



RADBEST

Radverkehrsführung bei beengten Straßenverhältnissen

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
D-A-CH Kooperation
Verkehrsinfrastrukturforschung 2022

D-A-CH 2022



Juni 2024



Impressum

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

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

Invalidenstraße 44

10115 Berlin

Deutschland



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Bundesministerium für Klimaschutz (BMK)

Radetzkystraße 2

1030 Wien

Österreich



Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Papiermühlestrasse 13

3063 Ittigen

Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

Sensengasse 1

1090 Wien

Österreich





Für den Projektinhalt verantwortlich:

Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH
Jakob Haringer Straße 5/3
A-5020 Salzburg



con.sens verkehrsplanung zt gesellschaft m.b.h.
Kaiserstraße 37/15
A-1070 Wien



KFV (Kuratorium für Verkehrssicherheit)
Schleiergasse 18
A-1100 Wien



OST - Ostschweizer Fachhochschule Rapperswil
Institut für Raumentwicklung
Oberseestrasse 10
CH-8640 Rapperswil



Steinbeis Transferzentren GmbH an der Hochschule Karlsruhe,
Steinbeis-Transferzentrum Mobilitäts- und Verkehrsplanung
Willy-Andreas-Allee 19
D-76131 Karlsruhe



Paris Lodron Universität Salzburg
Fachbereich Geoinformatik – Z_GIS
Schillerstraße 30
A-5020 Salzburg



RADBEST

Radverkehrsführung bei beengten Straßenverhältnissen

DACH 2022

Auftragnehmer

Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH ¹

Paris Lodron Universität Salzburg, Fachbereich Geoinformatik – Z_GIS ²

Steinbeis Transferzentren GmbH an der Hochschule Karlsruhe, Steinbeis-Transferzentrum Mobilitäts- und Verkehrsplanung ³

OST - Ostschweizer Fachhochschule Rapperswill, Institut für Raumentwicklung ⁴

con.sens verkehrsplanung zt gmbh ⁵

Kuratorium für Verkehrssicherheit ⁶

Autorinnen und Autoren

Mag. Sven Leitinger, Hannah Wies MSc BSc ¹

Dr. Martin Loidl MSc MSc BSc, Christian Werner MSc BSc ²

Prof. Dr. Jochen Eckart, Michael Fath MA ³

Prof. DI Carsten Hagedorn, Rebecca Hunziker MSc, Lena Ruegge BSc ⁴

DI Michael Szeiler MAS, DI Mark Richter ⁵

DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Marlene Mellauner, Maria Fleischer MSc⁶

KURZFASSUNG

Problemstellung und Ziele

Die angestrebten hohen Radverkehrsanteile in Städten und Gemeinden erfordern ein durchgängiges, qualitativ hochwertiges Radverkehrsnetz. Die Straßenquerschnitte auf Hauptstraßen sind mitunter jedoch nicht ausreichend breit um richtlinienkonforme, baulich getrennte Radverkehrsanlagen zu errichten. Mangels geeigneter Ausweichrouten verbleiben oftmals genau diese Netzelemente als Lücken im Radverkehrsnetz. Im länderübergreifende Forschungsprojekt RADBEST wurde daher untersucht, wie Radfahren auf Hauptstraßen bei beengten Verhältnissen sicherer und komfortabler gestaltet werden kann. Für diese ausgewählten Straßenabschnitte galt es im Projekt geeignete Lösungsansätze für die Radinfrastruktur zu finden, die auch unter nicht optimalen Rahmenbedingungen ein möglichst sicheres und komfortables Benutzen für alle Gruppen von Radfahrer:innen ermöglichen.

Methoden

RADBEST verfolgte dabei einen drei-stufigen Multi-Methoden-Ansatz. In der ersten Stufe wurden der Status-Quo sowie die Problemfelder in den drei Ländern der D-A-CH-Region erarbeitet. Dabei wurden die einzelnen nationalen Gesetze, Regelwerke und Richtlinien einer Überprüfung unterzogen und zusammengeführt. In weiterer Folge fanden vertiefende Interviews mit Expert:innen der drei Länder der D-A-CH-Region statt. Abschließend wurden noch im Rahmen einer Literaturanalyse internationale Lösungsansätze und Best-Practice-Beispiele untersucht.

In der zweiten Stufe erfolgte auf Basis der Ergebnisse aus der ersten Phase eine umfassende Feldstudie zur empirischen Datenerfassung und -analyse für Lösungsansätze der Radverkehrsführung bei beengten Hauptstraßen in allen drei Ländern der D-A-CH-Region. Ein besonderer Schwerpunkt lag dabei auf der Ermittlung des Abstandes beim Überholen von Radfahrer:innen durch Kfz, weil dieser als maßgebender Parameter für die Sicherheit und den Komfort der Radfahrer:innen identifiziert wurde. Ein Überholabstand von 1,5 m wird im Ortsgebiet, als sicher und komfortabel angesehen, was sich auch in einem gesetzlich vorgeschriebenen Mindest-Überholabstand von 1,5 m in Deutschland und Österreich widerspiegelt. Als Bestandteil der Feldstudien wurden an ausgewählten Streckenabschnitten zudem Vorher-Nachher-Untersuchungen durchgeführt, aus denen erste Wirkungen von Radinfrastrukturmaßnahmen abgeleitet werden konnten.

In der Feldstudie kamen verschiedene Methoden der Datenerfassung und -analyse wie z.B. die Verwendung von Open Bike Sensoren, von stationären und mobilen LiDAR-Sensoren, Videobeobachtungen, humansensorische Messungen und Befragungen zum Einsatz. Insbesondere mit der eingesetzten LiDAR Sensorik (mobil und stationär) konnte ein neuer innovativer Messansatz demonstriert werden.

Auf Basis der Ergebnisse aus den beiden vorangegangenen Stufen wurden in der letzten Stufe Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen für das Radfahren auf Hauptstraßen bei beengten Verhältnissen abgeleitet. Die Ergebnisse wurden mit Expert:innen aus den drei Ländern der D-A-CH-Region diskutiert und die Rückmeldungen in die Studie eingearbeitet.

Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes konnten mehr als 7.000 Kfz-Überholvorgänge von Radfahrer:innen analysiert werden. Aufgrund der mehr als 20 Teststrecken in Deutschland, Österreich und der Schweiz liegen Ergebnisse für eine Vielzahl unterschiedlicher Straßen und verkehrlicher Rahmenbedingungen vor (Straßenbreite, Art der Radverkehrsanlage, Kfz-Verkehrsstärken, etc.). Gemeinsam mit den Ergebnissen der Literaturrecherche und den Interviews mit Expert:innen lassen sich daraus fundierte Thesen und konkrete Handlungsempfehlungen für die Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen ableiten.

Ein zentraler Lösungsansatz ist es, durch geeignete Maßnahmen dafür zu sorgen, dass Kfz-Überholvorgänge mit ausreichend großem Abstand zu Radfahrenden erfolgen oder unterlassen werden.

Bei Fahrbahnbreiten zwischen 6,5 und 9,5 Metern können mittels breiter Radstreifen und schmaler Kernfahrbahn große Überholabstände gewährleistet werden. Bei Fahrbahnbreiten unter 6,5 Metern lässt sich diese Lösung nicht umsetzen. Hier wird der „qualifizierte Mischverkehr“ mit Piktogrammketten / Sharrows und Tempo 30 als Präferenzlösung empfohlen – eventuell ergänzt um ein Überholverbot von Radfahrer:innen bzw. zusätzlichen Markierungen.

Auf Basis der stationären und mobil aufgezeichneten LiDAR-Daten konnten zahlreiche zusätzliche Parameter in den verschiedenen Phasen des Überholvorganges von Radfahrer:innen ermittelt werden (z.B. Überholgeschwindigkeit von Kfz sowie Abstand und Zeitdauer von Kfz vor dem Überholvorgang). Diese neuartigen und innovativen Mess- und Analysemethoden bilden die Basis für zukünftige tiefergehende Untersuchungen.

Neben den Lösungsansätzen für enge Abschnitte auf Hauptstraßen wurden, auf Basis der Erfahrungen aus den Feldtests, auch noch Empfehlungen für die Herbeiführung von evidenzbasierten Entscheidungen zur Radverkehrsführung erarbeitet und die in RADBEST eingesetzten Datenerfassungstechnologien hinsichtlich ihrer Einsatz- und Nutzbarkeit bewertet.

Schlussfolgerungen

Eine wesentliche Erkenntnis des Projektes ist, dass Kfz-Überholvorgänge von Radfahrer:innen Einzelereignisse darstellen, die von einer sehr großen Anzahl von Faktoren abhängig sind (Infrastruktur, örtliche Verhältnisse, menschliches Verhalten). Das führt dazu, dass bei beengten Verhältnissen – unabhängig von der Art der Radverkehrsanlage – eine sehr breite Streuung der Überholabstände vorliegt. Für die Radfahrer:innen heißt das wiederum, dass ein erheblicher Prozentsatz der Kfz-Überholvorgänge mit unzumutbar geringen Abständen erfolgt, wodurch das Radfahren auf diesen Strecken von Vielen als unangenehm oder unsicher wahrgenommen wird.

Insgesamt zeigt sich, dass es innovativer und neuer Lösungsansätze bedarf, um das Radfahren bei beengten Verhältnissen auf Hauptstraßen für alle Nutzer:innengruppen sicherer und attraktiver zu gestalten und damit wichtige Lücken im Radverkehrsnetz zu schließen. Die erarbeiteten Lösungsansätze bilden eine wichtige Grundlage für diese Lückenschlüsse in Städten und Gemeinden, denn oftmals sind es die beengten Hauptverkehrsstraßen, wo herkömmliche Radverkehrsanlagen gemäß den Richtlinien aus Platzgründen nicht realisierbar sind. Diese Lösungen sind in weiterer Folge in den einzelnen Ländern der D-A-CH-Region in der Praxis zu testen, zu evaluieren und weiterzuentwickeln.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Kurzfassung	5
Inhaltsverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einleitung	12
1.1 Ausgangssituation und Motivation	12
1.2 Zielsetzung und Lösungsansätze	13
2 Status Quo der Radverkehrsführung unter beengten Verhältnissen	15
2.1 Vergleich der Regelwerke, Richtlinien, Planungsempfehlungen und Problemfelder in der D-A-CH-Region	16
2.1.1 Übersicht Regelwerke, Richtlinien und Planungsempfehlungen in der D-A-CH-Region	16
2.1.2 Rechtliche Rahmenbedingungen in der D-A-CH-Region	18
2.1.3 Fachliche Regelwerke in der D-A-CH-Region	21
2.1.4 Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen in Deutschland	26
2.1.5 Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen in Österreich	28
2.1.6 Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen in der Schweiz	30
2.1.7 Vergleich der Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnisse in der D-A-CH-Region	31
2.2 Interviews mit Expert:innen	36
2.2.1 Relevante Regelwerke	38
2.2.2 Lösungsstrategien	41
2.2.3 Gründe für nicht realisierte Lösungen	44
2.2.4 Erfolgreiche Lösungen	48
2.2.5 Berücksichtigung Nutzer:innengruppen	51
2.2.6 Evidenzgrundlagen	52
2.3 Internationale Lösungsansätze und wissenschaftliche Studien	56
2.3.1 Design der Literaturanalyse	56
2.3.2 Aussagen der akademischen Studien	59
2.3.3 Ergebnisse aus der grauen Literatur	71
2.3.4 Synthese der Literaturanalyse	73
2.4 Zusammenfassung und Erkenntnisse	75
3 Feldstudien zur Bewertung von unterschiedlichen Radverkehrsführungen bei beengten Strassenverhältnissen	78
3.1 Definition Grundlagen für Feldstudien	79

3.2	Teststrecken und Radverkehrsführungen	81
3.3	Open Bike Sensor.....	86
3.3.1	Methode und Durchführung der Feldtests	86
3.3.2	Datenauswertung.....	88
3.3.3	Ergebnisse und Diskussion.....	89
3.4	Holoscene Fahrrad	99
3.4.1	Methode und Durchführung der Feldtests	99
3.4.2	Datenauswertung.....	101
3.4.3	Ergebnisse und Diskussion.....	102
3.5	Stationäre LiDAR Sensorik	108
3.5.1	Methode und Durchführung der Feldtests	108
3.5.2	Datenauswertung.....	110
3.5.3	Ergebnisse und Diskussion.....	111
3.6	Stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse.....	113
3.6.1	Methode und Durchführung der Feldtests	113
3.6.2	Ergebnisse und Diskussion.....	115
3.7	Humansensorischen Messungen	116
3.7.1	Methode und Durchführung der Feldtests	116
3.7.2	Datenauswertung.....	119
3.7.3	Ergebnisse und Diskussion.....	121
3.8	Befragungen	125
3.8.1	Methode und Durchführung der Feldtests	125
3.8.2	Datenauswertung und Ergebnisse	127
3.9	Zusammenfassung	128
4	Ableitung von Handlungsempfehlungen für Radverkehrsführungen bei beengten Verhältnissen	129
4.1	Ausgangsthesen und Schlussfolgerungen	129
4.1.1	Überholabstand als Indikator für Sicherheit und Komfort	129
4.1.2	Thesen zu Überholvorgängen und Schlussfolgerungen	130
4.2	Handlungsempfehlungen	132
4.2.1	Rechtliche Aspekte	132
4.2.2	Aspekte der Straßengestaltung und Verkehrsorganisation	132
4.2.3	Prinzipieller Lösungsansatz	133
4.2.4	Präferenzlösung für Radfahren bei beengten Verhältnissen	134
4.2.5	Präferenzlösung für Radfahren bei sehr beengten Verhältnissen	138
4.2.6	Anwendungsfälle für eine asymmetrische Radverkehrslösung bei beengten Verhältnissen	140
4.2.7	Präferenzlösung für Radfahren bei punktuellen Engstellen.....	141
4.2.8	Präferenzlösung für Radfahren bei Einrichtungsfahrbahnen	142
4.2.9	Resümee	142
4.3	Änderungserfordernisse von Normen und Regelwerken auf nationaler Ebene	147
4.3.1	Änderungserfordernis StVO bzw. Richtlinien in Deutschland	147
4.3.2	Änderungserfordernis StVO bzw. Richtlinien in Österreich	149
4.3.3	Änderungserfordernis Gesetzgebung und Richtlinien in der Schweiz.....	150

4.4	Begründung der Empfehlungen	152
4.4.1	Überholabstand (objektive/subjektive Sicherheit, Komfort)	152
4.4.2	Empfehlung qualifizierter Mischverkehr	153
4.4.3	Empfehlungen Engstellen und Einrichtungsfahrbahnen	153
4.4.4	Empfehlung Einbindung relevanter Akteure / partizipative Prozesse bei Lösungsfindung	154
5	Empfehlungen für evidenzbasierte Entscheidungen zur Radverkehrsführung	155
5.1	Prozess für evidenzbasierte Entscheidungen	156
5.2	Bewertung der in RADBEST eingesetzten Erhebungsmethoden	163
5.2.1	Bewertung einfache mobile Sensorik für Abstandsmessung.....	164
5.2.2	Bewertung Forschungsfahrrad.....	168
5.2.3	Bewertung Humansensorik.....	170
5.2.4	Bewertung stationäre LiDAR-Sensorik.....	172
5.2.5	Bewertung stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse	174
5.2.6	Bewertung Befragung	176
6	Literaturverzeichnis	179
7	Abbildungsverzeichnis.....	183
8	Tabellenverzeichnis.....	187
9	Anhang	188
	Anhang 1 Lösungsstrategien.....	188
	Anhang 2 Teststrecken	188
	Anhang 3 Fragebogen: Meta- und Zusatzinformationen von OBS-Testpersonen	188
	Anhang 4 Factsheets zur Befragung	188

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ASTRA	Bundesamt für Strassen (Schweiz)
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen (Deutschland)
D-A-CH	Deutschland-Österreich-Schweiz
EDA	Elektrodermale Aktivität
EDR	Elektrodermale Reaktion
EDL	Elektrodermales Level
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (Deutschland)
EFA	Empfehlungen für Fußgängerkehrsanlagen (Deutschland)
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Deutschland)
FGSO	Farbliche Gestaltung von Strassenoberflächen (Schweiz)
FSV	Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr
HVS	Hauptverkehrsstraßen
Kfz	Kraftfahrzeug
LiDAR	Light Detection and Ranging
MOS	Moment of Stress / Stressmoment
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NACTO	National Association of City Transportation Officials (USA)
OBS	Open Bike Sensor
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PPG	Photoplethysmographie
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (Deutschland)
RAST	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (Deutschland)
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (Österreich)
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
SVG	Strassenverkehrsgesetz (Schweiz)
UVEK	Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Schweiz)
VSS	Schweizerischen Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
VRV	Verkehrsregelverordnung (Schweiz)

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Der zügige Ausbau des Radverkehrsnetzes bzw. der Lückenschluss in bestehenden Netzen stellt in der D-A-CH-Region eine Voraussetzung zur Steigerung des Radverkehrsanteils dar, der zur Erreichung der europäischen bzw. nationalen Klimaziele zwingend erforderlich ist. In der täglichen Planungspraxis ist die Radverkehrsführung unter beengten Verhältnissen (kritische Querschnitte mit 6 bis 9 m Fahrbahnbreite) oftmals eine besondere Herausforderung. An diesen Abschnitten häufen sich Konflikte, die die objektive und subjektive Verkehrssicherheit beeinflussen. Beengte Verhältnisse können sowohl innerorts als auch außerorts auftreten, oftmals zählen beispielsweise Ortsdurchfahrten zu den Problemfeldern. In den Regelwerken zur Radverkehrsplanung in den Ländern der D-A-CH-Region werden zwar Empfehlungen gegeben, wie die Radverkehrsführung auf solchen Streckenabschnitten gestaltet werden kann, allerdings gibt es zum einen große Unterschiede in den Regelwerken und zum anderen in der Praxis einen großen Gestaltungsspielraum für die Umsetzung von Maßnahmen je nach Situation. Es gibt auch immer wieder Gründe, warum empfohlene Radverkehrsführungen in der Praxis nicht umgesetzt werden können. Erforderlich sind daher evidenzbasierte Empfehlungen und Referenzbeispiele zur praktischen Umsetzung von Maßnahmen sowie Methoden, um fachlich fundierte Entscheidungen zwischen verschiedenen Lösungsalternativen treffen zu können.

Neben den Planungshinweisen, Normen und Richtlinien aus der D-A-CH-Region gibt es auf der anderen Seite international anerkannte Regelwerke z.B. das CROW Manual (CROW Platform, Design Manual for Bicycle Traffic) oder Best Practice-Beispiele aus anderen europäischen Ländern. Diese Best Practice-Beispiele werden in der D-A-CH-Region oftmals aus unterschiedlichen Gründen in der Planungspraxis nicht umgesetzt. In den letzten Jahren wurden vor allem in Deutschland aber auch in Österreich und der Schweiz Projekte bzw. Studien durchgeführt, die die Wirkung von unterschiedlichen Radverkehrsführungen untersucht haben. Mobile Sensorik auf Fahrrädern (Sensorbikes) bzw. stationäre Sensorik erlauben mittlerweile die objektive und situative Bewertung unterschiedlicher Radverkehrsführungen. Auch dem subjektiven Sicherheitsempfinden kommt in Forschungsprojekten immer mehr an Bedeutung zu. Eine Gesamtbetrachtung, die sowohl die Regelwerke und Anwendung bzw. Nicht-Anwendung unterschiedlicher Radverkehrsführungen zwischen den Ländern der D-A-CH-Region vergleicht sowie konkrete Handlungsleitfäden für Verkehrsplaner:innen ableitet, fehlt bisher.

1.2 Zielsetzung und Lösungsansätze

Für die Lösung der Problemstellung wurden im Projekt RADBEST drei Hauptziele definiert (siehe Abbildung 1):

- Ziel 1: Status Quo der Radverkehrsführung unter beengten Verhältnissen
- Ziel 2: Feldstudien zur Bewertung von unterschiedlichen Radverkehrsführungen
- Ziel 3: Ableitung von Handlungsempfehlungen und Maßnahmen

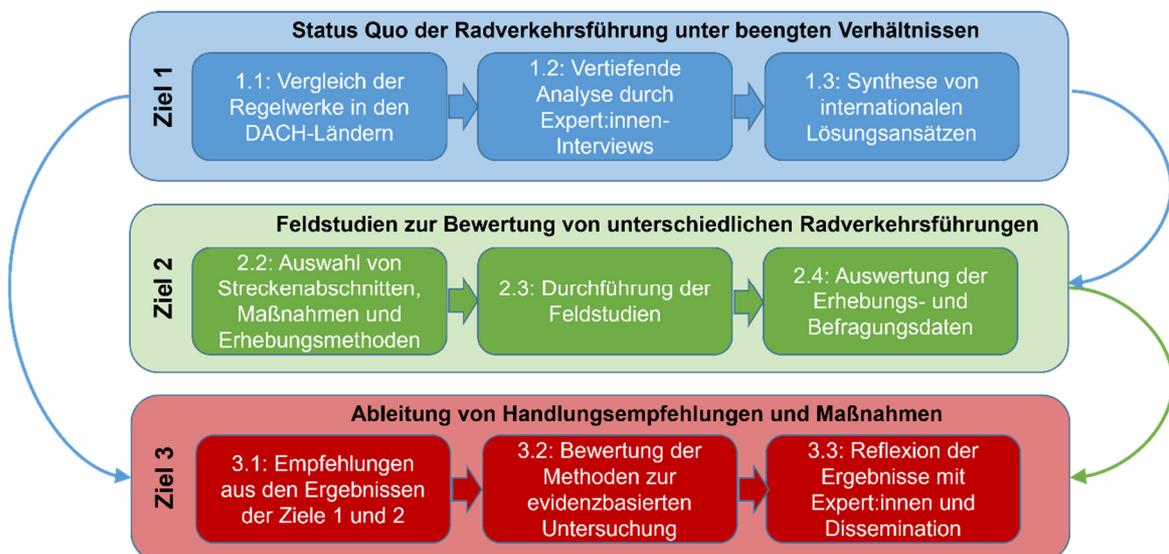


Abbildung 1: Ziele und Methoden von RADBEST.

Dabei werden im Rahmen des Ziel 1 „Status Quo der Radverkehrsführung unter beengten Verhältnissen“ der aktuelle Status, die unterschiedlichen Ansätze und die Problemfelder in den drei Ländern der D-A-CH-Region hinsichtlich der Radverkehrsführung bei Engstellen herausgearbeitet. Dazu werden die einzelnen nationalen Regelwerke und Richtlinien einem Review unterzogen und in einer Übersicht zusammengeführt. In weiterer Folge werden vertiefende Interviews zu den erarbeiteten Problemfeldern mit Expert:innen der drei Länder der D-A-CH-Region diskutiert und geschärft. Zusätzlich werden im Rahmen einer Literaturliteraturanalyse internationale Lösungsansätze und Best-Practice-Beispiele untersucht.

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Ziel 1 werden im Ziel 2 „Feldstudien zur Bewertung von unterschiedlichen Radverkehrsführungen“ repräsentative Streckenabschnitte in allen drei Ländern der D-A-CH-Region ausgewählt und die Lösungsansätze für Radverkehrsführungen bei Engstellen untersucht. Dabei werden verschiedene Methoden der Datenerfassung und -analyse wie z.B. die Verwendung von Open Bike Sensoren, von stationären und mobilen LiDAR-Sensoren, Videobeobachtungen, humansensorische Messungen und

Befragungen verwendet. Die Auswertungen der Messergebnisse beinhaltet sowohl Kennwerte der objektiven Sicherheit (z.B. Überholabstände, Geschwindigkeiten Rad/Kfz, etc.) als auch des subjektiven Sicherheitsempfindens der Radfahrer:innen (Sicherheit, Stress, Komfort).

Im Ziel 3 „Ableitung von Handlungsempfehlungen und Maßnahmen“ werden auf Basis der Ergebnisse der Ziele 1 und 2 evidenzbasierte Handlungsempfehlungen für Lösungsansätze zur zukünftigen Radverkehrsführung bei Engstellen ausgearbeitet. Diese Lösungsansätze werden unter Einbindung von Expert:innen aus den drei Ländern der D-A-CH-Region diskutiert. Zusätzlich werden Empfehlungen zur evidenzbasierten Entscheidungsfindung für zukünftige Fragestellungen gegeben sowie die in RADBEST eingesetzten Datenerfassungsmethoden bewertet.

Um diese Ziele zu erreichen, setzt sich das Konsortium von RADBEST aus einem multidisziplinären sowie multinationalen Konsortium mit folgenden Kompetenzen zusammen:

- Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH: Projektkoordination, langjährige Erfahrung zur Erhebung von empirischen Datengrundlagen im Radverkehr
- Universität Salzburg, Fachbereich Geoinformatik: GIS-basierte Radverkehrsplanung und -simulation, Bewertung der objektiven und subjektiven Radverkehrssicherheit
- Steinbeis Transferzentren GmbH an der Hochschule Karlsruhe, Steinbeis-Transferzentrum Mobilitäts- und Verkehrsplanung, Prof. Eckart, Professur für Verkehrsökologie: langjährige Erfahrung mit Natural-Cycling-Studien, Abstandsmessung, Vertretung BMDV Stiftungsprofessur Radverkehr
- Ostschweizer Fachhochschule, Kompetenzzentrum Fuss- und Veloverkehr, Prof. Hagedorn: langjährige Erfahrungen in der Schweizer Radverkehrsplanung sowie Richtlinienarbeit
- con.sens verkehrsplanung zt gmbh: langjährige Erfahrung in der österreichischen und deutschen Radverkehrsplanung sowie Richtlinienarbeit
- KFV (Kuratorium für Verkehrssicherheit): langjährige nationale und internationale Erfahrung zu Radverkehrssicherheit sowie Richtlinienarbeit

2 STATUS QUO DER RADVERKEHRSFÜHRUNG UNTER BEENGTE VERHÄLTNISSEN

Der spezifische Anlassfall der gegenständlichen Studie sind Hauptverkehrsstraßen, bei denen an sich eine räumliche Trennung des Radverkehrs notwendig wäre, diese aber aufgrund beengter Verhältnisse nicht möglich ist. Als Grundlage für die nachfolgend beschriebenen, empirischen Untersuchungen und als Referenz für die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen wird in einem ersten Schritt der Status-quo aus mehreren Perspektiven beleuchtet. Einerseits werden bestehende Regelwerke in der D-A-CH-Region auf a) den definierenden Rahmen und b) Anhaltspunkte für Lösungsvorschläge untersucht und nationale Unterschiede herausgearbeitet. Andererseits werden Expert:innen aus der D-A-CH-Region, über das RADBEST-Konsortium hinaus, konsultiert und die bestehende akademische Literatur systematisch untersucht.

2.1 Vergleich der Regelwerke, Richtlinien, Planungsempfehlungen und Problemfelder in der D-A-CH-Region

Für die nachfolgenden Ausführungen wird „Regelwerk“ als Überbegriff für sämtliche gesetzliche Grundlagen, sowie Darstellungen des Stands der Technik in Form von Richtlinien und Planungsempfehlungen verwendet. Die Auswahl der relevanten Regelwerke in der D-A-CH-Region erfolgte im Rahmen eines Workshops mit Expert:innen aus allen drei Ländern aus dem Konsortium von RADBEST (25.11.2022, Universität Salzburg). Dabei wurden rechtliche Grundlagen, Richtlinien und Planungsempfehlungen jeweils für die drei Länder, sowie internationale Referenzbeispiele gesammelt und geclustert. Für die Analyse im Folgenden liegt der Fokus auf der D-A-CH-Region.

