessen wurden Kategorien gebildet, die die tatsächliche Veränderung vom Vorher- zum intendierten Nachher-Zustand abbilden und damit den Grad der Veränderung repräsentieren. Für die Kategorien wurden Verlagerungseffekte für diese berechnet. Dabei ist anzumerken, dass die Maßnahmenkategorien nicht immer trennscharf bestimmbar sind. Fällt eine Maßnahme potenziell in mehr als eine Kategorie, ist jene auszuwählen, die aus Sicht der Anwender:innen des Leitfadens im überwiegenden Maße entspricht.

Die Berechnung der Maßnahmeneffekte beinhaltet keine touristischen Verkehre, da dort bei üblichen Ertüchtigungsmaßnahmen im Radverkehr keine größeren Verlagerungseffekte zu erwarten sind und darüber hinaus keine GPS-Datenbasis verfügbar ist.

Generelle Anmerkung:

Der VERA-Leitfaden dient dazu, eine Abschätzung der Wirkungen von Radverkehrsmaßnahmen vorzunehmen. Die Ergebnisse können dabei letztendlich auch von der Realität abweichen, da die Randbedingungen der zu bewertenden Einzelmaßnahmen nicht bekannt und kontrollierbar sind.

Neubau Radweg

1.4.1 Neubau Radweg

Der Neubau von Radwegen umfasst die punktuelle Schaffung neuer, eigenständiger Radverkehrsanlagen, wo zuvor keine dezidierte Infrastruktur für Radfahrende existiert hat. Dies kann einen separaten Weg für Radfahrende entlang einer Straße, durch Grünanlagen oder sogar eigenständige Routen abseits der Straßen beinhalten. Im Gegensatz zu den anderen Kategorien wird hier eine komplett neue Infrastruktur für den Radverkehr errichtet, die über Markierungsarbeiten hinausgehende bauliche Eingriffe umfasst. Darunter fallen beispielsweise folgende Anlagentypen:

- Protected Bike Lane bzw. geschützter Rad(fahr)streifen
Baulich angelegte, eigenständige Rad- bzw. Velowege
- Gemeinsame Geh- und Rad- oder Velowege



Abbildung 2 Protected Bike Lane in Berlin (Foto:BA Neukölln)

Werden die Maßnahmen im Zuge netzweiter Verbindungen angelegt, fallen diese unter Kategorie 1.4.2.

Ausbau Radwegenetz

1.4.2 Ausbau bestehendes Radwegenetz (Lückenschluss, Verbreiterung)

Der Ausbau des bestehenden Radwegenetzes kann verschiedene Maßnahmen zur Herstellung oder Erweiterung eines systematisch miteinander verbundenen Geflechts von Radverkehrsanlagen umfassen. Die Kategorie betrifft also insbesondere Maßnahmen zur Umsetzung eines Zielnetzes im Zuge eines Radverkehrskonzeptes. Dies betrifft auch eine Aufwertung existierender Anlagen. Insgesamt zielt der Ausbau des bestehenden Radwegenetzes darauf ab, die Radfahrinfrastruktur als Ganzes zu verbessern, um die Sicherheit, Bequemlichkeit und Attraktivität des Radfahrens als Verkehrsmittel zu steigern. Die Kategorie schließt deshalb eine große Vielfalt an möglichen Maßnahmen ein, darunter folgende:

- Erweiterung des Netzwerks: Der Ausbau des bestehenden Radwegenetzes zielt darauf ab, die Anzahl der verfügbaren Radwegeverbindungen zu erhöhen. Dies kann durch den Bau neuer Radwege, Fahrradstraßen oder Radwegebrücken erfolgen, um bestehende Routen zu verbessern oder neue Routen zu erschließen. Eine deutliche Verbesserung kann auch durch Lückenschlüsse im Radwegenetzes herbeigeführt werden. Dies ermöglicht Radfahrenden eine kontinuierliche, sichere und durchgängige Verbindung zwischen zwei Orten oder Routen.
- Verbreiterung der Radwege: Eine Verbreiterung von Radwegen kann entweder durch eine physische Erweiterung erfolgen oder durch die Umnutzung anderer Verkehrsflächen, wie z.B. Autospuren oder Parkstreifen. Durch eine Verbreiterung von Radwegen wird mehr Platz für Radfahrende geschaffen, was zu einer Erhöhung der Sicherheit beiträgt. Darüber hinaus sorgt ein geräumiger Radweg ein angenehmeres Fahrerlebnis, insbesondere bei stark frequentierten Routen oder auf stark befahrenen Straßen. Radfahrende fühlen sich dadurch sicherer und entspannter, was die Attraktivität des Radfahrens als Verkehrsmittel erhöht.
- Verbindung von Knotenpunkten: Schaffung von sicheren Verbindungen zwischen wichtigen Knotenpunkten wie Wohngebieten, Geschäftszentren, Schulen, Parks und öffentlichen Verkehrsmitteln. Ziel ist es, ein zusammenhängendes Netzwerk zu schaffen, das es Radfahrenden ermöglicht, sicher und effizient von einem Ort zum anderen zu gelangen.
- Aufwertung existierender Führungsformen: Teilweise genügen existierende Anlagen nicht mehr den Ansprüchen von Radfahrenden oder der Funktion einer Anlage innerhalb eines Radverkehrsnetzes. Deswegen werden bspw. Radverkehrsanlagen von Radfahrstreifen zu geschützten Radfahrstreifen aufgewertet.
- Integration mit anderen Verkehrsträgern: Ein wichtiger Aspekt des Ausbaus besteht darin, das Radwegenetz nahtlos in andere Verkehrsträger zu integrieren, wie insbesondere öffentliche Verkehrsmittel in Form von Bike & Ride Angeboten. Dies fördert eine multimodale Mobilität und erleichtert den Umstieg zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln.



Abbildung 3 Zweirichtungsradweg in Wien als Aufwertung der Nordachse (Foto: EGKK, Arriola & Fiol / Schreiner Kastler)

Markierung von Radverkehrsanlagen

1.4.3 Markierung von Radverkehrsanlagen (Schutzstreifen, Radstreifen, Mehrzweckstreifen)

Die Markierung von Radverkehrsanlagen spielt eine wichtige Rolle bei der Gestaltung und Kennzeichnung von Straßenabschnitten, die für den Fahrradverkehr vorgesehen sind. Bodenmarkierungen stellen eine kostengünstige Möglichkeit dar, Radfahrenden einen eigenen Raum zur Verfügung zu stellen, wo platz- oder kostenbedingt keine Alternative möglich ist und gewährleisten gute Sichtbeziehungen zum motorisierten Verkehr, bieten jedoch keinen physischen Schutz für Radfahrende gegenüber dem motorisierten Verkehr. Sie dienen dazu, den Radverkehr auf der Fahrbahn zu organisieren und die Sichtbarkeit

der Radfahrenden zu erhöhen. In diese Kategorie fallen vornehmlich Maßnahmen, die isoliert vom übergeordneten Netz stattfinden und den folgenden Führungsformen zuzuordnen sind:

- Schutzstreifen (D) / Mehrzweckstreifen (AT) / Radstreifen (CH)
- Radfahrstreifen (D/AT) / Straßenbegleitende Einrichtungsradwege (CH)



Abbildung 4 Velostreifen in Basel (Foto: Basel-unterwegs.ch)

Öffnung von Einbahnstraßen

1.4.4 Öffnung von Einbahnstraßen

Das Radfahren gegen die Einbahn wird durch die Kundmachung der Zusatztafel „ausgenommen Radfahrende“/„Radfahrer frei“ unterhalb der Verkehrszeichen „Einbahnstraße“ bzw. „Einfahrt verboten“ gestattet. Die Fahrtrichtung für den gegengerichteten Radverkehr in Einbahnstraßen ist durch Richtungspfeile zu kennzeichnen. Zur Trennung der entgegen der Einbahn fahrenden Radfahrenden vom übrigen Fahrzeugverkehr sind, wenn notwendig, Leit- oder Sperrlinien anzubringen.

Durch die Öffnung von Einbahnstraßen für den Radverkehr können direkte und sichere Verbindungen geschaffen werden. Kritisch ist die Öffnung bei vielen querenden Zu-Fuß-Gehenden zu sehen, da diese nicht mit entgegen der Einbahn fahrenden Radfahrenden rechnen und es zu Konflikten kommen kann.

Folgende Kriterien sind vor der Freigabe einer Einbahnstraße für den gegen gerichteten Radverkehr zu prüfen:

- Breite der Fahrbahn und Anzahl der Fahrstreifen
- Verkehrsstärke (Kfz- und Radverkehr)
- Höchstzulässige und tatsächlich gefahrene Geschwindigkeiten (v85)
- Vorrangverhältnisse und Sichtweiten
- Stellplatzanordnung



Abbildung 5 Temporäre Öffnung einer Einbahnstraße für Radfahrende in Offenburg
(Foto: Andreas Wenk)

Belagssanierung

1.4.5 Belagssanierung

Der Ausbau beinhaltet auch die Verbesserung der Qualität der vorhandenen Radwege. Dies kann durch Reparatur und Instandhaltung von bestehenden Wegen geschehen, um sicherzustellen, dass sie sicher, gut befahrbar und komfortabel sind. Insbesondere wenn Kopfsteinpflaster durch Asphaltdecken ersetzt werden, sind deutlich Zuwächse bei den Radverkehrsstärken zu erwarten. Unter diese Maßnahmenkategorie fallen auch Straßen, entlang derer die Radfahrenden im Mischverkehr geführt werden. Belagssanierungen tragen aus den folgenden Punkten zur Attraktivierung des Radverkehrs bei.

- **Sicherheit:** Ein gut erhaltener und glatter Belag minimiert das Risiko von Unfällen. Risse, Schlaglöcher und Unebenheiten stellen erhebliche Gefahren für Radfahrende dar, insbesondere bei Nässe oder Dunkelheit.
- **Komfort:** Ein glatter und ebener Belag erhöht den Fahrkomfort, was wiederum mehr Menschen dazu motivieren kann, das Fahrrad als Verkehrsmittel zu nutzen. Unannehmlichkeiten durch unebene oder beschädigte Oberflächen können potentielle Radfahrende abschrecken.
- **Langlebigkeit:** Regelmäßige Belagssanierungen tragen zur Langlebigkeit der Radwege bei und verhindern kostspieligere Reparaturen oder vollständige Erneuerungen in der Zukunft.
- **Wahrnehmung und Attraktivität:** Gut gepflegte Radwege signalisieren den Nutzer:innen, dass Radfahren als Verkehrsmittel ernst genommen wird, was das Image des Radverkehrs verbessert und somit mehr Menschen motivieren kann, aufs Fahrrad umzusteigen.



Abbildung 6 Auftrag einer Asphaltdecke auf einem Pflasterdecke in Dresden (Foto: Straßen- und Tiefbauamt Dresden)

Schritt 1 – Baseline: Ermittlung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme

2 Radverkehrsaufkommen

Als Basis für die Ermittlung der Effekte einer Radverkehrsmaßnahme – insbesondere hinsichtlich der zu erwartenden Reduktion der Emissionen – ist es erforderlich, einen Ausgangswert bezüglich des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme zu ermitteln. Im vorliegenden Leitfaden behandeln wir diesbezüglich die folgenden drei Varianten (Level A, B und C):

- **Level A: Optimalvariante (Aufkommensdaten zum Radverkehrsaufkommen sind vorhanden)**

Bei Level A sind Aufkommensdaten vor Umsetzung der Maßnahme vorhanden oder werden dafür extra erhoben. Aufkommensdaten beziehen sich auf das Radverkehrsaufkommen vor Ort und optimaler Weise auch im Umfeld der Maßnahme. Zur Abschätzung von Verlagerungseffekten zwischen den Verkehrsträgern ist es darüber hinaus hilfreich, auch Information zum Aufkommen des motorisierten Verkehrs vor Ort zu sammeln. Wie derartige Zählungen und/oder Analysen aus GPS-Erhebungen umgesetzt werden können und welche Daten benötigt werden, wird in Kapitel 2.1 beschrieben.

- **Level B: Ermittlung des Radverkehrsaufkommens mit örtlichen Mobilitätsdaten**

Falls keine Zählungen existieren, dafür aber örtliche Mobilitätserhebungsdaten verfügbar sind, ist eine Abschätzung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme mithilfe dieser Daten möglich.

Dazu werden für die Berechnungen Daten aus Mobilitätserhebungen (Wege pro Person, Verkehrsmittelwahl, Weglängen) benötigt. Bei Level B sind lokale Daten aus Mobilitätserhebungen vorhanden, die nicht älter als 5 Jahre sind und bestimmten Qualitätskriterien entsprechen.

- **Level C: Ermittlung des Radverkehrsaufkommens mit generischen Mobilitätsdaten**

Level C entspricht von der Vorgehensweise und den benötigten Daten her Level B, in diesem Fall sind aber keine lokalen Mobilitätskennzahlen aus örtlichen Mobilitätserhebungen vorhanden. Die notwendigen Daten werden hier auf Basis einer Gemeindezuordnung zu Gemeindeclustern mit ähnlichen Strukturen und Mobilitätskennzahlen durch VERA bereitgestellt. Die Daten stammen aus größeren, landesweiten oder bundeslandweiten Verkehrserhebungen.

**Empfehlung:
Radverkehrsaufkommen
zählen!**

Empfehlung:

Wann immer möglich, führen Sie eine Erhebung des Radverkehrs am Ort der Maßnahme vor dessen Umsetzung durch (Level A)!

Die einzigen Ausnahmen von dieser Empfehlung sind Fälle, bei denen der sogenannte **Basiseffekt** zu Tragen kommt. Dieser tritt bei derzeit sehr geringem Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme bzw. immer dann auf, wenn vor Umsetzung gar kein Radverkehr stattfindet.

Beispiele dafür sind ein Lückenschluss mittels einer derzeit nicht vorhandenen Verbindung oder die Errichtung einer neuen Flussquerung mittels Geh- und Radwegbrücke. Die Berechnung der Effekte einer Maßnahme mittels Steigerungsraten ist hier nur bedingt oder gar nicht möglich. In solchen Fällen kann daher die Abschätzung der Baseline über die in diesem Leitfaden als Level B/C beschriebene Vorgehensweise sinnvoller sein.

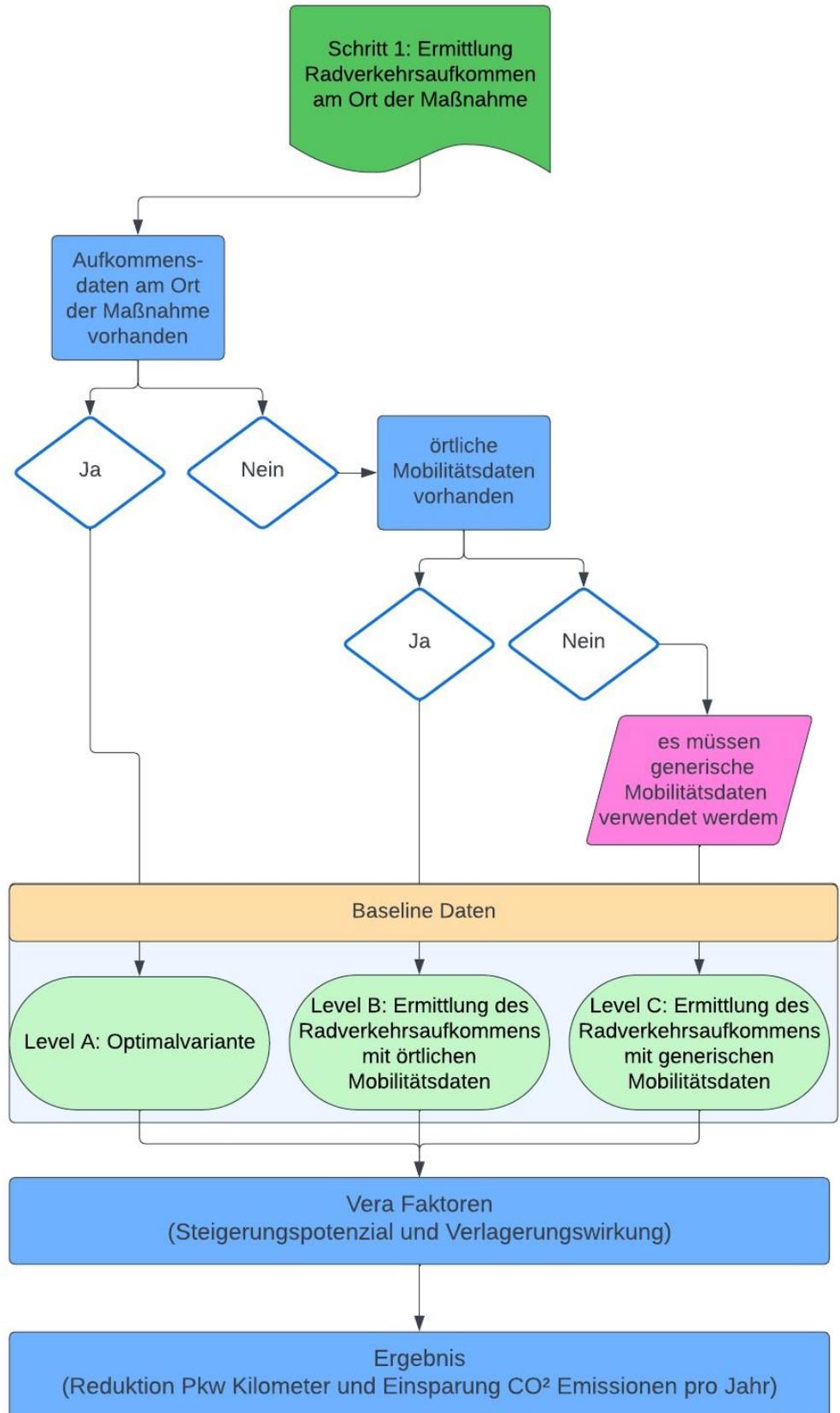


Abbildung 7: Varianten für die Ermittlung des Radverkehrsaufkommen

Level A

2.1 Level A: Erhebungsmethoden von Zähldaten für den Radverkehr

Ausgangspunkt für die Berechnung des Verlagerungspotenzials und damit auch die Reduzierung von Emissionen ist die Quantifizierung der Radfahrenden am Ort einer möglichen Maßnahme. Traditionell werden diese Informationen mit Verkehrszählungen vor Ort erhoben. Idealerweise existieren dafür Dauerzählstellen, die permanent und über einen längeren Zeitraum den Radverkehr automatisch zählen und damit das Aufkommen aller Radfahrenden repräsentieren. Alternativ werden temporäre Zählungen durchgeführt. Bei temporären Zählungen ist zu beachten, dass diese nur während sogenannter Normalwochen durchgeführt werden, um repräsentative Ergebnisse zu liefern (FGSV 2012). Generell sind temporäre Zählungen aber anfällig für Wetterschwankungen und für kurzfristige Ereignisse, die eine Vergleichbarkeit erschweren. Beide Varianten haben den Nachteil, mit hohen Kosten verbunden zu sein und jeweils nur punktuelle Daten zu liefern (vgl. Broach et al. 2023).

Demgegenüber stehen eine Reihe an alternativen Methoden, das Verkehrsaufkommen des Radverkehrs zu ermitteln (Tabelle 2). In Forschungsprojekten wurden dafür unterschiedliche Datenquellen bemüht, darunter Daten von Leihradsystemen ebenso wie Bewegungsprofile, die über An- und Anmeldung von Mobiltelefonen an Mobilfunkmasten generiert werden. Besondere Bedeutung kann partizipativen Erhebungen unter Einsatz von GPS-Sensoren von Mobiltelefonen beigemessen werden. Hier werden Bürger:innen dazu angehalten, ihre Fahrten mit dem Smartphone aufzuzeichnen und diese Daten dem jeweiligen Anbieter zur Verfügung zu stellen. Die Daten werden über unterschiedliche Formate generiert, die sich in Umfang, räumlicher Abdeckung, Art der beteiligten Radfahrenden und Qualität stark unterscheiden. Häufig sind die Daten nur eingeschränkt frei verfügbar, insbesondere wenn kommerzielle Anbieter:innen wie Strava die Daten erheben und verarbeiten. In mehreren europäischen Ländern existieren nun teilweise schon seit mehreren Jahren Kampagnen, an denen die öffentlichen Verwaltungen selbst teilnehmen können und die Aktion bewerben. In Deutschland kann die Kampagne *Stadtradeln* so schon 2.700 teilnehmende Kommunen zählen. Auch *Österreich radelt* umfasst inzwischen Radfahrende aus zahlreichen Kommunen. Dementsprechend umfangreich sind die Datensätze und damit auch die Stichprobe der teilnehmenden Radfahrenden. Teilweise sind diese Daten offen und kostenfrei verfügbar (bspw. ältere Daten von *Stadtradeln* in Deutschland).

2.1.1 Nutzung von GPS-Daten

In den letzten Jahren wurden GPS-Daten in vielen Forschungsarbeiten genutzt, um bspw. die Wirkung von Radverkehrsmaßnahmen zu evaluieren (vgl. Hong et al. 2020) oder das Routenwahlverhalten von Radfahrenden zu untersuchen (vgl. Huber 2022). In dem Zuge wurde auch mehrfach deren Repräsentativität bestätigt (bspw. Hong et al. 2020; Boss et al. 2018). Zukünftig werden die Daten wohl immer häufiger in der kommunalen Radverkehrsplanung zum Einsatz kommen. Richtlinien zur Verwendung solcher Daten sind derzeit in der Entstehung.

Datenquelle	Stärken	Schwächen	Beispiel
Sport-Apps	<ul style="list-style-type: none"> • Großflächige räumliche Abdeckung • Teils Daten für mehrere Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr homogene Nutzerschaft (eher sportliche Nutzung) • Daten nicht frei verfügbar • Qualität und Transparenz der Datenverarbeitung 	Strava
Navigations-Apps	<ul style="list-style-type: none"> • Heterogene Nutzerschaft 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Stichprobe • Routing verfälscht Verhalten • Daten nicht frei verfügbar 	BikeCitizens
Lokale Initiativen	<ul style="list-style-type: none"> • Lokale Verwurzelung schafft Verständnis und Teilnahmebereitschaft • Teils Daten für mehrere Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> • Meist nur lokale Abdeckung • Daten nicht frei verfügbar • Informationskanäle entscheiden über Nutzende 	Radwende Wiesbaden
Nationale Kampagnen	<ul style="list-style-type: none"> • Großflächige räumliche Abdeckung • Teils Daten für mehrere Jahre • Daten teilweise frei zugänglich • Nutzer:innenschaft eher heterogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualität und Transparenz der Datenverarbeitung 	Stadtradeln, Österreich radelt

Tabelle 1: Vor- und Nachteile verschiedener Aufzeichnungswege von GPS-Daten (Nach Huber 2022)

2.1.1.1 Bezugswege von GPS-Daten im D-A-CH-Raum

Deutschland: Im Rahmen der landesweit jährlich stattfindenden Kampagne *Stadtradeln* konnte die letzten Jahre der vermutlich in Hinblick auf die räumliche Abdeckung umfangreichste existierende Radverkehrsdatensatz generiert werden. Die Kampagne wird für ein Gebiet durch Gebietskörperschaften - also Kommunen, Landkreise oder ganze Bundesländer initiiert und beworben. Teilnehmende Kommunen können nach Registrierung für das RiDE-Portal¹ unter anderem die während der Kampagne erhobenen Verkehrsstärken abrufen. Die Daten lassen sich im aufbereiteten und aggregierten Zustand einsehen und exportieren.

Österreich: Seit einigen Jahren findet in Österreich nun jährlich die Kampagne *Österreich radelt* statt. Zur Teilnahme können juristische Personen des öffentlichen Rechts (also Kommunen, aber auch Vereine und Betriebe) aufrufen.² *Österreich radelt* ist eine Initiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und aller Bundesländer, die Daten können auf Anfrage für bestimmte Aufgabenstellungen genutzt werden.

Schweiz: Zum Zeitpunkt der Leitfadenerstellung gab es in der Schweiz keine eigene nationale Kampagne, in der Daten systematisch über eine heterogene Nutzerschaft erhoben werden. Kommunen steht die Option offen, an *Stadtradeln* teilzunehmen und so Daten zu erheben. Derzeit nehmen allerdings nur zwei Kommunen daran teil. Als Alternative bietet sich bspw. *Strava Metro* an, die insbesondere im urbanen Raum einen umfangreichen Datensatz anbieten³, der allerdings durch seine sportive Prägung unter Umständen nicht das Verhalten aller Radfahrenden abbildet.

¹ <https://www.radverkehr-in-deutschland.de/>

² <https://www.radelt.at/arbeit>

³ <https://metro.strava.com/de>

2.1.1.2 Hochrechnung der GPS-Daten

Allen GPS-basierten Erhebungen ist gemein, dass sie nur eine Stichprobe darstellen. Um das Verlagerungs- sowie das Einsparpotenzial ermitteln zu können, muss bei diesen Erhebungsmethoden zunächst die tatsächliche Anzahl an Radfahrenden, also die Grundgesamtheit, geschätzt werden.

Benötigt wird dafür immer mindestens ein Referenzzählwert, der im gleichen Zeitraum und im gleichen Gebiet wie die hochzurechnenden GPS-Daten erhoben wurden, wobei mehr Referenzpunkte die Genauigkeit des Modells verbessern. Im einfachsten Fall werden nur diese zwei Eingangsvariablen verwendet: Der Zählwert der Vollerhebung sowie die korrespondierende Verkehrsmenge. Bei einfachen Ansätzen werden mit einer Ausgleichsgerade dann die unbekanntenen Verkehrsstärken geschätzt, die im Fall von nur einer existierenden Referenzzählung formelseitig folgendermaßen ausgedrückt werden kann:

$$y_{i,t} = \frac{n_{dzs_{j,t}}}{n_{gps_{j,t}}} * x_{i,t}$$

- y : Anzahl aller Radfahrenden am Ort i zum Zeitpunkt t
- $n_{dzs_{j,t}}$: Referenzzählwert z.B. einer Dauerzählstelle am Ort j zum Zeitpunkt t
- $n_{gps_{j,t}}$: Zählwert aus GPS-Erhebung wie Strava am Ort j zum Zeitpunkt t
- $x_{i,t}$: Zählwert aus GPS-Erhebung wie Strava am Ort i zum Zeitpunkt t

Vom Verhältnis der GPS-Zählwerte zu denen der Vollerhebung wird also auf die Verkehrsstärke am Ort der potenziellen Maßnahme geschlossen (vgl. Huber 2022).

Problematisch an einfachen Regressionsmodellen ist, dass keine Unterscheidung zwischen der Lage der Netzkanten sowie deren Charakteristika vorgenommen wird. Da das Verhältnis zwischen Teilnehmenden an einer Smartphone-Erhebung und allen anderen Radfahrenden nicht immer und überall im Netz identisch ist, ist demnach eine genauere Beschreibung der Netzkanten für eine zuverlässige Schätzung entscheidend. Mit weiteren Attributen wie z.B. Charakteristika der Infrastruktur oder demographischen Daten lässt sich die Hochrechnungsgenauigkeit deutlich erhöhen (vgl. Tao et al. 2024).

Veröffentlichungen zu dem Thema zeigen auch, dass die Wahl des Modells ein wichtiger Aspekt ist, mit dem die Genauigkeit der Hochrechnung deutlich verbessert werden kann. Der Natur der Zähldaten folgend ist besonderes Augenmerk auch auf die Modellklasse zu legen. In der Regel schneiden Poisson bzw. negativ binomiale Regression signifikant besser ab. Zwischen den verschiedenen Modellfamilien erwiesen sich Schätzung von Machine-Learning-Ansätzen im Vergleich zu klassischen Ansätzen als präziser (Kwigizile et al. 2019; Richter et al. 2023).

Durchschnittliche Fahrtweiten der Radfahrenden, die später für die Berechnung der eingesparten Emissionen benötigt werden, können aus den GPS-Daten direkt ausgewertet werden.

	Vorteile	Nachteile
Zähldaten	<ul style="list-style-type: none"> • Vollerhebung • Exakte Zähldaten • Modus idR korrekt erfasst 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur punktuelle Daten • Kostenintensiv • Fehleranfällig
Daten aus Verleihsystemen	<ul style="list-style-type: none"> • Räumliche Ausdehnung • Kostengünstig • Modus korrekt erfasst 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur im städtischen Raum • Verzerrte Stichprobe • Datenaufbereitung aufwändig
Smartphone-generierte GPS-Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Räumliche Ausdehnung • kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> • Verzerrte Stichprobe (tw. Sportliche Nutzerschaft, bestimmte Wegezwecke, bestimmte Altersgruppen) • Datenaufbereitung aufwändig • Modus unbekannt -> Datenfilterung wichtig
Mobilfunkdaten	<ul style="list-style-type: none"> • Räumliche Ausdehnung • Kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> • Modus unbekannt • Datenaufbereitung aufwändig • Ungenaue Lokalisierung

Tabelle 2: Vor- und Nachteile verschiedener Methoden zur Erhebung von Radverkehrsstärken (Nach Tao et al. 2024)

2.1.2 Andere Methoden zur Ermittlung des Radverkehrsaufkommens

Um für den Fall, dass keine GPS-Daten zum Radverkehr zur Verfügung stehen, verlässliche Daten zu gewinnen, stehen sowohl manuelle als auch automatische Methoden zur Verfügung. Manuelle Zählungen bieten eine flexible Möglichkeit, kurzfristig detaillierte Informationen zu sammeln. Automatische Zählmethoden hingegen ermöglichen eine kontinuierliche und objektive Erfassung des Verkehrsflusses. Im Folgenden werden einige Möglichkeiten der Radverkehrszählung beschrieben.

2.1.2.1 Manuelle Zählungen

Manuelle Zählungen des Radverkehrsaufkommens erfordern sorgfältige Planung und Durchführung, um genaue und verlässliche Daten zu erhalten. Dabei sind mehrere wichtige Aspekte zu berücksichtigen.

Planung und Vorbereitung

Zunächst müssen die Vorgehensweise und der Umfang der Zählung klar definiert werden. Dies beinhaltet die Erfassung des Radverkehrs und falls möglich auch des motorisierten Individualverkehrs (als Basis für die Ermittlung von Verlagerungseffekten). Weiterhin muss festgelegt werden, welche Zeiten, Wochentage und genauen Standorte gezählt werden sollen. Dabei müssen Umgebungseinflüsse, wie Baustellen oder Veranstaltungen, berücksichtigt werden, da diese die Zählung beeinträchtigen könnten.

Die zeitliche Planung ist ebenfalls wichtig. Zählzeiten sollten so festgelegt werden, dass sie Spitzenverkehrszeiten morgens und abends sowie unterschiedliche Wochentage (z.B. Dienstag und Donnerstag) und Wochenenden abdecken. Dabei müssen auch saisonale und wetterbedingte Schwankungen im Radverkehr berücksichtigt werden. Ausführliche Hinweise zur Planung von Zählungen sind unter anderem in den *Empfehlungen für Verkehrserhebungen* der FGSV zusammengestellt (FGSV 2012).

Personal und Zählmethodik

Die Rekrutierung und Schulung von Zählpersonal ist ein weiterer wesentlicher Schritt. Es ist wichtig, dass das Personal einheitlich und genau Daten erfasst. Zur Vermeidung von Ermüdung und Konzentrationsverlust sollte das Personal in Schichten eingeteilt werden.

Es muss entschieden werden, welche Zählmethodik angewendet wird. Dies kann eine kontinuierliche Zählung über einen bestimmten Zeitraum oder Stichprobenzählungen umfassen. Dabei sollten standardisierte Zählbögen oder mobile Geräte (Tablets) zur Datenerfassung verwendet werden, wodurch die Daten direkt verarbeitbar sind.

Zusätzlich sollten relevante Zusatzinformationen wie Wetterbedingungen, besondere Ereignisse, Verkehrsstaus oder ungewöhnliche Verkehrsverhältnisse notiert werden, da diese die Zählergebnisse beeinflussen können.

Datenverarbeitung

Die erfassten Zähldaten müssen sorgfältig in eine zentrale Datenbank oder ein Analyse-Tool übertragen werden. Dabei ist es wichtig, die Daten auf Plausibilität und Konsistenz zu prüfen, um eine verlässliche Grundlage für weitere Analysen zu gewährleisten.

Praktische Tipps

- **Zählerstandort:** Das Personal sollte an einem sicheren Ort positioniert sein, von dem aus eine gute Sicht auf den zu zählenden Bereich besteht.
- **Kleidung und Ausrüstung:** Das Zählpersonal sollte gut sichtbar sein (z. B. durch Warnwesten) und wettergerechte Kleidung tragen.
- **Pausen:** Regelmäßige Pausen für das Zählpersonal einplanen, um Konzentrationsverlust zu vermeiden.
- **Kommunikation:** Sicherstellen, dass das Zählpersonal untereinander und mit den Koordinatoren gut kommunizieren kann, um bei Bedarf schnell reagieren zu können.

2.1.2.2 Induktionsschleifen

Induktionsschleifen sind Drahtschleifen, die in den Boden eingelassen sind und ein elektromagnetisches Feld erzeugen. Wenn ein Fahrrad über diese Schleife fährt, verändert das Metall im Fahrrad dieses Feld. Diese Änderung wird registriert und als Zählung erfasst. Induktionsschleifen bieten eine hohe Genauigkeit, sind robust und wetterunabhängig. Allerdings sind die Installationskosten hoch und die Installation erfordert Eingriffe in die Straßenoberfläche, was invasiv ist.

Es gibt aber auch mobile, temporäre Induktionsschleifen, die auf der Oberfläche der Straße oder des Radwegs geklebt und später wieder entfernt werden können. Diese mobilen Induktionsschleifen eignen sich besonders für kurzfristige Zählungen und Studien. Sie sind einfach zu installieren und zu entfernen und bieten ebenfalls eine hohe Genauigkeit. Allerdings sind auch diese relativ teuer und benötigen eine glatte Oberfläche für die Installation, zudem sind sie anfällig auf Beschädigungen vor allem durch motorisierten Verkehr.

2.1.2.3 Mobile Infrarotsensoren

Infrarotsensoren arbeiten mit Infrarotstrahlen, die zwischen einem Sender und einem Empfänger ausgesendet werden. Wenn ein Fahrrad den Strahl unterbricht, wird dies als Zählung erfasst. Diese Sensoren bieten den Vorteil einer einfachen Installation, da keine Eingriffe in die bestehende Infrastruktur notwendig sind. Allerdings können sie durch

Umweltbedingungen wie Regen oder Nebel sowie durch nicht-radfahrende Verkehrsteilnehmer:innen, beispielsweise Fußgänger:innen, beeinflusst werden.

2.1.2.4 Drucksensoren / pneumatische Schlauchzähler

Drucksensoren sind in den Boden integrierte Platten oder Matten, die den Druck messen, wenn ein Fahrrad über sie fährt. Diese Druckänderung wird zur Zählung verwendet. Drucksensoren bieten eine gute Genauigkeit und können verschiedene Fahrzeugtypen unterscheiden. Jedoch sind sie anfällig für Verschleiß durch mechanische Belastung und möglicherweise teuer in der Wartung. Mobile pneumatische Schlauchzähler hingegen verwenden Schläuche, die quer über den Radweg oder die Fahrbahn gelegt werden. Wenn ein Fahrrad über den Schlauch fährt, erzeugt dies Druckimpulse, die gezählt werden. Diese Geräte sind besonders für kurzfristige Verkehrszählungen geeignet. Sie sind einfach zu installieren und zu entfernen sowie kostengünstig, aber anfällig für Beschädigungen und Vandalismus und bieten eine weniger genaue Differenzierung zwischen Fahrradtypen.

2.1.2.5 (Mobile) Videoanalyse

Kameras werden an strategischen Punkten installiert und zeichnen den Verkehr auf. Spezielle Software analysiert die Videodaten und zählt die Fahrräder. Die Algorithmen können auch Bewegungsrichtungen und Geschwindigkeiten erfassen. Mobile Videoanalyse-Systeme, die temporär installiert werden können, bestehen aus Kameras mit entsprechender Erkennungssoftware. Diese Systeme liefern sehr genaue Daten und zusätzliche Informationen wie Verkehrsfluss und Verhaltensmuster. Sie sind besonders nützlich für detaillierte Studien zu Verkehrsverhalten und Zählungen. Die Nachteile liegen in den hohen Kosten für Hardware und Software, möglichen Datenschutzbedenken sowie der wetterabhängigen Leistung.

2.1.2.6 (Mobile) Radar- und Ultraschallsensoren

Diese Sensoren senden Radar- oder Ultraschallwellen aus und messen die Reflexionen von Objekten. Wenn ein Fahrrad in den Erfassungsbereich kommt, ändert sich das reflektierte Signal, und eine Zählung wird erfasst. Radargeräte können an temporären Standorten aufgestellt werden, um Fahrräder zu erfassen und zu zählen. Sie sind unabhängig von den Lichtverhältnissen, und können auch Geschwindigkeiten erfassen. Diese Geräte sind jedoch teurer als pneumatische Schläuche und Infrarotsensoren und benötigen eine Stromversorgung. Ultraschallsensoren, die ebenfalls an temporären Standorten befestigt werden können, senden Ultraschallwellen aus, die von Fahrrädern reflektiert werden. Die Veränderungen in den reflektierten Signalen werden zur Zählung genutzt. Diese Sensoren sind relativ genau und unabhängig von den Lichtverhältnissen, haben jedoch eine mäßige Reichweite und können durch andere Verkehrsteilnehmer:innen gestört werden.

2.1.2.7 Bluetooth- und Wi-Fi-Tracker:

Bluetooth- und Wi-Fi-Tracker erfassen die Signale von Bluetooth- oder Wi-Fi-fähigen Geräten, die Radfahrende mit sich führen, und zählen die Anzahl der erfassten Geräte. Diese Tracker sind besonders nützlich zur Erfassung von Verkehrsdaten in belebten Gebieten. Sie sind einfach zu installieren und können auch Fußgängerverkehr erfassen. Allerdings gibt es Datenschutzbedenken, und sie sind weniger spezifisch für Fahrräder nutzbar, da nicht eindeutig ist, ob das Wi-Fi oder Bluetooth Signal auch tatsächlich von Radfahrenden stammt.

2.1.2.8 Zählstandorte bei Lückenschlüssen oder neuen Verbindungen (z.B. Brücken)

Wenn ein neuer Radweg an einem Ort gebaut werden soll, an dem es zuvor keinen Radweg gab, stellt sich die Frage, wo am besten gezählt werden soll, um eine Grundlage für die Abschätzung des Potenzials zu haben. Folgende Möglichkeiten scheinen dabei sinnvoll:

- Anliegende Straßen und Wege: Erhebung des Radverkehrs auf Straßen und Wegen, die in der Nähe des geplanten Radwegs liegen und als Alternativrouten genutzt werden könnten.
- Kreuzungspunkte und Einmündungen: Zählungen an Kreuzungen und Einmündungen, die der geplanten Strecke nahe liegen, um Radfahrende zu erfassen, die die Route möglicherweise nutzen würden.
- Potenzielle Zubringerwege: Erhebung auf Wegen und Straßen, die als Zubringer zum geplanten Radweg dienen könnten, um das potenzielle Aufkommen zu erfassen.
- Im Falle von Lückenschlüssen oder neuen Verbindungen kann aber – insbesondere, wenn derzeit kein Radverkehr möglich ist oder das derzeitige Aufkommen sehr gering ist – auch die Abschätzung der Baseline über die in diesem Leitfaden als Level B/C beschriebene Vorgehensweise sinnvoller sein.

2.1.2.9 Anbieter von mobilen Zählgeräten für Straßenverkehrszählungen im DACH-Raum

Die nachfolgend genannten Unternehmen bieten eine Vielzahl an Lösungen für die Erfassung und Analyse von Verkehrsdaten und werden hier beispielhaft genannt. Die Liste ist das Ergebnis einer unabhängigen, eigenständigen Marktrecherche. Sie ist weder vollständig noch stellt sie irgendeine Form der Bewertung der Qualität der angebotenen Lösungen dar.