Die rechtlichen und fachlichen Rahmenbedingungen sind in allen drei Ländern der D-A-CH-Region jeweils mehrstufig aufgebaut. Diese institutionellen Rahmenbedingungen zur Führung des Radverkehrs in beengten Verhältnissen werden kurz dargestellt und die grundlegende Logik des Zusammenspiels der rechtlichen und fachlichen Dokumente aufgezeigt

2.1.1 Übersicht Regelwerke, Richtlinien und Planungsempfehlungen in der D-A-CH-Region

Ein Überblick über die rechtlichen Grundlagen sowie der Stand der Technik in fachlichen Regelwerken und Richtlinien für Radverkehrsführungen unter beengten Verhältnissen in der D-A-CH-Region sowie darüber hinaus wird geschaffen. Eine Übersicht über die Art der Dokumente bietet Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht rechtliche Grundlagen, Richtlinien und Empfehlungen in der D-A-CH-Region.

	DE	AT	CH	Int.
Rechtliche Grundlagen	Ratifizierung 1978	Ratifizierung 1982	Ratifizierung 1992	Wiener Übereinkommen Straßenverkehr und Straßenverkehrszeichen
	Straßenverkehrsgesetz Bund		Strassenverkehrsgesetz Veloweggesetz	Nationale Gesetze in Frankreich, Dänemark, Belgien, Niederlande
	Straßenverkehrsgesetze Länder		Kantonale Gesetze und Verordnungen Strassengesetz des Kantons St. Gallen	

			Strassenverordnung des Kantons St. Gallen:	
	Straßenverkehrsordnungen inkl. Verwaltungsvorschrift	Straßenverkehrsordnung Kraftfahrzeuggesetz Führerscheingesetz Straßenverkehrszeichenverordnung Bodenmarkierungsverordnung Fahrradverordnung	Signalisationsverordnung Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge	
	Gerichtsurteile	Gerichtsurteile		
	Verkehrsministerkonferenz			D-A-CH Abstimmungsrunden
Stand der Technik (Richtlinien, Empfehlungen)	FGSV-Regelwerke	RVS Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen Klimarelevante RVS FSV Empfehlung Tempo 30/80/100 (Heft Nr. 025) Öffentlicher Verkehr Richtlinie	VSS Normen	Richtlinien Luxemburg CROW Manual Frankreich: Empfehlungen und Erfahrungsberichte zur Veloplanung UK Sustrans Handbook
			Kantonale Richtlinien St. Gallen – Entwurfselemente innerorts Richtlinie Velostandards Kanton Zürich	
	Musterlösungen für Radverkehrsanlagen in Baden-Württemberg	Projektierungshandbuch Öffentlicher Raum Stadt Wien	Kantonale Standards Velostandard Stadt Zürich	Copenhagenize
	Standards für Landesnetze		Masterplan Veloinfrastruktur - Standards Stadt Bern	
			Handbücher ASTRA	
			Empfehlung der Uni-Lausanne: Guide de promotion du vélo	

2.1.2 Rechtliche Rahmenbedingungen in der D-A-CH-Region

Am Beginn stehen die internationalen Regelungen, denen alle drei Länder der D-A-CH-Region beigetreten sind, insbesondere das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr sowie das Wiener Übereinkommen über Straßenverkehrszeichen beide aus dem Jahr 1968. Ziel der Abkommen ist den länderübergreifenden Verkehr zu erleichtern und die Verkehrssicherheit durch einheitliche Verkehrsregeln sowie vereinheitlichte Piktogramme und Verkehrszeichen zu erhöhen. Die Übereinkommen bilden damit die Basis für eine weitgehende, wenn auch nicht vollständige, Vereinheitlichung der Verkehrsregeln und -zeichen in der D-A-CH-Region und bieten einen gemeinsamen Abstimmungsmechanismus.

Trotz dieser gemeinsamen Übereinkommen werden in der D-A-CH-Region teilweise im Detail abweichende Begriffe verwendet. Vor den weiteren Ausführungen wird daher zunächst ein kurzes Glossar erstellt. Die Begriffe werden im nachfolgenden Synonym verwendet. Bei länderspezifischen Regelwerken, Beispielen, etc. wird der länderspezifische Begriff verwendet.

Tabelle 2: Glossar Radverkehr in D-A-CH-Region.

Begriff	Erklärung
Fahrrad (DE und AT), Velo (CH)	Fahrrad ist ein Fahrzeug mit mindestens zwei Rädern, welches durch Muskelkraft der darauf befindlichen Person angetrieben wird. Dazu zählen auch Fahrzeuge mit elektrischer Tretunterstützung, wenn diese nicht allein mit Elektrokraft betrieben werden können, sondern eine Tretbewegung erfordern (darunter fallen „Pedelecs“, nicht jedoch „E-Scooter“). Velo ist der Helvetismus für Fahrrad.
Fahrradstreifen	Fahrradstreifen dient als Überbegriff für alle fahrbahngebundenen Radverkehrsanlagen wie Schutzstreifen (DE), Radfahrstreifen (DE und AT), Mehrzweckstreifen (AT), Rad-/Velostreifen (CH) oder Radstreifen (CH).
Fußgängerstreifen, Zebrastreifen, Fußgängerübergang, Schutzweg, Fußgängerüberweg	Fußgängerstreifen (CH), Fußgängerüberweg (DE) Schutzweg (AT) sind die offiziellen Begriffe, Zebrastreifen der umgangssprachliche Begriff.
Mehrzweckstreifen	Dieser Begriff wird in den Ländern der D-A-CH-Region unterschiedlich verwendet: Für DE: Außerorts befestigte Seitenstreifen mit einer Breite von 1,5 bis 2,0 m die auch von Radfahrer:innen genutzt werden können. Für AT: Fahrbahngebundene Radverkehrsanlage, auf der der Radverkehr Vorrang hat, die jedoch von anderen Fahrzeugen befahren werden darf, sofern die Breite der Kernfahrbahn (u.a. im Begegnungsfall) nicht ausreichend ist. Für CH: Fläche in der Fahrbahnmitte, dient Fußgänger:innen zum Queren sowie Fahrrädern und motorisiertem Verkehr zum Einspuren und Abbiegen.
Piktogrammreihe / Sharrows	Piktogrammreihen sind Radverkehrs-Sinnbilder die auf Mischverkehrsfahrbahnen aufgebracht werden, um den Kfz-Verkehr auf das Vorhan-

Begriff	Erklärung
	densein und die besondere Schutzbedürftigkeit des Radverkehrs hinzuweisen. Sharrows ist die Ergänzung der Radverkehrs-Sinnbilder um Winkelpfeile.
Radfahrstreifen (DE und AT), Radstreifen mit durchgezogener Linie (CH)	Mit Radfahrstreifen (DE, AT) bzw. Radstreifen (CH) bezeichnen wir in diesem Bericht eine fahrbahngebundene Radverkehrsanlagen die allein dem Radverkehr vorbehalten sind und nicht vom fließenden Kfz-Verkehr befahren werden dürfen. Diese gelten als Trennprinzip. Sie können eventuell abschnittsweise auch baulich oder durch Poller von der restlichen Fahrbahn getrennt werden. In diesem Fall spricht man in (AT) von „geschützten Radfahrstreifen“. In der Schweiz wird auch diese Radverkehrsanlage Radstreifen genannt.
Schutzstreifen (DE), Mehrzweckstreifen (AT), Rad-/Velo-streifen (CH)	Fahrbahngebundene Radverkehrsanlage, auf der der Radverkehr Vorrang hat, die jedoch von anderen Fahrzeugen befahren werden darf, sofern die Breite der Kernfahrbahn (u.a. im Begegnungsfall) nicht ausreichend ist.
Trottoir (CH), Bürgersteig (DE), Gehsteig (AT)	Das Trottoir ist der dem Fußverkehr zustehende Teil einer Straße. Es verläuft direkt neben der Fahrbahn und ist von dieser baulich abgegrenzt. Ein Trottoir ist etwa 2 Meter breit und um mindestens 5 Zentimeter gegenüber der Fahrbahn erhöht. Grundsätzlich dürfen nur Fußgängerinnen und Fußgänger das Trottoir benützen.
Veloinfrastruktur (CH) Radfahranlage (AT) Radverkehrsführung/-infrastruktur (DE)	Gesamtheit aller baulichen oder durch Markierung hergestellten Anlagen für den Radverkehr (Radwege, Radfahrstreifen, Mehrzweckstreifen etc.). Darunter fallen keine rein verkehrsorganisatorischen Maßnahmen wie Radfahren gegen die Einbahn, Radfahren auf Busfahrstreifen oder Piktogrammketten.

Die Straßengesetze von Bund und Länder bzw. Kantone in der D-A-CH-Region umfassen nur sehr allgemeine Grundsätze zum Entwurf und der Planung der Verkehrsinfrastruktur. Beispielhaft kann das Straßengesetz für Baden-Württemberg (StrG) stehen, das in § 9 (1) darstellt, „*dass die Träger der Straßenbaulast [...] die Straßen in einem dem regelmäßigen Verkehrsbedürfnis genügenden und den allgemein anerkannten Regeln des Straßenbaus entsprechenden Zustand zu bauen, zu unterhalten, zu erweitern oder sonst zu verbessern haben*“. Über diesen offenen Rechtsbegriff „der allgemein anerkannten Regeln des Straßenbaus“ hinaus umfassen die Straßengesetze meist keine konkreten Angaben zu Abmessungen von Verkehrsanlagen.

Das per 1. Januar 2023 in Kraft getretene Veloweggesetz in der Schweiz verpflichtet den Bund und die Kantone, für ein zusammenhängendes und sicheres Velowegnetz zu sorgen. Es hält fest, dass Velowege, wo möglich und angebracht, vom motorisierten Verkehr und Fußverkehr getrennt werden sollen. Es werden jedoch auch in diesem Gesetz keine Angaben zu Abmessungen von Verkehrsanlagen gemacht.

Als nächste Ebene gilt der Erlass von Straßenverkehrsordnungen in der D-A-CH-Region. Die Straßenverkehrsordnungen umfassen Grundregeln des Verkehrsablaufes, allgemeine

Verkehrsregeln und spezielle Regeln durch Verkehrszeichen, die sich an die Verkehrsteilnehmer:innen richten. Zudem enthalten die Straßenverkehrsordnungen auch Durchführungsvorschriften, die sich insbesondere an die Verwaltung richten. Die Regelungen bilden den vorgegebenen Verkehrsregelungen und den Bedingungen, unter denen sie angeordnet werden können, sowie den Lösungsraum für die Führung des Radverkehrs bei beengten Querschnitten. Im Mittelpunkt stehen insbesondere die verschiedenen möglichen Führungsformen wie im Mischverkehr mit dem Kraftfahrzeugs-(Kfz)-Verkehr als auch auf eigenständigen Radverkehrsanlagen (Radweg, Gemeinsamer Geh- und Radweg, Getrennter Rad- und Gehweg etc.). Die Anordnung der Führungsformen ist teilweise an bestimmte bauliche und betriebliche Anforderungen der Radinfrastruktur geknüpft. Die Straßenverkehrsordnungen arbeiten überwiegend mit offenen Rechtsbegriffen wie „*unter Berücksichtigung der gewünschten Verkehrsbedürfnisse ausreichend breit*“ (Zu § 2 Abs. 4 Satz 2 VwV-StVO) und umfasst keine konkreten Angaben zu den Abmessungen von Verkehrsanlagen. Zudem umfasst die Straßenverkehrsordnung auch Regelungen zu den Überholabständen. Aufgrund der hohen Bedeutung für die Themenstellung der Radverkehrsführung auf beengten Bedingungen werden diese für die einzelnen Länder einzeln ausgeführt:

- In Deutschland ist im Hinblick auf die Führung des Radverkehrs auf engen Fahrbahnen der §5 StVO mit der Regelung der Überholvorgänge Kfz-Rad zu berücksichtigen. Überholen: ist nach Schurig (2015) „*das Sichvorbeibewegen eines von hinten herankommenden Fahrzeugs an einem anderen das auf der gleichen Fahrbahn in der selben Richtung fährt oder verkehrsbedingt wartet*“. Überholvorgänge dürfen nur links und ohne Behinderung des Gegenverkehrs durchgeführt werden (§ 5 Abs. 1-2 StVO). Bei Überholvorgängen von Kfz gegenüber dem Radverkehr muss eine Behinderung ausgeschlossen werden. Dafür ist seit dem Jahr 2021 innerorts ein Abstand von mindestens 1,5 m und außerorts von 2,0 m zwischen Kfz und Fahrrad einzuhalten (§2 Abs. 4 StVO). Diese Mindestüberholabstände konkretisieren die vor 2021 gültige Regelung der StVO eines „*ausreichenden Seitenabstandes*“ zwischen Kfz und Fahrrad einzuhalten. Bereits vor 2021 hat jedoch die Rechtsprechung den ausreichenden Überholabstand Kfz und Fahrrad als 1,5 m bei unter 90 km/h und 2,0 m bei über 90 km/h definiert (OLG Hamm, Az. 9 U 66/92). Die Verhaltensregeln zum Überholvorgang beziehen sich auf Verkehrsteilnehmer die sich auf der gleichen Fahrbahn bewegen (Radverkehr im Mischverkehr; Schutzstreifen (DE)) Laut Müller (2018) gelten die Regelungen zum Überholabstands unter Berufung auf § 1 Abs. 2 StVO und dem BGH-Gerichtsurteile (BGH, Az. 4 StR 508/74, BGHSt 26, 73-79, Rn.

1) aber auch für Radfahrstreifen die eigentlich einen Sonderweg bilden. Der §5 StVO bildet eine Verhaltensvorschrift, die sich in erster Linie an die Verkehrsteilnehmer:innen richtet. So muss ggf. unter Mitbenutzung der Gegenfahrbahn überholt werden oder bei fehlendem Raum muss das Überholen unterbleiben. Direkte Vorgaben für die Verwaltung zur Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur lassen sich aus den Vorschriften nicht ableiten. Jedoch sollte durch die Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur darauf hingewirkt werden, dass die Verkehrsteilnehmer:innen die Überholabstände einhalten.

- In Österreich wird als Überholen „*das Vorbeibewegen eines Fahrzeuges an einem auf derselben Fahrbahn in der gleichen Richtung fahrenden Fahrzeug*“ (§ 2 Abs. 1 Nr. 29 StVO 1960) bezeichnet. Nicht als Überholen gilt das Vorbeifahren „...*an einem auf einem Radfahrstreifen fahrenden Radfahrer*“ durch (Kraft-)Fahrzeuge, wodurch für den Radverkehr auf fahrbahngebundenen Radverkehrsanlagen (Radfahr- oder Mehrzweckstreifen (AT)) eine Sonderregelung entsteht (§ 2 Abs. 1 Nr. 29 StVO 1960). Grundsätzlich gilt für das Überholen von Radfahrer:innen durch Kfz innerorts ein seitlicher Abstand von 1,5 m und außerorts von 2,0 m. Ist die gefahrene Geschwindigkeit des überholenden Kfz niedriger als 30 km/h, so kann der seitliche Abstand verringert werden (§ 15 Abs. 4 StVO 1960). Aufgrund der oben angeführten Sonderregelung gelten die definierten Überholabstände nicht, wenn sich Radfahrer:innen auf einem Radfahr- oder Mehrzweckstreifen (AT) bewegen, wodurch es zu sehr knappen, aber dennoch legalen Überholvorgängen von Radfahrer:innen durch Kfz kommen kann.
- In der Schweiz gab es verschiedene politische Vorstöße, um einen Mindest-Überholabstand von 1,50 m festzusetzen. Der Bundesrat sah die geltende Regelung als ausreichend, wonach die überholenden Verkehrsteilnehmer:innen auf diejenigen, welche sie überholen wollen, besondere Rücksicht nehmen müssen (vgl. Strassenverkehrsgesetz vom 19. Dezember 1958). Der Abstand bei einer Überholung sei von Fall zu Fall zu beurteilen und sei schwierig zu kontrollieren.

2.1.3 Fachliche Regelwerke in der D-A-CH-Region

Die Straßenverkehrsordnungen umfassen in allen Ländern der D-A-CH-Region nur vereinzelt Angaben zu den Mindestmaßen von Fahrbahnen sowie Radverkehrsanlagen. So gibt es in Deutschland Angaben zur Mindestbreite von Radwegen und Radfahrstreifen. Auch ist definiert, wie breit ein Fahrstreifen sein muss, damit er eine Leitlinie als Mittelmarkierung

erhält. Bei zahlreichen weiteren Abmessungen arbeitet die Straßenverkehrsordnungen sowie die dazugehörigen Verwaltungsvorschriften mit offenen Rechtsbegriffen wie „hinreichender Bewegungsraum für die Radfahrer:innen“ (Zu § 2 zu Abs. 4 Satz 2 Nr. 5 VwV-StVO), nennen aber keine konkreten Maße. Diese offenen Rechtsbegriffe müssen im Einzelfall operationalisiert werden, was durch fachliche Standards wie Regelwerke, Richtlinien und Empfehlungen geschieht.

Für die Planer:innen sind die fachlichen Standards nicht unmittelbar verbindlich. Jedoch verweisen wie oben dargestellt sowohl die Straßengesetze und Straßenverkehrsordnungen auf die anerkannten Regeln der Technik, an die sich die Planer:innen zu halten haben. Auch wenn das technische Regelwerk keine verbindliche Rechtsnorm ist, so konkretisiert dieses die sachverständig allgemein anerkannten Regeln des Straßenbaus. So weist in Deutschland beispielsweise das Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg (1694/11) darauf hin, dass das technische Regelwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) Anhaltspunkte liefert, wie Straßen im Normalfall nach ihrem Raumbedarf zu entwerfen sind. Einschränkend weist der Bundesgerichtshof jedoch darauf hin, dass Gerichte technische Regelwerke nicht wie Rechtsnormen anwenden und nicht ungeprüft Entscheidungen zugrunde legen dürfen. In der Praxis von Verwaltungsgerichten kommt dem technischen Regelwerk jedoch eine sehr hohe Bedeutung als fachliche Orientierungshilfe der Richter:innen zu. Argumentiert wird, dass in den technischen Regelwerken der naturwissenschaftlich-technische Sachverstand der Verkehrsplanung zum Ausdruck kommt. Sie bilden dabei eine Tatsachenfeststellungen, wenn ein Gericht eine solche Vorschrift anwendet und aus diesen Folgerungen für den konkret zu entscheidenden Einzelfall zieht. Für Planer:innen und Straßenbaulastträger bedeutet dies, dass sie sich innerhalb des erforderlichen pflichtgemäßen Ermessens bewegen, wenn sie dem technischen Regelwerk folgen. Sie können zwar davon abweichen, wenn die angedachten Lösungen den spezifischen Anforderungen nachweislich besser gerecht werden als das allgemeine Regelwerk. Regelwerke liefern Hilfestellungen für verschiedene Fragen im Planungsprozess. Sie liefern Bewertungsmaßstäbe für den aktuellen Stand der Infrastruktur, bieten Vorlagen für Bestandsaufnahmen und Analysen und machen Vorgaben für die Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur. Die Regelwerke definieren damit einen Lösungsraum in der Praxis bewährter Lösungen. Die Regelwerke definieren dabei meist Mindestempfehlung und hindern nicht, weitere und bessere Maßnahmen zu ergreifen.

Die Genehmigung verkehrsplanerischer Projekte erfolgt durch die jeweils zuständige Behörde. In Österreich gibt es die Besonderheit der Verkehrssachverständigen, die entweder

als Teil der Behörde oder als nicht weisungsgebundene Amtssachverständige für Verkehrstechnik für die sachverständige Genehmigung verkehrsplanerischer Projekte zuständig sind. Die Sachverständigen haben in der Auslegung der Straßenverkehrsordnung und der fachlichen Regelwerke einen Spielraum in der Interpretation, der zu unterschiedlichen Beurteilungen analoger Situationen führt.

In der D-A-CH-Region gibt es Regelwerke auf Ebene Bund, Länder / Kantone und Kommunen. Diese sind in den verschiedenen Ländern jeweils durch eigene Fachorganisationen organisiert. Die Praxis der Verkehrsplanung in Deutschland und Österreich ist jeweils durch Standardisierung in Form bundeseinheitlicher fachlicher Regelungen geprägt. Für die Verkehrsteilnehmer:innen ermöglichen die einheitlichen Lösungen eine Vergleichbarkeit und für über verschiedene Kommunen hinweg arbeitende Verkehrsplaner:innen bilden die Standards eine Arbeitserleichterung. In der Schweiz haben hingegen neben bundeseinheitlichen Regelungen auch kantonale oder gar kommunale Regelungen eine hohe Bedeutung. Diese geben die lokale Verkehrs- und Mobilitätskultur wieder und ermöglichen eine schnelle lokale Anpassung. Es wird ein kurzer Überblick über die fachlichen Regelwerksgeber in den Ländern der D-A-CH-Region gegeben.

- In Deutschland erfolgen die technischen Vorgaben für die Gestaltung von Verkehrsplanung in den Regelwerken der FGSV. Von den mehr als 400 Einzelwerken befassen sich elf Regelwerke speziell mit dem Fahrradverkehr (Empfehlungen für Radverkehrsanlagen ERA, 2010, Merkblatt zur Wegweisenden Beschilderung für den Radverkehr, 1998, Hinweise zu Park+Ride (P+R) und Bike+Ride (B+R), 2018, Hinweise zum Fahrradparken, 2012, Hinweise zum Radverkehr außerhalb städtischer Gebiete H RaS, 2002, Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs HSRa, 2005, Ad hoc Papier zu sogenannten „geschützte Kreuzungen“, 2021, Hinweise zu Rad-schnellverbindungen und Radvorrangrouten H RSV, 2021; Hinweise zur einheitlichen Bewertung von Radverkehrsanlagen H EBRA, 2021 und Arbeitspapier Betrieb von Radverkehrsanlagen AP BeRad, 2021). Daneben gibt es auch noch Regelungen auf Ebene Bundesländer wie z.B. die Musterlösungen des Landes Baden -Württemberg.
- In Österreich bestehen die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS). Diese bestehen aus mehr als 300 thematischen Teilen und geben den Stand der Technik wieder, so auch für Radverkehrsinfrastruktur (03.02.13) oder die Gestaltung von Innerortsstraßen (03.04.12).

- In der Schweiz werden die nationalen Regelungen insbesondere durch den Schweizerischen Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) in einem Normenwerk organisiert (VSS, 2022). In der Praxis werden zusätzlich Regelungen auf Ebene von Kantonen und Gemeinden verwendet.

Die in den einzelnen Ländern der D-A-CH-Region bestehenden fachlichen Regelwerke, Richtlinien und Empfehlungen werden nicht einzeln dargestellt. Vielmehr erfolgt eine detaillierte vergleichende Analyse der verschiedenen Regelungen für verschiedene Radverkehrsführungen unter beengten Verhältnissen. Bei der Analyse werden die nachfolgenden Lösungsstrategien betrachtet:

- Strategie Mischen Fuß und Rad
 - Gehsteig, für Fahrräder gestattet
 - Gemischter Geh- und Radweg
 - Fußgängerzone ausg. Radverkehr
- Strategie Mischen Rad und Kfz
 - Einseitiger Radfahrstreifen
 - Beidseitiger Radfahrstreifen
 - Kernfahrbahn / Schmalfahrbahn
 - Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen
 - Fahrrad auf Busstreifen
 - Mischverkehr
 - Mischverkehr Fahrbahn mit markierten Bändern am Fahrbahnrand
 - Mischverkehr Fahrbahn mit Piktogrammketten / Sharrows
 - Fahrradstraße
 - Einbahn mit Fahrradgegenverkehr
- Strategie Mischen Rad, Fuß und Kfz
 - Begegnungszone
 - Verkehrsberuhigter Bereich als Mischverkehrsfläche

Die Details für die verschiedenen Lösungsstrategien sind im Anhang 1 Lösungsstrategien dokumentiert. Im Folgenden (Kapitel 2.1.4 – 2.1.6) werden die in den fachlichen Regelwerken dargestellten Lösungen zur Radverkehrsführung für die einzelnen Länder der D-A-CH-Region in Form einer Abbildung sowie einem erläuternden Text zusammengefasst. In den Diagrammen wird abhängig von den verfügbaren Fahrbahnbreiten unter beengten Verhältnissen dargestellt, welche Führungsformen für den Radverkehr zur Verfügung stehen.

Dafür ist zunächst zu klären, was in den verschiedenen Ländern in Anlehnung an die fachlichen Regelwerke unter „Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen“ zu verstehen ist.

- Deutschland <10,2 m ergibt sich aus den Regelmaße 2*1,85 m Radfahrstreifen + 6,5 m Fahrbahn (Hauptverkehrsstraßen (HVS) mit Linienbusverkehr).
- Österreich <9,5 m die sich ebenfalls aus der Addition der Regelmaße für Radfahrstreifen sowie Fahrbahn für HVS ergibt
- Schweiz 6,0 – 9,0 m Fahrbahnbreite.

Beim Zutreffen der nachfolgenden Kriterien handelt es sich nicht um beengte Verhältnisse:

- Wenn Parken auf der Fahrbahn möglich ist, handelt es sich nicht um einen beengten Querschnitt, da noch Platzressourcen für Aktivierung bestehen.
- Die Regelmaße für Radfahrstreifen (die in Deutschland und Österreich als getrennte Führungsform angesehen werden) sowie Fahrbahn werden als Grenzen für beengte Verhältnisse angesehen.
- Auch Situationen, in denen eine Führung des Radverkehrs auf eigenständigen Radverkehrsanlagen im Seitenraum (unabhängig vom Gehweg) möglich ist, sind keine beengten Verhältnisse.
- Bereich mit kurzen Engstellen werden im Folgenden nicht gesondert betrachtet.

Zudem werden in den fachlichen Regelwerken auch besonders kritische Querschnitte definiert, bei denen eine besondere Gefahr enger und häufiger Überholvorgänge zwischen Kfz und Rad bestehen.

- Deutschland: Im deutschen Regelwerk wird der Bereich von 6,0 – 7,0 m explizit als besonders kritisch angesehen
- Österreich: In Österreich wird dargestellt, dass die Fahrstreifenbreite beim Mischverkehr entweder kleiner 3,0 oder größer 3,75 m sein soll. Bei zwei Fahrstreifen ergibt sich daraus eine Fahrstreifenbreite von 6,0 – 7,5 m als kritischer Bereich.
- Schweiz: In der Schweiz wird die Breite 6,0 – 7,0 m aufgrund des Gutachtens von Reichenbach et al. (2003) als kritisch angesehen.

Basierend auf dieser Abgrenzung wird im Folgenden insbesondere eine Fahrbahnbreite von 6,0 bis 9,0 m als beengte Verhältnisse im Detail betrachtet. Für diesen Bereich wird dargestellt, welche Lösungsvorschläge das technische Regelwerk bietet.