Österreich

- **Eco-Counter**

Webseite: www.eco-compteur.com

Beschreibung: Eco-Counter bietet verschiedene Zählsysteme für den Rad- und Fußverkehr an, darunter mobile Induktionsschleifen, Pyro-Sensoren (Infrarot) und Zählstationen. Die Geräte sind flexibel einsetzbar und liefern detaillierte Daten zur Verkehrsanalyse. Die Eco-Counter-Systeme werden sowohl in Wien als auch in München an verschiedenen strategischen Standorten eingesetzt. Ein prominentes Beispiel ist die Zählstation am Isarradweg, die kontinuierlich Daten sammelt und wertvolle Einblicke in die Nutzung des Radwegs bietet. Ein weiteres Beispiel ist die Zählstelle auf der Argentinierstraße in Wien, die kontinuierlich Daten über die Anzahl der Radfahrenden sammelt.

- **MSR Traffic**

Webseite: www.msr-traffic.de

Beschreibung: MSR Traffic bietet Lösungen zur Verkehrszählung und -überwachung, darunter auch mobile Systeme zur Erfassung von Rad- und Kfz-Verkehr. Die Geräte nutzen Induktions- und Radartechnologie.

- **c.c.com**

Webseite: www.cccom.at

Beschreibung: c.c.com bietet verschiedene Lösungen zur Verkehrszählung und -analyse an, einschließlich mobiler Zählgeräte. Die Produkte umfassen Technologien wie Induktionsschleifen, Infrarotsensoren und Radarsysteme, die flexibel und präzise Verkehrsdaten erfassen.

Deutschland

- **VIAS Institute**

Webseite: www.vias-online.de

Beschreibung: VIAS Institute bietet umfassende Lösungen für Verkehrserhebungen, einschließlich mobiler Zählgeräte für Rad- und Kfz-Verkehr. Die Systeme nutzen verschiedene Technologien wie Induktionsschleifen und Videoanalyse.

- **Sierzega Verkehrstechnik**

Webseite: www.sierzega.com

Beschreibung: Sierzega bietet Verkehrszählssysteme an, die sowohl stationär als auch mobil einsetzbar sind. Die Produkte umfassen Radarsensoren und Induktionsschleifen zur präzisen Erfassung von Verkehrsströmen.

- **Viasys Intelligent Traffic Solutions**

Webseite: www.viasys-its.com

Beschreibung: Viasys ITS bietet intelligente Verkehrslösungen, darunter auch mobile Verkehrszählgeräte. Diese nutzen Infrarot- und Radartechnologie zur Erfassung von Rad- und Fußverkehr.

Schweiz

- **Swisstraffic**

Webseite: www.swisstraffic.ch

Beschreibung: Swisstraffic bietet innovative Verkehrszählungen, die auf Echtzeitdaten basieren. Sie nutzen moderne Technologien wie KI-gesteuerte Kamerasysteme, um multimodalen Verkehr zu erfassen, darunter auch Fahrräder und Fußgänger:innen. Diese Systeme liefern präzise Daten zur Verkehrsflusserfassung.

- **Ecocoach**

Webseite: www.ecocoach.ch

Beschreibung: Ecocoach bietet Lösungen für nachhaltige Mobilität, einschließlich mobiler Verkehrszählgeräte. Diese nutzen fortschrittliche Sensorik, um präzise Verkehrsdaten zu erfassen.

- **METAS**

Webseite: www.metas.ch

Beschreibung: Die Schweizerische Eidgenossenschaft - METAS bietet verschiedene Technologien und Dienstleistungen im Bereich der Verkehrszählung, einschließlich mobiler Systeme.

Level B und C

2.1.3 Ermittlung der durchschnittlichen Fahrtweiten im Falle von Zähldaten

Auch im Falle von konkreten Zähldaten am Ort der Maßnahme, werden später zur Berechnung der Emissionen durchschnittliche Fahrtweiten der verlagerten Radwege benötigt. Diesen durchschnittlichen Fahrtweiten können aus Mobilitätserhebungsdaten ermittelt werden. Dabei sind die weiter unten beschriebenen Varianten mittels konkreter Mobilitätserhebungsdaten der Gemeinden (**Level B**) oder mittels generischen Mobilitätserhebungsdaten auf Basis einer Gemeindezuordnung zu einem Gemeindetyp (Cluster) nutzbar (**Level C**). Örtliche Mobilitätserhebungsdaten sollten dabei nicht älter als 5 Jahre sein, die generischen Mobilitätserhebungsdaten werden von VERA bereitgestellt.

2.2 Level B und C: Ermittlung des Radverkehrsaufkommens auf Basis von Mobilitätserhebungsdaten

Die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise als Alternative zu realen Zähldaten ist darauf ausgerichtet, das Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme mittels Mobilitätserhebungsdaten abzuschätzen. Dazu ist in einem ersten Schritt eine Abgrenzung des Untersuchungsgebiets erforderlich. Das Untersuchungsgebiet entspricht dem Gebiet, für das eine Wirkung der Radverkehrsmaßnahme vermutet wird.

Weiters werden für die Berechnungen Daten aus Mobilitätserhebungen (Wege pro Person, Verkehrsmittelwahl, Radweglängen) benötigt. Hier sind 2 Varianten möglich, die beide im Anschluss beschrieben werden:

- Level B: **Lokale** Daten aus **Mobilitätserhebungen** sind vorhanden
- Level C: Nutzung von **generischen Mobilitätsdaten** auf Basis von Gemeindetypen

2.2.1 Abgrenzung des für die Maßnahme relevanten Untersuchungsgebietes

Die Abgrenzung eines Gebiets zur Ermittlung der betroffenen Einwohner:innenanzahl und in Folge des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme sollte systematisch und unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien erfolgen.

Wichtig ist, den Untersuchungsbereich klar zu definieren. Der primäre Fokus kann eine Stadt, ein Stadtteil, ein Zählsprenkel oder eine Rasterzelle sein, in dem die Radverkehrsmaßnahme implementiert wird und für die Bevölkerungsdaten (Einwohner:innenzahlen) ermittelbar sind. Die Bevölkerungszahl können aus städtischen Datenbanken, nationalen Statistikämtern oder GIS-Datenbanken bezogen werden.

Eine erste grobe Festlegung kann mit Hilfe von GIS-Software erfolgen, indem ein Einzugsgebiet um die geplante Maßnahme erstellt wird. Hierbei sollten in Abhängigkeit des Umfangs der Maßnahme Entfernungen berücksichtigt werden, die Radfahrenden typischerweise zurücklegen.

Die Größe des Gebiets hängt von mehreren Faktoren ab:

- **Attraktivität und Qualität der Maßnahme:** Hochwertige und gut gestaltete Radverkehrsmaßnahmen haben ein größeres Einzugsgebiet.
- **Regionale Gegebenheiten:** In städtischen Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte ist das Einzugsgebiet oft kleiner als in ländlichen Gebieten.
- **Nutzerverhalten und -präferenzen:** Die Bereitschaft der Radfahrenden, längere Strecken zurückzulegen, variiert und beeinflusst die Gebietsgröße.

- Verkehrsnetz und Verbindungen: Gute Anbindungen an das bestehende Verkehrsnetz erhöhen die Reichweite der Maßnahme.
- Radwegqualität: Hochwertige und attraktive Radwege könnten Radfahrende aus einem größeren Gebiet anziehen.
- Höhenunterschiede und physische Barrieren: Steigungen und Hindernisse könnten das Einzugsgebiet verkleinern, da Radfahrende diese ungerne überwinden.

Nach der initialen Abgrenzung ist eine Feinanalyse notwendig, um die Grenzen des Gebiets so anzupassen, dass alle relevanten Einzugsgebiete umfasst sind. Wichtig ist, dass das Gebiet logisch und funktional zusammenhängend bleibt. Für diese Feinanalyse und Feinjustierung sollten nach Möglichkeit auch lokale Experten hinzugezogen werden.

2.2.1.1 Ablaufschema der Vorgehensweise zur Gebietsabgrenzung

Die zuvor beschriebene Vorgehensweise zur Gebietsabgrenzung zur Ermittlung der betroffenen Bevölkerung und in Folge des Radverkehrsaufkommens am Ort der Radverkehrsmaßnahme wird im folgenden als Ablaufschema beschrieben. Diese Vorgehensweise beinhaltet auch konkrete Vorschläge für die Größe der betrachteten Gebiete je nach Maßnahmenumfang bzw. je nach erwartetem Effekt der Maßnahme.

Die unten genannten drei Größenkategorien der Maßnahmen zielen nicht auf die Länge oder das Investitionsvolumen ab, sondern auf den zu erwartenden Effekt auf den Radverkehr. Die Länge und Qualität der Maßnahme spielen dabei eine Rolle, der Effekt ist aber darüber hinaus auch durch die Lage und Funktion im Netz sowie weiterer Parameter definiert.

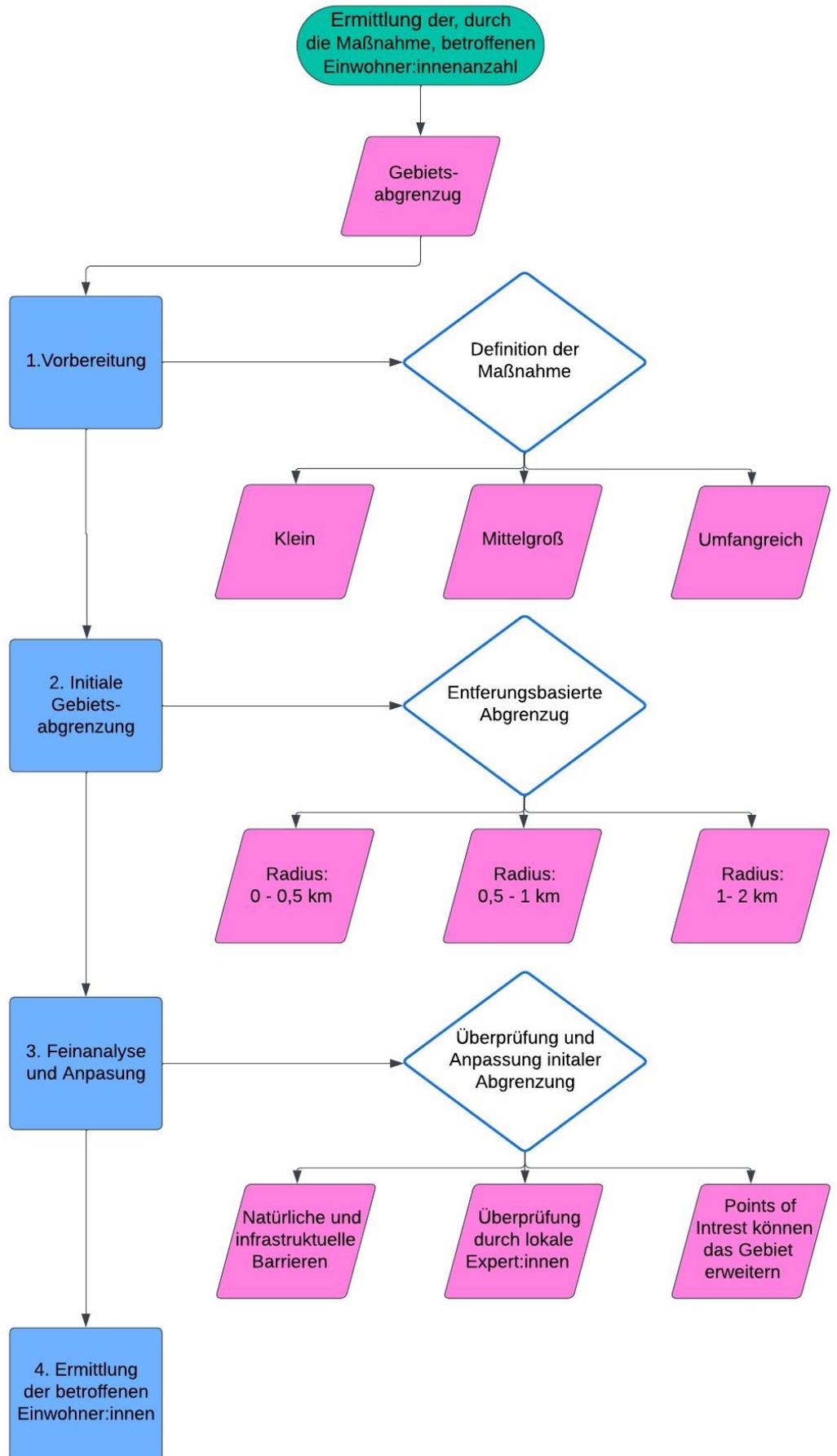


Abbildung 8: Ablaufdiagramm Ermittlung der potenziell von der Maßnahme profitierenden, Einwohner:innenanzahl

Vorbereitung

Definition der Maßnahme anhand des zu erwartenden Effekts:

- **„Kleine“ Radverkehrsmaßnahme:** Maßnahmen wie kurze Radwege, geschützte lokale Radstreifen, Nebenstraßen, Einbahnöffnung, Färbung von Radwegen, Belagssanierung.
- **„Mittelgroße“ Radverkehrsmaßnahme:** Maßnahmen wie Lückenschlüsse, längere Radwege
- **„Umfangreiche „Radverkehrsmaßnahme:** Maßnahmen wie neue Fahrradbrücken oder die Errichtung einer Fahrradstraße.

1. Initiale Gebietsabgrenzung

Entfernungsbasierte Abgrenzung auf Basis des erwarteten Effekts der Maßnahme:

- **„Kleine“ Radverkehrsmaßnahme:** Radius von bis 0,5 km um die Maßnahme.
- **„Mittelgroße“ Radverkehrsmaßnahme:** Radius von >0,5 bis 1 km um die Maßnahme.
- **„Umfangreiche“ Radverkehrsmaßnahme:** Radius von >1 bis 2 km um die Maßnahme

Die Gebietsabgrenzung sollte so gewählt werden, dass die Einwohner:innenanzahl ermittelt werden kann. Bei Städten und Gemeinden liegen Einwohner:innendaten i.d.R. für Stadtteile / Bezirke / Zählsprenkel / Quartiere vor, ggf. kann die Einteilung anhand der Raumstruktur weiter verfeinert werden.

2. Feinanalyse und Anpassung

Überprüfung und Anpassung der initialen Abgrenzung:

- Natürliche und infrastrukturelle Barrieren, die die Bewegungsmuster beeinflussen, sollten berücksichtigt und überprüft werden.
- Die Abgrenzung sollte darüber hinaus gemeinsam mit lokalen Expert:innen überprüft werden.
- Die Grenzen des Einzugsgebiets können gegebenenfalls auf Basis der Überprüfung angepasst werden. Beispielsweise könnte ein stark frequentiertes Einkaufszentrum oder ein Bahnhof am Rand der Abgrenzung das Gebiet erweitern.

2.2.2 Ermittlung der betroffenen Einwohner:innenanzahl

Statistische Daten zur Anzahl der betroffenen Einwohner:innen innerhalb des Untersuchungsgebiets erhält man in Österreich, der Schweiz und Deutschland über mehrere zuverlässige Quellen. Die wichtigsten werden im Folgenden überblicksmäßig dargestellt.

2.2.2.1 Österreich

- **Statistik Austria⁴**

- **Bevölkerungsdaten:** Bevölkerungsstatistiken, demografische Daten: Daten zum Bevölkerungsstand auf Ebene der Katastralgemeinde sind über die Statistik Austria frei verfügbar⁵.
- **Bevölkerungsdaten auf Rasterzellenebene** sind ebenfalls über Statistik Austria in bis 250x250 Meter Rastern verfügbar, allerdings nicht kostenlos⁶

- **Geodatendienste und Geoportale**

- Österreichisches Geoportal⁷: Kostenfrei zugängliche geographische Daten, einschließlich Bevölkerungsdichte auf Rasterzellenebene

2.2.2.2 Schweiz

- **Bundesamt für Statistik (BFS)⁸**

- **Bevölkerungsdaten:** Demografische Statistiken, Bevölkerungsbewegungen.
- **Bevölkerungsdaten auf Rasterzellenebene:** BFS bietet Bevölkerungsdaten auf detaillierten geographischen Ebenen an, einschließlich Rasterzellen (typischerweise 100m x 100m). Diese sind allerdings nicht kostenlos verfügbar.

- **Geodatendienste und Geoportale⁹**

- Kostenfrei zugängliche geographische Daten, einschließlich detaillierter Bevölkerungsdaten auf Rasterzellenebene.

2.2.2.3 Deutschland

- **Statistisches Bundesamt (Destatis)¹⁰**

- **Bevölkerungsdaten:** Demografische Daten, Bevölkerungsstatistiken.
- **Bevölkerungsdaten auf Rasterzellenebene:** Destatis bietet Bevölkerungsdaten auf Rasterzellenebene (z.B. 100m x 100m) gegen Gebühr an.

- **Statistische Landesämter¹¹**

- Regionale und lokale Statistiken zu Bevölkerung.

- **Geodatendienste und Geoportale¹²**

- Kostenfrei zugängliche geographische Daten, einschließlich Bevölkerungsdaten auf Rasterzellenebene.

⁴ <https://www.statistik.at/>

⁵ <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/bevoelkerung-zu-jahres-/quartalsanfang>

⁶ <https://www.statistik.at/services/tools/services/regionales/regionalstatistisches-datenangebot>

⁷ <https://geoland.at/>

⁸ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home.html>

⁹ map.geo.admin.ch

¹⁰ <https://www.destatis.de/>

¹¹ Beispiel für Bayern: <https://www.statistik.bayern.de/>

¹² <https://www.geoportal.de/>

2.2.2.4 Weitere Quellen

- **Kommunale Websites (Kantone, Gemeinden, Bezirke)**

- Viele Städte und Gemeinden veröffentlichen Statistische Informationen über ihre Gemeinde auf ihren offiziellen Webseiten.

- **Gemeindeverwaltungen**

- Oftmals besteht die Möglichkeit, lokale und regionale Daten zur Bevölkerungsanzahl über die Gemeinden und Kommunen direkt zu beziehen.

Sofern statistische Daten nur in aggregierter Form bzw. für größere Gebiete, die nicht der betroffenen Gebietsabgrenzung entsprechen, vorliegen, kann ein Abschwächungsfaktor genutzt werden. Dieser gibt an, wie hoch der Anteil der betroffenen Bevölkerung im abgegrenzten Gebiet an der Bevölkerung der größeren Struktureinheit ist. Eine allgemeingültige Festlegung ist diesbezüglich nicht möglich und muss im Einzelfall von lokalen Expert:innen getroffen werden.

2.2.3 Inputdaten aus Mobilitätserhebungen

Für die Berechnung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme werden neben den Grundlagendaten (siehe vorangegangenes Kapitel) auch Daten zum Verkehrsverhalten der Bevölkerung vor Ort benötigt. Diese Daten können aus Mobilitätserhebungen gewonnen werden. Die im nachfolgenden kurz beschriebenen Daten und Informationen werden benötigt und können entweder direkt aus den lokalen Mobilitätserhebungen (Level B) ausgewertet werden oder über generische Mobilitätsdaten aus anderen Quellen (Level C) mittels Zuordnung der Untersuchungsregion zu einem Regions- bzw. Gemeindetyp (s.u.) gewonnen werden.

2.2.3.1 Liste der benötigten Daten aus Mobilitätserhebungen

Folgende Kennzahlen aus Mobilitätserhebungen nach dem Kontiv-Design bzw. in Österreich nach dem „Komod“-Handbuch (siehe auch Kapitel 3.3.4.2) werden für die Berechnung des Radverkehrsaufkommens benötigt:

- **Personendaten**

- Wegehäufigkeit / Wegeanzahl je Person: Unter Mobilitätsrate oder Wegehäufigkeit wird die Anzahl der im öffentlichen Straßenraum unternommenen Wege pro Person bzw. mobiler Person an einem Tag verstanden.