2.1.4 Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen in Deutschland

In Deutschland stehen für eine Fahrbahnbreite von 6,0 bis 9,0 m nach dem technischen Regelwerk folgende Lösungen zur Verfügung:

- Mischverkehrsflächen für Fuß, Rad und Kfz wie verkehrsberuhigte Bereiche sind mit niedrigen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten (Schrittgeschwindigkeit 4 – 7 km/h) sowie sehr geringen Verkehrsmengen von <50 – 100 Kfz/h eine mögliche Führungsform. Verkehrsberuhigte Bereiche eignen sich nur für einzelne Straßen mit überwiegender Aufenthaltsfunktion und sehr geringen Kfz- und Radverkehr. Mögliche Querschnitte sind 5,75 m mit 3,5 m Fahrgasse für Kfz, Rad und Fuß sowie mit einer sanften Trennung 2,25 m nur für Fuß. Die Fahrgassenbreite soll den Begegnungsfall Pkw/Rad ermöglichen. Eine andere Variante ist 8,0 m Gesamtbreite mit 3,5 m Fahrgasse + 2*2,25 m Fußgängerbereich mit sanfter Trennung.
- Mischverkehr Rad und Kfz auf einer Fahrbahn ist abhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und Kfz-Verkehrsstärke möglich. Als Einsatzbereiche werden <800 Kfz/h bei 30 km/h sowie <400 Kfz/h bei 50 km/h genannt. Die Abmessung der Fahrbahn ergibt sich aus den Begegnungsfällen und reicht bei HVS von 5,5 m für den Begegnungsfall Lkw/Pkw bis 6,5 m für den Begegnungsfall Lkw-Lkw. Die 6,5 m gelten auch als Regelmaß bei Linienbusverkehr. Davon abweichend wird empfohlen Mischverkehr bei 6,0 bis 7,0 m Fahrbahnbreite als kritische Querschnitte zu meiden. Zudem gibt es den Hinweis ab Fahrbahn von 7,5 m die Anlagen Schutzstreifen (DE) (2*1,5 m Rad + 4,5 m Kfz) zu prüfen. Bei Kfz-Verkehrsmengen am oberen Einsatzbereich wird empfohlen für schwächere Radfahrer:innen den Gehweg für Radfahrer:innen frei zu geben. Auch bei der Führung im Mischverkehr auf der Fahrbahn ist ein Sicherheitstrennstreifen von 0,75 m zum Längsparken vorzusehen.
- Eine Möglichkeit zur Qualifizierung des Mischverkehrs auf der Fahrbahn sind Piktogramketten (DE). Piktogramketten (DE) sind bisher nicht Bestandteil des deutschen Regelwerkes. Jedoch werden diese voraussichtlich in die in Bearbeitung befindliche Neufassung der Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) aufgenommen. Basierend auf Studien (Koppers et al., 2021), die die Basis für Regelwerksarbeit bilden wird als Einsatzbereich Breiten von <8,0 m angegeben, da ab 8,0 m eine 5,0 m Fahrbahn + 2*1,5 m Schutzstreifen (DE) eingesetzt werden kann. Die Piktogramme sollen 1,25 m Abstand vom rechten Fahrbahnrand (ohne Parkstände) haben. Die

Abstände zwischen den Piktogrammen sollten 25 bis 50 m betragen, um eine Kettenwirkung zu erzielen. Piktogrammketten (DE) eignen sich besonders zum Schließen von Netzlücken, wenn keine anderen Radverkehrsanlagen möglich sind. Jedoch sollten Piktogrammketten (DE) beim Mischverkehr eine Ausnahme bilden und nicht die Regel sein.

- Die deutsche Straßenverkehrsordnung erlaubt die Anordnung eines Überholverbotes für Zweiräder. In diesen Bereichen ist mehrspurigen Fahrzeugen explizit das Überholen von Zweirädern verboten. Dies wird auch als Möglichkeit zur Qualifizierung des Mischverkehr Kfz-Rad angesehen. Das Überholverbot von Zweirädern kann jedoch nur dort angeordnet werden, wo aufgrund der örtlichen Gegebenheiten, insbesondere aufgrund von Engstellen, Gefäll- und Steigungsstrecken, oder einer regelmäßig nur schwer zu überblickenden Verkehrslage ein sicherer Überholvorgang von Fahrrädern nicht gewährleistet werden kann.
- Schutzstreifen (DE) sind Radverkehrsanlagen auf denen Radverkehr Vorrang hat, die jedoch von anderen Fahrzeugen befahren werden dürfen, sofern die Breite der Kernfahrbahn im Begegnungsfall nicht ausreichend ist. Schutzstreifen (DE) sind bei 800 – 1800 Kfz/h bei 30 km/h oder 400 – 1.000 Kfz/h bei 50 km/h einsetzbar. Die möglichen Abmessungen von beidseitigen Schutzstreifen (DE) reichen von Minimalmaße bei Sonderfällen von 6,6 m (4,1 m Kfz + 2*1,25 m Rad); dieses Mindestmaß ist nach der FGSV E KLIMA nicht mehr zulässig), über die Mindestmaße im Regelfall von 7,5 m (4,5 m Kfz + 2*1,5 m Rad), dem empfohlenen Standard von 8,0 m (5,0 m Kfz + 2*1,5 m Rad) bis hin zu komfortablen 9,0 m (5,0 m Kfz + 2*2,0 m Rad). Das Regellaß von 1,5 m Schutzstreifen (DE) umfasst die Markierung ist aber ohne schlecht befahrbare Rinne zu verstehen. Die Kernfahrbahn sollte ein Mindestmaß von 4,5 m für den Begegnungsfall Pkw-Pkw haben. Bei hohen Verkehrsstärken wird eine Fahrbahn von 5,0 m empfohlen. Bei Fahrbahnen unter 5,5 m ist keine Leitlinie in der Fahrbahnmitte zulässig. Für unsichere Radfahrer:innen wird eine Kombination von Schutzstreifen (DE) mit Gehweg, Radfahrer frei oder nicht benutzungspflichtige Radverkehrsanlage empfohlen. Einseitige Schutzstreifen (DE) bieten sich an bei: Steigungs- und Gefällestrrecken aufgrund des Geschwindigkeitsunterschieds der Radfahrer:innen, Einbahnstraßen, Bussonderfahrstreifen, Unterscheidung Parken und Zufahrten, unterschiedliche Netzfunktion etc. Für einseitige Schutzstreifen (DE) reicht der Platzbedarf von 6,0 m (4,5 m Kfz + 1*1,5 m Rad) bis 7,35 m (5,5 m Kfz + 1*1,85 m Rad).

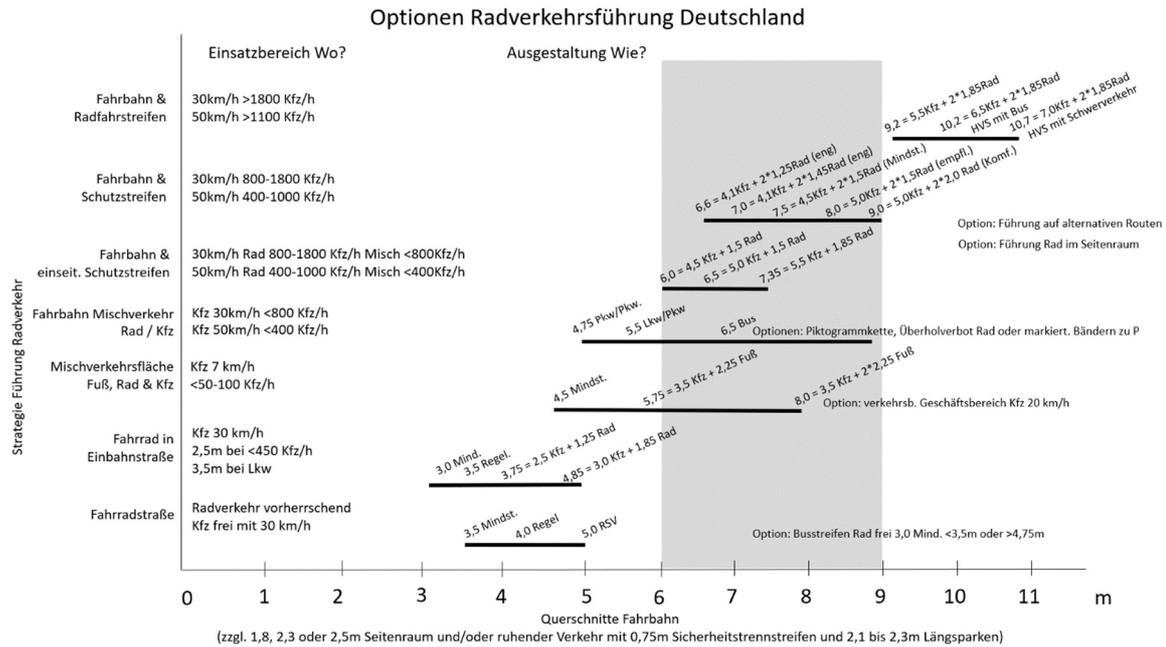


Abbildung 2: Optionen Radverkehrsführung in Deutschland abhängig von Fahrbahnbreite.

2.1.5 Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen in Österreich

In Österreich stehen für eine Fahrbahnbreite von 6,0 bis 9,0 m nach dem technischen Regelwerk folgende Lösungen zur Verfügung:

- Fahrradstraßen sind Straßen, die dem Radverkehr dienen und in denen Kfz-Verkehr nur zum Zu- und Abfahren und in Sonderfällen (siehe § 76 Abs. 5 StVO 1960) erlaubt ist. Einhergehend mit der Verordnung einer Fahrradstraße ist eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h. Sie sind für Straßen mit max. 2.500 DTV Kfz geeignet. Die Breiten der Fahrbahn liegen zwischen 3,5 – 6,25 m je nach zu erwartender Begegnungsfällen. Es gibt eindeutige Regelfälle für die Anwendung von Fahrradstraßen, die jedoch nur selten die hier im Fokus stehenden HVS umfassen.
- In Begegnungszonen bewegen sich Kfz, Rad und Fuß bei geringen Geschwindigkeiten von 20 – 30 km/h auch auf einer gemeinsamen Verkehrsfläche. Sie sind bis Verkehrsmengen von max. 10.000 Kfz/Tag ohne gesonderte Prüfung möglich. Geeignet sind Begegnungszonen bei hohem Querungsbedarf des Fuß- und Radverkehrs sowie zur Legalisierung des Gehens auf der Fahrbahn. Die Breiten der Fahrbahn liegen zwischen 3,5 – 6,25 m je nach zu erwartender Begegnungsfällen.

- Wie bereits dargestellt sind Mehrzweckstreifen (AT) Radverkehrsanlagen, auf denen der Radverkehr Vorrang hat, die jedoch von anderen Fahrzeugen befahren werden dürfen, sofern die Breite der Kernfahrbahn im Begegnungsfall nicht ausreichend ist. Der Einsatzbereich ist bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 30 km/h mit 2.500 Kfz/Tag und max. 50 km/h bei 1.000 Kfz/Tag. Die Kernfahrbahn ist im Regelfall 4,5 – 6,0 m, wobei in Ausnahmefällen auch 3,0 m möglich sind. Die Mehrzweckstreifen (AT) sind je nach Ausbaustufe 1,5 - 2,5 m breit, bei angrenzendem Längsparkstreifen 2,0 - 3,0 m. So gibt es einen Breitenzuschlag von 0,5 m zu Längsparkstreifen. Mehrzweckstreifen (AT) neben Schräg- oder Senkrechtparkstreifen sind nicht vorgesehen. Bei Ausbaustufe A und B der Radroute sind Mehrzweckstreifen (AT) nicht empfohlen. Im Ergebnis ergeben sich Abmessungen der Gesamtfahrbahn von beengten Ausnahmefällen von 6,0 m (3,0 m Kfz + 2*1,5 m Rad) dem Regelfall von 7,5 m (4,5 m Kfz + 2*1,5 m Rad). Bei einseitigen Mehrzweckstreifen (AT) sind die Maße entsprechend geringer.
- Mischverkehr Kfz und Rad auf der Fahrbahn wird grundsätzlich als nicht geeignet für das übergeordnete Straßennetz angesehen, sondern nur für das untergeordnete Netz mit ≤ 30 km/h. Die Fahrstreifenbreite beim Mischverkehr sollte entweder kleiner 3,0 m oder größer 3,75 m sein. Bei zwei Fahrstreifen ergibt sich daraus eine Fahrstreifenbreite von 6,0 bis 7,5 m, die gemieden werden soll.

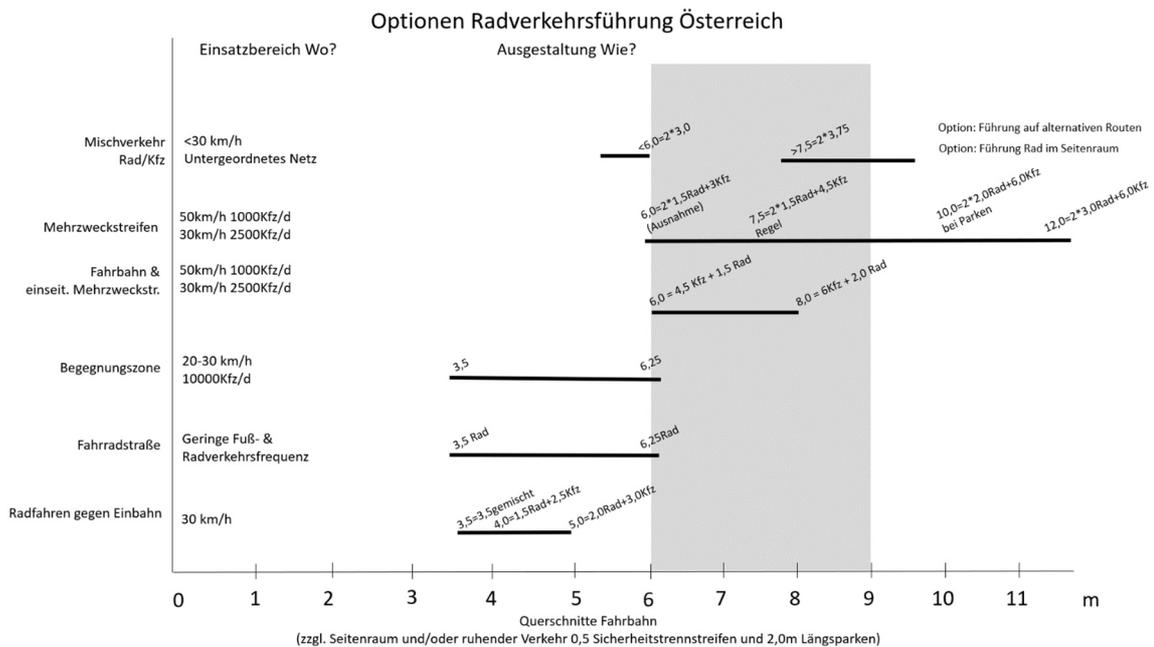


Abbildung 3: Optionen Radverkehrsführung in Österreich abhängig von Fahrbahnbreite.

2.1.6 Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen in der Schweiz

In der Schweiz stehen für eine Fahrbahnbreite von 6,0 bis 9,0m nach dem technischen Regelwerk folgende Lösungen zur Verfügung:

- Radverkehr und Kfz-Verkehr können im Mischverkehr auf einer Fahrbahn geführt werden. Als Einsatzbereich wird bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h von der Stadt Bern <3.000 Kfz/Tag, dem Kanton Zürich <5.000 Kfz/Tag genannt. Die Abmessungen der Fahrbahn liegen in der Stadt Bern bei <7,5 m und im Kanton Zürich bei 5,0 bis 6,20 m. Zudem gibt es die Option einer „Velostraßen light“ bei Nebenstraßen. Wenn die Nebenstraße Teil eines festgelegten Wegnetzes für den Veloverkehr ist, kann der Straße in einer Tempo-30-Zone der Vortritt eingeräumt werden und damit dem Veloverkehr eine stetige Fahrt ermöglicht werden. In Art. 4 Abs. 1 der Verordnung des UVEK (Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation) über die Tempo-30-Zonen und Begegnungszonen wurde diese Ausnahme vom Rechtsvortritt am 1.1.2021 aufgenommen.
- Zudem gibt es die Variante von Mischverkehr mit markierten Bändern am Fahrbahnrand auch als farbliche Gestaltung der Straßenoberfläche (FGSO) bezeichnet. Dies können z.B. breite farbliche Bänder ohne rechtliche Bedeutung entlang von Fahrbahnen zur optischen Einengung der Fahrbahn bilden. Die Fahrbahnen haben Abmessungen von 6,0 – 8,0 m mit Bändern von 0,4 – 0,6 m.
- Fahrbahn mit beidseitigen Radstreifen (CH) werden bei Kfz-Verkehrsmengen von <5.000 Kfz/h (GUIDE VELO), <12.000 Kfz/h (Standard Stadt Bern) sowie zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von i.d.R. bis 50 km/h (GUIDE VELO) eingesetzt. Als Abstand zwischen Radstreifen (CH) und Längsparkständen werden 0,5 m (GUIDE VELO) bzw. 0,75 m (Standard Kanton Zürich) vorgesehen. Bei beidseitigen Radstreifen (CH) ergeben sich Abmessungen von 7,0 m (4,5 m Kfz + 2*1,25 m Rad) bei beengten Verhältnissen, 7,5 m (4,5 m Kfz und 2*1,5 m Rad) im Regelfall sowie 9,20 m (6,0 m Kfz + 2*1,5 m Rad) bzw. 10,30 m (6,50 m + 2*1,80 m Rad) bei Hauptverkehrsstraßen. Fahrbahnen mit einseitigen Radstreifen (CH) haben Abmessungen von 6,0 m (4,5 m Kfz + 1,5 m Rad) bis 7,8 m (6,0 m Kfz + 1,8 m Rad).
- Eine Variante ist die Schmalfahrbahn als Straßen mit Radstreifen (CH), die von ihrer Gesamtfahrbahnbreite her den Kernfahrbahnen zuzurechnen wären, aber Leitlinien aufweisen. Schmalfahrbahnen dienen, wie Kernfahrbahnen dazu, auch dann ein

Angebot an Radinfrastruktur zu bieten, wenn die Querschnittsbreite der Fahrbahn nicht ausreicht, um für den motorisierten Verkehr und den Radverkehr eigene, normalbreite Fahrstreifen realisieren zu können. Nach ASTRA (Bundesamt für Strassen) werden Schmalfahrbahnen in der Fahrbahnmitte durch eine Leitlinie und seitlich durch die Radstreifenmarkierung markiert. Die Mittelleitlinie können beim Kreuzen sowie beim Linksabbiegen als Orientierungshilfe dienen. Als Einsatzbereich werden bis 14.000 - 20.000 Kfz/Tag und einen Schwerverkehrsanteil von unter 10% angegeben. Daraus ergeben sich Fahrbahnbreiten von 8,05 m (5,55 m Kfz + 2*1,25 m Rad) bis 8,55 m (5,55 m Kfz + 2*1,5 m Rad).

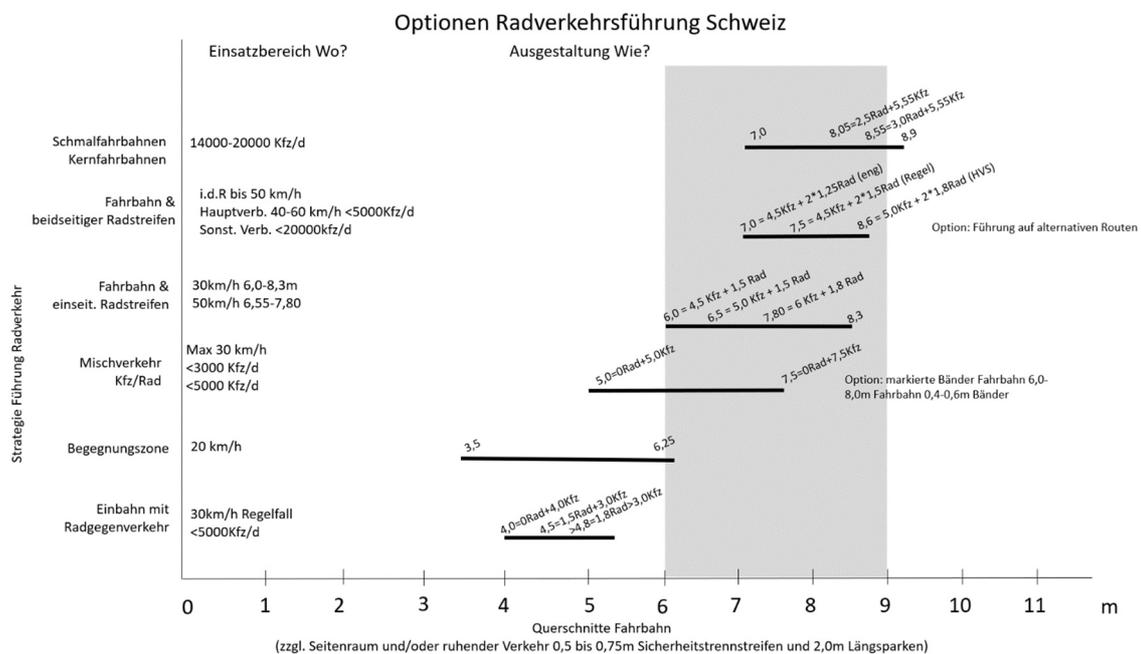


Abbildung 4: Optionen Radverkehrsführung in der Schweiz abhängig von Fahrbahnbreite.

2.1.7 Vergleich der Lösungen Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen in der D-A-CH-Region

In allen Ländern der D-A-CH-Region werden für die beengten Verhältnisse von 6,0 bis 9,0 m verschiedene Lösungen vorgeschlagen. Es besteht damit eine Vielfalt an Optionen für die Führung des Radverkehrs zwischen denen unter Berücksichtigung verschiedener Rahmenbedingungen abgewogen werden muss. Die wichtigsten Rahmenbedingungen bilden

die Verkehrsfunktion sowie die zulässige Höchstgeschwindigkeit in Verbindung mit der Verkehrsmenge. Als weitere Rahmenbedingungen werden zudem der Lkw-Anteil, der Linienbusverkehr sowie der ruhende Verkehr berücksichtigt. Im fachlichen Regelwerk wird damit die Wahl der Führungsform des Radverkehrs nicht allein durch die Breite des Straßenraum, sondern auch weiteren Rahmenbedingungen geprägt, die im Folgenden betrachtet werden. Zwischen den Radfahrer:innen und dem ruhenden Verkehr ist ein Sicherheitsabstand zu wahren um Gefährdungen durch ausparkende Fahrzeuge sowie geöffnete Autotüren („*Dooring*“) zu reduzieren. In einem Teil der Regelwerke wird von straßenbegleitenden Schräg- und Senkrechtparkständen aufgrund der schlechten Sichtbeziehungen beim Ausparken gänzlich abgeraten. Zwischen Radverkehrsanlagen und Längsparkständen soll zur Minderung der Gefahr durch *Dooring*-Unfälle je nach Regelwerk ein zusätzlicher Sicherheitsabstand von 0,5 bis 0,75 m vorgesehen werden. Im deutschen Regelwerk ist seit der Novelle durch die E KLIMA nur noch 0,75 m zulässig. Dieser Sicherheitsabstand kann nicht allein zwischen Radverkehrsanlagen wie Schutzstreifen (DE) und den Längsparkständen, sondern auch zwischen Mischverkehrsfahrbahnen und Längsparkständen vorgesehen werden. Der Lkw-Anteil sowie das Vorhandensein von Linienbusverkehr wirken sich durch die zu berücksichtigenden Begegnungsfälle auf die erforderliche Fahrbahnbreite aus. Im fachlichen Regelwerk zeigt sich dies insbesondere bei den erforderlichen Fahrbahnbreiten im Mischverkehr sowie bei Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen. So reicht bei geringem Lkw-Anteil der Begegnungsfall Pkw-Pkw mit einer Fahrbahn von 4,5 – 4,75m aus. Bei höheren Lkw-Anteilen bzw. Linienbusverkehr sind hingegen der Begegnungsfall Lkw-Pkw mit 5,5 m bzw. Lkw-Lkw (sowie bei Linienbusverkehr) mit 6,5 m zu berücksichtigen. Die Rahmenbedingungen Verkehrsfunktion, zulässige Höchstgeschwindigkeit sowie Verkehrsmenge werden in den meisten Regelwerken zusammen betrachtet. Der Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Radverkehrsführungen und Fahrbahnbreite wird für das Beispiel Deutschland in Abbildung 5 illustriert. Für die anderen Ländern der D-A-CH-Region ergeben sich vergleichbare Zusammenhänge.

Abhängigkeit Radverkehrsführung von Verkehrsmenge und Geschwindigkeit in Deutschland

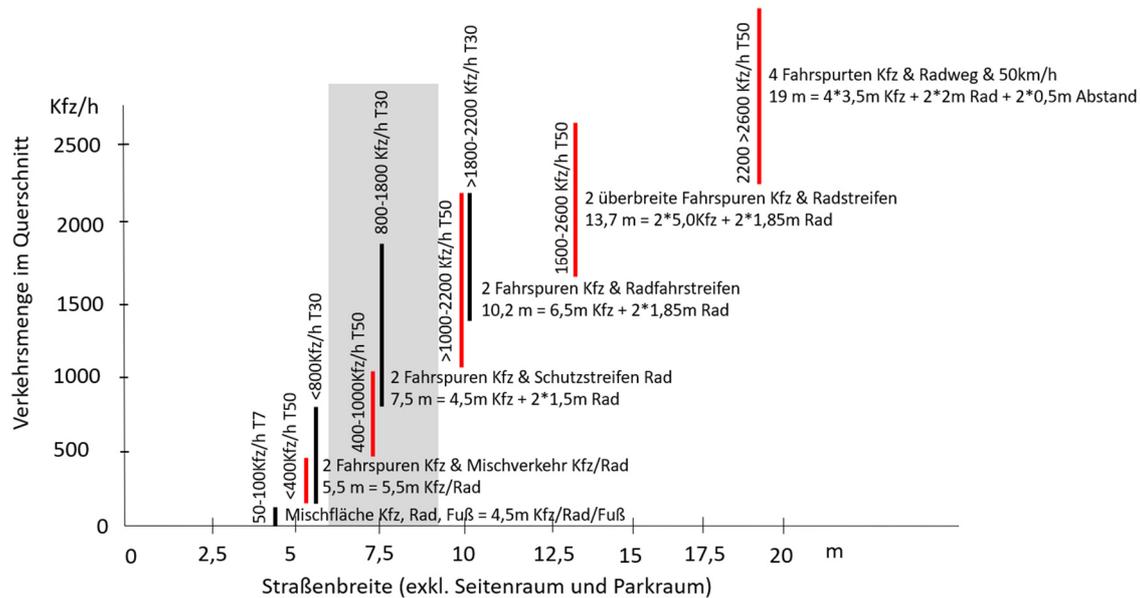


Abbildung 5: Zusammenhang von Radverkehrsführung, Verkehrsmenge und Geschwindigkeit in Deutschland.

Bei geringen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 7 bis 30 km/h sowie geringen Verkehrsmengen von 100 bis 800 Kfz/h und einer niedrigen Verkehrsfunktion wie Nebenstraßen ergibt sich eine große Anzahl von Lösungen wie Radfahrer:innen im Mischverkehr auf der Fahrbahn, Fahrradstraßen, Einbahnstraße mit Radfahrer:innen frei, Verkehrsberuhigten Bereichen, Begegnungszonen etc. Straßen mit diesen Eigenschaften entsprechen jedoch nicht dem Fokus der vorliegenden Forschung von Hauptverkehrsstraßen mit beengten Verhältnissen. In diesem Kontext trägt die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h zur deutlichen Erweiterung des Einsatzbereiches vom Fahren im Mischverkehr auf der Fahrbahn, Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen sowie Radfahrstreifen bei. Dies ist begründet durch die deutlich höhere objektive Sicherheit bei 30 km/h. Zudem kann auch das subjektive Sicherheitsgefühl durch weniger Überholvorgänge, niedrigere Vorbeifahrtgeschwindigkeit, geringerer Windstoß oder leisere Vorbeifahrtgeräusche gestärkt werden.

Bei höheren zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h sowie höheren Verkehrsmengen von größerer 400 oder 800 Kfz/h und einer höheren Verkehrsfunktion wie Hauptverkehrsstraßen wird der von den fachlichen Regelwerken dargestellte Lösungsraum deutlich geringer. Als Optionen verbleiben meist Varianten von Radfahren im Mischverkehr auf der Fahrbahn sowie Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen.

- Radverkehr im Mischverkehr mit Kfz-Verkehr auf der Fahrbahn ist die Standardlösung solange keine anderen Radverkehrsführungen vorgesehen werden. Als Einsatzgrenzen werden in Deutschland bei 30 km/h <800 Kfz/h (ca. 8.000 Kfz/Tag) und bei 50 km/h <400 Kfz/h (ca. 4.000 Kfz/Tag) sowie in der Schweiz ebenfalls bei 30 km/h <300-1.000 Kfz/h (<3.000-10.000 Kfz/Tag) angegeben. In den Ländern der D-A-CH-Region weist demnach der Einsatzbereich von Radverkehr im Mischverkehr leicht voneinander ab, deckt aber einen vergleichbaren Bereich ab. Für die Verbesserung des Mischverkehrs auf der Fahrbahn für den Radverkehr werden gegenwärtig verschiedene Innovationen diskutiert wie Piktogrammketten (DE), Überholverbote für Zweispurige Fahrzeuge oder die farbliche Gestaltung der Straßenoberflächen mit markierten Bändern am Fahrbahnrand.
- Ein- oder zweiseitige Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen sind eine weitere Lösungsvariante für die Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen. Als Einsatzgrenzen werden in Deutschland bei 30 km/h 800 – 1.800 Kfz/h (ca. 8.000 – 18.000 Kfz/Tag) und bei 50 km/h 400 – 1.000 Kfz/h (ca. 4.000 – 10.000 Kfz/Tag) in Österreich auf Haupttrouten bei 30 km/h 1.000 – 3.000 Kfz/Tag (ca. 100 – 300 Kfz/h) sowie in Schweiz bei 50 km/h (selten 60 km/h) <5.000 - 20.000 Kfz/Tag (ca. 500 – 2.000 Kfz/h) angegeben. In den Ländern der D-A-CH-Region weist demnach der Einsatzbereich von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen leicht voneinander ab, deckt aber einen vergleichbaren Bereich ab. Die Regelmaße für die Fahrbahn von 4,5 m für den Begegnungsfall Pkw-Pkw sowie der Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen von 1,5 m sind in den Ländern der D-A-CH-Region gleich. Für beengten Verhältnisse werden unterschiedliche Mindestmaße vorgeschlagen. In Deutschland schlagen die Musterlösungen des Landes Baden-Württemberg 6,6 m mit 4,1 m Fahrbahn (Begegnungsfall 2 Pkw eng) und 2* 1,25 m Schutzstreifen (DE) vor. In der Schweiz wird als Variante für beengten Verhältnisse 7,0m mit 4,5 Fahrbahn und 2*1,25 m Radstreifen (CH) genannt. Zudem wird je nach Land ein zusätzlicher Sicherheitsabstand von 0,5 bis 0,75 m zwischen dem Schutz- (DE) /Mehrzweckstreifen (AT) und Längsparkständen vorgesehen. Als Innovation wird in Österreich und der Schweiz die Variante einer engen Kernfahrbahn mit Mehrzweck- (AT) /Radstreifen (CH) diskutiert.

Die Einsatzbereiche der verschiedenen Lösungen sind in den fachlichen Regelwerken in Deutschland so formuliert, dass bei höheren Verkehrsmengen die Führung des Radverkehrs auf Schutzstreifen (DE) bevorzugt wird. Jedoch deckt das fachliche Regelwerk nicht

den gesamten Lösungsraum ab. So lassen sich Kombinationen aus Verkehrsmenge, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und verfügbarer Fahrbahnbreite finden, für die das Regelwerk keine zulässigen Lösungen vorschlägt. In Abbildung 6 ist beispielhaft der von den fachlichen Regelwerken in Deutschland vorgeschlagene Lösungsraum dargestellt. In Österreich und der Schweiz ist der Lösungsraum vergleichbar. Die Darstellung verdeutlicht, wie stark sich der Lösungsraum abhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit unterscheidet.

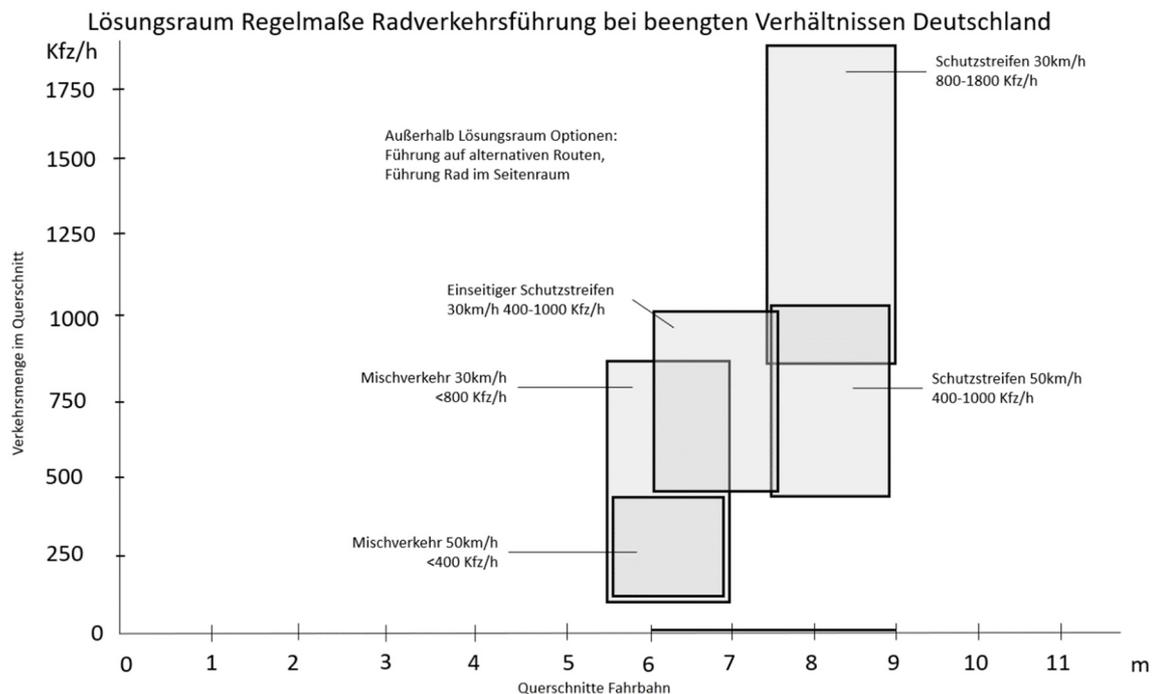


Abbildung 6: Lösungsraum Mischverkehr und Schutzstreifen (DE) in Deutschland.

Bei Aufgabenstellungen außerhalb des Lösungsraums z.B. einer Straße von 6,0 m Breite und 1.500 Kfz/h bietet das fachliche Regelwerk keine zulässigen Lösungen an. In diesen Fällen sind weitere Optionen wie die Führung des Radverkehrs auf alternativen Routen oder die Führung des Radverkehrs im Seitenraum zu prüfen, soweit Raum dafür besteht.

2.2 Interviews mit Expert:innen

Zur Analyse der spezifischen Problemlagen und angewandter Lösungsstrategien in unterschiedlichen Settings wurden insgesamt 23 Interviews mit Expert:innen in den drei Ländern der D-A-CH-Region durchgeführt. Auf diese Weise konnten die Ergebnisse aus der vergleichenden Darstellung der Regelwerke reflektiert, sowie deren Tauglichkeit für die Etablierung tauglicher Lösungen für Radverkehrsanlagen in Engstellen eingeordnet werden.

Die Interviews wurden mithilfe eines strukturierten Leitfadens geführt und stichwortartig dokumentiert. Die Entwicklung des Interviewleitfadens wurde gemeinschaftlich in einem Workshop des Projektkonsortiums umgesetzt. Die Auswertung der Interviews erfolgte durch ein Labeling der Antworten und einer anschließenden quantitativen Analyse. Diese wurde in einem weiteren Schritt durch eine qualitative Zusammenfassung und Reflektion der Rückmeldungen ergänzt. Die Identität der Expert:innen wird nicht im Zusammenhang mit konkreten Aussagen angeführt; stattdessen wird mit Pseudonymen, die sich aus einer eindeutigen ID ergeben, gearbeitet.

Der Fragebogen umfasst vier inhaltliche Blöcke:

1. Reflektion und Ergänzung der Analyse bestehender Regelwerke
2. Erfahrung mit bestehenden Regelwerken
3. Typische Herausforderungen mit Radverkehrsanlagen bei beengten Verhältnissen
4. Anforderungen an den evidenzbasierten Planungsprozess

Bei der Rekrutierung der Interviewpartner:innen wurde auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung in der D-A-CH-Region und auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis geachtet. Als Einschlusskriterium wurde die Zugehörigkeit zu einer der nachfolgend angeführten Domänen verwendet:

- Planung und Consulting
- Rechtlich Zuständige: Straßenverkehrsbehörde, Sachverständige, Polizei
- Verwaltung auf nationaler, regionaler und kommunaler Ebene
- Radkoordination bzw. Radbeauftragte
- Interessensvertretung und NGO
- Hochschulen bzw. akademische Expert:innen

Projektmitarbeiter:innen aus dem RADBEST Konsortium führten die Interviews zwischen Februar und April 2023. Die Interviewpartner:innen wurden aus dem Pool der projektunterstützenden Institutionen, aus dem professionellen Netzwerk der Partner von RADBEST und auf Weiterempfehlung hin rekrutiert.

Für alle Länder der D-A-CH-Region konnte die Mindestanzahl an Interviewpartner übertroffen werden. In Deutschland wurden 6, in Österreich 9 und in der Schweiz 8 Interviews geführt. Das Geschlechterverhältnis ist mit 17 zu 6 nicht ausgewogen. Der Überhang männlicher Interviewpartner ist auf den ungleichen Frauenanteil in den konsultierten Domänen zurückzuführen. Auch intensive Bemühungen bei der Rekrutierung von Expert:innen resultierten nicht in einem höheren Frauenanteil.

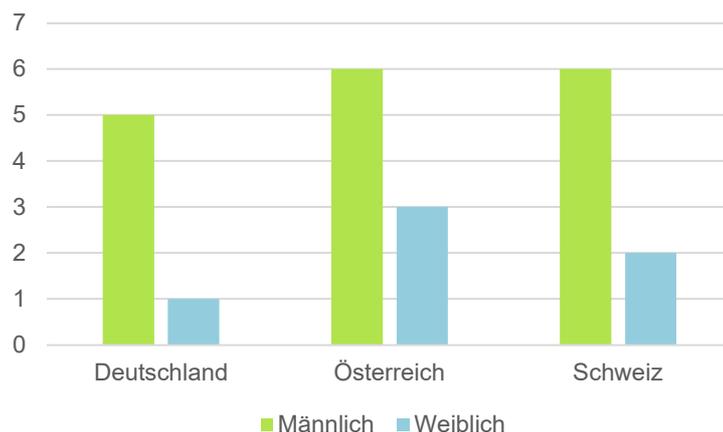


Abbildung 7: Stichprobe der Interviewpartner:innen nach Länder und Geschlecht (n=23).

Die Verteilung der Fachdomänen in der konsultierten Stichprobe ist über alle drei Länder gesehen relativ gleichmäßig. Manche der interviewten Expert:innen ordneten sich selbst mehreren Domänen zu. So übernehmen beispielsweise Angehörige der Verwaltung die Aufgabe der Radkoordination bzw. fungieren zusätzlich zu ihrer Verwaltungsrolle als Radbeauftragte.

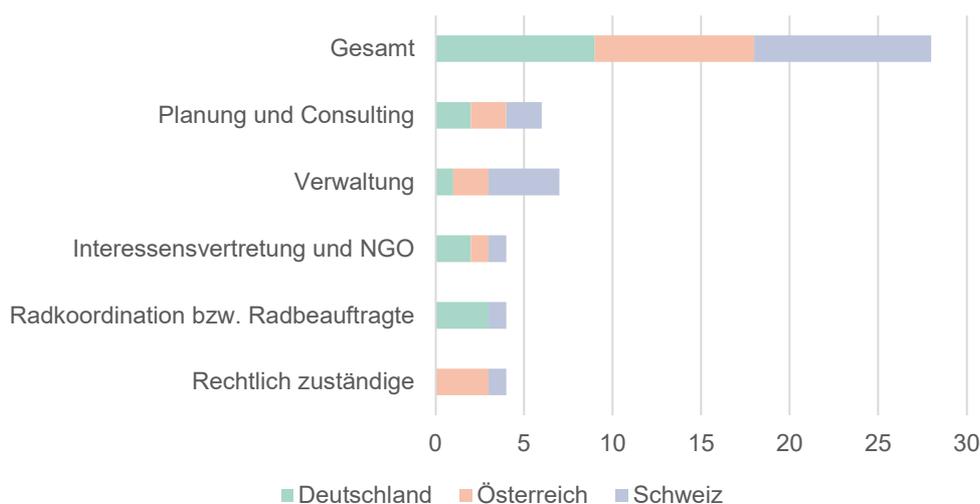


Abbildung 8: Verteilung der Fachdomänen gemäß Selbstzuordnung der 23 Expert:innen (Mehrfachzuordnungen möglich).

Für die beiden Kategorien „Radkoordination bzw. Radbeauftragte“ sowie „Rechtlich zuständige“ konnten nur Expert:innen aus jeweils zwei Ländern interviewt werden. Für die restlichen Kategorien wurden Expert:innen aus allen drei Ländern konsultiert.

Die Zusammenstellung der Stichprobe erlaubt hinsichtlich der Problemlage und möglicher Lösungsansätze Rückschlüsse für die D-A-CH-Region. Diesbezüglich lassen sich keine eindeutigen länderspezifischen Trends erkennen. Dahingegen zeichnen sich bei den relevant erachteten Regelwerken klarerweise nationale Unterschiede ab.

2.2.1 Relevante Regelwerke

Unter dem Begriff Regelwerk werden sämtliche gesetzliche Grundlagen und Verordnungen, technische Normen und Richtlinien, sowie Planungs- und Designempfehlungen verstanden. Dieses Verständnis wurde den Interviewpartner:innen mitgeteilt, bevor sie ersucht wurden, die für sie relevanten Regelwerke zu nennen. Ziel dieser Fragestellung war einerseits die Evaluierung der vom RADBEST-Projektteam kompilierten Übersicht maßgeblicher Regelwerke und andererseits eine Einschätzung der Praxistauglichkeit bestehender Regelwerke für die konkrete Problemstellung, die im Rahmen von RADBEST untersucht wird.

Häufigkeit Nennung Regelwerke

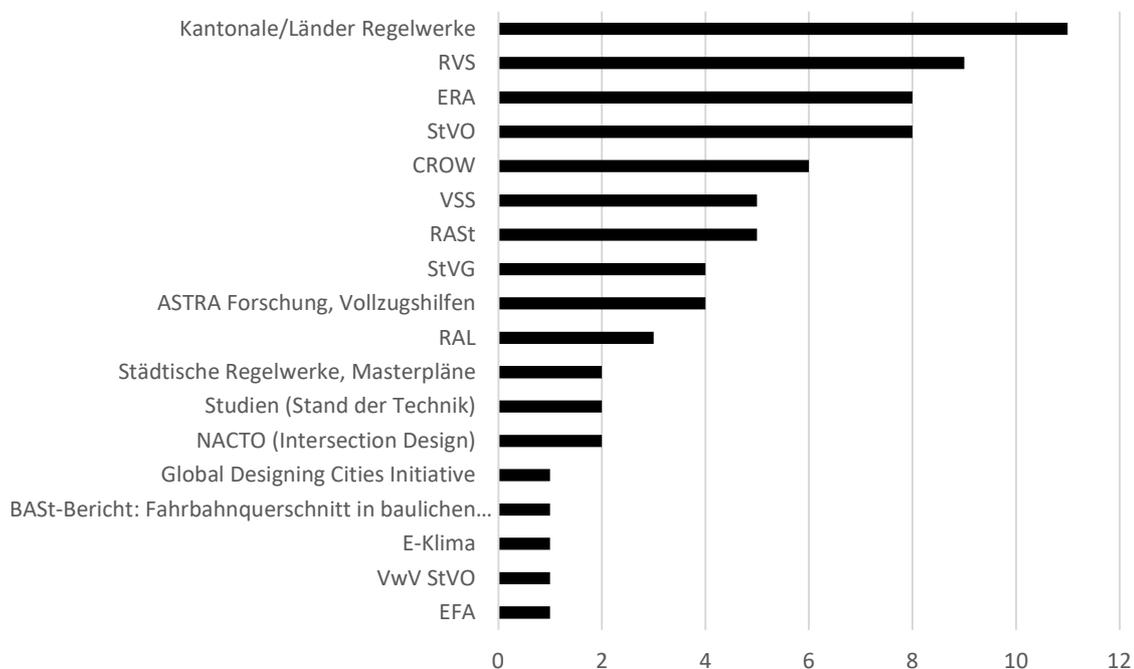


Abbildung 9: Häufigkeit der Nennung von Regelwerken über alle Länder der D-A-CH-Region hinweg.

In den Interviews wird ersichtlich, dass Regelwerke aus den jeweils anderen Ländern vielfach bekannt sind und als Referenz geschätzt werden. Dennoch sind nationale und regionale Regelwerke für die Praxis am bedeutendsten. Der Austausch zu Regelwerken und deren Anwendung über die Ländergrenzen hinweg wird als gewünscht und ausbaufähig gesehen (ID17).

In Deutschland spielen die Richtlinien ERA, RASt (Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen) und die RAL (Richtlinien für die Anlage von Landstraßen) sowie die Straßenverkehrsordnungen (StVO) gemäß der Angaben der Interviewpartner:innen die wichtigste Rolle. Nachfolgend werden länderspezifische Regelwerke und weitere Gesetze und Richtlinien genannt.

In Österreich ist die RVS (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) das mit Abstand am häufigsten genannte Regelwerk. Danach folgt mit der Straßenverkehrsordnung (StVO) die gesetzliche Grundlage für die Organisation des Straßenverkehrs, sowie mit dem CROW - Manual eine internationale Designempfehlung.

In der Schweiz spiegelt sich die föderale Struktur stark wider. Neben den VSS-Normen wird vor allem auf kantonale Regelwerke verwiesen. Mit etwas Abstand folgen die Empfehlungen der ASTRA.

Im Zusammenhang mit den Regelwerken wird häufig seitens der konsultierten Expert:innen moniert, dass Verantwortungsträger diese als generell bindend erachten, wiewohl es bei entsprechender Argumentationsgrundlage zu Abweichungen von Richtlinien (wie beispielsweise der RVS in Österreich) kommen kann (ID6, ID33). Dem stellen Vertreter:innen der rechtlich zuständigen Behörden entgegen, dass es zur Aufgabe von Behörden gehöre straßenpolizeiliche Verordnungen zu erlassen, die auf entsprechender rechtlicher Basis zu stehen haben (ID39).

Demgegenüber steht der Wunsch nach konkreteren Anleitungen für die unterschiedlichen Lösungsansätze bei Engstellen. Beispielsweise wird Bedarf an konkreten Skizzen und unterstützendem Bildmaterial angemeldet (ID6). Inwiefern konkrete Lösungsstrategien für den Radverkehr an Engstellen von Regelwerken zu erwarten sind, scheint unklar: *„die bestehenden Regelwerke bieten noch nicht annähernd ausreichend Lösungsstrategien an.“* (ID20) Allerdings wird auch auf die Problematik der Überregulierung hingewiesen, die kreativen Lösungen dann im Weg stünden (ID19). Schon jetzt werden manche Bundesgesetze als Flaschenhalse für radverkehrsfreundliche Lösungen ausgemacht (ID26, ID28, ID31) bzw. die detailreichen Regulatorien als einschränkend für „Speziallösungen“ empfunden (ID30). Dass jedoch die Regelwerke der alleinige Grund für die langsame Etablierung rad-

verkehrsfriendlicher Lösungen wären, wird von einzelnen Expert:innen in Abrede gestellt und auf die Möglichkeit experimenteller Settings verwiesen (ID40).

Häufigkeit Nennung Regelwerke (nach Länder)

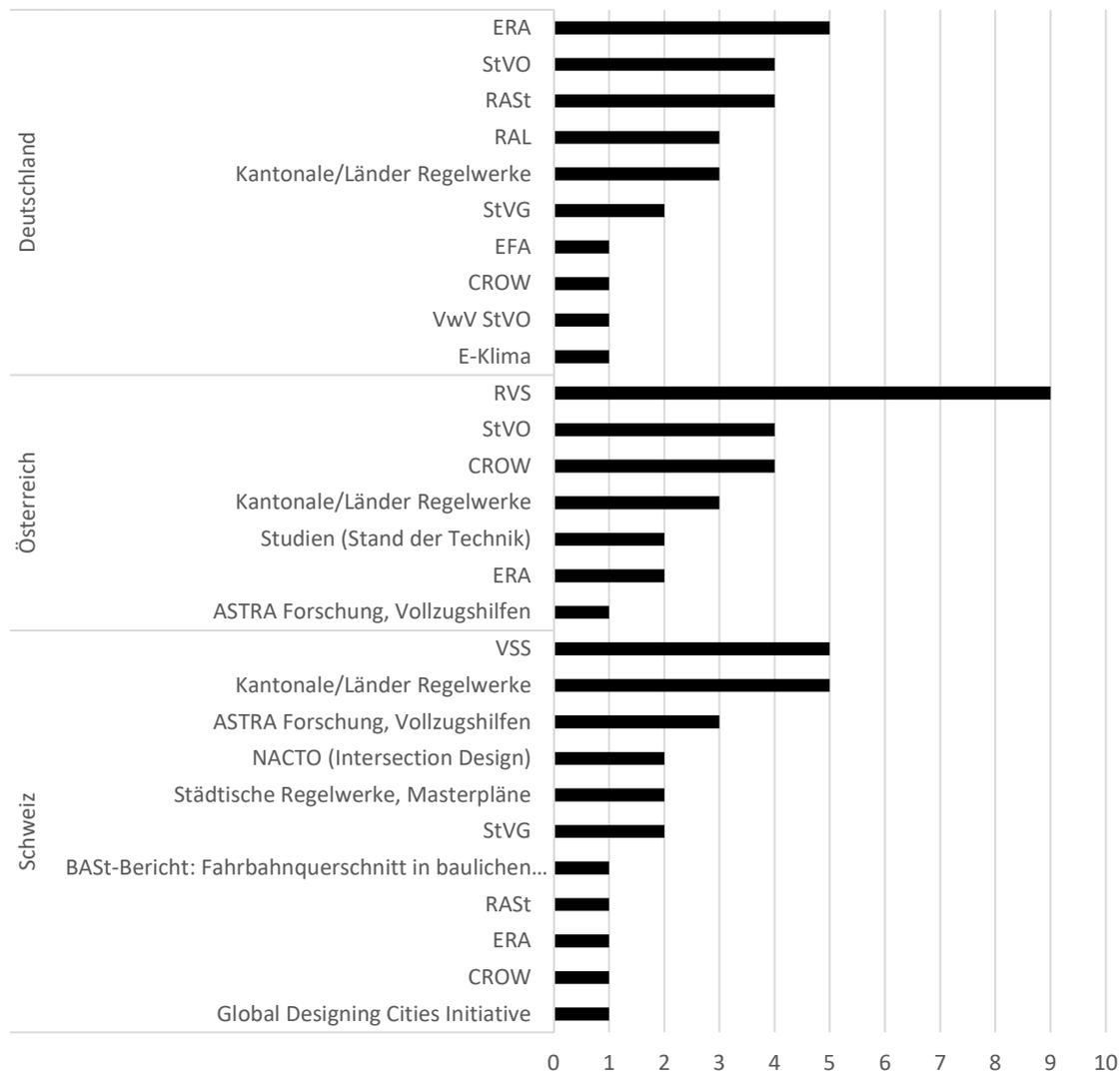


Abbildung 10: Länderspezifische Häufigkeit der Nennung von Regelwerken.

Im Umgang mit den Regelwerken wird argumentiert, dass diese häufig Untergrenzen bei den Breiten von Anlagen definieren, diese allerdings immer nur für den Radverkehr angewendet werden, während Anlagen für den motorisierten Verkehr tendenziell über Mindestmaße hinausgehen (ID23). Ganz allgemein tritt eine Einschätzung hervor, die wie folgt auf den Punkt gebracht wird: „Regelwerke sind im Kern für den Kfz-Verkehr gemacht. Es fehlt ein Perspektivenwechsel. Selbst in der ERA steht der Kfz-Verkehr im Fokus.“ (ID28). Ähnlich wird mit dem Hinweis argumentiert, dass die Straßenverkehrsordnung „im letzten Jahrtausend“ verankert sei (ID34) und den heutigen Anforderungen hinsichtlich Radverkehr

nicht mehr gerecht wird (ID10). Insbesondere in der föderal organisierten Schweiz wird auf die Problematik unterschiedlicher Regelwerke und vor allem Auslegungen derselben zwischen den Kantonen hingewiesen (ID13). Aus der Verwaltung werden die Unübersichtlichkeit und Komplexität der Regelwerke ins Treffen geführt. Für einen fundierten Überblick und damit für qualifizierte Einschätzungen würde die Zeit in der täglichen Arbeit fehlen (ID30).

2.2.2 Lösungsstrategien

Die konsultierten Expert:innen wurden nach bekannten bzw. ihrer Meinung nach möglichen Lösungen für die Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen gefragt. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Ländern herstellen zu können, wurden die Informationen klassifiziert und anschließend gemeinsam sowie einzeln analysiert.