- **Wegedaten**

- Verkehrsmittelwahl / Modal-Split bzw. Anteile der (Haupt-)verkehrsmittel: Die Verkehrsmittelwahl (auch Modal-Split) bezeichnet das Aufteilungsverhältnis der einzelnen Verkehrsmittel auf die gesamte Weganzahl.
- Durchschnittliche Weglänge der Radwege: Entspricht dem Mittelwert alle Weglängen unterschieden nach Hauptverkehrsmittel. Benötigt wird die durchschnittliche Radwegelänge in der Region.

2.2.3.2 Mobilitätsdaten Level B: Lokale Daten aus Mobilitätserhebungen sind vorhanden

Mobilitätsdaten bilden die Ausgangsdaten, um das Radverkehrsaufkommen abschätzen zu können. Eine fundierte Mobilitätserhebung hat nachvollziehbar zu enthalten, wie Daten erhoben, verarbeitet und gewichtet / hochgerechnet wurden und ob diese für die Bevölkerung repräsentativ sind. Bestehende Mobilitätserhebungen können verwendet werden, solange sie **nicht älter als 5 Jahre** sind.

Als internationaler Standard hat sich das sogenannte „Kontiv-Design“ für Mobilitätserhebungen etabliert. Das KONTIV-Design (Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten) ist ein methodisches Konzept zur Erfassung von Mobilitätsdaten. Es wurde ursprünglich in den 1970er Jahren entwickelt und dient dazu, detaillierte Informationen über das Verkehrsverhalten der Bevölkerung zu sammeln. Die Teilnehmer:innen sollen dabei über einen bestimmten Zeitraum hinweg oder für einen bestimmten, vorgegebenen Stichtag alle ihre Wege und genutzten Verkehrsmittel in einem Wegetagebuch festhalten. In allen 3 Ländern des DACH-Raums werden derartige Mobilitätserhebungen durchgeführt, die wichtigsten Quellen und weiteren Informationen sind hier zusammengefasst.

- **Deutschland**

Die wichtigste Mobilitätserhebung in Deutschland ist die MiD („Mobilität in Deutschland“). Die „MiD“ ist eine großangelegte Verkehrserhebung, die detaillierte Daten über das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung in Deutschland sammelt. Sie wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr finanziert und in regelmäßigen Abständen durchgeführt, zuletzt 2023. Die MiD erfasst Informationen wie Reisewege, Verkehrsmittelwahl, Reisezwecke und -dauer der deutschen Bevölkerung und liefert damit eine umfassende Datengrundlage für Verkehrsplanung und -politik. Die Befragten werden repräsentativ ausgewählt und dokumentieren ihre Wege für einen bestimmten Stichtag in einem Wegetagebuch. Die gesammelten Daten ermöglichen es, Trends im Mobilitätsverhalten zu analysieren und sind grundlegend für die Planung von Verkehrsinfrastruktur und die Entwicklung von Verkehrssystemen. Die Ergebnisse der MiD sind öffentlich zugänglich und werden häufig in wissenschaftlichen und planerischen Kontexten verwendet, um Mobilitätskonzepte zu verbessern und nachhaltige Verkehrslösungen zu fördern¹³. Während die MiD insbesondere westdeutsche Städte einschließt, umfasst die zweite wichtige deutsche Mobilitätserhebung SrV („System repräsentativer Verkehrserhebungen“) vor allem ostdeutsche Städte, die in ihrer Methodik der MiD ähnelt.

- **Österreich**

Für die zuletzt 2014 stattgefundenen und derzeit in Vorbereitung befindliche österreichweite Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs“ wurde im Vorfeld ein Handbuch zur Standardisierung der Erhebungsmethode (Komod) entwickelt. Durch die einheitliche Methode Komod (Konzeptstudie Mobilitätsdaten Österreichs) liegt ein gemeinsamer „Werkzeugkasten“ bereit, um kommende Erhebungen der Gebietskörperschaften vergleichbar und in hoher Qualität durchzuführen. Das Komod-Handbuch dient als zentrales Dokument im Sinne eines österreichweiten Standardisierungsprozesses. Dieser Prozess soll der Vereinheitlichung von Qualitäts- und Erhebungsstandards für Mobilitätserhebungen dienen, um eine bestmögliche Vergleichbarkeit und hohe Qualität von Mobilitätserhebungen zu gewährleisten, sowie eine Zusammenführung getrennt durchgeführter Erhebungen zu ermöglichen. Die

¹³ Quelle für weitere Informationen: <https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/>

Erhebung Österreich unterwegs wurde 2014 im Wesentlichen mit derselben Methode wie die MiD erhoben, die Erhebungsdaten sind öffentlich verfügbar¹⁴.

- **Schweiz**

Die Mikrozensuserhebung zum Verkehrsverhalten (MZMV) in der Schweiz ist eine bedeutende statistische Erhebung, die seit 1974 durchgeführt wird und darauf abzielt, ein detailliertes Bild des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung zu erfassen. Ziel der MZMV ist es, umfassende Daten über die Mobilität der Menschen in der Schweiz zu sammeln, einschließlich der Häufigkeit, der Dauer, der verwendeten Verkehrsmittel und der Reisegründe. Die Erhebung wird von dem Bundesamt für Statistik in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Raumentwicklung durchgeführt und findet in regelmäßigen Abständen statt, zuletzt 2021. Die Daten der MZMV werden durch Befragungen einer repräsentativen Stichprobe der Wohnbevölkerung gewonnen. Die Teilnehmenden werden gebeten, an einem zufällig ausgewählten Tag alle ihre Wege zu dokumentieren und verschiedene Merkmale ihrer Reisen, wie den Zweck und die Dauer, anzugeben. Die Ergebnisse der MZMV sind ebenfalls öffentlich zugänglich¹⁵.

Die Ergebnisdaten einer Mobilitätserhebung können vielfältig verwendet werden, der Nutzen solcher Daten für eine Gemeinde / Region reicht weit über die hier dargestellte Ableitung des Radverkehrsaufkommens hinaus. Mobilitätserhebungen nach dem KONTIV-Design werden generell verwendet, um umfassende Einblicke in das Verkehrsverhalten einer Bevölkerung zu gewinnen. Sie dienen als grundlegende Datenquelle für die Verkehrsplanung und -politik, indem sie detaillierte Informationen über Verkehrsmittelwahl, Wegelängen, Reisezwecke und zeitliche Verteilung von Reisen liefern. Diese Daten ermöglichen es Verkehrsforschern und Stadtplanern, Trends zu analysieren, Verkehrsmodelle zu entwickeln und zu kalibrieren sowie die Auswirkungen von Verkehrsmaßnahmen vorherzusagen und zu bewerten. Darüber hinaus können die Ergebnisse der Erhebungen dazu beitragen, die Nachhaltigkeit von Verkehrssystemen zu verbessern, indem sie helfen, effizientere öffentliche Verkehrssysteme zu planen, die Verkehrsfluss und -sicherheit zu erhöhen und die Umweltauswirkungen des Verkehrs zu minimieren.

Die wichtigsten Daten, die aus einer derartigen Mobilitätserhebung gewonnen werden können und für die Ermittlung des Radverkehrsaufkommens im Rahmen dieses Leitfadens herangezogen werden sollten, wurden bereits im vorangegangenen Kapitel beschrieben. Wesentlich ist dabei aber auch, dass diese Daten bzw. Variablen auch in den relevanten und passenden Ausprägungen vorliegen. Diese werden im Folgenden gelistet.

- **Personendaten**

- Wegehäufigkeit / Wegeanzahl je Person: Durchschnittliche Anzahl der Wege pro Person (alle Personen) unabhängig davon, ob sie am Stichtag Außer-Haus unterwegs waren.

- **Wegedaten**

- Verkehrsmittelwahl / Modal-Split bzw. Anteile der (Haupt-)verkehrsmittel: zu Fuß, Fahrrad, MIV-Lenker:in, MIV-Mitfahrer:in, Öffentlicher Verkehr
- Durchschnittliche Weglänge: Mittelwert der Weglängen unterschieden nach Hauptverkehrsmittel, insbesondere die mittleren Radweglängen werden benötigt.

Diese Kennzahlen lassen sich mit allen gängigen Statistikprogrammen (SPSS, R, Stata, Microsoft Excel usw.) relativ einfach auswerten.

¹⁴ Quelle für weitere Informationen: https://www.bmk.gv.at/oesterreich_unterwegs/

¹⁵ Quelle für weitere Informationen: <https://www.are.admin.ch/are/de/home/mobilitaet/grundlagen-und-daten/mzmv.html>

2.2.3.3 Level C: Nutzung von generischen Mobilitätsdaten auf Basis von Gemeindetypen

Wenn keine aktuellen, örtlichen Mobilitätshebungen für die Untersuchungsregion vorliegen und auch nicht erhoben werden können, bleibt nur die Möglichkeit, mit generischen Mobilitätsdaten zu rechnen. Diese generischen Mobilitätsdaten werden von VERA für alle 3 Länder des DACH-Raums zur Verfügung gestellt und wurden nachfolgend beschrieben ermittelt. Um trotz Generalisierung Unterschiede im Mobilitätsverhalten je nach Region abbilden zu können, wurden nach länderspezifisch unterschiedlichen Raumtypen / Gemeindeclustern durchgeführt. Für die Ermittlung der entsprechenden Mobilitätskennzahlen wurde auf die jeweils aktuellsten Mobilitätsdaten aus DE, CH, Oberösterreich und Salzburg und Vorarlberg zurückgegriffen und Gemeindecluster mit ähnlichem Mobilitätsverhalten auf Basis örtlicher Voraussetzungen gebildet oder entsprechende, bereits existierende Zuordnungen übernommen. Die Vorgehensweise und die Datenquellen werden im Folgenden beschrieben.

• Deutschland

Für Deutschland wurden die letzten bereits verfügbaren Daten aus der oben beschriebenen Erhebung MiD („Mobilität in Deutschland“) herangezogen. Diese Daten stammen aus dem Jahr 2017, die aktuellsten Daten aus der MiD 2023 sind derzeit noch nicht abrufbar. Diese Daten beinhalten bereits eine raumstrukturelle Zuordnung aller Gemeinden auf Basis der regionalstatistischen Raumtypologie „RegioStar17“ des BMDV, welche für VERA übernommen wurden. Das BMDV hat mit der Regionalstatistischen Raumtypologie (RegioStaR) eine siedlungsstrukturelle Raumtypologie konzipiert, weil vorhandene Raumtypologien die Anforderungen für die Bedarfe der Verkehrs- und Mobilitätsforschung und -politik nicht bedienen konnten; sie ist jedoch ebenso gut für Fragestellungen anderer Fachrichtungen geeignet. Mit Unterstützung des BBSR wurden die Typen empirisch auf der Ebene der Gemeinden bzw. Verbandsgemeinden / Gemeindeverbände ermittelt. RegioStaR ermöglicht durch den hierarchischen Aufbau lokale und regionale Betrachtungen. Die Typologie fächert sich von einem in Stadtregionen und ländliche Regionen unterschiedenen "Regionstyp", über einen in vier Typen "differenzierten Regionstyp" letztlich in 17 "Regionalstatistische Raumtypen" auf. Diese 17 Raumtypen bilden den Kern der regionalstatistischen Raumtypologie und sind Grundlage für weitere Zusammenfassungen in Raum- und Gemeindetypen¹⁶.

• Österreich

Die letzte österreichweite Mobilitätserhebung „Österreich Unterwegs“ wurde im Jahr 2013/2014 durchgeführt, daher wurde für Österreich auch auf aktuellere, regionale Datensätze zurückgegriffen. Die folgenden Datensätze standen dabei zur Verfügung:

- Mobilitätserhebung Niederösterreich 2018
- Mobilitätserhebung Oberösterreich und Salzburg 2022
- Mobilitätserhebung Vorarlberg 2023

Die raumstrukturelle Clusterung der Gemeinden für Österreich wurde im Rahmen von VERA vorgenommen. Basis für diese Clusterung sind dabei die folgenden Daten:

- Urban-Rural-Typologie der Statistik Austria
- Bevölkerungsdichte (Statistik Austria)
- Altersverteilung (Statistik Austria)
- Formale Bildung (Statistik Austria)

¹⁶ Quelle für weitere Informationen: www.bmdv.bund.de/regiostar

- Arbeitslosenanteil (Statistik Austria)
- Anteil Auspendler (Statistik Austria)
- Beschäftigte je Einwohner (Statistik Austria)
- Unternehmen je Einwohner (Statistik Austria)
- Arbeitsstätten je Einwohner (Statistik Austria)
- ÖV-Güteklasse (Statistik Austria)
- ÖV-Fahrten je Fläche (ÖV-Atlas 2023)
- ÖV-Fahrten je Einwohner (je Tag und 1.000 Einwohner im Jahr 2020) (ÖV-Atlas 2023)
- Pkw-Dichte: Pkw je 1.000 Einwohner (ÖV-Atlas 2023)
- Erreichbarkeitsverhältnisse regionaler Zentren MIV / ÖV (ÖROK)

Im Ergebnis konnten die Gemeinden in Österreich in 7 Cluster eingeteilt werden:

- Cluster 1 - Gemeinden mit städtischen Eigenschaften
- Cluster 2 - (Tourismus-)Gemeinden mit vielen Beschäftigten und mittelmäßiger ÖV-Anbindung
- Cluster 3 - Eher Ländliche, aber „junge“ Gemeinden mit guter ÖV-Anbindung
- Cluster 4 - Sehr ländliche, sehr kleine (Tourismus-)gemeinden mit schlechtem ÖV
- Cluster 5 - Sehr ländliche, kleinere Gemeinden mit hohem Altersdurchschnitt und schlechtem ÖV-Angebot
- Cluster 6 - Vorwiegend Speckgürtelgemeinden
- Cluster 7 – Wien

Durch die Verfügbarkeit von regionalen Mobilitätsdaten unterschieden nach den Bundesländern Oberösterreich, Salzburg, Niederösterreich und Vorarlberg besteht neben der Zuordnung der Untersuchungsregion zu einem der Gemeindecluster auch die Möglichkeit, jene Mobilitätskennzahlen auszuwählen, die für die jeweilige Gemeinde am ehesten zutreffen. Diese Auswahl, der am ehesten zutreffenden Mobilitätskennzahlen muss im Einzelfall auf Basis getroffen werden. Gegebenenfalls kann auch auf die Daten der Erhebung Österreich unterwegs aus 2013/14 zurückgegriffen werden, auch für diese werden die benötigten Daten unterschieden nach den 7 Clustern zur Verfügung gestellt.

• Schweiz

Die Daten der Mikrozensushebung zum Verkehrsverhalten (MZMV) in der Schweiz waren für das Jahr 2021 verfügbar und wurden für die Ermittlung der Mobilitätskennzahlen herangezogen. Ähnlich wie in Deutschland ist hier bereits eine offizielle, raumstrukturelle Zuordnung der Gemeinden enthalten, die übernommen werden konnte. Strukturell verwandte geographische Einheiten (z.B. Gemeinden oder Regionen) werden vom BFS in einer Raumtypologie nach bestimmten Kriterien bzw. Eigenschaften zusammengefasst. Die Raumeinheiten innerhalb eines Typs sind sich möglichst ähnlich, unterscheiden sich aber möglichst stark von den Einheiten eines anderen Raumtyps in der Typologie. Die einzelnen Raumeinheiten müssen dabei nicht räumlich zusammenhängen. Die Definition der Gemeindetypologie für die Schweiz folgt einem dreistufigen Entscheidungsbaum. Zunächst werden die Gemeinden der Schweiz einer von drei Kategorien gemäß der Definition „Raum mit städtischem Charakter 2012“ (s. Link weiter unten) zugeordnet. Diese wiederum werden nach 9 und weiter nach 25

Kategorien unterteilt, woraus die zwei Niveaus der Gemeindetypologie hervorgehen. Während die Unterscheidung der 9 Kategorien auf Dichte-, Größe und Erreichbarkeitskriterien beruht, kommen für die feinere Aufteilung in 25 Kategorien sozioökonomische Kriterien zum Einsatz. Für VERA wurde die erste Stufen nach 9 Gemeindetypen übernommen¹⁷.

Zur Auswahl der geeigneten Mobilitätskennzahlen für die weiteren Berechnungen ist eine Zuordnung der Untersuchungsregion / Gemeinde zu einem „Gemeindecluster“ erforderlich. VERA stellt dazu eine Liste aller Gemeinden in Deutschland, Österreich und der Schweiz zur Verfügung, die eine entsprechende Zuordnung zu den Gemeindeclustern und den entsprechenden Mobilitätskennzahlen enthält. Diese kann übernommen werden, in manchen Fällen kann es aber sinnvoll sein, diese Zuordnung im Detail zu überprüfen und gegebenenfalls eine mit lokalen Experten abgestimmte, andere Gemeindeclusterzuordnung vorzunehmen.

2.2.4 Ermittlung des Radverkehrsaufkommens (Baseline) am Ort der Maßnahme

Die Ermittlung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme erfolgt durch **Multiplikation der folgenden Parameter:**

Bevölkerungszahl im abgegrenzten Gebiet (Statistikdaten) X

Wege pro Person und Tag (aus Mobilitätserhebungen) X

Radverkehrsanteil (aus Mobilitätserhebungen) X

Abschwächungsfaktor relevanter Radverkehr =

Relevantes Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme

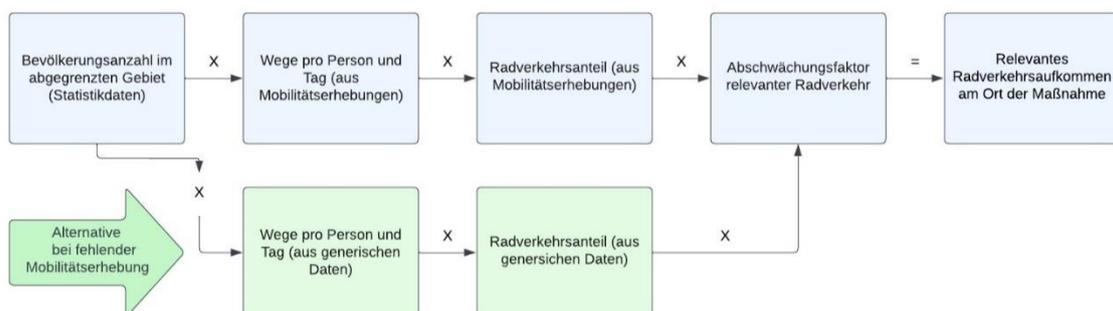


Abbildung 9: Abschätzung des Radverkehrsaufkommens (Baseline)

Der **Abschwächungsfaktor** berücksichtigt, dass nicht alle Radfahrten den konkreten Ort der Maßnahme bzw. den neuen oder verbesserten Radweg passieren. Dieser Faktor muss gemeinsam mit ortskundigen Personen und Mobilitätsexpert:innen überprüft werden und hängt stark von den verkehrlichen, räumlichen und geographischen Begebenheiten vor Ort ab. Beispielsweise beeinflussen relevante Points of Interest (Bahnhöfe, Schule, Betriebsgebiete etc.) in der Nähe der Maßnahme die Nutzung des (neuen) Radwegs erheblich.

Im Rahmen der Evaluierung im Projekt VERA, für die auch detaillierte Berechnungen des Radverkehrsaufkommens für unterschiedlich gelagerte Radverkehrsmaßnahmen mittels Gravitationsmodell durchgeführt wurden, hat sich eine Größenordnung von rund 0,1 (10%) für diesen Faktor als valide erwiesen, der in Abhängigkeit des Umfangs (bzw. des

¹⁷ Quelle für weitere Informationen: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/raeumliche-typologien.html>

Effekts) der Maßnahme variiert. Je kleiner der Effekt der Maßnahme und somit das relevante Einzugsgebiet ist, desto größer ist der Anteil des Radverkehrs, der über die Maßnahme verläuft und umgekehrt. Als Ergebnis der Berechnungen mittels Gravitationsmodell wurden in VERA folgende Abschwächungsfaktoren ermittelt:

- Für kleine Radverkehrsmaßnahmen: 15%
- Für mittelgroße Radverkehrsmaßnahme: 12,5%
- Für umfangreiche Radverkehrsmaßnahme: 10%

Das Ergebnis ergibt die Anzahl an relevanten Radwegen je Tag am Ort der Maßnahme und diese stellt die Basis für die Potenzialabschätzung dar.