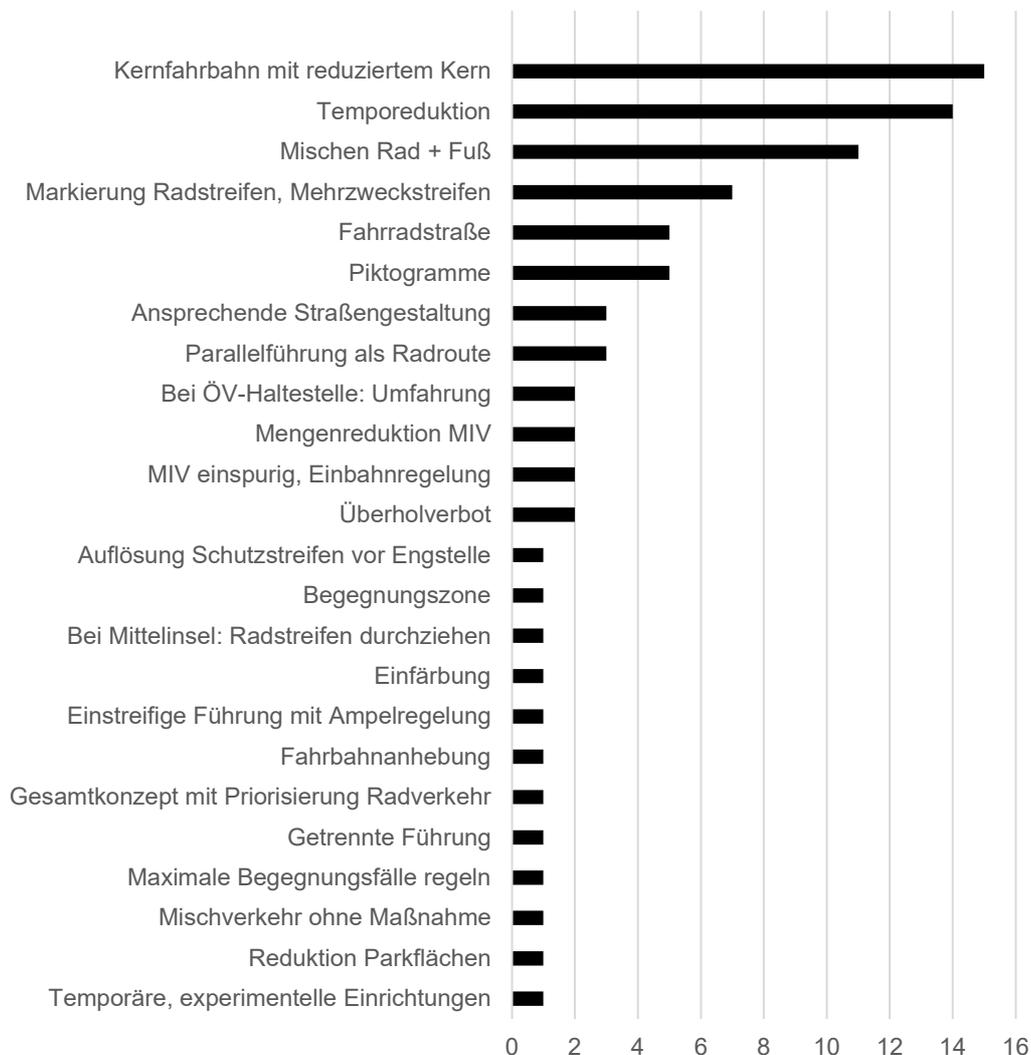


Abbildung 11: Von Expert:innen erwähnte Lösungsstrategien für die Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen.

Für die D-A-CH-Region ergeben sich im Wesentlichen drei Lösungsstrategien, die von den Expert:innen am häufigsten ins Treffen geführt werden, nämlich eine Kernfahrbahn mit reduziertem Kern, die Reduktion des maximal zulässigen Tempos sowie das Mischen von Rad- und Fußverkehr. Piktogramme werden lediglich in Deutschland von mehr als einem bzw. einer Expert:in als Lösungsstrategie erwähnt. Abgesehen davon sind die Ergebnisse über die Länder hinweg konsistent.

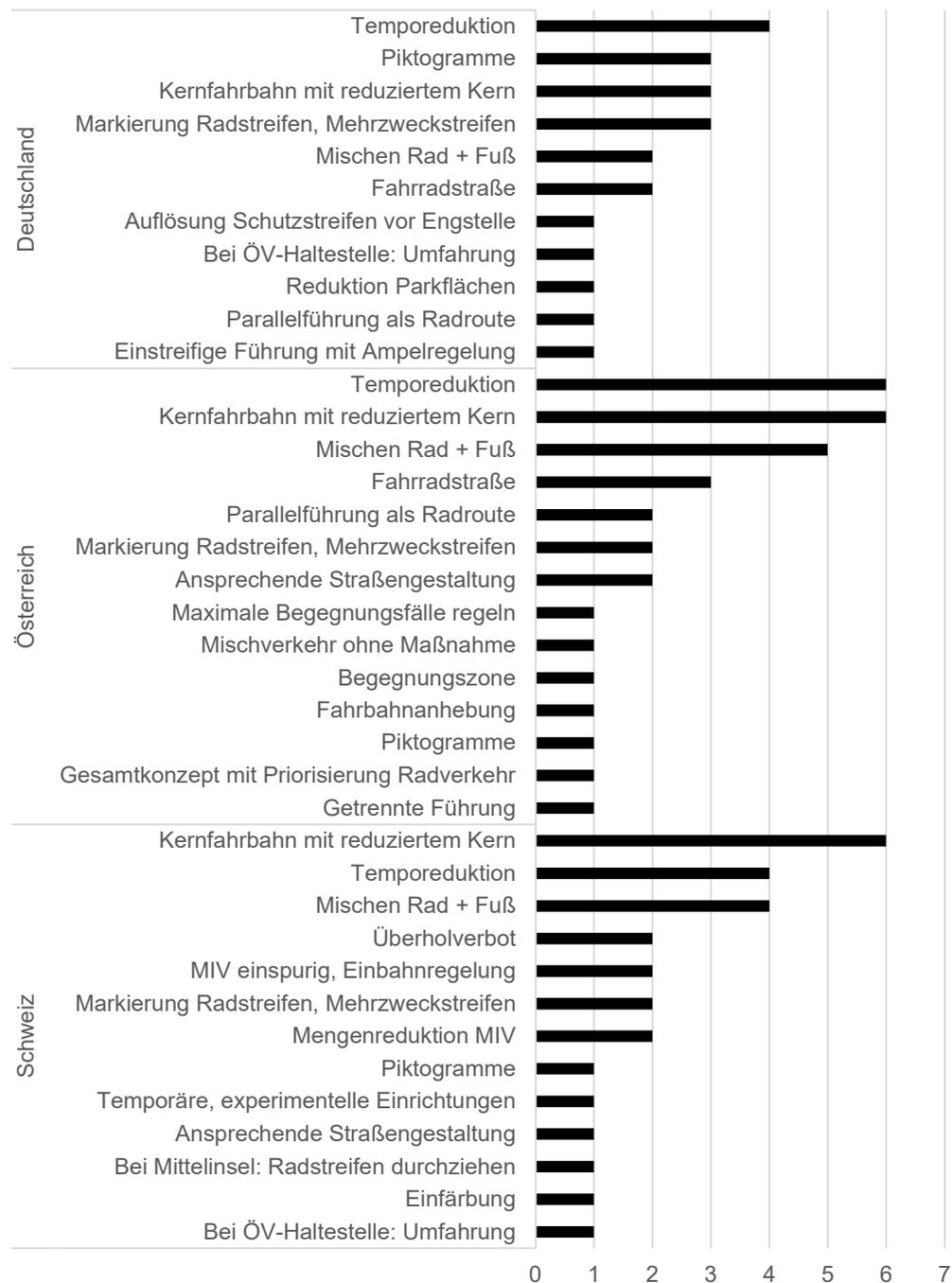


Abbildung 12: Länderspezifische Auswertung der genannten Lösungsstrategien.

In der Zusammenschau der Aussagen der Expert:innen wird rasch klar, dass es für Radverkehrsanlagen bei beengten Verhältnissen keine unmittelbaren, optimalen Lösungen gibt, sondern es sich immer um Kompromisse handeln wird müssen (ID13, ID23). Umso mehr wird auf die Notwendigkeit einer qualitativ hochwertiger Umsetzung – insbesondere auch was die ästhetische und funktionale Gestaltung betrifft – hingewiesen (ID8). Nachdem bauliche Maßnahmen nur eingeschränkt umgesetzt werden können, gilt die konsequente Reduktion des Tempos des motorisierten Verkehrs als effektivste Maßnahme (ID14, ID16, ID22). Einem generellen Tempo-30 Gebot im Ortsgebiet (oder sogar Tempo-20 (ID20)), welches auch strikt überwacht wird, kann in diesem Zusammenhang viel abgewonnen werden (ID19). Neben der Geschwindigkeitsreduktion kommt diversen Markierungs- bzw. farblichen Gestaltungsmaßnahmen eine bedeutende Rolle zu (ID31). Insbesondere in Deutschland scheinen Piktogrammketten („Sharrows“) als taugliche Lösung erachtet zu werden (siehe Abbildung 12), während andernorts deren Effektivität zumindest in Frage gestellt wird (ID34). Die Einrichtung markierter Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen bei reduzierter Kernfahrbahn wird von Planer:innen als grundsätzlich tauglich erachtet, wobei auf den zum Teil experimentellen Charakter (ID20, ID31, ID38) und die Notwendigkeit möglichst niedriger Geschwindigkeiten und ausreichend lateraler Distanz hingewiesen wird (ID6, ID9, ID19). Andernfalls droht eine subjektive und objektive Beeinträchtigung der Sicherheit von Radfahrer:innen (ID14). Dabei wird von ID34 und ID30 auf den Umstand hingewiesen, dass im Fall von Mehrzweckstreifen (AT) es sich in Österreich rechtlich um keinen Überholvorgang, sondern um ein Vorbeifahren handelt und deshalb der Mindestüberholabstand nicht eingehalten werden muss. Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus der Definition von Begegnungsfällen, die sich zumeist an Maximalszenarien orientieren und folglich eine ausreichende Dimensionierung der Radverkehrsanlage entgegenstehen (ID13, ID22).

Bei Lösungsstrategien, die auf ein Mischen der Modi abzielen, herrscht kein offensichtlicher Konsensus. Manche bevorzugen ein Mischen von Fuß- und Radverkehr über eine gemeinsame Führung von Kfz- und Radverkehr (ID17, ID28, ID30), während andere dies für eine unzulässige Abwälzung des Problems auf aktive Modi, ohne Beitrag des Kfz-Verkehrs erachten (ID14, ID20). Demnach solle dem Radverkehr der Platz gegeben werden, den er braucht und mit dem Rest der motorisierte Verkehr bedient werden (ID19). Die Einrichtung von Begegnungszonen wird differenziert eingeschätzt und stark von den Rahmenbedingungen (Geschwindigkeitsniveau, Verkehrsstärke, etc.) abhängig gemacht (ID34).

Im Zusammenhang mit einer gemischten Nutzung der Verkehrsfläche wird vielfach auf den ruhenden Verkehr hingewiesen. Engstellen würden demnach häufig durch ein Festhalten

an straßenbegleitenden Parkflächen erzeugt. Deren Entfernung würde eine taugliche Lösungsstrategie darstellen – und naturgemäß Interessenskonflikte erzeugen (ID6, ID39).

2.2.3 Gründe für nicht realisierte Lösungen

In der Befragung der Expert:innen wurde wiederkehrenden Problemen und Gründen für nicht realisierte Lösungen nachgegangen. Die Antworten zu diesen beiden Fragekomplexen überlappen sich weitgehend. Ein überwiegender Teil der Antworten spielt auf mangelnde Priorität des Radverkehrs bzw. den fehlenden Mut die gängige Planungspraxis und „verkehrliche Selbstverständlichkeiten“ zu hinterfragen. Folglich wird dem motorisierten Verkehr – sowohl dem fließenden wie auch dem stehenden – nach wie vor Vorrang in der Planung eingeräumt. Eine der allgemeinen Problemlage zugrunde liegende Herausforderung ist der Platzmangel, welcher insgesamt sechsmal angeführt wird. Damit verbunden ist umso mehr die Notwendigkeit über den begrenzten Platz zu entscheiden und Lösungen für möglichst alle Verkehrsteilnehmer:innen zu finden.

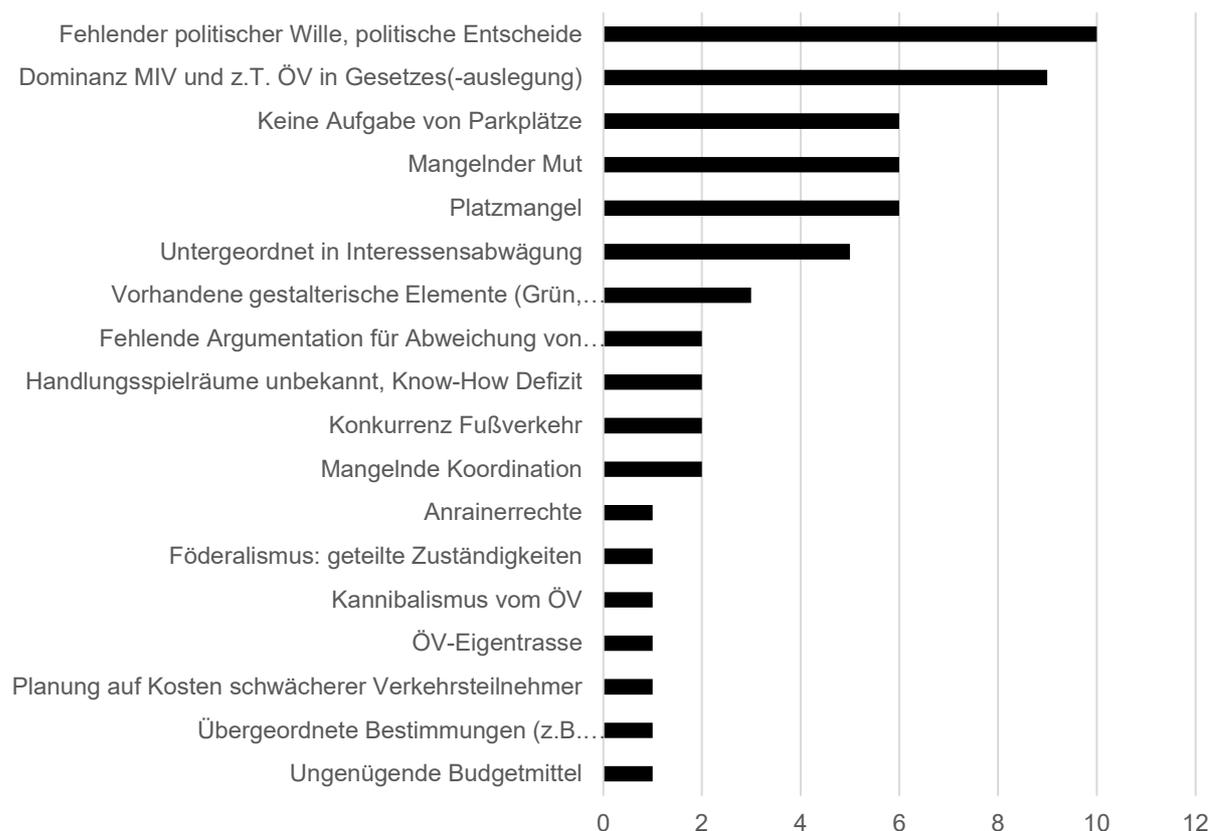


Abbildung 13: Nennung von Gründen für die Nicht-Realisierung von adäquaten Radverkehrsanlagen bei beengten Verhältnissen in der D-A-CH-Region.

Ein ähnliches Bild ergibt sich hinsichtlich wiederkehrender Probleme. Die systemimmanenten Problemfelder lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Paradigmatische Vorbehalte: Dem Radverkehr wird in der Planung und Projektierung nach wie vor wenig Stellenwert eingeräumt, weshalb er in der Interessensabwägung unterrepräsentiert ist. Am Primat des motorisierten Verkehrs, insbesondere bei der Auslegung von Regelwerken (z.B. die in der Österreichischen Straßenverkehrsordnung oftmals bemühte „Sicherheit, Leichtigkeit und Flüssigkeit des Verkehrs“ wird – ohne zwingende Notwendigkeit aus dem Gesetzestext – automatisch auf den motorisierten Verkehr angewendet), wird in der Praxis kaum gerüttelt.
- Konservatismus: Sowohl bei politischen Verantwortungsträger:innen, wie auch bei ausführenden Stellen in der Verwaltung, unter Sachverständigen und bei Planer:innen wird mangelnder Mut und Aufgeschlossenheit für experimentelle, innovative Lösungsstrategien konstatiert.
- Interessenskonflikte: Die Verteilung des limitierten Straßenraums stellt den Kern der Problemstellung dar. Konkurrenz wird jedoch nicht nur zwischen motorisierten und Radverkehr festgestellt, sondern bei vielen Lösungsstrategien zwischen Rad- und Fußverkehr sowie dem Radverkehr und schützenswerten Elementen, insbesondere Bäumen und Grünräumen.
- Mangelnde systematische Betrachtung und Koordination: Die Entstehung von Engstellen wird laut den befragten Expert:innen zu selten als Folge von orts- und verkehrsplanerischen Entscheidungen erachtet, weshalb dann nicht selten nur isolierte Ansätze zur Lösung in Betracht gezogen werden. Die fehlende Abstimmung zwischen relevanten Akteuren – auch innerhalb einer Verwaltung – sowie unerwünschte Nebeneffekte (z.B. punktuelle Beschleunigung von Kfz-Lenker:innen vor Engstellen, um diese rasch zu passieren anstatt der intendierten Temporeduktion durch Verengung) werden als Folgen angeführt.

Die Gründe für die Nicht-Realisierung von Lösungen für den Radverkehr bei beengten Verhältnissen unterscheiden sich nicht maßgeblich zwischen den Ländern. In Deutschland und Österreich wird besonders prominent auf das Festhalten an Parkplätzen hingewiesen, während dieser Aspekt bei den konsultierten Expert:innen in der Schweiz gar nicht erwähnt wurde. In Deutschland wie auch der Schweiz (in Österreich eher untergeordnet) wird angeführt, dass die Regelwerke zu sehr im Sinne des motorisierten Verkehrs interpretiert werden. Im Umkehrschluss legt diese Feststellung nahe, dass die Regelwerke durchaus Spielraum für Lösungsstrategien böten, dieser aber zu wenig ausgeschöpft wird.

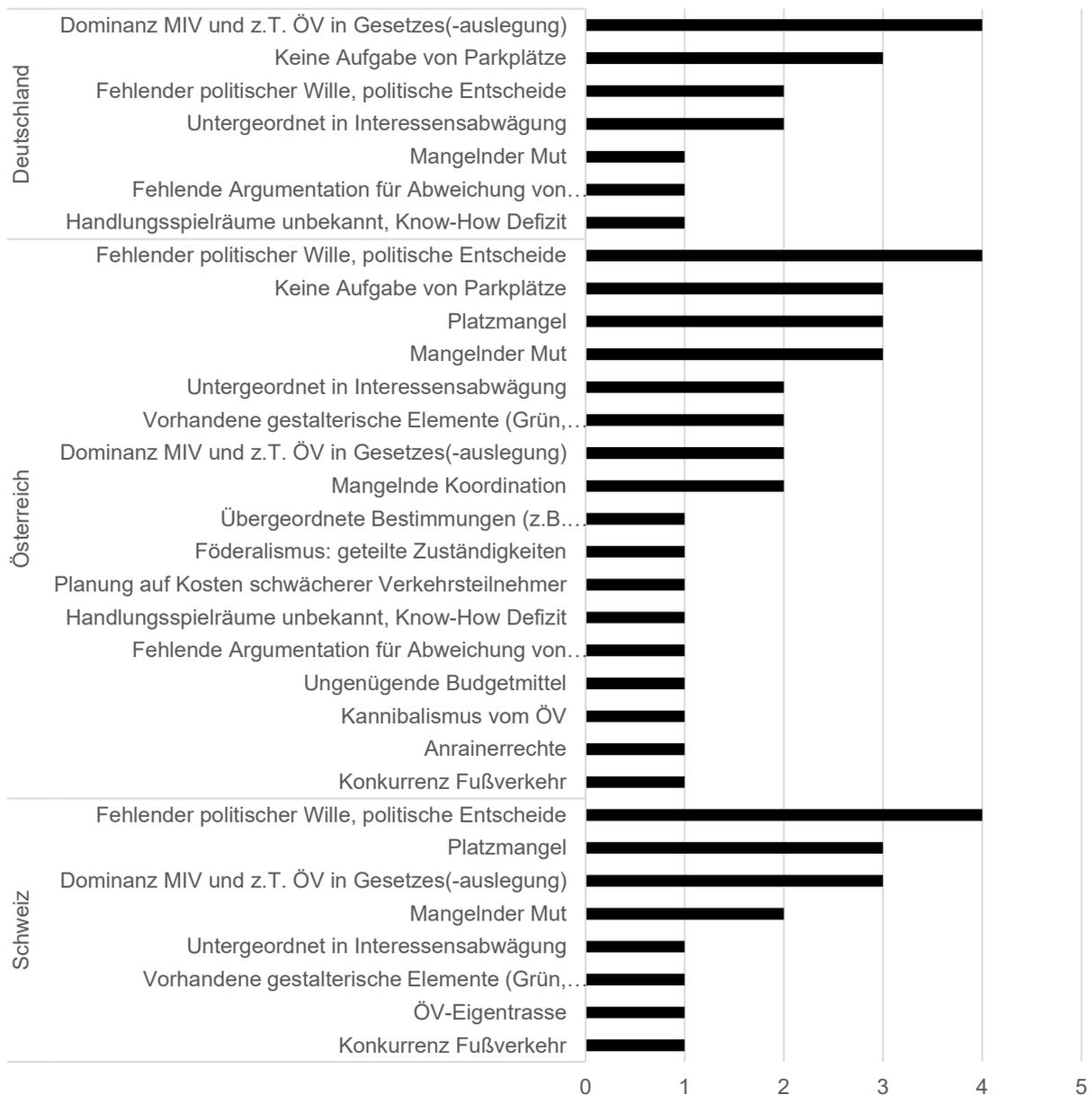


Abbildung 14: Nennung von Gründen für die Nicht-Realisierung von Lösungen nach Ländern.

In der qualitativen Auswertung der Interviews mit Expert:innen tritt eine mehrschichtige Unzufriedenheit mit rechtlichen, organisatorischen und realpolitischen Rahmenbedingungen zutage. Die planerische Herausforderung steht dabei mitunter gar nicht so sehr im Fokus: *„Das Problem ist fast immer der fehlende politische Wille, es sind nicht die beengten Verhältnisse. [...] Es wird auf Kosten schwächerer Verkehrsteilnehmer geplant.“* (ID6). Ähnlich argumentiert ID28: *„Generell merkt man aber bei den Lösungen, dass es immer eine Hierarchie gibt. Als erstes muss immer der Kfz-Verkehr funktionieren, dann kommt der Rest.“*

Der Rest kann dann, wenn's nach den Entscheidungsträgern geht, auch einfach mit weniger Platz auskommen“. Bei der Umsetzung geeigneter Lösungsstrategien, wie der Entfernung des ruhenden Verkehrs im Falle dadurch verursachter Engstellen, werden dogmatische Festlegungen als Problem ausgemacht *„Parken ist nach wie vor eine heilige Kuh.“* (ID19, siehe auch ID23) oder aber auf regulatorische Fehlkonstruktionen hingewiesen: *„Das Argument der Radverkehrssicherheit reicht als Grund für eine Temporeduktion nicht aus“* (ID8). Die Regelwerke bzw. deren Auslegung und Anwendung legen laut übereinstimmender Einschätzung aus allen drei Ländern der D-A-CH-Region die Latte für eine Reduktion der höchstzulässigen Geschwindigkeit zu hoch an (ID20, ID22). ID31 macht hierbei vor allem die übergeordnete Gesetzgebung und nicht die Normen und Richtlinien als Problemquelle aus.

Sachverständige und Verantwortliche in den Verwaltungen werden zum Teil als Hindernis wahrgenommen (ID19, ID20, ID23), da diese die Regelwerke als de facto Standard erachten würden und es an Argumentationshilfen für begründete Abweichungen von Regelwerken fehle (ID17, ID26). Beim Umgang mit den Regelwerken macht ID22 eine Selbstblockade unter den Entscheidungsträger:innen aus, wodurch naheliegende Lösungen nicht umgesetzt werden. Obwohl die bestehenden Regelwerke bereits als sehr enges Korsett mit wenig Spielraum für kreative Lösungsansätze empfunden werden (ID30), wird den Sachverständigen eine überaus große, persönliche Rolle beigemessen. Deren individuelle Entscheidung, die stark *„persönlichkeits- und generationsabhängig“* (ID31) sei, entscheiden vielfach über die Umsetzbarkeit von Maßnahmen (ID6, ID11, ID19). Folglich sieht ID40 bei vorhandener Offenheit bei allen Beteiligten Spielraum für gute Lösungen und verweist dabei vor allem auf die Möglichkeit von experimentellen Ansätzen. Scheitern würden solche Vorhaben an Koordinationsproblemen (ID10), die auf die gegebenen Verwaltungsstrukturen und Hierarchien zurückgeführt werden (ID33), sowie am Föderalismus und damit verbundenen Probleme bei Zuständigkeiten (ID6).

Ein weiterer Aspekt betrifft die Latenz von Regelwerken, die mitunter neuen Erfordernissen, Möglichkeiten und kreativen Lösungsansätzen entgegenstehen oder nicht geeignet abbilden (ID28). Dazu komme eine *„Trägheit in der Verwaltung“*, neue Instrumente im Sinne des Radverkehrs einzusetzen (ID33).

Durch die Bank wird das Fehlen eines nachhaltigen politischen Willens für die durchgängige Förderung des Radverkehrs und die damit verbundene Priorisierung bei Engstellen moniert (z.B. ID6, ID8, ID9, ID14, ID20). Mehr noch, es wird keine Schlagkraft erkannt, um politische Ziele, die in diversen Strategien und Masterplänen festgelegt sind, zu erreichen (ID19).

Ganz praktisch manifestiert sich dieses Problem beispielsweise bei Bodenschwellen zur Temporeduktion, die sich als hocheffektiv erweisen und folglich als taugliches Mittel für fahrradfreundliche Lösungen bei Engstellen erachtet werden. Aus Rücksichtnahme auf Kfz-Lenker:innen wird diese Maßnahme jedoch häufig nicht umgesetzt (ID16, ID19, ID30). Insgesamt entsteht der Eindruck: *„Wenn der Autoverkehr nicht beeinträchtigt wird, dann sind Lösungen politisch leichter umsetzbar.“* (ID33). Auf planerischer Ebene – und ebenfalls stark vom politischen Willen abhängig – wird das Fehlen durchgängiger Radverkehrsnetze bemängelt. Ein solches wäre eine wichtige Unterstützung bei der Priorisierung des Radverkehrs an Engstellen (ID9). Diesem Befund steht allerdings eine in dieser Form unter allen konsultierten Expert:innen einzigartige Feststellung entgegen, die von einem geringen Nutzen von Radverkehrsnetzen ausgeht, da dafür in den meisten Fällen das Potenzial gar nicht vorhanden wäre (ID38).

Obwohl die Zahl von Lastenrädern in vielen Städten massiv steigt, wird deren Größe nur an einer Stelle als verschärfender Faktor bei Engstellen erwähnt (ID17). Umso verwunderlicher erscheint es, dass Radverkehrsanlagen – oftmals in gemischter Nutzung mit dem Fußverkehr – nach wie vor zu schmal geplant werden (ID34). Neben den Lastenrädern haben wohl e-Bikes bzw. S-Pedels die Anforderungen an die Infrastruktur am weitreichendsten geändert. Motorunterstützte Fahrräder werden hinsichtlich ihrer höheren Geschwindigkeit als problematisch erachtet; insbesondere wenn es zu einer Mischung des Radverkehrs mit dem Fußverkehr kommt (ID10, ID30).

2.2.4 Erfolgreiche Lösungen

Als Kontrast zu den Gründen für die Nicht-Realisierung von Lösungen und zu den wiederkehrenden Problemstellungen wurden die Expert:innen auch nach erfolgreichen Lösungen und dafür notwendige Rahmenbedingungen gefragt. Die Ergebnisse lassen sich wie ein Spiegelbild zum Befund zuvor verstehen. Mut und Offenheit für unkonventionelle Lösungen werden am häufigsten genannt. Hinsichtlich konkreter Maßnahmen werden die prominente Markierung der Radverkehrsanlagen und die Reduktion des Tempos als effektive, erfolgreiche Lösungen angeführt. Als erfolgskritische Rahmenbedingungen bzw. Strategien werden eine breite Beteiligung, gemeinschaftliche Planung, die Vermittlung zwischen unterschiedlichen Ansprüchen an den Straßenraum und temporäre Interventionen erwähnt. Interessant ist der Hinweis, dass suboptimale Lösungen gar keinen Lösungen für den Radverkehr vorzuziehen seien.

Die Bandbreite an Antworten ist derart groß, dass einzelne Aspekte in absoluten Zahlen nur selten erwähnt werden, wie nachfolgendes Diagramm zeigt.

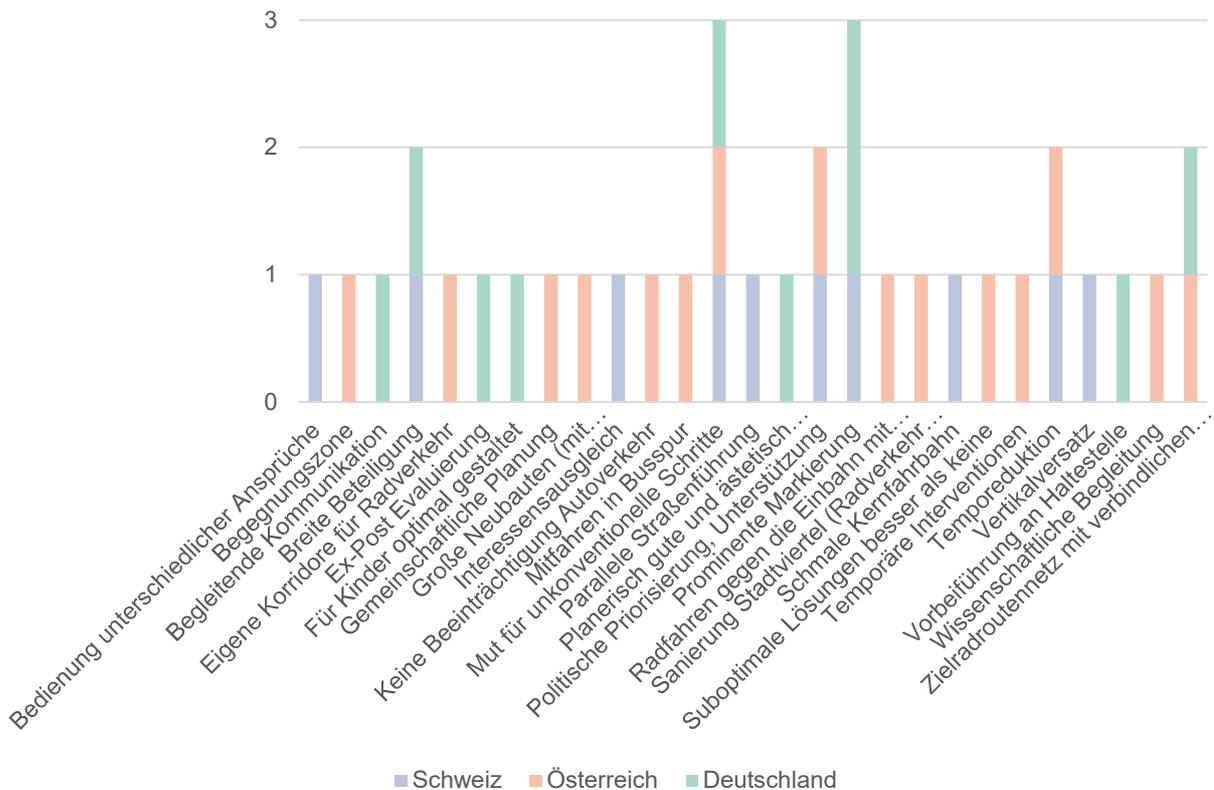


Abbildung 15: Nennungen von erfolgreichen Lösungsstrategien bzw. Rahmenbedingungen für ebendiese in den drei Ländern der D-A-CH-Region.

In Abbildung 15 wird einerseits die Vielzahl unterschiedlicher Aspekte erfolgreicher Lösungen für den Radverkehr bei beengten Verhältnissen deutlich, andererseits sind die Beispiele für tatsächlich realisierte, erfolgreiche Lösungen sehr rar gesät. Mehreren konsultierten Expert:innen sind sogar gar keine konkreten Lösungen bekannt (ID13, ID14, ID28, ID34). Dort wo gute Lösungen umgesetzt wurden, spielte zumindest in einem Fall der Zufall eine entscheidende Rolle und es konnte eine parallele Straßenführung umgesetzt werden (ID8).

Recht einheitlich sind die Ausführungen der Expert:innen zu notwendigen Rahmenbedingungen für erfolgreiche Lösungen. Ausgehend von der Feststellung, dass es auch Mut für unkonventionelle Lösungen brauche (ID9), werden folgende Erfolgsfaktoren mehrmals erwähnt:

- Pragmatismus: Jedes Angebot für den Radverkehr bei beengten Verhältnissen sei besser als keines (ID17, ID33). Kompromisse dürften jedoch nicht allein zulasten des Radverkehrs gehen, sondern „Wenn es schmal ist, soll es für alle schmal sein“

(ID19). Zudem sollten sich alle Beteiligten bewusst sein, dass gute Lösungen nicht notwendigerweise von vornherein als solche von einer Mehrheit wahrgenommen werden (ID19).

- **Einbindung:** Die Wichtigkeit der Partizipation wird auf mehreren Ebenen artikuliert. Große Chancen für erfolgreiche Lösungsstrategien werden bei großen stadtplanerischen Projekten wie z.B. Quartierssanierungen gesehen, im Zuge dessen Engstellen entfernt oder zu Gunsten des Radverkehrs verbessert werden können (ID39). Die frühzeitige Einbindung möglichst aller Akteure aus diversen Abteilungen im Planungs- und Entscheidungsprozess wird aber auch bei lokalen Maßnahmen für erfolgskritisch erachtet (ID30). Rund um die Implementierung von Lösungen für den Radverkehr gilt ein breit angelegter Beteiligungsprozess mit allen Verkehrsteilnehmer:innen als entscheidend (ID12, ID23). Dieser soll auch nach der Maßnahmenumsetzung durch gute Kommunikation – idealerweise dauerhaft und vor Ort – fortgeführt werden (ID20).
- **Priorität:** Ziel erfolgreicher Lösungen muss ein egalitäres, sicheres System sein. Als tauglicher Indikator dafür wird die vorbehaltlose Benutzung der Infrastruktur durch Kinder gesehen (ID40). Noch grundsätzlicher wird es wie folgt ausgedrückt: *„Gib dem schwächeren Verkehrsteilnehmer eher das, was er braucht. Beim Auto kommt es maximal zu einem Blechschaden. Ein Radfahrer wird ‚reinpüriert‘, wenn es zu eng wird.“* (ID19)
- **Gestaltung:** Die Wichtigkeit einer durchgängig hohen gestalterischen bzw. ästhetischen Qualität sämtlicher Lösungsansätze wird betont (ID26). Als Referenz wird auf die durchgängige Markierung bzw. Einfärbung von Radverkehrsanlagen in den Niederlanden verwiesen (ID11). Ähnliches sollte auch im D-A-CH-Raum verfolgt werden, da davon auch positive Auswirkungen auf Lösungen bei Engstellen erwartet werden: *„Erfolgreiche Lösungen zeichnet der Netzzusammenhang aus, also das Gefühl zu haben: ‚ich komme überall hin.‘“* (ID22).

Ob eine Lösung schlussendlich als erfolgreich bewertet wird, hängt naturgemäß von der Zielsetzung ab. Hier decken die konsultierten Expert:innen eine große Bandbreite ab. Während an einem Ende des Spektrums Maßnahmen nur dann als erfolgreich gelten, wenn eine Anlage von mindestens 500 Radfahrer:innen pro Tag genutzt wird – was aber laut Aussage nirgendwo der Fall sei (ID38), wird am anderen Ende niedriger angesetzt: *„Wenn ein paar Personen aufs Velo wechseln, dann ist es eine sehr gute Lösung“* (ID10). Wo auch immer

die Schwellwerte angesetzt werden, kommt der wissenschaftlichen Begleitung (ID31) und einem durchgehenden Monitoring (ID10) eine bedeutende Rolle zu.

2.2.5 Berücksichtigung Nutzer:innengruppen

Die Ansprüche von Nutzer:innen an den Straßenraum sind bei Radfahrer:innen unterschiedlich. Inwiefern Radverkehrslösungen bei beengten Verhältnissen diesen Ansprüchen gerecht werden, wurde von den konsultierten Expert:innen sehr eindeutig beantwortet. In allen drei Ländern der D-A-CH-Region wurde mehrheitlich festgestellt, dass sich die Lösungsstrategien an geübten, furchtlosen Radfahrer:innen orientieren würden. Kinder und Senioren blieben demnach stark unterrepräsentiert. Eine weitere Unterscheidung zeigt sich zwischen touristischen Radfahrer:innen und Alltagsradfahrer:innen. Während für erstgenannte Gruppe Umwege bei entsprechender Qualität der Infrastruktur kein Problem darstellen, gilt es für den Alltagsradverkehr direkte, hoch-konnektive und gleichzeitig sichere Verbindungen vorzuhalten. Mit E-Bikern zeichnet sich eine weitere Nutzer:innengruppe ab, die in der Planung Berücksichtigung finden muss. Durch die potenziell höhere Geschwindigkeit ändern sich die Parameter für diverse Mischlösungen (Kfz/Fahrrad bzw. Fahrrad/Fußverkehr).

Die Fokussierung auf geübte, meist männliche Radfahrer stellt nicht nur bei der Umsetzung von Maßnahmen ein Problem dar, sondern beginnt bereits in den Gremien, in denen Regelwerke verfasst werden. Diese werden vielfach von dieser Gruppe dominiert (ID9, ID40). Bei der Implementierung von Lösungen ist es entscheidend Projektleiter:innen zu haben, die die Bedürfnisse aller Verkehrsteilnehmer:innen kennen und adressieren (ID17, ID30). Vor allem für ungeübte Radfahrer:innen stellen Engstellen veritable Barrieren dar (ID8). Wichtig wäre es jedoch, gerade Interessierte für das Radfahren zu gewinnen und sich nicht nur an bestehende, geübte Radfahrer:innen zu orientieren (ID13, ID31); in dieser Gruppe, wie auch bei touristischen Radfahrer:innen (ID19) ist das Sicherheitsbedürfnis zentral (ID14). Selbes gilt für Kinder (ID34), deren Sicherheit durch eine erhöhte Rücksichtnahme (nicht in Vertrauensgrundsatz eingeschlossen) aller anderen Verkehrsteilnehmer:innen eigentlich sowieso gewährleistet sein müsste (ID19). ID20, ID22 und ID38 weisen in diesem Zusammenhang auf die besonderen Anforderungen an die Infrastruktur im Schulumfeld hin. Während Unfallzahlen und infrastrukturbezogene Bewertungsmodelle die Verkehrssicherheit objektiv feststellen könnten, bleibe das subjektive Sicherheitsempfinden, welches letztendlich über die Benutzung einer Infrastruktur entscheidet, häufig unberücksichtigt (ID23, ID26).

2.2.6 Evidenzgrundlagen

Eine wesentliche Motivation für das RADBEST Projekt ist die Bereitstellung von Evidenzen für die Planung adäquater Radverkehrsanlagen bei beengten Verhältnissen. Durch die zunehmende Verfügbarkeit verschiedener Datenquellen wird diversen Daten und davon abgeleiteten Informationsprodukten eine immer bedeutendere Rolle im Planungsprozess und einer nachfolgenden Evaluierung zukommen. Die Nennungen von bereits verwendeten und gewünschten Evidenzgrundlagen stellten sich als sehr divers heraus. Über alle Länder hinweg wurden Studien- und Forschungsergebnisse sowie Daten zur Verkehrsbelastung am häufigsten genannt. Gemessene Geschwindigkeiten, das subjektive Empfinden von Radfahrer:innen und Unfallzahlen/-berichte wurden ebenfalls von mehreren Expert:innen genannt.

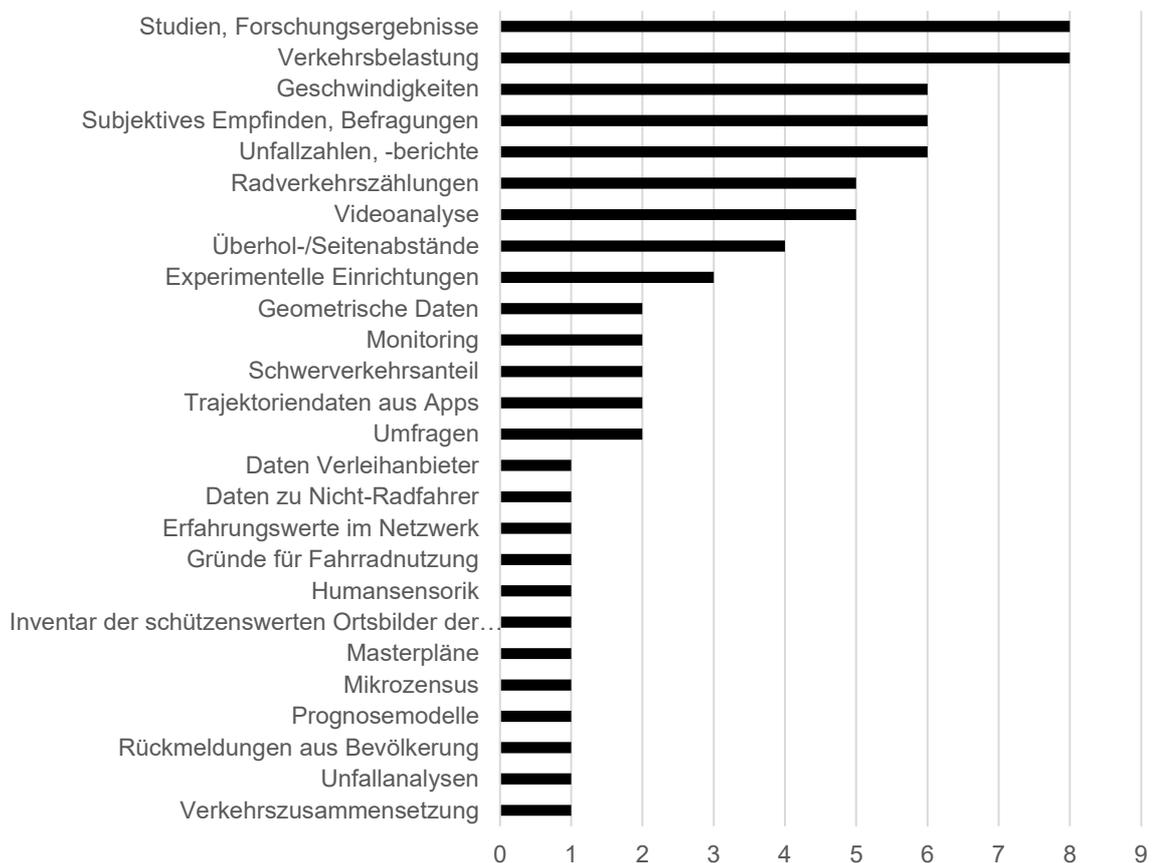


Abbildung 16: Verwendete oder gewünschte Evidenzgrundlagen in den Ländern der D-A-CH-Region. Mehrfachnennungen möglich.

Die Unterschiede zwischen den drei Ländern der D-A-CH-Region in der Nennung von Evidenzgrundlagen sind augenscheinlich. Eventuell lassen sich diese auf die unterschiedliche Verfügbarkeit und Zugänglichkeit der jeweiligen Daten in den Ländern zurückführen.

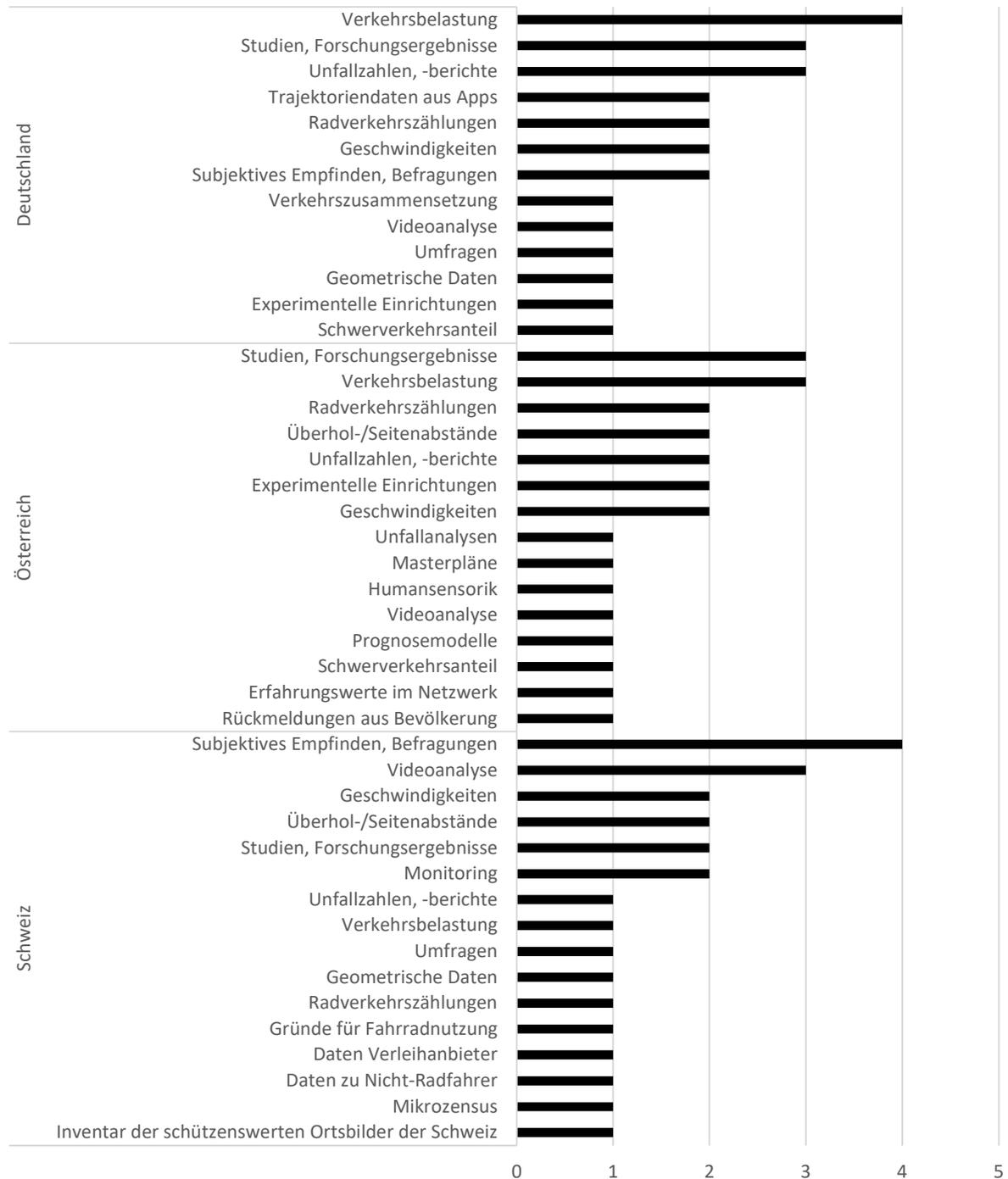


Abbildung 17: Nennung von Evidenzgrundlagen gegliedert nach Ländern.

Sowohl in Deutschland wie auch in Österreich wird die Verkehrsbelastung als wichtige Evidenzgrundlage angeführt. Demgegenüber sticht der Bedarf nach Daten zum subjektiven Empfinden bzw. Befragungsdaten in der Schweiz heraus.

Die insgesamt zahlreich genannten Evidenzgrundlagen lassen den Schluss zu, dass es nicht „die eine“ Evidenzgrundlage braucht, sondern je nach Fragestellung unterschiedliche Datenquellen von Relevanz sind.

Im Allgemeinen wird der Einsatz von Daten von fast allen konsultierten Expert:innen begrüßt und als notwendig erachtet: *„Je mehr Daten vorhanden sind, umso besser.“* (ID11). Diese Feststellung wird jedoch mit dem Hinweis teilweise relativiert, dass für Behörden Evidenzgrundlagen wenig wichtig sondern diese primär für Planer:innen relevant wären (ID39). Mit Hinweis auf eine nationale Richtlinie wurde zudem angemerkt: *„In der RVS ist verankert, dass die zu erwartenden Radverkehrsstärken abgeschätzt werden sollen. Überholabstände sind eigentlich kein Thema für die Planung von Radverkehrsanlagen.“* (ID38). Anders gelagert als diese beiden einschränkenden Positionen, ist der Hinweis, dass Evidenzgrundlagen wohl wichtig wären, jedoch nie auf eine konkrete Situation vor Ort geschlossen werden könne. Es brauche also stets Anhaltspunkte für die jeweiligen Maßnahmen bei Engstellen (ID26).

Sehr wohl gefragt und für wichtig erachtet werden Studien als Argumentationshilfen für intendierte Lösungsansätze (ID8, ID31). In diesem Zusammenhang wurde der Wunsch artikuliert, dass die Studien noch besser über Ländergrenzen hinweg verfügbar gemacht werden sollten (ID17). Allerdings wurde auch zu bedenken gegeben, dass viele Studien mitunter veraltet und daher nur mehr eingeschränkt nutzbar seien (ID13).

Hinsichtlich der Zugänglichkeit von Evidenzgrundlagen wurden einerseits zentrale Datenplattformen für sämtliche Daten in den Verwaltungen (ID20) und andererseits eine verbesserte Zugänglichkeit zu Unfalldaten bzw. Polizeiberichten (ID22) angeregt. Gleichzeitig wurde der Umgang mit Unfalldaten jedoch auch kritisch gesehen, da darin typischerweise nur Vorfälle mit Personen- und/oder Sachschaden erfasst werden. Damit blieben viele potenziell gefährlichen Stellen unbeachtet (ID40). Als Pendant zu Unfalldaten wurde mehrmals der hohe Wert von Befragungen und damit Anhaltspunkte für das subjektive Empfinden vor Ort betont. Dabei wurde allerdings auch auf den hohen Erhebungsaufwand verwiesen, der mit als Grund für die seltenen Befragungen ausgemacht wird (ID23, ID28). Für Verwaltungen böten sich, zumindest in der retrospektiven Evaluierung, Rückmeldungen aus der Bevölkerung als brauchbare Informationsquelle an (ID30).

Von den diversen Evidenzgrundlagen erhoffen sich die konsultierten Expert:innen im Wesentlichen zwei Arten von Anhaltspunkte:

- **Maßnahmeneffektivität:** Die Wirksamkeit von Maßnahmen sollte systematisch erhoben werden (ID6, ID19), um unter anderem Prognosen von Effekten bei ähnlich gelagerten Fällen berechnen zu können (ID34). Das für die Feststellung der Maßnahmeneffektivität notwendige Monitoring müsse auf jeden Fall neuartige Technologien, wie videobasierte Sensorik (ID9), Daten aus digitalen Applikationen (ID22), oder humansensorische Messungen (ID30, ID33) beinhalten.
- **Nutzer:innen:** Mehrfach erwähnt wurde der hohe Wert von Studien zu unterschiedlichen Anforderungen von Nutzer:innengruppen (ID6, ID12, ID33). Hierbei steht besonders auch die Motivationslage der Gruppe derer, die noch nicht Rad fahren im Mittelpunkt des Interesses (ID14).

2.3 Internationale Lösungsansätze und wissenschaftliche Studien

In einer strukturierten, umfassenden Literaturanalyse wurden Lösungsansätze und deren jeweiligen Wirkungen 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. Die Auswertung erfolgte jedoch getrennt. 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.

2.3.1 Design der Literaturanalyse

Für das Design der Literaturanalyse wurde auf das PRISMA Statement¹ als Protokoll zurückgegriffen, welches ursprünglich für medizinische Literatur- und Metaanalysen entwickelt wurde, jedoch auch im verkehrswissenschaftlichen Bereich vielfach verwendet wird. Von den 27 vorgesehenen Posten (*items*) werden für den Zweck der systematischen Literaturanalyse im Rahmen von RADBEST 23 herangezogen. Im nachfolgend beschriebenen Design wird indirekt auf diese Posten referenziert. Eine vollständige Dokumentation gemäß PRISMA Protokoll liegt projektintern vor.

Das übergeordnete Ziel der Literaturanalyse ist die Zusammenführung von Studienergebnissen, die Radverkehrsführungen bei beengten Verhältnissen wissenschaftlich untersuchten. Das Dilemma, welches dem gesamten Projekt RADBEST zugrunde liegt (zu geringer, nicht erweiterbarer Querschnitt für die Einrichtung baulich getrennter Radinfrastruktur), bildet auch den Hintergrund für die gegenständliche Literaturanalyse. Es gilt, Lösungsansätze zu identifizieren und das Spektrum der Wirkungen von deren Implementierung quantitativ und qualitativ zu erfassen. Im Rahmen der Literaturanalyse werden die folgenden drei Hypothesen getestet bzw. die dahinterstehenden Fragestellungen adressiert:

- 1) Es existieren internationale Designlösungen, die für die D-A-CH-Region relevant und (teilweise) übertragbar sind.
- 2) Adäquate Infrastruktur reduziert den Stress bei Radfahrer:innen und erhöht die wahrgenommene Sicherheit.
- 3) Der laterale und rückwärtige Abstand zwischen Radfahrer:innen und Kfz wird bei Einrichtung adäquater Infrastruktur größer.

¹ Page et al. 2021: The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Um diese Hypothesen zu testen, wird 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 fokussiert die gegenständlichen Literaturanalyse nicht auf eine Meta-Analyse von Effektgrößen, sondern identifiziert und beschreibt Wirkungszusammenhänge und schätzt die Stärke der Zusammenhänge.

Für die Literaturanalyse wurden die folgenden Einschlusskriterien definiert:

- Von Experten begutachtete Journal-Artikel oder Konferenzbeiträge
- Relevante Projektberichte und Dokumentationen anerkannter Fachinstitutionen aus der D-A-CH-Region
- Veröffentlicht und zugänglich
- In deutscher und/oder englischer Sprache
- Zwischen 1990 und 2022 veröffentlicht
- Qualitatives, quantitatives oder mixed-methods Studiendesign

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, FFG und Difu Repository indiziert. Zudem ergänzten Expert:innen innerhalb des Konsortiums die Liste der grauen Literatur.

Für die Formulierung der Abfragen an die oben erwähnten Datenbanken wurden Suchbegriffe samt Synonymen definiert, die in weiterer Folge zu fünf verschiedenen Konzepten kombiniert wurden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Suchbegriffe in deutscher und englischer Sprache (links) samt den daraus abgeleiteten Suchkonzepten (rechts).