**Schritt 2 –
Potenzial:
Ermittlung und
Anwendung des
Verlagerungs-
potenzials der
Maßnahme für den
Radverkehr**

3 Verlagerungspotenzial der Maßnahmen für den Radverkehr

Um für die gegebenen Verkehrsstärken am intendierten Maßnahmenort die Umwelteffekte zu ermitteln, wird das Verlagerungspotenzial durch die anvisierte Maßnahme benötigt. Dafür werden nachfolgend zwei Ansätze beschrieben. Im Optimalfall liegen für den Maßnahmenort oder der -egend GPS-Daten für mehrere Jahre vor, in denen Maßnahmen umgesetzt wurden, sowie die Metadaten zu letzteren. In diesem Fall lässt sich der in dieser Untersuchung angewandte Ansatz unter den lokalen Bedingungen anwenden (Level A). Falls dieser Umstand nicht gegeben ist, können die in VERA für das DACH-Gebiet ermittelten Faktoren genutzt werden (Level B und C).

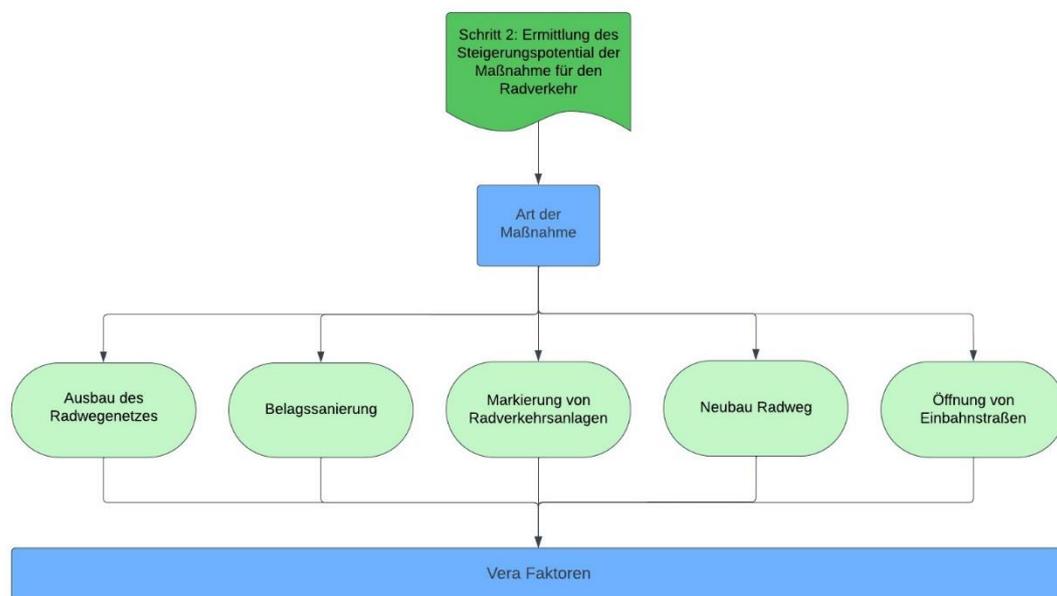


Abbildung 10: Vorgehen für die Errechnung des Steigerungspotenzials für den Radverkehr

Modell zur Berechnung der VERA-Faktoren

Um das Verlagerungspotenzial einer intendierten Maßnahme abzuschätzen, ist zunächst die Wirkung bereits existierender Maßnahmen der gleichen Kategorie zu ermitteln. Für die wird der Faktor berechnet, mit dem sich die Radverkehrszahlen am Ort der Maßnahme im Vergleich zu vorher verändert hat. Für eine solche Fragestellung ist der Difference-in-Differences-Ansatz eine in der Forschung etablierte Methode (bspw. Hong et al. 2020). Bei diesem wird die Entwicklung einer Größe einer Behandlungs- mit der einer Kontrollgruppe verglichen. Bezogen auf Radverkehrsmaßnahmen wird die Entwicklung

der Verkehrsstärken zwischen mehreren Zeitpunkten entlang von Orten mit Maßnahmen denen gegenübergestellt, an denen keine Intervention stattfand. Verglichen werden dabei mindestens zwei Zeitpunkte miteinander.

Für eine möglichst präzise Schätzung ist eine möglichst genaue Beschreibung der Unterschiede zwischen verschiedenen Orten und Zeitpunkten notwendig. Allerdings ist eine explizite Erfassung aller Merkmale der realen Welt kaum möglich. Fixed-Effects-Modelle können unbeobachtete Merkmale berücksichtigen, die über die Zeit hinweg konstant bleiben. Das Modell wird dafür um Dummy-Variablen für jede Einheit (z.B. jede Stadt, Land, etc.) ergänzt, die die Fixed Effects repräsentieren und die spezifischen, zeitinvarianten Effekte der Einheiten einfangen.

Im verwendeten Fixed-Effects-Modell wird die Radverkehrsstärke als abhängige Variable modelliert, wobei der Einfluss der unabhängigen Variable untersucht wird, die die Umsetzung und Kategorie einer Maßnahme repräsentiert. Datenbasis für die Radverkehrsstärke sind die GPS-Daten im Untersuchungsgebiet (siehe 3.1.1.1), die zu mindestens zwei Zeitpunkten zur Verfügung stehen müssen.

Das Modell berücksichtigt mehrere Fixed Effects. Um einer potenziellen Überdispersion entgegenzuwirken, wird eine negative Binomialverteilung der Schätzung zu Grunde gelegt. Da von einer räumlichen Autokorrelation der Zählwerte auszugehen ist, werden cluster-robuste Standardfehler nach Conley geschätzt. Das Modell kann formal schließlich wie folgt ausgedrückt werden:

$$\log(E[Y_{it}]) = \beta \cdot m_{treat_{it}} + \alpha_{\{i\}} + \gamma_{\{t\}} + \delta_{\{k\}} + \theta_{\{PLZ\}} + \lambda_{\{g\}} + \lambda_{\{g \times t\}} + \theta_{\{c \times t\}} + \varepsilon_{\{it\}}$$

- Y_{it} : Radverkehrsstärke (z.B. Anzahl der Radahrenden auf einem Straßensegment i zu einem Zeitpunkt t).
- β : Koeffizient, der den Effekt von m_treat auf die Verkehrsstärke angibt.
- $m_{treat_{it}}$: Kategoriale Variable, die ausdrückt, ob an einem Segment i zu einem Zeitpunkt t eine Maßnahme einer bestimmten Kategorie umgesetzt wurde
- $\alpha_{\{i\}}$ (FE: edgeuid): Fester Effekt für jedes Straßensegment i . Kontrolliert hochauflösend für zeitinvariante Eigenschaften der Straßensegmente und damit bspw. für die Breite, Straßenklasse etc.
- $\gamma_{\{t\}}$ (FE: date): Gibt den Zeitpunkt der Beobachtung an
 $\delta_{\{k\}}$ (FE: m_id_na): Fester Effekt für alle Segmente einer Maßnahme.
- $\theta_{\{PLZ\}}$ (FE: PLZ): Fester Effekt für die Postleitzahl, um Unterschiede in verschiedenen geografischen Regionen zu berücksichtigen.
- $\lambda_{\{g\}}$ (FE: gebiet): Fester Effekt für das Gebiet g , um potenzielle Einzugsgebiete für den Radverkehr voneinander abzugrenzen.
- $\lambda_{\{g \times t\}}$ (FE: gebiet^jahr): Interaktionseffekt zwischen Gebiet und Jahr, um zu modellieren, wie sich der Effekt eines Gebiets über die Zeit verändert. Dadurch werden unter anderem Verschiebungen in der Stichprobe kontrolliert.
- $\theta_{\{c \times t\}}$ (FE: country^jahr): Interaktionseffekt zwischen Land und Jahr, um nationale zeitliche Trends zu erfassen.

Je nach Umfang der Maßnahmenstichprobe lässt m_treat durch eine Interaktion mit anderen Einflussgrößen wie der Maßnahmenlänge, der Topologie am Ort oder auch der Lage im Netz modellieren. Hier ist allerdings sicherzustellen, dass die relevanten Gruppen durch ausreichend viele Maßnahmen repräsentiert werden sollten, um u.a. einer Verzerrung durch Ausreißer vorzubeugen.

Die nachfolgende Tabelle führt die Ergebnisse der Modellschätzungen auf. Relevant für das Verlagerungspotenzial sind die Werte im oberen Teil der Tabelle. Der Koeffizient gibt den Faktor an, um den sich die Radverkehrsmenge im Vergleich zu Segmenten ohne Maßnahme verändert hat. Demzufolge hat sich an Segmenten, an denen eine Einbahnstraße geöffnet wurde, die Anzahl der Radfahrenden signifikant um den Faktor 1,56 erhöht.

Maßnahmenkategorie	β
Ausbau des Radwegenetzes	1.366+ (0,244)
Belagsanierung	1.480** (0,209)
Markierung von Radverkehrsanlagen	1.359 (0,345)
Neubau Radweg	1.720*** (0,275)
Öffnung von Einbahnstraßen	1.561** (0,248)
.theta	290.896***
.theta	(204.860<)
Num.Obs.	696022
R2	0.295
R2 Adj.	0.238
R2 Within	0.204
R2 Within Adj.	0.204
AIC	5902595.5
BIC	8456564.8

Tabelle 3 Modellschätzung für den Einfluss von Radverkehrsmaßnahmen im DACH-Raum

*** $p \leq .001$ ** $p \leq .01$ * $p \leq .05$ + $p \leq .1$

Für eine Abschätzung der Verlagerungswirkung ist nun die tatsächliche Anzahl an Radfahrenden am Ort der potenziellen Maßnahmen nötig. Diese wird schließlich mit dem entsprechenden Faktor aus Tabelle 3 multipliziert. Aus der Differenz zwischen dem Zählwert und der prognostizierten Verkehrsstärke ergibt sich das absolute Verlagerungspotenzial, das schließlich für Schritt 3 benötigt wird.

4 Abschätzung Verlagerungswirkung

Um in weiterer Folge Umwelteffekte berechnen zu können, ist es erforderlich abzuschätzen, wie groß die Verlagerungseffekte von anderen Routen oder von anderen Verkehrsträgern (insbesondere vom PKW) sind. Die möglichen Verlagerungseffekte können im Wesentlichen in 4 Kategorien eingeteilt werden:

- Verlagerung von Radwegen von anderen Routen zur Radmaßnahme: Keine Umwelteffekte
- Verlagerung von Fußwegen auf das Fahrrad: Keine Umwelteffekte
- Verlagerung vom Öffentlichem Verkehr auf das Fahrrad: Umwelteffekte berechenbar, aber gering
- Verlagerung vom Pkw auf das Fahrrad: Umwelteffekte berechenbar

Auch bei diesem Schritt kann zwischen den Varianten „Level A“ (Optimalvariante mit vorhandenen Zähldaten/GPS-Daten und den Varianten „Level B“ und „Level C“ (keine konkreten Zähldaten vorhanden) unterschieden werden. Die beiden letztgenannten

Schritt 3 –
Verlagerung:
Abschätzung und
Festlegung der
Verlagerungswirkung

Varianten sind auf eine Abschätzung der Verlagerungseffekte wie unten beschrieben angewiesen, wenn nicht andere örtliche Anhaltspunkte verfügbar sind. Bei „Level A“ können gegebenenfalls lokale Zählraten am oder im Nahbereich der Maßnahme (wenn diese auch Zählungen für MIV, ÖV und Fußwege beinhalten) herangezogen werden, um die Verlagerungspotenziale besser abzuschätzen. Dafür werden sehr gute örtliche Kenntnisse benötigt und die erwarteten Verlagerungseffekte sind gemeinsam mit lokalen Expert:innen und Verkehrsplaner:innen zu bestimmen. Eine exakte Vorgehensweise dafür kann nicht vorgegeben werden.

Für alle anderen Fälle können die **nachfolgend aus Literatur und Expert:innenbefragungen abgeleiteten Größenordnung von Verlagerungseffekten** herangezogen werden. Eine weitere Variation der unten genannten Größenordnungen kann gegebenenfalls über unterschiedliche Annahmen zur Verlagerungswirkung nach Größe des Einzugsgebiets erfolgen. Je kleiner das Einzugsgebiet und je kürzer die Entfernungen sind, desto höher ist potenziell der Anteil der vom Pkw verlagerten Wege.

4.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Für die Analyse der wissenschaftlichen Literatur wurde ein standardisiertes Protokoll verwendet, die Abfrage an mehrere Datenbanken ergab 11.943 Ergebnisse potentiell relevanter Quellen. In einem mehrstufigen Prozess wurden daraus 51 Studien identifiziert, die für die Synthese berücksichtigt wurden. Aus den in der Analyse berücksichtigten Artikeln lassen sich allerdings keine einheitlichen quantitativen Effekte ableiten. Es zeigte sich, dass die Erhebungsmethoden, die untersuchten Maßnahmen, sowie die festgestellten Effekte unmöglich verglichen werden können. Aus den vorliegenden Daten können aber Größenordnungen von Effekten beschrieben werden, wobei diese im Wesentlichen auf 8 Studien beruhen, die sich mit dem Thema der Verlagerungseffekte beschäftigt haben. Diese in den Studien beschriebenen Effekte lassen sich wie folgt darstellen:

- *Heesch, Kristiann C.; James, Bruce; Washington, Tracy L.; Zuniga, Kelly; Burke, Matthew: Evaluation of the Veloway 1: A natural experiment of new bicycle infrastructure in Brisbane, Australia, 2016, JOURNAL OF TRANSPORT & HEALTH, ISSN 2214-1405*

Intervention: Neubau

Mode-Shift:

- 10% der neuen User sind vorher nicht Rad gefahren

- *Heinen, Eva; Harshfield, Amelia; Panter, Jenna; Mackett, Roger; Ogilvie, David: Does exposure to new transport infrastructure result in modal shifts? Patterns of change in commute mode choices in a four-year quasi-experimental cohort study, 2017, JOURNAL OF TRANSPORT & HEALTH, ISSN 2214-1405*

Intervention: Neubau

Mode-Shift:

- 1/3 der Befragten hat sein Verhalten bezüglich Verkehrsmittelwahl nicht geändert
- 8% der Befragten sind vollständig von einem anderen Verkehrsmittel aufs Rad gewechselt.
- 16% der Befragten sind teilweise von einem anderen Verkehrsmittel aufs Rad gewechselt.

- *Mitra, Raktim; Ziembra, Raymond A.; Hess, Paul M.: Mode substitution effect of urban cycle tracks: Case study of a downtown street in Toronto, Canada, 2017, INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION, ISSN 1556-8318*

Intervention: Verbesserung / Erweiterung

Mode-Shift:

- 38% (der neuen User) haben die Verkehrsmittelwahl geändert und sind zum Rad gewechselt
- Davon kamen 55% vom Öffentlichen Verkehr und 24% vom Auto
- D.h. 9% der neuen User sind vom Auto gekommen, 21% vom ÖV
- 13% der neuen User sind vorher zu Fuß gegangen

Route-Shift:

- 45% der neuen User sind von einer anderen Strecke gewechselt
- *Standen, Christopher; Crane, Melanie; Collins, Andrew; Greaves, Stephen; Rissel, Chris: Determinants of mode and route change following the opening of a new cycleway in Sydney, Australia, 2017, JOURNAL OF TRANSPORT & HEALTH, ISSN 2214-1405*

Intervention: Neubau

Mode-Shift:

- 40% der Befragten sind von einem anderen Verkehrsmittel auf das Rad gewechselt
- Davon sind 21% vorher mit dem Auto gefahren, 59% mit dem ÖV
- D.h. 8% der neuen User sind vom Auto gekommen, 24% vom ÖV

Route-Shift:

- 48% sind von einer anderen Route gewechselt
- *Thakuria, Piyushimita (Vonu); Metaxatos, Paul; Lin, Jane; Jensen, Elizabeth: An examination of factors affecting propensities to use bicycle and pedestrian facilities in suburban locations, 2012, TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT, ISSN 1361-9209*

Intervention: Neubau

Mode-Shift:

- 11% der neuen Fahrradnutzer:innen ist vom Auto aufs Fahrrad gewechselt
- *van Goeverden, Kees; Nielsen, Thomas Sick; Harder, Henrik; van Nes, Rob: Interventions in bicycle infrastructure, lessons from Dutch and Danish cases, 2015, 8TH EURO WORKING GROUP ON TRANSPORTATION, EWGT 2015, ISSN 2352-1465*

Intervention: Zusammenschau verschiedener Studien

Mode-Shift:

- Tilburg & Hagug: 2% der neuen User sind vom Auto aufs Rad gewechselt
- Bryggebroen: 11% der neuen User sind vom Auto aufs Rad gewechselt
- Arhus 13% of persons report increased use
- Albertslundruten 9% der neuen User sind vom Auto aufs Rad gewechselt
- Farumruten: 5% der neuen User sind vom Auto aufs Rad gewechselt
- *Hans, Skov-Petersen; Bredahl, Jacobsen Jette; Elizabeth, Vedel Suzanne; Nielsen, Thomas Alexander Sick; Simon, Rask: Effects of upgrading to cycle highways - An analysis of demand induction, use patterns and satisfaction before and after, 2017, JOURNAL OF TRANSPORT GEOGRAPHY, ISSN 0966-6923*

Intervention: Verbesserung / Erweiterung

Route-Shift:

- 61% der neuen User auf der Strecke kamen von anderen Routen

- 6% der neuen User sind vorher nicht Rad gefahren
- 3% haben die Häufigkeit der Radfahrten erhöht
- 30% haben ihr Verhalten nicht geändert.
- *Heesch, Kristiann C.; Langdon, Michael: The usefulness of GPS bicycle tracking data for evaluating the impact of infrastructure change on cycling behaviour 2016 HEALTH PROMOTION JOURNAL OF AUSTRALIA, ISSN 1036-1073*

Intervention: Verbesserung / Erweiterung

Route-Shift:

- 52% der neuen Nutzer:innen kamen von einer anderen Route
- 15% Steigerung im Radaufkommen wurde innerhalb von 3 Monaten gemessen

4.1.1 Zusammenfassung der Bandbreiten aus der Literatur

Die Zusammenfassung der Literatur zeigt, dass eine exakte Bestimmung der Verlagerungseffekte im Zusammenhang mit baulichen Radverkehrsmaßnahmen ohne genaue Kenntnis der örtlichen Begebenheiten nur näherungsweise möglich ist. Die Literatur zeigt aber Bandbreiten auf, die für die Abschätzung der Verlagerungseffekte wertvoll sind und sich folgendermaßen darstellen:

- Anteil der Verlagerung von anderen Routen am zusätzlichen Radverkehrsaufkommen: 45% - 61%
- Anteil der Verlagerung vom Pkw am zusätzlichen Radverkehrsaufkommen: 2% bis 11%
- Anteil der Verlagerung vom ÖV am zusätzlichen Radverkehrsaufkommen: 21% bis 24%
- Anteil der Verlagerung von zu Fuß am zusätzlichen Radverkehrsaufkommen: 13%

Wenn keine genauere Kenntnis der Situation vor Ort vorhanden ist, können **diese Bandbreiten** respektive die nachfolgend auf 100% des zusätzlichen Radverkehrs am Ort der Maßnahme **umgelegten Bandbreiten** von Verlagerungseffekten **näherungsweise herangezogen werden:**

- Verlagerung von **Radwegen von anderen Routen** zur Radmaßnahme: **50% - 60%**
- Verlagerung von **Fußwegen auf das Fahrrad**: **10% - 15%**
- Verlagerung vom **Öffentlichem Verkehr auf das Fahrrad**: **20% - 25%**
- Verlagerung vom **Pkw auf das Fahrrad**: **5% - 15%**

4.2 Mögliche Variation der Verlagerungseffekte auf Basis der VERA-Wirkungsmatrix

Im Rahmen von VERA wurde auf Basis einer umfangreichen Expert:innenbefragung eine Wirkungsmatrix für unterschiedliche Arten von Radverkehrsmaßnahmen erstellt. Diese bietet Anhaltspunkte zur Variation der Verlagerungseffekte in Abhängigkeit der Art der Maßnahme. Hinsichtlich der Umwelteffekte ist insbesondere die Verlagerung vom Pkw auf das Fahrrad, die durch die Radverkehrsmaßnahme erreicht wird, relevant. Dazu liefert die Wirkungsmatrix eine abgesicherte Einschätzung, welche Maßnahme stärker oder weniger stark dahingehend wirkt. Auf Basis dieser Unterschiede kann die oben genannte Bandbreite von Verlagerungen vom Pkw auf das Fahrrad auf Basis der Literaturanalyse für die weiteren Berechnungen abgesichert variiert werden.