Suchbegriffe in natürlicher Sprache (Schlüsselwörter und Synonyme)	Suchkonzepte
1) Fahrrad Rad Rad fahren Radverkehr Velo 2) Streifen Radweg Querschnitt Seitenraum Platz Pikto* Kernfahrbahn 3) getrennt gemischt geteilt eng beengt 4) innerorts städtisch außerorts 5) Komfort Sicherheit Wahrnehmung Interaktion Begegnung Abstand Geschwindigkeit 6) Überholung überholen Überholmanöver Auffahren Nachfahren Unfall beinahe Unfall Konflikt Vorbeifahren 7) GPS GNSS Galileo Trajektorien Tracks Daten Zählstelle Zählung Abstand Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Konzept 1 – Verwendung und Wahrnehmung von Infrastruktur: 1 & 2 & 3 & 4 & 5 • Konzept 2 – Datenverfügbarkeit: 1 & 6 & 7 • Konzept 3 – Design Lösungen: 1 & 2 & 3 • Konzept 4 – Interaktionen: 1 & 5 & 6 • Konzept 5 – Feldversuche: 1 & 3 & 7
1) cycling cycle biking bike bicycling bicycle 2) infrastructure facilities facility way lane path road network design space profile 3) separated mixed shared narrow 4) built-up urban rural 5) comfort safety perception attractiveness interaction distance speed 6) overtaking overtake bypass follow crash near miss accident conflict 7) GPS GNSS Galileo trajectories tracks data counting distance sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Konzept 1 – Verwendung und Wahrnehmung von Infrastruktur: 1 & 2 & 3 & 4 & 5 • Konzept 2 – Datenverfügbarkeit: 1 & 6 & 7 • Konzept 3 – Design Lösungen: 1 & 2 & 3 • Konzept 4 – Interaktionen: 1 & 5 & 6 • Konzept 5 – Feldversuche: 1 & 3 & 7

Tabelle 4: 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).

Datenbank	Syntax der Abfragen
PubMed	("cycling"[All Fields] OR "cycle"[All Fields] OR "biking"[All Fields] OR "bike"[All Fields] OR "bicycling"[All Fields] OR "bicycle"[All Fields]) AND ("overtaking"[All Fields] OR "overtake"[All Fields] OR "bypass"[All Fields] OR "follow"[All Fields] OR "crash"[All Fields] OR "near miss"[All Fields] OR "accident"[All Fields] OR "conflict"[All Fields]) AND ("GPS"[All Fields] OR "GNSS"[All Fields] OR "Galileo"[All Fields] OR "trajectories"[All Fields] OR "tracks"[All Fields] OR "data"[All Fields] OR "counting"[All Fields] OR "distance"[All Fields] OR "sensor"[All Fields]) AND 1990/01/01:2022/12/31[Date - Publication]
Google Scholar	(cycling OR cycle OR biking OR bike OR bicycling OR bicycle) AND (overtaking OR overtake OR bypass OR follow OR crash OR near miss OR accident OR conflict) AND (GPS OR GNSS OR Galileo OR trajectories OR tracks OR data OR counting OR distance OR sensor)
Web of Science	ALL=((cycling OR cycle OR biking OR bike OR bicycling OR bicycle) AND (overtaking OR overtake OR bypass OR follow OR crash OR "near miss" OR accident OR conflict) AND (GPS OR GNSS OR Galileo OR trajectories OR tracks OR data OR counting OR distance OR sensor)) AND PY=(1990-2022)

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.

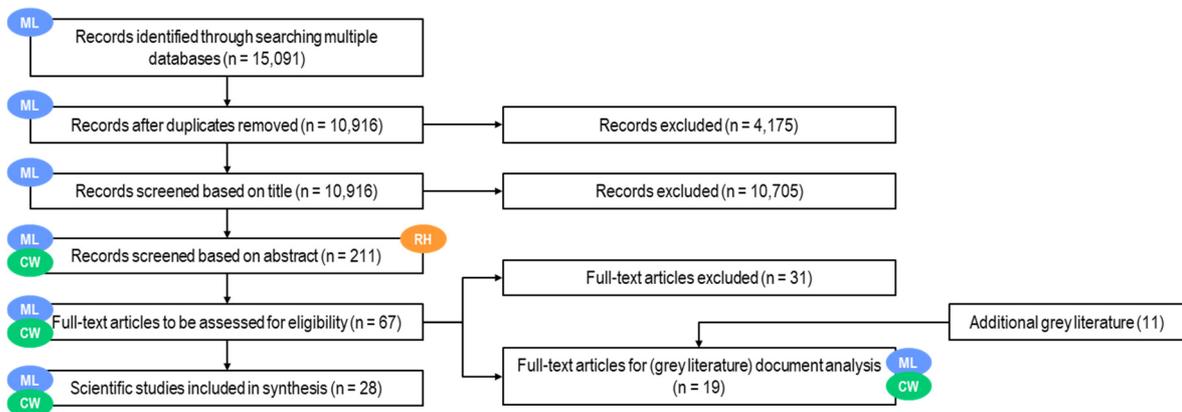


Abbildung 18: Systematische Literaturanalyse. Die Initialen stehen für die unabhängigen, involvierten Wissenschaftler:innen.

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 komplett gelesen, um über die Berücksichtigung in der finalen Analyse zu entscheiden. Im Zuge dessen wurde die Unterscheidung zwischen akademischer und grauer Literatur getroffen. Abbildung 18 gibt einen Überblick über den Ablauf und zeigt den Weg von 15.091 Ergebnissen zu den letztendlich 28 berücksichtigten Studien und 19 Werke der grauen Literatur.

2.3.2 Aussagen der akademischen Studien

In der nachfolgenden Literaturanalyse fanden Studien Berücksichtigung, die zwischen 2000 und 2022 veröffentlicht wurden. Wie sich in Abbildung 19 zeigt, wurde die überwiegende Mehrzahl in den vergangenen zehn Jahren veröffentlicht. Von den 28 Studien, wurden 22 in wissenschaftlichen Journalen publiziert. Zehn Studien erschienen im Journal „Accident Analysis and Prevention“ (Elsevier), welches für das gegenständliche Forschungsfeld als zentrales Medium erachtet werden kann. Drei Studien wurden in „Transportation Research Record“ (Sage) veröffentlicht. Die berücksichtigten Review-Studien wurden beide

im renommierten Journal „Transport Reviews“ (Taylor & Francis) publiziert. Die übrigen Journal-Publikationen verteilen sich auf verschiedene, durchwegs anerkannte Journale. Bei drei Studien handelt es sich um verschriftliche Konferenzbeiträge und drei weitere Studien wurden als Teil von Qualifizierungsarbeiten (Master Thesis, Dissertation) veröffentlicht.

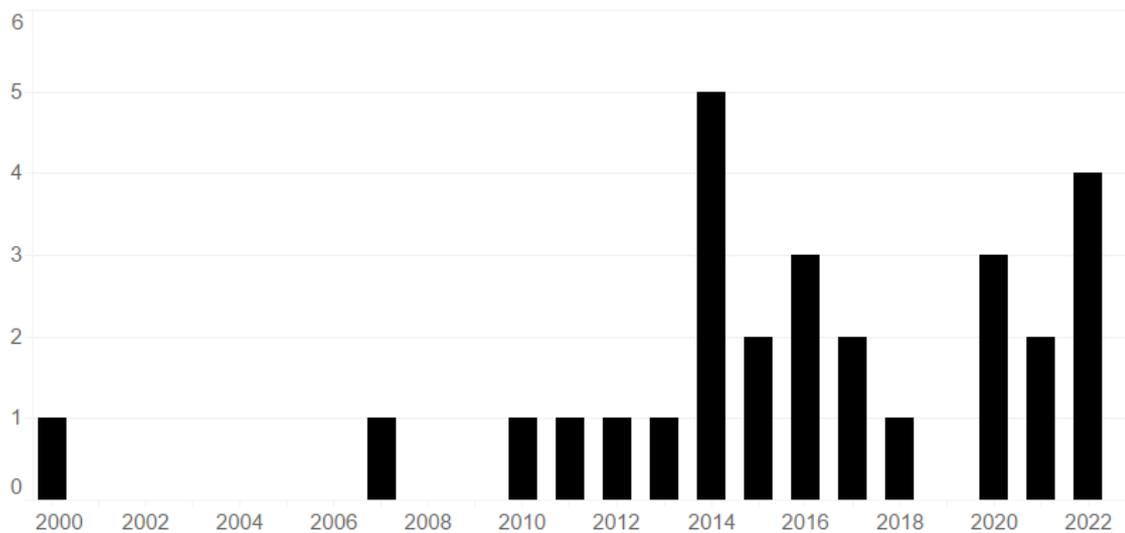


Abbildung 19: Anzahl der berücksichtigten Studien nach Publikationsjahr

Die 28 akademischen Studien untersuchen primär die Mischung von Kfz- und Radverkehr (21 Studien). Drei Studien erheben Effekte von einer Mischnutzung von Fuß- und Radverkehr, eine Studie widmet sich der Mischung aller Modi und in drei Studien werden verschiedene Szenarien getestet. Entsprechend des Fokus' der Literaturanalyse wurden die meisten Untersuchungen in einem urbanen Umfeld (23 Studien) gemacht.

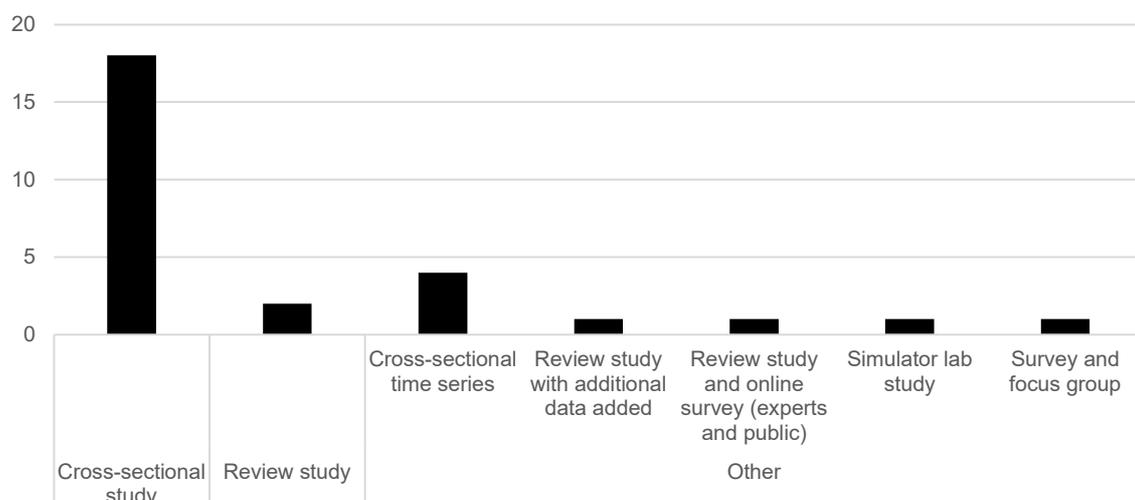


Abbildung 20: Studiendesigns der berücksichtigten akademischen Studien.

Beim Studiendesign überwiegen Querschnittstudien (Cross-sectional Studies), wie aus Abbildung 20 hervorgeht. Dieses Studiendesign wurde auch für die empirischen Erhebungen im Rahmen von RADBEST verwendet. In vier Studien wurden Vorher-/ Nachheruntersuchungen durchgeführt, wodurch sich Effektgrößen von Maßnahmen unmittelbar ableiten lassen.

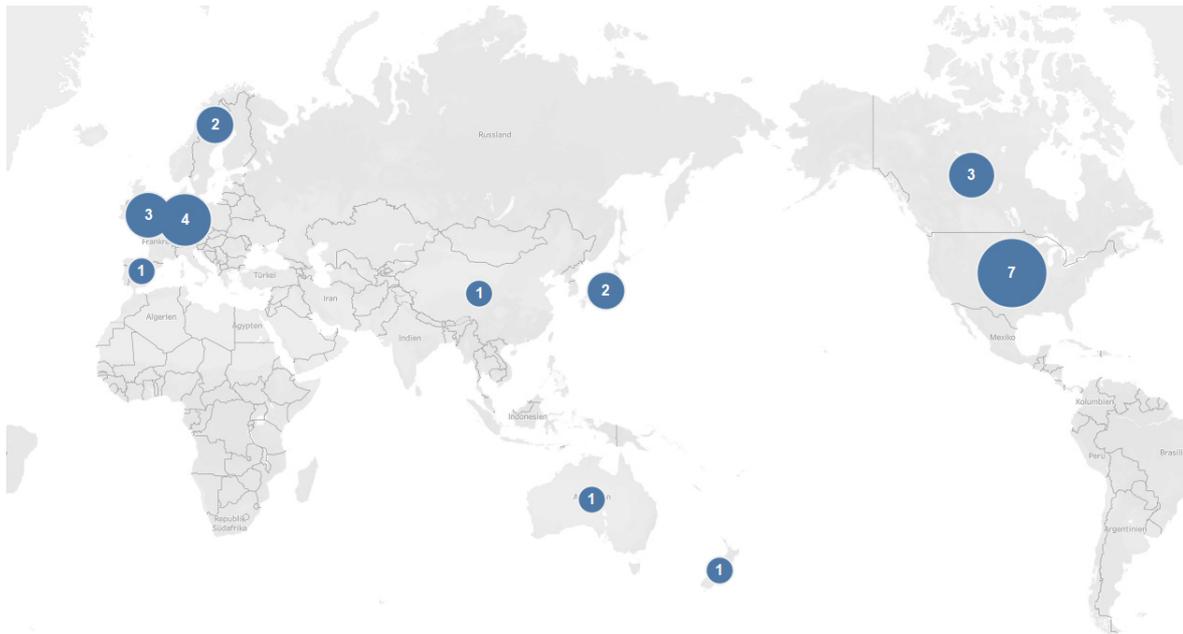


Abbildung 21: Länder, in denen die Untersuchungsgebiete der berücksichtigten Studien liegen.

Die Verteilung der Studiengebiete ist sehr ungleich. Eine Mehrheit der Studien wurde in den USA durchgeführt. Immerhin vier Studien stammen aus Deutschland. Zu den in Abbildung 21 gezeigten Ländern kommen noch Review-Studien, die sich auf Studien aus diversen Ländern beziehen, sowie eine Simulator-Studie.

Der Beobachtungszeitraum bzw. die zeitliche Länge der erhobenen Datenreihen ist zwischen den untersuchten Studien sehr unterschiedlich. Für neun Studien fehlen Anhaltspunkte. Die meisten Studien (7) basieren auf Daten, die innerhalb von ein bis fünf Tagen erhoben wurde. Drei Studien verwenden langfristig erhobene Daten. Die Dauer der Beobachtung bzw. Datenerhebung hängt naturgemäß unmittelbar mit den verwendeten Sensoren und den erhobenen Datenarten zusammen.

Mit Abstand am häufigsten wird in den untersuchten Studien der seitliche Abstand bei Überholvorgängen gemessen. Abbildung 22 gibt einen Überblick über die quantitativ erhobenen Metriken. Dazu kommen noch diverse qualitative Daten. In den meisten Studien werden ein

bis zwei Metriken erhoben, wobei mitunter auf weitere Daten als Kontrollvariablen (z.B. Wetter) zurückgegriffen wird.

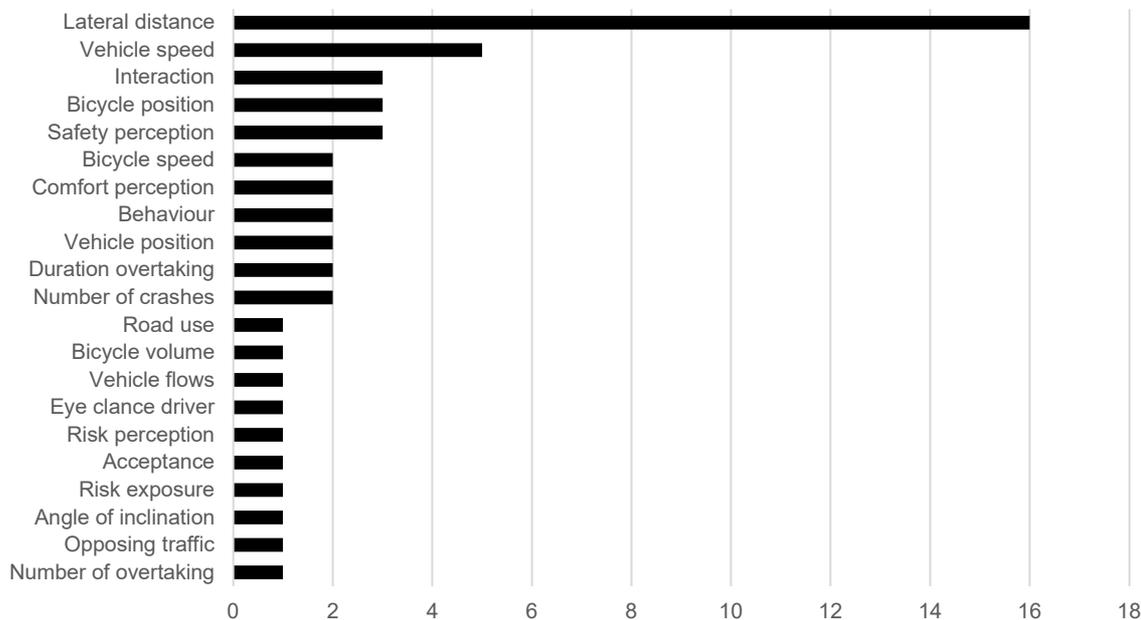


Abbildung 22: Häufigkeit erhobener Metriken in den untersuchten 28 Studien.

Die in die Analyse inkludierten Studien unterscheiden sich hinsichtlich Fragestellung, Studiendesign und Datenerhebung derart stark, dass eine Zusammenführung der quantitativen Ergebnisse nicht möglich ist. Aus diesem Grund werden die Erkenntnisse aus den Studien zusammengefasst, die Bandbreiten dargestellt und abschließend eine zusammenfassende Schlussfolgerung gezogen. Nachfolgend werden die Erkenntnisse zu den Metriken zusammengefasst, die in zumindest drei unterschiedlichen Studien erhoben wurden. Einige Studien beinhalten Ergebnisse von mehreren Metriken.

2.3.2.1 Überholabstand

Der Überholabstand (lateral distance) ist in den berücksichtigten Studien die am häufigsten untersuchte Variable. Sämtliche Untersuchungen messen Überholabstände bei einer Mischung von Kfz- und Radverkehr. Die meisten Studien erstellen auf Basis erhobener Daten verschiedene Varianten von Regressionsmodellen, um den Zusammenhang zwischen diversen Umgebungsvariablen und den Überholabständen zu eruieren. Die Daten aus den Studien stammen aus einer Literaturanalyse (Rubie et al., 2020), einem mit einer Videokamera ausgestatteten Kfz (Feng et al., 2018), in fünf Fällen aus stationären Videokameras (Apsanore et al., 2017, Kay et al., 2014, La Mondia and Duthie, 2012, Nolan et al., 2021,

Schell, 2007) und in neun Fällen aus instrumentierten Fahrrädern (Dozza et al., 2016, Feizi et al., 2021, Henao and Apparicio, 2022, Llorca et al., 2017, Mehta et al., 2015, Parkin and Meyers, 2010, Shackel and Parkin, 2014, Stewart and McHale, 2014, von Stülpnagel et al., 2022a). Die Befunde aus den Studien sind aufgrund der sehr unterschiedlichen Untersuchungsdesigns schwer vergleichbar, in ihrer inhaltlichen Aussage nicht einheitlich und zum Teil sich widersprechend. Es lassen sich jedoch Tendenzen, die für die gegenständliche Untersuchung von Relevanz sind, erkennen.

Gemeinhin werden Überholabstände von < 1 m als gefährlich erachtet. Der Anteil dieser gefährlichen Überholmanöver liegt bei knapp über 3 % (La Mondia and Duthie, 2012, Henao and Apparicio, 2022) bis 9,11 % bei Fahrbahnbreiten $< 3,5$ m (Nolan et al., 2021) und 12 % bei Straßen mit zwei Fahrbahnen aber ohne Fahrradstreifen (Mehta et al., 2015).

Der Überholabstand ist klarerweise von der **Fahrbahnbreite** abhängig. Die Fahrbahnbreite erklärt 7% der Variabilität des Überholabstands im Regressionsmodell von Apasnore et al. (2017); gemessen wurden hier durchschnittliche Überholabstände von 1,25 m bei Fahrbahnbreiten bis 3,3 m bis zu durchschnittlichen 2,4 m bei Fahrbahnbreiten von 5,1 m. Feng et al. (2018) berechnen eine Zunahme des Überholabstands von 4 cm für jede zusätzlichen 10 cm Fahrbahnbreite. Je geringer der Überholabstand ist, umso länger dauert der Überholvorgang (Henao and Apparicio, 2022), was sich naturgemäß negativ auf das Sicherheitsempfinden von Radfahrer:innen auswirkt. Unter anderem Dozza (2017) findet in seiner Versuchsanordnung keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Fahrbahnbreite und Überholabstand.

Zur Fahrbahnbreite kommt die **Geschwindigkeit** des motorisierten Verkehrs als entscheidende Variable für den Überholabstand. Der Überholabstand auf verkehrsberuhigten Straßen ist geringer als von Radfahrer:innen erwartet wird (von Stülpnagel et al., 2022a). Auch Shackel and Parkin (2014) stellen fest, dass bei Geschwindigkeitsbegrenzungen von 20 mp/h (ca. 32 km/h) die Fahrbahnbreite keine Auswirkung auf den Überholabstand hat. Bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 30 mp/h (ca. 48 km/h) wird der Überholabstand mit größer werdender Fahrbahnbreite entsprechend größer. Allgemein gilt, dass der Überholabstand umso größer wird, je mehr Fahrspuren vorhanden sind, je breiter die Fahrbahn ist und umso höher die Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs ist (Apasnore et al., 2017, Shackel and Parkin, 2014). Für das Sicherheitsgefühl von Radfahrer:innen wirkt sich dieser Zusammenhang unmittelbar aus. Bei 50 km/h werden Überholabstände ab 1,5 m als sicher wahrgenommen. Bei einer Geschwindigkeit über 100 km/h liegt dieser Wert bei 2,75 m (Llorca et al., 2017).

Die Wirkung von **Fahrradstreifen** (Schutz-/Mehrzweck-/Rad-/Radfahrstreifen) ist hinsichtlich des lateralen Abstands zwischen Fahrrad und Kfz tendenziell negativ (Feng et al., 2018). In der umfassenden Metaanalyse von Rubie et al. (2020) wird dieser Befund bestätigt: Fahrradstreifen reduzieren den lateralen Abstand, wiewohl das Sicherheitsgefühl von Radfahrer:innen und auch Kfz-Lenker:innen durch das Vorhandensein von jeweils zugewiesenen Bereichen im Straßenquerschnitt erhöht wird. Dies dürfte unter anderem auf die Reduktion der gefährlichen Überholvorgänge zurückzuführen sein: Mehta et al. (2015) errechnen einen Anteil dieser Manöver von 12 % bzw. 0,2 % ohne bzw. mit Fahrradstreifen. Als einzige Studie verweisen Stewart and McHale (2014) auf einen um durchschnittlich 16 cm größeren lateralen Abstand bei Fahrradstreifen im Vergleich zur Abwesenheit ebendieser hin. Die Färbung der Fahrradstreifen hat dieser Studie zufolge keinen signifikanten Einfluss auf den Abstand.

Die Wirkung des Fahrradstreifens auf den lateralen Abstand hängt auch mit der Geschwindigkeit zusammen. Der Abstand reduziert sich bei Geschwindigkeitslimits von 40 mp/h (ca. 64 km/h) und 50 mp/h (ca. 80 km/h) durch das Vorhandensein von Fahrradstreifen (Parkin and Meyers, 2010). Der Effekt von Fahrradstreifen auf den lateralen Abstand bei niedrigen Geschwindigkeiten ist nicht eindeutig belegt. Gemäß Parkin and Meyers (2010) ist bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 30 mp/h (ca. 48 km/h) kein Zusammenhang feststellbar. Dem gegenüber weisen von Stülpnagel et al. (2022a) auf Basis ihrer Daten nach, dass die lateralen Abstände bei 30 km/h Geschwindigkeitslimit bei Vorhandensein eines Fahrradstreifens geringer sind als ohne. Schell (2007) weist nach, dass Fahrradstreifen den seitlichen Abstand zu parkenden Kfz erhöhen, wodurch die Gefahr von Dooring-Unfällen reduziert werden kann.

Feng et al. (2018) untersuchten die Auswirkungen der **Mittelmarkierung** auf die Überholabstände. Durchgezogene Mittellinien verringern im Vergleich zu einer unterbrochenen Markierung die Überholabstände signifikant. Rüttelstreifen in der Fahrbahnmitte haben eine ähnlich negative Auswirkung auf den Überholabstand wie durchgezogene Linien (Kay et al., 2014). Der positive Effekt einer unterbrochenen Mittelmarkierung wird durch die gleichzeitige Markierung eines Fahrradstreifens zum Teil wieder aufgehoben.

Eng verbunden mit der Mittelmarkierung ist der **Gegenverkehr** bzw. dessen Auswirkung auf den Überholabstand. Dozza et al. (2016) sieht im Gegenverkehr den entscheidenden Faktor für die Größe der sogenannten Comfort Zone für Radfahrer:innen. Dies deckt sich mit Befunden, die ergeben, dass der mittlere Überholabstand bei Gegenverkehr um 9 cm geringer ist als ohne und sich die Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs um 3,5 km/h reduziert

(Llorca et al., 2017)– wodurch der Überholvorgang verlängert wird. Zu gleichlautendem Ergebnis kommen Rubie et al. (2020).

Während zwei Studien aus den USA **Sharrows** (La Mondia and Duthie, 2012) bzw. „Share the Road“ Hinweisschildern (Kay et al., 2014) eine positive Wirkung auf den Überholabstand zusprechen, stehen die Befunde von Feizi et al. (2021) dem eindeutig entgegen. Ebenfalls mit Daten aus den USA belegen die Autoren im Durchschnitt geringere Überholabstände bei Markierungen, die eine geteilte Nutzung der Hauptfahrbahn nahelegen. Rubie et al. (2020) können in der akademischen Literatur keine Wirkung von Sharrows auf den Überholabstand nachweisen.

Feizi et al. (2021) weisen auf Basis von Erhebungen in diversen Städten in unterschiedlichen Bundesstaaten der USA nach, dass sich der gesetzlich vorgeschriebene **Mindestabstand** positiv auf den Überholabstand auswirkt. Allerdings schränken die Autoren ein, dass das Bewusstsein für derartige gesetzliche Regelungen allgemein gering ist.

2.3.2.2 Kfz-Geschwindigkeit

Die zweithäufigste Variable, die in den Studien untersucht wurde, ist die Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs (siehe Abbildung 22). Karndacharuk et al. (2014) ist eine Review-Studie zu Shared Space Konzepten, welche mit einer konkreten Umsetzung in Neuseeland verglichen werden. Die vier weiteren Studien (Fournier et al., 2020, Kay et al., 2014, Schell, 2007, Shackel and Parkin, 2014) untersuchen die Mischung von Kfz- und Radverkehr.