Die Wirkungsmatrix basiert auf der Einschätzung von 169 via einer Web-Umfrage zwischen März und Juli 2023 konsultierten Expert:innen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Der überwiegende Teil der Expert:innen war in verschiedenen Rollen in der öffentlichen Verwaltung mit der Planung und dem Bau von Radverkehrsanlagen tätig.

Die konsultierten Expert:innen wählten aus einer Liste von zwölf Maßnahmen die fünf Maßnahmen mit dem ihrer Meinung nach größten Effekten aus und reiheten diese. Der Neubau von Radwegen wurde dabei über alle drei Länder hinweg mit Abstand am häufigsten auf den ersten Rang gesetzt:

Bitte wählen Sie die 5 Maßnahmen aus, die Ihrer Meinung nach die größten Effekte auf den Radverkehr haben - unabhängig davon, ob die Maßnahmen bei Ihnen schon einmal umgesetzt wurden oder nicht. Reihen Sie die gewählten Maßnahmen nach ihrer jeweiligen Wirkung.

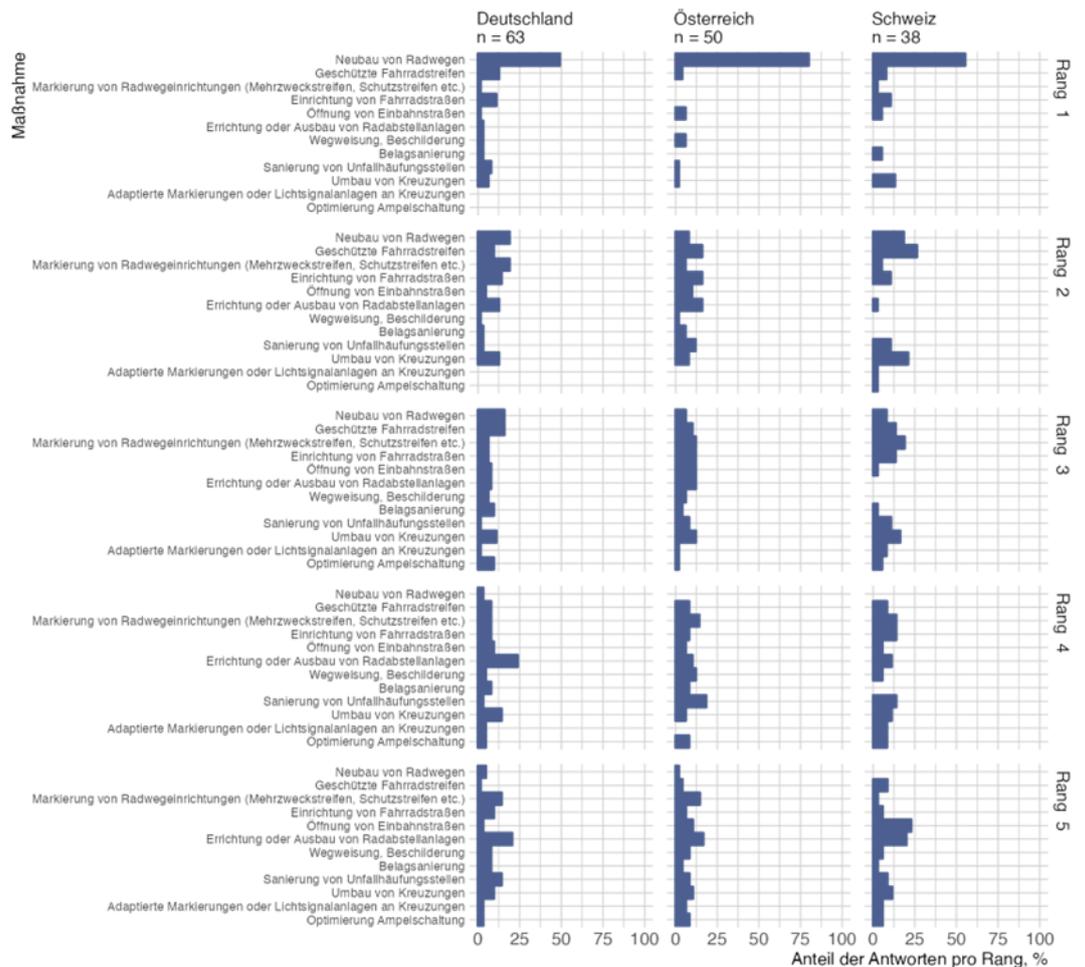


Abbildung 11: Die 5 Maßnahmen mit dem größten Effekt gemäß der Umfrage mit Expert:innen gegliedert nach Dachregion

Bezugnehmend auf die fünf gewählten Maßnahmenarten wurde die Stärke der Wirkung in zehn Dimensionen auf einer kontinuierlichen, numerischen Skala zwischen 0 und 100 bewertet. Aus der Kombination von Rangfolge und Stärke der Wirkung lässt sich eine Wirkungsmatrix ableiten, welche die Größenordnung der Effekte gemäß der Einschätzung von Expert:innen erlaubt. Zu beachten gilt, dass die Wirkungsstärken nicht je Maßnahme einzeln abgefragt wurden, sondern sich jeweils auf die fünf bedeutendsten Maßnahmen beziehen.

Die Berechnung der Wirkungsmatrix aus den vorliegenden Daten der Konsultation der Expert:innen erfolgte in drei Schritten:

Schritt 1: Relevanz der einzelnen Maßnahmen

- Definiere $Q = N \times (5 - \bar{R})$, wobei N die Anzahl der Nennungen und \bar{R} der durchschnittliche Rang sind.
- Klassifiziere Q in Quintile (fünf gleich große Gruppen)

$$Relevanz(Q) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } Q \leq Q_1 \\ 2 & \text{wenn } Q_1 < Q \leq Q_2 \\ 3 & \text{wenn } Q_2 < Q \leq Q_3 \\ 4 & \text{wenn } Q_3 < Q \leq Q_4 \\ 5 & \text{wenn } Q > Q_5 \end{cases}$$

Schritt 2: Stärke der Wirkung

- Sei E die angegebenen Effektgröße je Dimension, klassifiziere E in Quintile (fünf gleich große Gruppen)

$$Wirkungsstärke(E) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } E \leq E_1 \\ 2 & \text{wenn } E_1 < E \leq E_2 \\ 3 & \text{wenn } E_2 < E \leq E_3 \\ 4 & \text{wenn } E_3 < E \leq E_4 \\ 5 & \text{wenn } E > E_5 \end{cases}$$

Schritt 3: Maßzahl Wirkungsmatrix

- Sei $M = Relevanz(Q) \times Wirkungsstärke(E)$ die Maßzahl der Wirkungsmatrix

In Abbildung 12: Expert:inneneinschätzung zu den Wirkungen von Maßnahmen
Abbildung 12 ist die Einschätzung der Expert:innen zusammengefasst, auf Basis derer die Wirkungsmatrix berechnet wurde (Abbildung 13).

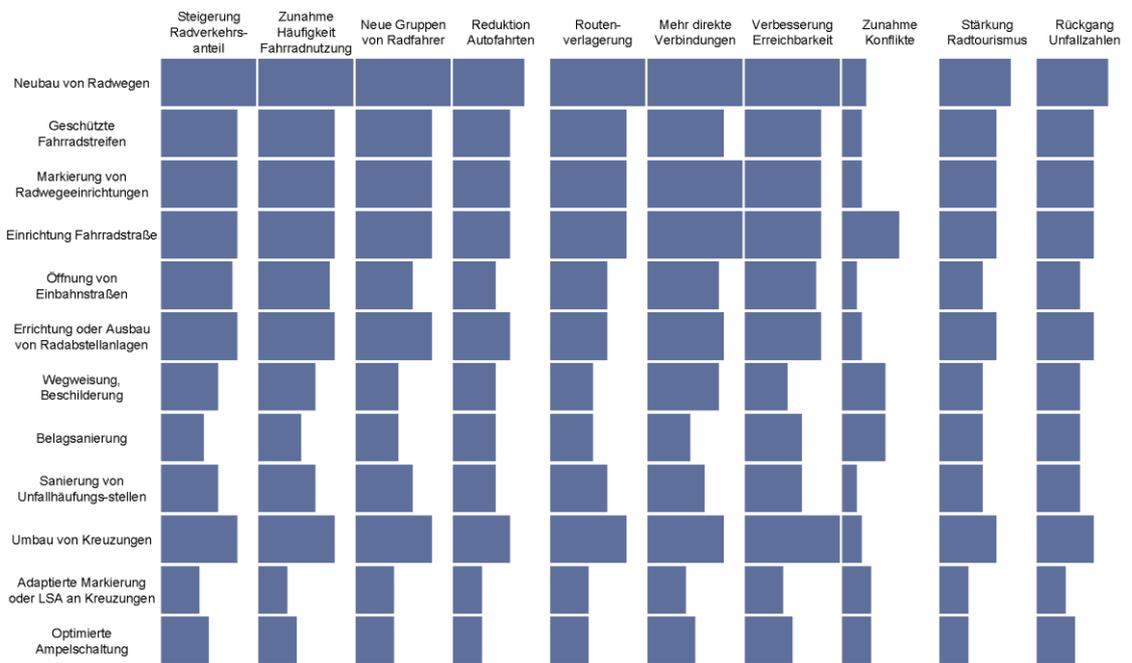


Abbildung 12: Expert:inneneinschätzung zu den Wirkungen von Maßnahmen

n	r		Steigerung Radverkehrsanteil	Zunahme Häufigkeit Fahrradnutzung	Neue Gruppen von Radfahrer	Reduktion Autofahrten	Routenverlagerung	Mehr direkte Verbindungen	Verbesserung Erreichbarkeit	Zunahme Konflikte	Stärkung Radtourismus	Rückgang Unfallzahlen	
137	1,6	5	Neubau von Radwegen	20	20	20	15	20	20	20	5	15	15
75	2,7	4	Geschützte Fahrradstreifen	16	16	16	12	16	16	16	4	12	12
70	3,4	4	Markierung von Radwegeeinrichtungen	16	16	16	12	16	20	16	4	12	12
72	2,9	4	Einrichtung Fahrradstraße	16	16	16	12	16	20	16	12	12	12
52	3,4	3	Öffnung von Einbahnstraßen	15	15	12	9	12	15	15	3	9	9
82	3,7	4	Errichtung oder Ausbau von Radabstellanlagen	16	16	16	12	12	16	16	4	12	12
36	3,6	3	Wegweisung, Beschilderung	12	12	9	9	9	15	9	9	9	9
35	3,3	3	Belagsanierung	9	9	9	9	9	9	12	9	9	9
59	3,4	3	Sanierung von Unfallhäufungsstellen	12	12	12	9	12	12	12	3	9	9
80	3,1	4	Umbau von Kreuzungen	16	16	16	12	16	16	20	4	12	12
19	4	2	Adaptierte Markierung oder LSA an Kreuzungen	8	6	8	6	8	8	8	6	6	6
28	3,9	2	Optimierte Ampelschaltung	10	8	8	6	8	10	10	6	6	8

Abbildung 13: VERA-Wirkungsmatrix

Relevant für die Variation der Verlagerungseffekte weg vom Pkw für die unterschiedlichen Maßnahmenart ist die Spalte „Reduktion Autofahrten“. Laut Einschätzung der Expert:innen wirkt beispielsweise die Maßnahme „Neubau Radweg“ stärker in diese Richtung (Wert 15) als die „Öffnung von Einbahnstraßen“ (Wert 9).

Zusammen mit den Ergebnissen aus der Literaturanalyse, wonach zu erwarten ist, dass die durch eine Radverkehrsmaßnahme zusätzlich generierten Wege mit dem Fahrrad zu einem Anteil von etwa +-10% vom Pkw weg verlagert werden, schlagen wir eine Variation dieses Anteils je Maßnahmenart gemäß nachfolgender Tabelle 4 vor.

Maßnahmenart	Werte aus der Wirkungsmatrix für „Reduktion Autofahrten“	Angenommener Anteil Verlagerung vom Pkw auf das Rad
Neubau Radweg	15	12%
Geschützte Fahrradstreifen	12	10%
Markierung von Radverkehrsanlagen	12	10%
Ausbau des Radwegenetzes	12	10%
Öffnung von Einbahnstraßen	9	8%
Belagssanierung	9	8%

Tabelle 4: Vorschlag zur Variation der Verlagerungseffekte je nach Maßnahme

Anm.: Der Wert für „Ausbau des Radwegenetzes“ basiert auf dem Wert für „Errichtung einer Fahrradstraße“ aus der Wirkungsmatrix.

Die folgende Abbildung zeigt nochmals den über die Literaturanalyse abgeleiteten und über die Expert:innenbefragung variierten und abgesicherten Vorschlag zu möglichen Annahmen zum Verlagerungseffekt vom Pkw auf das Fahrrad (Anteil an den zusätzlichen Radwegen, die zuvor mit dem Pkw unternommen wurden) unterschieden nach Maßnahmenart.

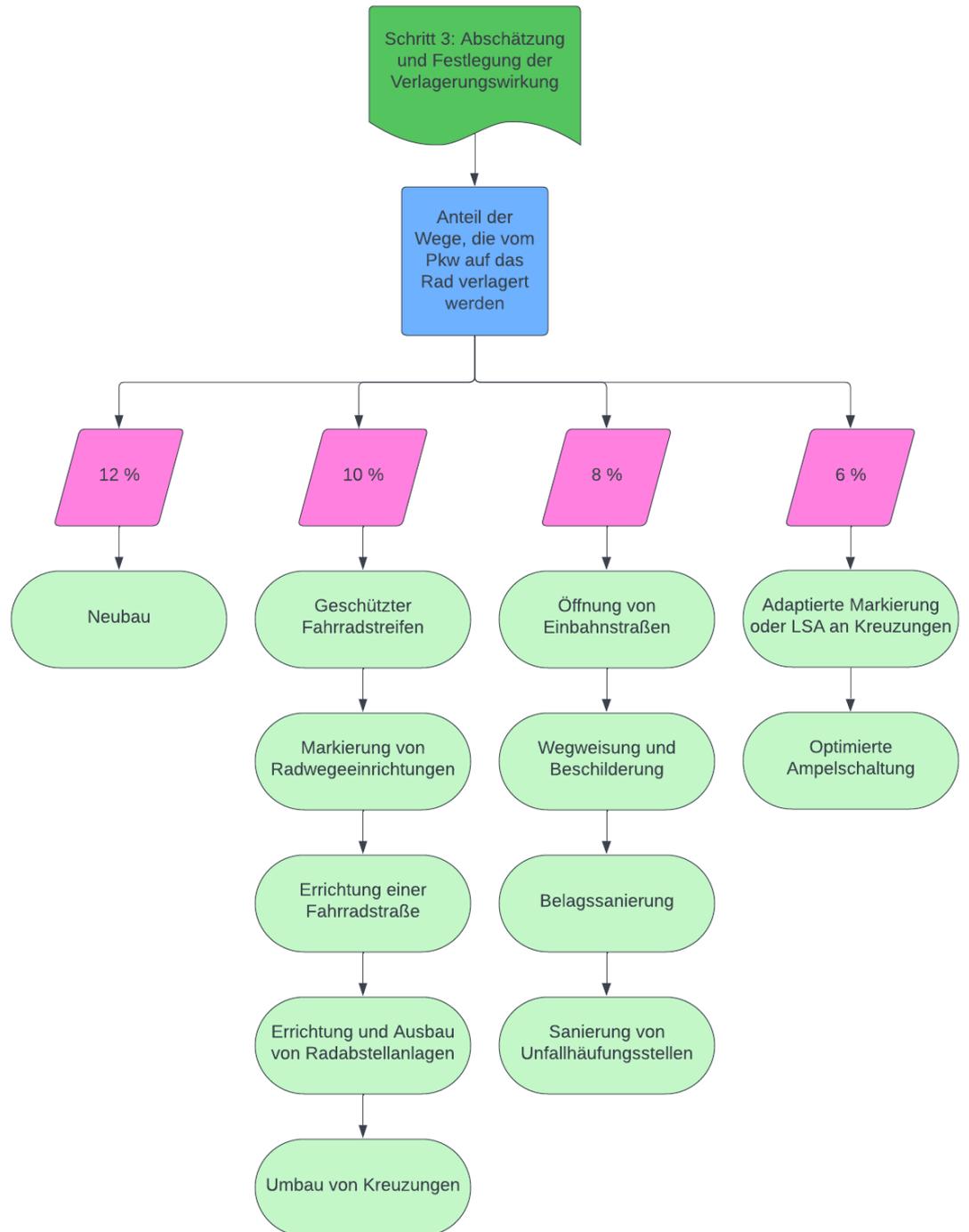


Abbildung 14: Literatur- und Expert:innenbasierte Annahmen zur Verlagerungswirkung weg vom Pkw

Schritt 4 – Umwelteffekte: Berechnung der Umwelteffekte durch eingesparte PKW- Kilometer

5 Berechnung der (Umwelt-)effekte

Um die Reduktion der Emissionen von CO₂, NO_x und anderen Schadstoffen durch eingesparte PKW-Kilometer zu berechnen, müssen spezifische Emissionskennzahlen für Österreich, Deutschland und die Schweiz berücksichtigt werden. Diese Berechnung ermöglicht es, die Umweltauswirkungen der Radverkehrsmaßnahmen zu quantifizieren und entsprechend die Wirksamkeit der Maßnahmen zu bewerten.

Die Emissionskennzahlen für CO₂, NO_x und andere Schadstoffe variieren je nach Land aufgrund unterschiedlicher Fahrzeugflotten, Fahrverhalten und Treibstoffqualität. Für die Berechnungen werden Durchschnittswerte herangezogen, die von offiziellen Umweltbehörden und Forschungsinstituten bereitgestellt werden. Die im Folgenden dargestellten Zahlen wurden aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 4.2.2 entnommen, welches für alle drei Länder vergleichbare Zahlen bereitstellt. Es werden die Werte der Prognose 2025 für direkte Emissionen (CO₂-Äquivalente) bei einem Pkw-Besetzungsgrad von 1,14 (AT), 1,4 (DE) bzw. 1,53 (CH) und auf Basis des Durchschnittswerts der Fahrzeugflotte und Verkehrssituation je Land in g/Personenkilometer herangezogen. Die Werte variieren vorwiegend auf Grund der deutlich unterschiedlichen Besetzungsgrade der Pkw.

- Österreich:
CO₂-Emissionen: 135,3 g CO₂/Pkm
NO_x-Emissionen: 0,250 g NO_x/Pkm
Quelle: HBEFA 4.2 (Flottenmix, Durchschnitts-Verkehrssituation, Prognose 2025, Pkw-Besetzungsgrad 1,14 aus Umweltbundesamt Österreich (2022)^{18, 21}
- Deutschland:
CO₂-Emissionen: 111,5 g CO₂/Pkm
NO_x-Emissionen: 0,159 g NO_x/Pkm
Quelle: HBEFA 4.2 (Flottenmix, Durchschnitts-Verkehrssituation, Prognose 2025, Pkw-Besetzungsgrad 1,4 aus Umweltbundesamt Deutschland (2022)^{19, 21}
- Schweiz:
CO₂-Emissionen: 102,0 g CO₂/Pkm
NO_x-Emissionen: 0,148 g NO_x/Pkm
Quelle: HBEFA 4.2 (Flottenmix, Durchschnitts-Verkehrssituation, Prognose 2025, Pkw-Besetzungsgrad 1,53 aus Bundesamt für Statistik (2023)^{20, 21}
- Das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 4.2) enthält Daten für Deutschland, Österreich und die Schweiz²¹.

5.1 Berechnungsansatz

Um die Steigerung der Radfahrtenanzahl pro Tag, das zukünftig erwartete Radverkehrsaufkommen, die Reduktion der Pkw-Kilometer pro Tag und Jahr sowie letztendlich die Reduktion der Emissionen zu berechnen, muss in einem ersten Schritt die

¹⁸ <https://www.umweltbundesamt.at/umwelthemen/mobilitaet/mobilitaetsdaten/emissionsfaktoren-verkehrsmittel>

¹⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/fahrgemeinschaften#hintergrund> bzw. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/bilder/dateien/uba_emissionstabelle_personenverkehr_2022_0.pdf

²⁰ <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/24267566>

²¹ <https://www.hbefa.net/de/startseite>

durch die Maßnahme gestiegene Anzahl der Radfahrten pro Tag am Ort der Maßnahmen errechnet werden. Dazu wird das ermittelte Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme aus Kapitel 2.2.2 mit dem entsprechenden Steigerungsfaktor aus Kapitel 3 multipliziert und mit dem ermittelte Radverkehrsaufkommen subtrahiert. Die Formel zur Berechnung der Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag lautet:

Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag = Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag × Steigerungsfaktor der entsprechenden Maßnahme - Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag

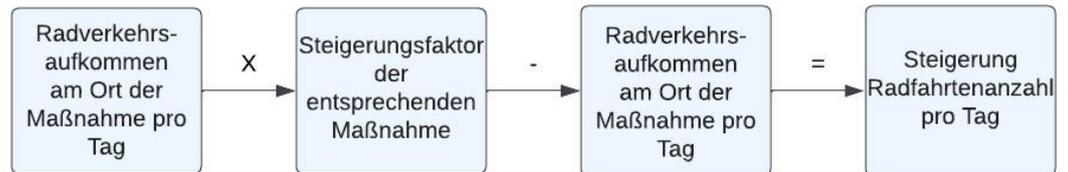


Abbildung 15: Berechnung Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag

In einem zweiten Schritt werden die dadurch reduzierten Pkw-Kilometer pro Tag errechnet. Dabei wird die Steigerung der Radfahrtenanzahl pro Tag mit dem Pkw-Reduktionsfaktor der jeweiligen Maßnahme aus Kapitel 4.2 und den durchschnittlichen Weglängen der Radwege multipliziert. Wie in Kapitel 2.2.3.2 bzw. Kapitel 2.2.3.3 beschrieben ergeben sich die durchschnittlichen Weglängen der Radwege entweder aus einer aktuellen lokalen Mobilitätshebung oder aus generischen Mobilitätsdaten.

Die Formel zur Berechnung der Reduktion Pkw-Kilometer pro Tag ist:

Reduktion Pkw-Kilometer pro Tag = Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag × Pkw-Reduktionsfaktor der jeweiligen Maßnahme × Durchschnittliche Weglänge der Radwege

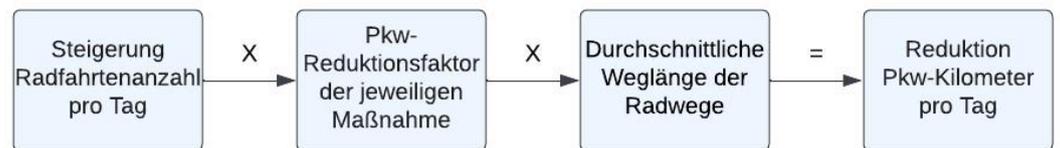


Abbildung 16: Berechnung Reduktion der Pkw-Kilometer pro Tag

In einem dritten Schritt werden die reduzierten Tageskilometer auf Jahreskilometer hochgerechnet. Dazu werden die Tageskilometer mit der Anzahl von 5 Arbeitstagen und 52 Wochen multipliziert.

Reduktion Pkw-Kilometer pro Jahr = Reduktion Pkw-Kilometer pro Tag × 5 Tage x 52 Wochen

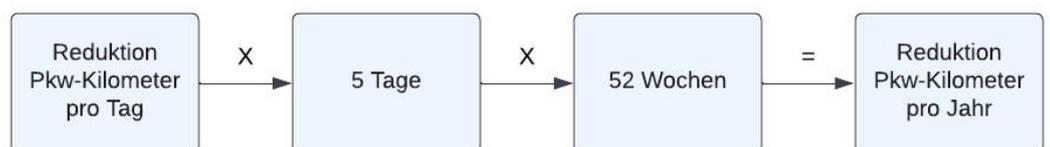


Abbildung 17: Berechnung Reduktion Pkw-Kilometer pro Jahr

Im abschließenden Schritt werden die reduzierten Pkw-Jahreskilometer mit den spezifischen Emissionswerten multipliziert.

Die Formel zur Berechnung der Reduktion der Treibhausgasemissionen lautet:

$$\text{Reduktion der Emissionen} = \text{Reduktion Pkw-Kilometer pro Jahr} \times \text{Emissionsfaktor}$$



Abbildung 18: Berechnung Emissionseinsparung durch die Radverkehrsmaßnahme pro Jahr

Die Summe ergeben sich so die Steigerung der Radfahrtenanzahl pro Tag, das zukünftig erwartete Radverkehrsaufkommen, die Reduktion der Pkw-Kilometer pro Tag und Jahr sowie die Reduktion der Emissionen und damit die Höhe der jährlichen Umwelteffekte der Radverkehrsmaßnahme.

**Berechnungs-
beispiel:
Radwegenetzausbau
St. Pölten / Österreich**

6 Berechnungsbeispiel

Im Folgenden wird ein Berechnungsbeispiel für Level B beschrieben.

6.1 Berechnungsbeispiel: Dr. Karl-Renner-Promenade, St. Pölten, AT (Level B)

Im Jahr 2023 wurde in St. Pölten in Niederösterreich eine Neuverteilung des Straßenraums und eine Verbesserung der Infrastruktur des Radverkehrs in Form einer fahrradfreundlichen Straße geplant und teilweise auch bereits fertiggestellt. Auf dem Abschnitt der Dr. Karl Renner-Promenade zwischen Linzer Tor und Schulgasse (Länge rund 300 m) finden sich neue Bodenmarkierungen. Der Radverkehr kann nun auf einem breiten und durch eine Sperrlinie getrennten Radfahrstreifen auch in die Gegenrichtung fahren. Große Piktogramme mit Fahrrädern auf der Hauptfahrbahn weisen darauf hin, dass in Fahrtrichtung Westen der Radverkehr im Mischverkehr mit Kraftfahrzeugen unterwegs ist.

Die Eckdaten der Maßnahme stellen sich wie folgt dar:

Maßnahme:	Fahrradfreundlichen Straße
Straßenname:	Dr. Karl-Renner-Promenade
Abschnitt:	Linzer Tor - Schulgasse
Art der Maßnahme:	Ausbau bestehendes Radwegenetz (Lückenschluss, Verbreiterung)
Maßnahmenlänge:	101-500m
Geographische Länge:	15,623611
Geographische Breite:	48,202024

Zur Berechnung des Verlagerungspotenzials und des Umwelteffektes werden dem Leitfaden entsprechend folgende Information bzw. Festlegungen benötigt:

Land der Maßnahme: Österreich

Das Land ist zur Festlegung der korrekten Emissionsfaktoren erforderlich.

Berechnungslevel: B/C - Radaufkommensdaten nicht vorhanden

Je nachdem, ob Zähldaten am Ort der Maßnahme vor Umsetzung vorhanden sind (Level A) oder nicht (Level B bzw. Level C), werden die Zähldaten entweder direkt herangezogen, oder es erfolgt eine Abschätzung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme. Diese erfolgt entweder mit Ergebnissen aus lokalen Mobilitätserhebungen (Level B) oder mit generischen Mobilitätsdaten (Level C), für den Fall, dass keine örtliche

Mobilitätserhebung existiert. Für St. Pölten liegen spezifische Mobilitätskennzahlen aus dem Jahr 2018 vor, es handelt sich also bei diesem Beispiel um Level B.

Maßnahmenart: Ausbau des Radwegenetzes

Je nach Art der Maßnahmen unterscheiden sich die VERA-Steigerungsfaktoren des Radverkehrs.

Für den Fall, dass Zählraten am Ort der Maßnahme vorhanden sind (Level A), wird zusätzlich nur noch die durchschnittliche Radwegelänge benötigt. Da im vorliegenden Beispiel keine Zählraten vorhanden sind, werden weiters die folgenden Informationen benötigt (gilt für Level B und Level C).

Maßnahmenumfang (Effektgröße): Mittelgroße Radverkehrsmaßnahme (Einzugsbereich > 0,5 bis 1 km, Abschwächungsfaktor Radverkehr 12,5%)

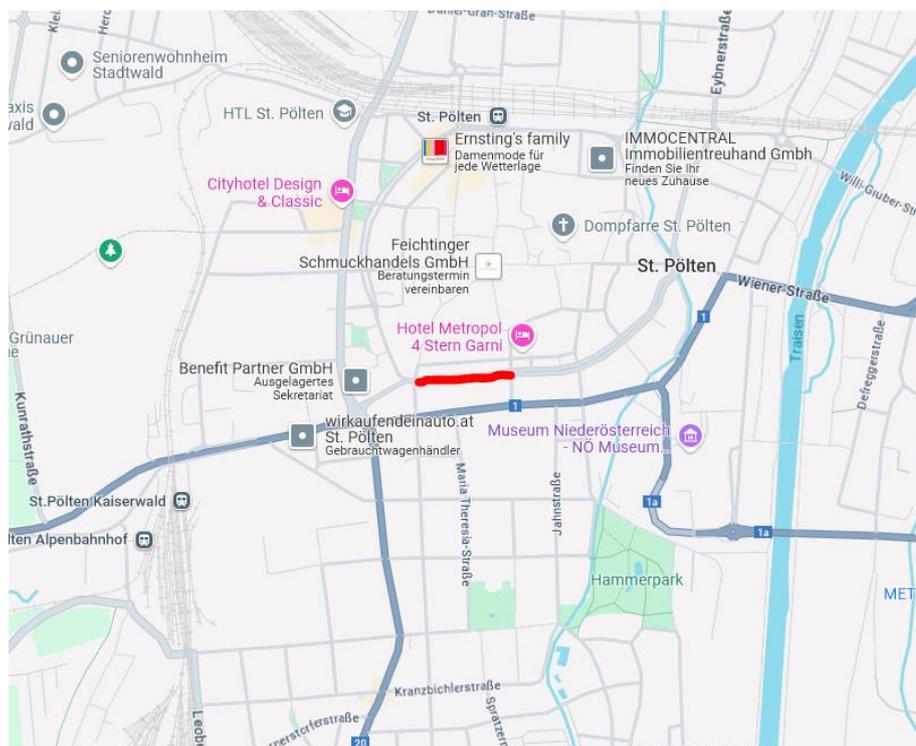
Je nach erwartetem Effekt der Maßnahme, ist eine Festlegung des Umfangs der Maßnahme bzw. des erwarteten Effekts erforderlich. Davon hängt der potenzielle Einzugsbereich und die Höhe des Abschwächungsfaktors für den Radverkehr ab.

Personenanzahl im Einzugsgebiet: 10571 Personen

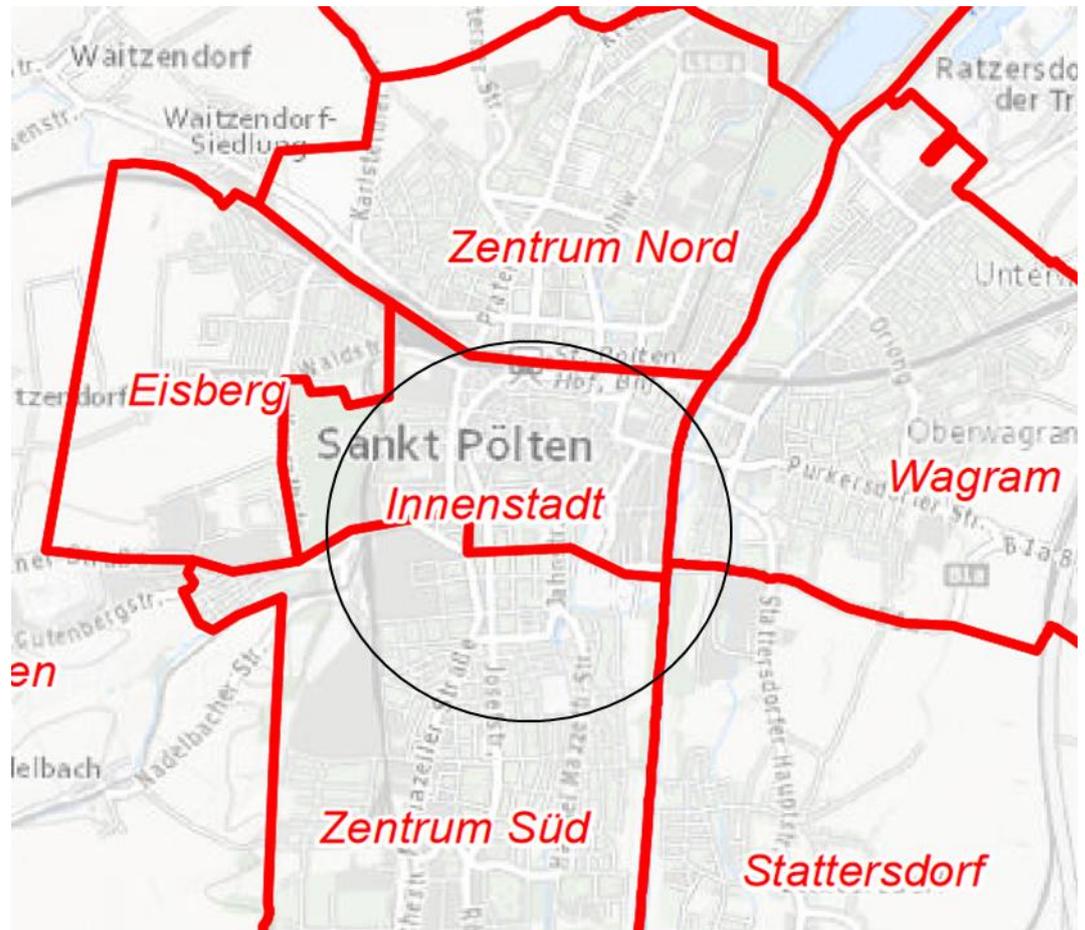
Die Personenanzahl im Einzugsgebiet wird mittels einer GIS-Analyse und Bevölkerungszahlen anhand der zu vor festgelegten Effektgröße der Maßnahme ermittelt.

Die Abschätzung des potentiellen Einzugsgebiets sollte wann immer möglich gemeinsam mit lokalen Expert:innen erfolgen, optimaler Weise unter Zuhilfenahme von Zählraten aus dem Umkreis der Maßnahme. Die in VERA vorgeschlagenen Einzugsradien wurden auf Basis verfügbarer Daten abgeleitet, können aber nur als valide Richtwerte angesehen werden.

Die Ermittlung der im Einzugsgebiet erfolgte für das Beispiel St. Pölten im ersten Schritt mit der Sichtung der Lage der Maßnahme mittels Kartendarstellung:



Für die Stadt St. Pölten liegen Einwohner:innenzahlen getrennt nach Stadtteilen vor²², daher wurde im nächsten Schritt ermittelt, welche Stadtteile im Umkreis von 1 km (Einzugsbereich mittelgroße Maßnahme > 0,5 bis 1 km) liegen. Auf einer Kartendarstellung stellt sich die Situation folgendermaßen dar:



Bezüglich der betroffenen Einwohner:innenzahl wurde auf Basis dieser Karte folgende Festlegung getroffen:

Stadtteil:	Einwohner:innen	betroffener Anteil	betroffene Personen
Innenstadt	5.493	100%	5493
Zentrum Süd	12.696	40%	5078
Betroffene Personenanzahl gesamt:			10.571

Mobilitätskennzahlen:

- Wegeanzahl: 3,19 Wege pro Person
- Radverkehrsanteil: 14,4%
- Durchschnittliche Radwegelänge: 4,2 km

Diese Zahlen stammen aus der Mobilitätserhebung St. Pölten aus dem Jahr 2018, die das Land Niederösterreich gemeinsam mit der Stadt St. Pölten beauftragt hat²³ und beziehen sich auf einen durchschnittlichen Werktag.

Damit sind alle erforderlichen Daten vorhanden. Da es sich im vorliegenden Beispiel im Level B handelt, ist im ersten Schritt die Ermittlung des Radverkehrsaufkommens am Ort der Maßnahme erforderlich. Dies erfolgt gemäß der Formel aus Kapitel 2.2.4:

²² Vgl. https://austria-forum.org/af/AustriaWiki/Liste_der_Stadtteile_von_St._P%3C%3B6lten

²³ Vgl. <https://www.noel.gv.at/noe/Mobilitaetsstrategie/Mobilitaetsbefragung.html>

Bevölkerungszahl im abgegrenzten Gebiet x Wege pro Person und Tag x Radverkehrsanteil x Abschwächungsfaktor relevanter Radverkehr = **Relevantes Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme**

Setzt man die zuvor ermittelten Zahlen ein, ergibt sich folgende Rechnung:

10.571 x 3,19 x 0,144 x 0,125 = 607 (Radwege pro Tag)

Dieser Wert bildet die Ausgangsbasis für die weitere Berechnung der zusätzlichen Radfahrten pro Tag auf Grund der Maßnahme, der damit verlagerten Pkw-Kilometer pro Tag und Jahr sowie der Reduktion der Emissionen durch die Maßnahme (siehe Kapitel 5.1). *Wenn Zähldaten vorhanden sind (Level A), werden diese hier direkt eingesetzt.*

Zuerst erfolgt die Ermittlung der **Steigerung der Radfahrtenanzahl pro Tag** mittels der in VERA berechneten Faktoren nach folgender Formel:

Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag x Steigerungsfaktor der entsprechenden Maßnahme - Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag = **Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag**

Der VERA-Steigerungsfaktor für den Maßnahmentyp „Ausbau des Radwegenetzes“ beträgt 1,366. Mit den entsprechenden Zahlen hinterlegt ergibt sich daher folgende Rechnung:

607 x 1,366 - 607 = 222,2 (zusätzliche Radfahrten pro Tag)

Im nächsten Schritt werden die damit verlagerten Pkw-Kilometer pro Tag bzw. pro Jahr berechnet. Dies erfolgt auf Basis der in VERA ermittelten, potenziellen Verlagerungswirkungen weg vom Pkw in Abhängigkeit der Art der Radverkehrsmaßnahme nach folgender Formel:

Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag x Pkw-Reduktionsfaktor der jeweiligen Maßnahme x Durchschnittliche Weglänge der Radwege = **Reduktion Pkw-Kilometer pro Tag**

In VERA wurde für die Maßnahme „Ausbau des Radwegenetzes“ ein Verlagerungseffekt von 10% ermittelt. Das bedeutet, dass 10% der zusätzlichen Radwege vor Umsetzung der Maßnahme mit dem Pkw zurückgelegt wurden. Eingesetzt in die Formel ergibt sich:

222,2 x 0,10 x 4,2 = 93,24 (verlagerte Pkw-Kilometer pro Tag)

Bei 5 Werktagen pro Woche und 52 Wochen pro Jahr ergeben sich somit $93,31 \times 5 \times 52 =$ **24.260 verlagerte Pkw-Kilometer pro Jahr**

Die verlagerten Pkw-Kilometer pro Jahr werden abschließend mit den länderspezifischen Emissionsfaktoren multipliziert:

Reduktion Pkw-Kilometer pro Jahr x Emissionsfaktor = **Reduktion der Emissionen**

Somit ergibt sich für das vorliegende Beispiel bei einem CO₂-Ausstoß der Pkw von 0,1353 kg pro Personen-km (Österreich-Wert) eine Einsparung von:

24.260 km x 0,1353 = 3.282 kg CO₂ pro Jahr
(entspricht einer Reduktion von 3,282 Tonnen CO₂ pro Jahr).

VERA stellt für die oben dargestellten Berechnungen ein Excel-Tool zur Verfügung, in welches die Maßnahmeninformationen und Eingangszahlen eingetragen werden können. Die Berechnung erfolgt dann automatisiert anhand der getätigten Angaben.

Allgemeine Informationen	
Beschreibung der Maßnahme:	Neuverteilung des Straßenraums, Verbesserung der Infrastruktur für den Radverkehr.
Land:	Österreich
Maßnahmenart:	Ausbau des Radwegenetzes
Berechnungslevel:	B/C - Radaufkommensdaten nicht vorhanden

Level A	
Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag:	

oder

Level B/C	
Maßnahmenumfang (Effektgröße):	Mittelgroße Radverkehrsmaßnahme
Einzugsgebiet Info:	Einzugsgebiet Radius >0,5 bis 1 km
Personenanzahl im Einzugsgebiet:	10571
Wege pro Person und Tag:	3,19
Radverkehrsanteil:	14,4%
Radwegeanzahl Wohnbevölkerung gesamt:	4856
Abschwächungsfaktor relevanter Radverkehr:	13%
Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme pro Tag:	607

Weitere Eingangsdaten	
Durchschnittliche Weglänge der Radwege:	4,2
Steigerungsfaktor aus VERA:	1,366
Pkw-Reduktionsfaktor VERA:	10%
Anzahl Tage pro Woche:	5
Anzahl Wochen pro Jahr:	52
CO ² -Ausstoß pro Personen-KM in g:	135,3

Ergebnis der VERA-Abschätzung	
Radverkehrsaufkommen aktuell pro Tag:	607
Steigerung Radfahrtenanzahl pro Tag:	222
Erwartete, zukünftige Radfahrtenanzahl pro Tag absolut:	829
KM Pkw-Reduktion pro Tag:	93
Verlagerte Pkw-Kilometer pro Jahr:	24 260
Eingesparte Tonnen CO ² pro Jahr:	3,28

Abbildung 19: Excel-Tool zur Berechnung des Verlagerungspotenzials und der Emissionsreduktion

Zusammenfassung der benötigten Eingangsdaten

Die für die **Berechnungen erforderlichen Eingangsdaten** sind in Abbildung 19 hellgelb hinterlegt:

Land			
Maßnahmenart			
Berechnungslevel	A	ODER	B/C
Radverkehrsaufkommen am Ort der Maßnahme aktuell			Maßnahmenumfang (Effektgröße)
Durchschnittliche Radweglänge			Personenanzahl im Einzugsgebiet der Maßnahme
			Wege pro Person und Tag
			Radverkehrsanteil
			Durchschnittliche Radweglänge

Mögliche und
sinnvolle
Begleitmaßnahmen
zur vollen Potenzial-
ausschöpfung

7 Begleitmaßnahmen

Die folgenden Begleitmaßnahmen stammen überwiegend aus dem Leitfaden „Kosteneffiziente Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in Gemeinden²⁴“, den das damalige Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Jahr 2017 veröffentlicht hat.

7.1 Infrastruktur für den ruhenden Radverkehr

Die Infrastruktur des ruhenden Radverkehrs umfasst jegliche Einrichtungen und Möglichkeiten des Fahrradparkens. Im Vergleich zur Errichtung der Infrastruktur für den fließenden Radverkehr ist die Errichtung von Abstellanlagen günstig. Das Potenzial bei Fahrradabstellanlagen ist trotz der geringen Kosten sehr hoch. Qualitativ hochwertige Abstellanlagen erhöhen die Attraktivität des Radfahrens und tragen zu einer vermehrten Nutzung bei, insbesondere wenn diese Anlagen an wichtigen Quell- und Zielorten errichtet werden. Qualitätsmerkmale sind dabei vor allem Überdachung, Beleuchtung sowie das sichere Ansperrern. Insbesondere wenn der letzte Punkt nicht erfüllt ist, wird das Radfahren mit neuen, hochwertigen Fahrrädern, aufgrund von Angst vor Diebstählen, unattraktiv.

Die Infrastruktur für den ruhenden Radverkehr kann dabei zwischen Kurz- und Langzeitparken unterscheiden. Beim kurzfristigen Abstellen muss die Anlage schnell, sicher und fahrend erreichbar sein. Je näher die Anlagen am Zielort positioniert ist, desto höher die Nutzung. Radstellanlagen sollten darüber hinaus den Fußverkehr nicht behindern und bestenfalls gut im Stadtbild integriert sein. Zu den häufigen Anlagen zum Kurzzeitparken zählen Bügel und Vorderrad-Rahmenhalter.

Während beim Kurzzeitparken Parkdauern von max. 2 Stunden gemeint sind, bezieht sich das Langzeitparken auf mehrere Stunden oder Tage. Daraus ergeben sich für Langzeitparker:innen andere Voraussetzungen als bei Kurzzeitparker:innen. Aspekte wie Sicherheit und Witterungsschutz sind deutlich wichtiger als die unmittelbare Position der Anlage vor dem Ziel- bzw. Wohnort. Zu den Langzeitabstellanlagen zählen: Radabstellanlagen mit Überdachung und Beleuchtung, Fahrradstationen oder Fahrradboxen.

7.2 Service und Dienstleistungen

Service und Dienstleistungen bieten Gemeinden eine Möglichkeit ohne großen administrativen oder finanziellen Aufwand Maßnahmen zu setzen, die die Sicherheit und den Komfort von Radfahrenden erhöhen. Dazu zählen Informationen zu Radfahrrouten in der Umgebung, Reparatur- und Wartungsmöglichkeiten, Fahrradverleihoptionen oder Sicherheitschecks. Öffentliche Serviceeinrichtungen ermöglichen es dabei Fahrräder selbst zu reparieren oder Reifen aufzupumpen. Fahrradverleiher, Gemeindefahrräder oder Diensträder sind wichtige Bestandteile der Radverkehrsförderung. Gemeinde- oder Dienstfahrräder können dabei z.B. gebrandet werden und dienen somit auch als Werbemöglichkeit. Leihradsysteme sind relativ kostenintensiv und sollten erst nach einer umfassenden Erhebung und Planung errichtet werden.

7.3 Vernetzung mit dem öffentlichen Verkehr

Personen, die mit dem Fahrrad unterwegs sind, nutzen auch überproportional den öffentlichen Verkehr. Daher ist es wichtig eine gute Symbiose der beiden Verkehrsmittel

²⁴ https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/fuss_radverkehr/publikationen/foerderung_radverkehr.html

sicherzustellen und somit die das Potenzial des Umweltverbundes bestmöglich auszunutzen. Dafür müssen die Schnittstellen und Übergänge zwischen dem öffentlichen Verkehr und dem Fahrrad attraktiv gestaltet sein. Dies gelingt zu einen durch sichere, überdachte und gut situierte Park & Ride Anlagen, aber auch durch die Möglichkeit der Fahrradmitnahme oder durch Bike-Sharing Angebote am Zielort.

7.4 Information und Kommunikation

Nur wenn die, den Radverkehr betreffend, umgesetzten Maßnahmen und Aktionen gut kommuniziert werden, kann ihr Potenzial voll ausgeschöpft werden. Dies umfasst zum einen Informationsaufbereitung, Wissensvermittlung und Trainings und zum anderen helfen gezielt Werbe- und Imagemaßnahmen die Attraktivität und das Interesse am Radfahren zu steigern. Gezielte Kampagnen können diesen Effekt noch steigern.

7.4.1 Informationsmaterial

Informationen über den Radverkehr in der Gemeinde helfen Personen die vermehrt mit dem Fahrrad fahren wollen. Insbesondere Auskünfte zur Fahrradinfrastruktur, zu fahrradfreundlichen Routen oder Servicestellen sind dabei hilfreich. Gemeinden können z.B. Radkarten, ein eigenes Radverkehrsportal oder einen Radroutenplaner zur Verfügung stellen.

7.4.2 Bewusstseinsbildung

Insbesondere Fahrradtrainingsangebote und fahrradspezifische Fortbildungen helfen dabei das Thema Radfahren nachhaltig in das Bewusstsein der Öffentlichkeit und damit in die Köpfe der Menschen zu bringen. Einige Programme widmen sich dabei bereits Kindergarten- oder Volksschulkindern und führen diese auf spielerischem Weg an das Thema Radfahren heran. Aber auch andere Zielgruppen können mithilfe von Radfahrtrainings angesprochen werden. Ziel dabei ist es immer die Sicherheit der Radfahrenden zu steigern. Multiplikatoren z.B. Fahrradbotschafter:innen helfen dabei das diese Angebote nachhaltig angeboten werden können.

7.4.3 Kampagnen

Bewusstseinsbildende Aktionen und Kampagnen können einen wichtigen Beitrag leisten, damit Radverkehrsmaßnahmen erfolgreich sind. Nationale und internationale Beispiele belegen, dass sie ein erhebliches Potenzial besitzen, um langfristige Veränderungen im Mobilitätsverhalten der Bürgerinnen und Bürger zu bewirken. Diese Aktivitäten haben zudem ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis, da sie mit geringen Investitionskosten große Anreize zur verstärkten Fahrradnutzung schaffen. Kampagnen wie „Mit dem Rad zur Arbeit“ oder „Österreich radelt zur Arbeit“ können auf die spezifischen Bedürfnisse einer Zielgruppe zugeschnitten werden, wodurch sie wirksamer werden. Neben dem Radfahren zur Arbeit gibt es mit dem Radfahren zur Schule oder zum Einkauf weitere erfolgreiche Motivationskampagnen.

7.4.4 Veranstaltungen

Fahrradevents und -veranstaltungen können dazu beitragen, die Stimmung in einer Gemeinde oder Region in Bezug auf das Radfahren zu verbessern. Dies kann dabei helfen die Öffentlichkeit für Anliegen des Radverkehrs zu sensibilisieren. Fahrradevents können dabei unterschiedliche Zielgruppen adressieren. Während Fahrradfeste, Radfahrbörsen oder Servicetage in erster Linie Bürger:innen ansprechen, zielen Fahrradmessen oder -gipfel überwiegend auf ein Fachpublikum.

7.5 Förderungen

Neben den Verkehrsabteilungen der Gemeinden gibt es zahlreiche externe Akteure, die mit gezielten Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs beitragen können. Dazu zählen z.B. Betreiber, Schulen oder öffentliche Einrichtungen. Diese Akteure profitieren ebenfalls von einer stärkeren Fahrradnutzung und können daher diesbezüglich eigene Maßnahmen setzen. Betriebliches oder schulisches Mobilitätsmanagement können dabei wirkungsvolle Aktivitäten setzen.

7.6 Evaluierung und Qualitätsmanagement

Evaluierung und Qualitätsmanagement haben einen großen positiven Effekt auf die Förderung des Radverkehrs. Durch regelmäßige Evaluierung können die gesetzten Maßnahmen und Aktivitäten auf ihre Wirkung hin überprüft werden. Dadurch kann erhoben werden, ob die Maßnahme weitergeführt bzw. nochmal durchgeführt werden soll oder ob es sinnvoller ist, den Fokus auf andere Aktivitäten zu verschieben.

Beim Qualitätsmanagement steht die Überprüfung der Qualität der Maßnahme im Vordergrund. Ziel ist es zu erheben, ob die Qualität der Maßnahme ausreichend ist bzw. diese weiter zu verbessern. Hierzu gibt es mit BYPAD (Bicycle Policy Audit) ein bekanntes Verfahren zur Ermittlung und Sicherung von Radverkehrspolitik. Andere Möglichkeit Maßnahmen zu evaluieren oder ihre Qualität zu messen, sind regelmäßige Befragungen oder die Schaffung von Feedbackmöglichkeiten. Auch immer wiederkehrende Radverkehrszählungen können dabei helfen. Eine frühzeitige Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern kann bei der Qualität der geplanten Maßnahme eine große Rolle spielen.

7.7 Komplementärmaßnahmen

Maßnahmen, die in erster Linie andere Verkehrsmittel adressieren, können indirekt zu einer Förderung des Radverkehrs beitragen. Dazu zählen insbesondere Maßnahmen, die den motorisierten Individualverkehr betreffen wie z.B. Fahrbeschränkungen und Restriktionen. Hierzu zählen sie Ausweisung von Schulstraße, Tempo-30-Zonen oder Einbahnregelungen. Aber auch Parkraumbewirtschaftung oder Verkehrsüberwachung und -kontrollen haben (zumeist positive) Auswirkungen auf den Fahrradverkehr.

7.8 Nachhaltige und langfristige Planung

Eine nachhaltige und vorausschauende Planung hilft Gemeinden und Regionen bei der Implementierung einer erfolgreichen Radverkehrsförderung. Oftmals müssen externe Faktoren und Rahmenbedingungen verändert werden, damit es zu einer langfristigen Attraktivierung des Radverkehrs kommt. Die betrifft dabei sowohl raumplanerische, rechtliche oder finanzielle Aspekte. So sollten Radverkehrsangelegenheiten, wie z.B. die Vorgabe für Fahrradabstellanlagen oder der Anschluss an ein bestehendes Radverkehrsnetz, bereits in Bebauungspläne und Baugenehmigungen Berücksichtigung finden. Durch Mobilitätsverträge können weitere den Radverkehr betreffende Maßnahmen zwischen Gemeinden und Baubewerber sichergestellt werden. Die Planung kompakter Siedlungen fördert den Radverkehrs, da aufgrund der kurzen Wege das Fahrrad ein effizientes Verkehrsmittel darstellt. Darüber hinaus hilft es, wenn der Radverkehr bei der Entwicklung eines Gemeindeentwicklungskonzeptes mitgedacht und

darin konkrete Ziele für den Radverkehr festgelegt werden. Ein Radverkehrsbudget hilft dabei, langfristige Förderung in Hinblick auf den Radverkehr sicherzustellen.

7.9 Übersicht über die Maßnahmen

Nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht über möglich Begleitmaßnahmen inkl. einer Einschätzung der damit verbundenen Kosten, des administrativen Aufwands, des Nutzens sowie der Akzeptanz in der Bevölkerung dar.

Maßnahme	Kosten	Administrativer Aufwand	Nutzen	Akzeptanz
Infrastruktur für den ruhenden Radverkehr (Kurzzeitparken)	Gering	Gering	Hoch	Hoch
Infrastruktur für den ruhenden Radverkehr (Langzeitparken)	Mittel bis hoch	Mittel	Mittel bis hoch	Hoch
Service	Gering	Gering	Gering	Hoch
Dienstleistungen	Mittel bis hoch	Mittel bis hoch	Mittel bis hoch	Hoch
Vernetzung mit dem öffentlichen Verkehr	Mittel	Mittel	Mittel bis hoch	Mittel bis hoch
Informationsmaterial	Mittel	Mittel	Mittel bis hoch	Mittel bis hoch
Bewusstseinsbildung	Gering	Gering	Mittel bis hoch	Mittel bis hoch
Kampagnen	Gering	Gering	Hoch	Hoch
Veranstaltungen	Gering	Gering	Hoch	Hoch
Förderungen	Gering	Mittel	Gering	Hoch
Evaluierung und Qualitätsmanagement	Gering	Mittel	Hoch	Hoch
Komplementärmaßnahmen	Gering	Gering bis mittel	Mittel bis hoch	Mittel
Nachhaltige und langfristige Planung	Gering bis mittel	Hoch	Hoch	Gering bis mittel

Tabelle 5: Übersicht über Begleitmaßnahmen und Abschätzung des Nutzen-Kosten-Verhältnis

8 Quellen und Literatur

Boss, Darren; Nelson, Trisalyn; Winters, Meghan; Ferster, Colin J. (2018): Using crowdsourced data to monitor change in spatial patterns of bicycle ridership. In: Journal of Transport and Health 9 (November 2017), S. 226–233. DOI: 10.1016/j.jth.2018.02.008.

Broach, Joseph; Kothuri, Sirisha; Miah, Md Mintu; McNeil, Nathan; Hyun, Kate; Mattingly, Stephen et al. (2023): Evaluating the Potential of Crowdsourced Data to Estimate Network-Wide Bicycle Volumes. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Artikel 03611981231182388. DOI: 10.1177/03611981231182388.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie – BMVIT (2017): Kosteneffiziente Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs in Gemeinden; Wien

FGSV (2012): EVE – Empfehlungen für Verkehrserhebungen: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (125).

Hans, Skov-Petersen; Bredahl, Jacobsen Jette; Elizabeth, Vedel Suzanne; Nielsen, Thomas Alexander Sick; Simon, Rask (2017): Effects of upgrading to cycle highways - An analysis of demand induction, use patterns and satisfaction before and after, JOURNAL OF TRANSPORT GEOGRAPHY, ISSN 0966-6923

Heesch, Kristiann C.; Langdon, Michael (2016): The usefulness of GPS bicycle tracking data for evaluating the impact of infrastructure change on cycling behaviour, HEALTH PROMOTION JOURNAL OF AUSTRALIA, ISSN 1036-1073

Heesch, Kristiann C.; James, Bruce; Washington, Tracy L.; Zuniga, Kelly; Burke, Matthew (2016): Evaluation of the Veloway 1: A natural experiment of new bicycle infrastructure in Brisbane, Australia, JOURNAL OF TRANSPORT & HEALTH, ISSN 2214-1405

Heinen, Eva; Harshfield, Amelia; Panter, Jenna; Mackett, Roger; Ogilvie, David (2017): Does exposure to new transport infrastructure result in modal shifts? Patterns of change in commute mode choices in a four-year quasi-experimental cohort study, JOURNAL OF TRANSPORT & HEALTH, ISSN 2214-1405

Hong, Jinhyun; McArthur, David Philip; Livingston, Mark (2020): The evaluation of large cycling infrastructure investments in Glasgow using crowdsourced cycle data. In: Transportation 47 (6), S. 2859–2872. DOI: 10.1007/s11116-019-09988-4.

Huber, Stefan (2022): Analyse des Routenwahlverhaltens von Radfahrenden auf Grundlage GPS-basierter Daten zum real beobachteten Verkehrsverhalten. Dissertation. Technische Universität Dresden.

Kwigizile, Valerian; Oh, Jun-Seok; Kwayu, Keneth (2019): Integrating Crowdsourced Data with Traditionally Collected Data to Enhance Estimation of Bicycle Exposure Measure.

Mitra, Raktim; Ziemba, Raymond A.; Hess, Paul M. (2017): Mode substitution effect of urban cycle tracks: Case study of a downtown street in Toronto, Canada, INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION, ISSN 1556-8318

Richter, Emely; Raudszus, Joscha; Lißner, Sven; Porojkow, Iwan (2023): Network-wide Estimation of Average Daily Bicycle Traffic Based on Crowdsourced GPS Data and Permanent Counters. Cycling Research Board. Wuppertal, 2023.

Standen, Christopher; Crane, Melanie; Collins, Andrew; Greaves, Stephen; Rissel, Chris (2017): Determinants of mode and route change following the opening of a new cycleway in Sydney, Australia, JOURNAL OF TRANSPORT & HEALTH, ISSN 2214-1405

Tao, Tao; Lindsey, Greg; Stern, Raphael; Levin, Michael (2024): The use of crowdsourced mobile data in estimating pedestrian and bicycle traffic: A systematic review. In: JTLU 17 (1), S. 41–65. DOI: 10.5198/jtlu.2024.2315.

Thakuria, Piyushimita (Vonu); Metaxatos, Paul; Lin, Jane; Jensen, Elizabeth (2012): An examination of factors affecting propensities to use bicycle and pedestrian facilities in suburban locations, TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT, ISSN

van Goeverden, Kees; Nielsen, Thomas Sick; Harder, Henrik; van Nes, Rob (2015): Interventions in bicycle infrastructure, lessons from Dutch and Danish cases, 8TH EURO WORKING GROUP ON TRANSPORTATION, EWGT 2015, ISSN 2352-14651361-9209