Durch die Einrichtung einer Begegnungszone (Elliott Street) konnte in Auckland die Geschwindigkeit um 20% auf 16 km/h (Mittelwert) bzw. 21 km/h (85. Perzentile) reduziert werden. Zur Hauptverkehrszeit sank die mittlere Geschwindigkeit auf 12 km/h. Der Verkehrsfluss reduzierte sich um 40% auf 1.000 Fahrzeuge pro Tag. Die angeführten Referenzprojekte weisen ähnliche Geschwindigkeitsprofile auf. Der DTV liegt allerdings zum Teil bedeutend höher (Karndacharuk et al., 2014).

Laut Fournier et al. (2020) konnte die Durchschnittsgeschwindigkeit durch Piktogrammketten / Sharrows vom Referenzwert von 16,81 mp/h (ca. 27 km/h) auf 16,03 mp/h (ca. 25,8 km/h) reduziert werden. Die Markierung eines Fahrradstreifens führte zu ähnlichen Effekten: von 36,53 mp/h (ca. 58,8 km/h) auf 36,05 mp/h (ca. 58 km/h). Kay et al. (2014) stellten gar eine Geschwindigkeitsreduktion durch „Share the Road“ Hinweisschildern von 4 km/h fest. Durch die Markierung eines Schutzstreifens (DE) bei gleichzeitiger Etablierung

einer überbreiten Fahrspur für den Kfz (anstelle von zwei Fahrspuren) wurde in einem Verkehrsversuch in Karlsruhe eine mittlere Geschwindigkeit in der morgendlichen Spitze von 45,6 km/h festgestellt. Bemerkenswert ist die Halbierung des Anteils der Fahrzeuge die die höchstzulässige Geschwindigkeit überschreiten auf 21,3% (Schell, 2007).

Die Entfernung einer Mittellinie kann bei Segmenten mit einer Höchstgeschwindigkeit von 30 mp/h (ca. 48 km/h) zur Reduktion der mittleren Geschwindigkeit führen. Bei niedrigeren Höchstgeschwindigkeiten ist dieser Effekt nicht zu beobachten (Shackel and Parkin, 2014).

2.3.2.3 Interaktion

Eine Studie widmet sich der Interaktion von Fußgänger:innen und Radfahrer:innen bei einer gemischten Nutzung der Infrastruktur (Kiyota et al., 2000). Zwei Studien untersuchen unter anderem die Interaktion zwischen Kfz- und Radverkehr (La Mondia and Duthie, 2012, Nolan et al., 2021).

Die Ergebnisse sind zum Teil kontraintuitiv. La Mondia and Duthie (2012) führen an, dass bei einer Reduktion des Platzangebotes die Interaktion und Kooperation zwischen den Verkehrsteilnehmer:innen notwendig wird; dadurch würde ein sicheres Miteinander erst möglich. Demgegenüber führen Nolan et al. (2021) eine höhere Vorhersehbarkeit des Verhaltens bei dezidierter Infrastruktur an, selbst wenn durch Fahrradstreifen die lateralen Abstände geringer sein mögen. Folglich empfehlen die Autoren die Einrichtung von Fahrradstreifen oder anderer farblicher Markierungen („painted buffer“).

Kiyota et al. (2000) eruieren bei gemischter Nutzung von Fußgänger:innen und Radfahrer:innen eine durchschnittliche Fahrradgeschwindigkeit von 12 km/h, welche nicht-linear mit jedem:r weiteren Fußgänger:in sinkt. Abstände zwischen Fußgänger:innen und Radfahrer:innen von weniger als 75 cm werden als unsicher wahrgenommen. Keinerlei Risiko wird bei Abständen > 1,5 m wahrgenommen. Die Autoren geben die maximale Dichte von Fußgänger:innen für eine gemischte Nutzung mit 0,23 / m² an.

2.3.2.4 Position Fahrrad

Die Position von Radfahrer:innen beeinflusst einerseits den Überholabstand und andererseits den Abstand zu potenziellen Gefahrenquellen am Fahrbahnrand, primär parkende Kfz. Insgesamt drei Studien (Apsanore et al., 2017, Hunter et al., 2011, La Mondia and Duthie, 2012) untersuchten die Position des Fahrrads in Abhängigkeit verschiedener Umgebungsvariablen.

Hunter et al. (2011) und La Mondia and Duthie (2012) untersuchen jeweils die Wirkung von Sharrows. In beiden Fällen können größere Abstände zu seitlich parkenden Fahrzeugen festgestellt werden. Durch die Markierung von Sharrows konnte eine Halbierung von Gefährdungen durch offene Fahrzeurtüren (Dooring) festgestellt werden (Hunter et al., 2011). Die Positionierung weg vom Fahrbahnrand wurde zwar nachgewiesen, allerdings sind die Ergebnisse nicht signifikant (Hunter et al., 2011). La Mondia and Duthie (2012) weisen die Wirkung für Sharrows, nicht aber für „Share the road“ Hinweisschilder nach. Ebenso zeigen sie, dass eine Erhöhung der Anzahl der Fahrspuren zu einem tendenziell geringeren Abstand von Radfahrer:innen zum Fahrbahnrand führt.

Apasnore et al. (2017) weisen darauf hin, dass ein größerer Abstand vom Fahrbahnrand nicht notwendigerweise zu einem geringeren Überholabstand führen muss. In ihrem Regressionsmodell zeigt sich ein (schwach) positiver Zusammenhang zwischen Abstand vom Fahrbahnrand und Überholabstand, den sie damit erklären, dass Kfz-Lenker:innen Radfahrer:innen grundsätzlich den nötigen Platz zugestehen, wenn diese ihn durch die Positionierung auf der Fahrbahn einfordern.

2.3.2.5 Wahrgenommene Sicherheit

Karndacharuk et al. (2014) untersuchten sehr umfangreich ein Shared Space Projekt in Neuseeland und verglichen dieses mit internationalen Referenzen. Sie weisen auf eine wahrgenommene Verunsicherung und abstrakte Sicherheitsbedenken bei der Einrichtung einer gemischten Nutzung aller Modi hin. Die Erhebung der subjektiven Sicherheit in der Studie von Llorca et al. (2017) ist insofern interessant, als dass keine einheitlichen bzw. nachvollziehbaren Zusammenhänge zwischen Abständen zu überholenden Fahrzeugen und dem Fahrbahnrand sowie zur Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs nachgewiesen werden konnten. Einzig die Größe von überholenden Fahrzeugen steht in einem direkten Zusammenhang mit dem wahrgenommenen Sicherheitsempfinden bzw. dessen Beeinträchtigung. Je mehr große Fahrzeuge (Busse, Lkw) Radfahrer:innen überholen, umso schlechter ist das Sicherheitsempfinden.

Die zentrale Studie zur wahrgenommenen und objektiven Sicherheit untersucht die Wirkungen von Fahrradstreifen, Fahrradstraßen und eine Reduktion der höchstzulässigen Geschwindigkeit (von Stülpnagel et al., 2022b). Die Autoren stellen fest, dass die Einrichtung eines Fahrradstreifens die subjektive Sicherheit signifikant erhöht und sich auch in einer objektiv besseren Sicherheitslage (Unfälle, Beinahe-Unfälle jeweils bezogen auf das Radverkehrsaufkommen) manifestiert. Die Effekte sind sowohl für die subjektive wie auch für

die objektive Sicherheit bei Einrichtung von Fahrradstraßen sogar noch um ein Vielfaches größer. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang konnte zwischen einem verbesserten Sicherheitsempfinden bzw. objektiven Sicherheit und Geschwindigkeitsbegrenzungen zwischen 30 und 40 km/h festgestellt werden. Dieser Effekt ist bei noch niedrigeren Geschwindigkeitslimits oder aber einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h oder mehr nicht mehr nachweisbar.

2.3.2.6 Diverse weitere Variablen

Aufgrund der geringen Anzahl an Studien, die die weiteren Metriken beinhalten, muss von einer zusammenfassenden Aussage je Metrik abgesehen werden. Folgende Variablen wurden, neben den oben diskutierten, in den berücksichtigten Studien erhoben:

- **Geschwindigkeit des Fahrrads.** Bei einer Mischung von Fuß- und Radverkehr reduziert jede:r zusätzliche Fußgänger:in die Geschwindigkeit von Radfahrer:innen ausgehend von einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 12 km/h (Kiyota et al., 2000). Hindernisse, querende Fußgänger:innen und schlecht einsehbare Kreuzungssituationen führen zu plötzlichen Geschwindigkeitsabfällen und hohen Neigungswinkeln – beides Anhaltspunkte für eine Sicherheits- und Komfortminderung (Kaneda et al., 2014).
- **Wahrgenommener Komfort.** Der Überholabstand und die Verkehrsmenge sind die beiden wesentlichen Faktoren, die den Komfort von Radfahrer:innen beeinflussen (Apasnore et al., 2017). Baulich getrennte Radwege werden deshalb auch als bevorzugte Infrastruktur erachtet. Zu Fahrradstreifen liegen unterschiedliche Befunde vor. Begegnungszonen und eine Mischung mit dem Fußverkehr werden von Radfahrer:innen als komfortmindernd erachtet (Sanders, 2016).
- **Verhalten.** Erfahrene Radfahrer:innen bevorzugen die Mischung mit dem Kfz-Verkehr, während weniger selbstsichere Radfahrer:innen die Mischung mit dem Fußverkehr vorziehen (Jørgensen, 2020). Fahrradspuren mit physischen Trennelementen wirken sich positiv auf das Sicherheitsgefühl von Radfahrer:innen aus und führen zu einer adaptierten Fahrweise von Kfz-Fahrer:innen. Letztgenannter Effekt wird durch zusätzliche Hinweisschilder verstärkt (Wilke et al., 2013).
- **Position Fahrzeug.** In einer Simulatorstudie (Fournier et al., 2020) konnten nur geringe, signifikante Effekte von Fahrradstreifen auf die Position des Fahrzeugs ermittelt werden. Bei einer Fahrbahnbreite von 12 Fuß (3,66 m) positionierten sich die

Fahrzeuge um 0,23 Fuß (7 cm) weiter Richtung Fahrbahnmitte wenn ein Fahrradstreifen markiert war. Die begleitende Beobachtungsstudie einer Neuorganisation des Radverkehrs in Karlsruhe (Schell, 2007) ergab, dass die Akzeptanz von Schutzstreifen (DE) nach Neueinrichtung vergleichsweise hoch war und dieser von 12% der Fahrzeuge überfahren wurde. Bei zweispuriger Richtungsfahrbahn bevorzugten Kfz-Lenker:innen die linke Fahrspur, da dadurch genügend Abstand zu Radfahrer:innen und parkende Kfz eingehalten werden konnte.

- **Dauer des Überholvorgangs.** Die Dauer des Überholvorgangs verlängert sich, je geringer der Abstand wird. Damit ist die Risikoexposition entsprechend hoch. Die mittlere Überholdauer bei einem Überholabstand von > 1 m beträgt 1,066 Sekunden, während bei Überholabständen < 1 m die Überholdauer im Durchschnitt 1,583 Sekunden beträgt (Henao and Apparicio, 2022). Deutlich längere Überholvorgänge – unter anderem aufgrund einer etwas anderen Definition des Manövers – berichten Dozza et al. (2016), die vor allem auf die fast doppelt so lange Dauer des Überholvorgangs hinweisen, im Vergleich von stark beschleunigenden (*accelerative overtaking*) und gleichmäßig fahrenden (*flying overtaking*) Fahrzeugen.
- **Anzahl an Unfällen.** Das objektive Unfallrisiko (ausgedrückt durch die Anzahl registrierter Unfälle, standardisiert durch Radverkehrsvolumen) sinkt bei Fahrradstreifen, Fahrradstraßen und Temporeduktionen signifikant (von Stülpnagel et al., 2022b). Pulugurtha and Thakur (2015) weisen ein 3-4fach erhöhtes Risiko für einen Unfall bei Segmenten ohne Fahrradstreifen im Vergleich zu solchen mit Fahrradstreifen aus.
- **Straßenbenützung.** Piktogramme und diverse Varianten von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen führen dazu, dass Radfahrer:innen eher die Fahrbahn als mit Fußgänger:innen geteilte Flächen benutzen. Die Breite des durch Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen zugewiesenen Bereichs ist positiv mit der Akzeptanz korreliert. Umgekehrt gelten gemischt genutzte Fahrspuren mit 3 bis 3,5 m Breite als bei Radfahrer:innen besonders unbeliebt. Die negative Wirkung der motorisierten Verkehrsmenge auf die Attraktivität ist größer als die positive Wirkung von Markierungen (Hantschel, 2022).
- **Fahrradverkehr.** In einer Fallstudie konnte eine Zunahme des Radverkehrs von +40% durch die Markierung von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen innerhalb von 3 Wochen verzeichnet werden (Schell, 2007).

- **Verkehrsmenge.** Eine Überblicksstudie stellt eine Reduktion des motorisierten Verkehrs zwischen 30% und 90% durch die Einrichtung von Shared-Space-Bereichen fest (Karndacharuk et al., 2014).
- **Augenbewegung Fahrer.** Die Aufmerksamkeit – gemessen in einer Simulationsstudie – für markierte Radverkehrsanlagen ist nur bei gleichzeitig hoher Anzahl an Radfahrer:innen entsprechend erhöht; ansonsten kann keine erhöhte Aufmerksamkeit (*glance*) festgestellt werden (Fournier et al., 2020).
- **Wahrgenommenes Risiko.** Das wahrgenommene Risiko wird mit Fahrradstreifen signifikant gesenkt, wobei die Reduktion objektiv größer ist als wahrgenommen. Auch bei Fahrradstraßen ist eine deutliche Reduktion des wahrgenommenen Risikos feststellbar, wobei hier die objektive Reduktion geringer als wahrgenommen ist. Tempolimits bei 30-40 km/h werden als besonders effektiv hinsichtlich des wahrgenommenen Risikos eingeschätzt (von Stülpnagel et al., 2022b). Je größer die motorisierenden Fahrzeuge sind, umso unsicherer wird ein Straßensegment wahrgenommen (Lorca et al., 2017).
- **Akzeptanz.** Die Mischung von Fuß- und Radverkehr wird eher von Männern als von Frauen akzeptiert; insgesamt ist die Akzeptanz für das Mischen höher, wenn keine Radverkehrsanlage besteht. Je höher die Geschwindigkeit von Radfahrer:innen ist, umso niedriger ist die Akzeptanz für eine Mischnutzung bei Fußgänger:innen. Umgekehrt sinkt die Akzeptanz bei Radfahrer:innen je mehr Mobiliar (Sitzbänke, Pflanzentröge etc.) sich auf der Fläche befindet (Kang and Fricker, 2016).
- **Risikoexposition.** Fahrradstreifen und Piktogrammketten / Sharrows führen nicht in allen Fällen zu einer reduzierten Risikoexposition. Je höher das motorisierte Verkehrsaufkommen ist, umso höher ist auch das Risiko für Radfahrer:innen. Dafür erhöht ein Tempolimit < 50 km/h die Sicherheit für Radfahrer:innen signifikant. Die Risikoexposition steigt bei breiteren Fahrbahnen (> 3,5 m) mitunter, da es hierbei öfters zu mitunter riskanten Überholvorgängen kommt (Hantschel, 2022).
- **Neigungswinkel.** Bei der Interaktion mit Fußgänger:innen bei gemischter Nutzung, können diese zu einer bedeutenden Behinderung für Radfahrer:innen werden, wodurch sich plötzliche Neigungswinkel von bis zu -13° ergeben (Kaneda et al., 2014).
- **Gegenverkehr.** Der Einfluss des Gegenverkehrs auf den Überholabstand mit und ohne Fahrradstreifen ist je nach Situation höchst unterschiedlich. Es gibt aber die

Tendenz, dass sich mit erhöhtem Aufkommen von Gegenverkehr der Überholabstand verringert (Stewart and McHale, 2014).

- **Anzahl an Überholvorgängen.** In einer Fallstudie konnte eine Abnahme der Fälle in denen Kfz-Lenker:innen ohne Überholvorgang verzögern mussten durch die Markierung von Fahrradstreifen um 80% festgestellt werden (Schell, 2007).

2.3.3 Ergebnisse aus der grauen Literatur

Neben den im vorangegangenen Kapitel referenzierten wissenschaftlichen Arbeiten existieren eine Reihe hoch relevanter Studien und Fallbeschreibungen, die aber nie wissenschaftlich veröffentlicht wurden. Typischerweise sind Fachgesellschaften oder renommierte Institutionen Herausgeber solcher Dokumente. Dazu kommen studentische Arbeiten und Präsentationen bei fach einschlägigen Veranstaltungen. Im Folgenden sei auf die einzelnen Dokumente mit einer kurzen Angabe, der für die gegenständliche Studie relevanten Inhalte verwiesen. Für weiterführende Details mögen die einzelnen Dokumente konsultiert werden.

Tabelle 5: Referenzen und Inhalte aus der grauen Literatur.

ID	Referenz	Inhalte
201	Tiefbauamt des Kantons Zürich (1990), Durchfahrtsbreiten bei baulichen Hindernissen. Verkehrstechnische Untersuchungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Empfohlene Mindestabstände bei Mittelinseln in Abhängigkeit von Fahrbahnbreite und Länge der Mittelinsel ▪ Ein Mindestüberholabstand von 70 cm wurde als „genügend“ angenommen. Demnach liegt die empfohlene Mindestbreite für kurze Inseln (< 15 m) bei 4 m und bei langen Inseln (> 15 m) bei 4,2 m.
202	Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure SVI (2003), Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kamerabasierte Erhebung von Überholabständen bei gemischter Nutzung (Auto- und Radverkehr) in 19 Fällen innerorts und 7 Fällen außerorts. ▪ Mischung unter folgenden Umständen als vertretbar bewertet: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 6 m Profil, 5.000 Kfz DTV ▪ 7-7,5 m Profil, 10.000 Kfz DTV und max. 6% Schwerverkehranteil ▪ 6 m Profil, max. 50 km/h, 7.500 Kfz DTV ▪ 7-7,5 m Profil, max. 50 km/h, kein Schwerverkehr, 15.000 Kfz DTV ▪ Mischung außerorts wird aufgrund der hohen Kfz-Geschwindigkeit generell in Frage gestellt.

203	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (2015), Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoher Parkdruck und häufige Parkplatzwechsel gelten bei engen Verhältnissen innerorts als wesentliche Unfallursache.
204	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (2019), Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parkraum wird als wesentliches Sicherheitsrisiko bei der Markierung von Schutz- und Fahrradstreifen ausgemacht. ▪ Das Unfallrisiko für Radfahrer:innen steigt mit geringer werdenden Fahrbahnbreite. ▪ Schutz- und Fahrradstreifen werden häufig regelwidrig vom ruhenden und fließenden Kfz-Verkehr benutzt. ▪ Eine Markierung von Schutz- und Fahrradstreifen führt nicht zu einer Vergrößerung des Überholabstands. 50% der Kfz unterschreiten einen Abstand von 1,5 m. ▪ Geringer Überholabstände und regelwidrige Nutzungen von Schutz- und Fahrradstreifen beeinträchtigen das subjektive Sicherheitsgefühl von Radfahrer:innen am meisten.
205	Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement Bundesamt für Strassenbau (2000), Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenabschnitten (Kernfahrbahnen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kern- und Schmalfahrbahnen mit 5,45-4,6 m werden als geeignete und von allen Verkehrsteilnehmer:innen akzeptierte Lösung erachtet wenn der Querschnitt 7,5-8 m breit ist und der DTV bei höchstens 10.000 Fahrzeugen mit max. 6% Schwerverkehrsanteil liegt.
206	Arbeitsgemeinschaft Fahrradfreundlicher Kommunen in Baden-Württemberg e. V. (2014), Gutachten zum Einsatz und zur Wirkung von einseitigen, alternierenden und beidseitigen Schutzstreifen auf schmalen Fahrbahnen innerorts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein beidseitiger Schutzstreifen bei schmaler Kernfahrbahn wird als positiver erachtet als ein einseitiger, alternierender Schutzstreifen. ▪ Alternierende Schutzstreifen werden generell als ungeeignet erachtet. ▪ Die Markierung von Schutzstreifen reduziert die Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs. ▪ Die Sicherheitswirkung von Schutzstreifen ist ab 1,40 m Breite deutlich nachweisbar.
207	Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern (2017), Schutzstreifen außerorts - Modellversuch zur Abmarkierung von Schutzstreifen außerorts und zur Untersuchung der Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schutzstreifen außerorts dürfen keine Alternative zur Einrichtung von getrennten Radwegen sein. ▪ Wenn getrennte Radwege außerorts nicht möglich sind, erhöhen markierte Schutzstreifen und eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 70 km/h oder niedriger die Sicherheit von Radfahrer:innen.

	auf die Sicherheit und Attraktivität im Radverkehrsnetz	
208	Bachelorarbeit FH Joanneum K. Lenes (2022), Das subjektive Sicherheitsgefühl bei Überholmanövern - Abstandsmessungen vom motorisierten Verkehr zu Radfahrer/innen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 50% der gemessenen Überholabstände sind < 1,5 m. ▪ Der Zusammenhang zwischen Sicherheitsgefühl und Überholabstand ist nicht konsistent nachweisbar.
209	Bachelorarbeit FH Joanneum F. Gorfer (2022), Infrastrukturelle Zusammenhänge bei Überholmanövern zwischen Kraftfahrzeugen und Radfahrern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Infrastrukturelle Gegebenheiten können die Variation der Überholabstände nicht erklären.
210	Veloplan AG (2021/22), Himmel und Hölle: Kernfahrbahnen mit schmalen Kern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Präsentation von Erfahrungen aus zwei Pilotprojekten. ▪ Reduktion der Geschwindigkeit um 4 km/h (V_{85}) bei schmaler Kernfahrbahn und Markierung eines Fahrradstreifens.
211	SNZ Ingenieure und Planer AG (2023), Schmale Kernfahrbahn, Uster	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Präsentation von Erfahrungen einer testweisen Einrichtung einer schmalen Kernfahrbahn in Uster (Schweiz). ▪ Nach Markierung der Fahrradstreifen konnte keine Geschwindigkeitsreduktion festgestellt werden. ▪ Die Position von Radfahrer:innen tendiert Richtung Fahrbahnmitte. ▪ Das subjektive Sicherheitsempfinden von Radfahrer:innen stieg nach Markierung von Fahrradstreifen bei schmaler Kernfahrbahn.

2.3.4 Synthese der Literaturanalyse

Die systematische Analyse der wissenschaftlichen Literatur erlaubt für das gegenständliche Projekt relevante Schlussfolgerungen, wiewohl kein Konsens hinsichtlich idealer Lösungen bei beengten Verhältnissen feststellbar ist. Die analysierten Studien sind hinsichtlich Design und erhobener Merkmalswerte höchst unterschiedlich. Eine Metaanalyse ist auf Basis der veröffentlichten Informationen nicht möglich. Bezugnehmend auf die eingangs formulierten Hypothesen lässt sich feststellen:

- 1) International wird bei beengten Verhältnissen und einer notwendigen Mischung von Kfz- und Radverkehr auf eine Reduktion der höchstzulässigen Geschwindigkeit und die Anbringung diverser Markierungen (Fahrradstreifen, Piktogrammketten /

Sharrows) gesetzt. Die gesetzliche Festlegung von Mindestüberholabständen erweist sich – mit zeitlicher Verzögerung – als effektive Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit von Radfahrer:innen. Maßnahmen, die über die bereits in der D-A-CH-Region angewandten bzw. pilotierten hinausgehen und Transferpotenzial aufweisen konnten aus der wissenschaftlichen Literatur nicht abgeleitet werden. Die Erfahrungen mit schmaler Kernfahrbahn bzw. der Entfernung von Mittelmarkierungen sind tendenziell positiv und erweisen sich in Verbindung mit der Markierung breiter Fahrradstreifen als vielversprechender Lösungsansatz.

- 2) Studien zu einer quantitativen Stressmessung bei Radfahrer:innen fehlen bislang. Aus qualitativen Erhebungen lassen sich aber relevante Erkenntnisse zum Zusammenhang von den räumlichen Gegebenheiten und Stress ableiten. Die Markierung von (breiten) Fahrradstreifen, vor allem aber die Reduktion der höchstzulässigen Geschwindigkeit auf maximal 40 km/h reduziert den Stress bzw. erhöht die wahrgenommene Sicherheit bei Radfahrer:innen. Physische Trennungen (z.B. überfahrbare Kappen) zwischen Kfz- und Radverkehr erhöhen das Sicherheitsempfinden bei Radfahrer:innen.
- 3) Überholabstände von < 1 m werden gemeinhin als gefährlich wahrgenommen. Jede Maßnahme, die derart geringen lateralen Abständen entgegenwirkt ist naturgemäß als positiv zu bewerten. Allerdings sind die Überholabstände nicht alleine für das Sicherheitsempfinden bei Radfahrer:innen verantwortlich – mitunter wurden sogar umgekehrt proportionale Zusammenhänge festgestellt. Fahrbahnbreiten mit rund 3,5 m führen zu knappen Überholabständen und tendenziell riskanten Überholvorgängen. Breitere Fahrbahnen erlauben größere Überholabstände; geringere Breiten zwingen Kfz-Lenker:innen zu einer defensiven Fahrweise. Die Markierung von Fahrradstreifen führt zu keinen größeren Überholabständen, sondern reduziert diese sogar. Dafür sorgen markierte Fahrradstreifen für größere Abstände von Radfahrer:innen zu seitlich parkenden Fahrzeugen, wodurch das Risiko für Unfälle (z.B. Door-ing) sinkt. Die Überholabstände verringern sich bei niedrigen Geschwindigkeiten und in Begegnungszonen.

2.4 Zusammenfassung und Erkenntnisse

Die Analyse der Regelwerke, die Konsultation von Expert:innen und die strukturierte Analyse der wissenschaftlichen Literatur ergeben bei aller Variabilität und allen Unsicherheiten doch ein relativ einheitliches Bild. Daraus leiten sich auch die zentralen Erkenntnisse in Bezug auf Lösungsmöglichkeiten für die Radverkehrsführung bei engen Verhältnissen:

- Beengte Verhältnisse, die zu Konflikten führen bedeuten in der Regel Fahrbahnbreiten von 6,0 – 9,0 m. Unter diesen Umständen ist der Lösungsraum am geringsten und es müssen **Kompromisse** zwischen den Verkehrsteilnehmer:innen forciert werden. Bei Verhältnissen $< 6,0$ m erfordern die Verhältnisse eine verstärkte Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmer:innen wodurch einerseits das subjektive Sicherheitsempfinden erhöht und das Kollisionsrisiko gesenkt wird.
- Die **Mischung von Kfz- und Radverkehr** ist grundsätzlich die hauptsächlich mögliche Lösung. Eine Mischung von Rad- und Fußverkehr verschiebt lediglich Konflikte und wird auch in der wissenschaftlichen Literatur kaum in Betracht gezogen. Mit zunehmender Höchstgeschwindigkeit und ab einem Verkehrsaufkommen von > 400 – 800 Kfz/h werden die Möglichkeiten für Mischlösungen geringer. Bei einem Geschwindigkeitslimit von 50 km/h, 1.500 Kfz/h und einer Fahrbahnbreite von $< 6,0$ m lassen die Regelwerke der D-A-CH-Region keine Mischung mehr zu. Grundsätzlich definiert die Funktion aus Verkehrsmenge und Geschwindigkeitslimit den Lösungsraum. Dazu kommen noch die Zusammensetzung (Schwerverkehrsanteil) oder rechtlich zulässige Organisationsformen (z.B. Überholverbot von Zweirädern in Deutschland) des Verkehrs als Parameter.
- Eine **Reduktion der höchstzulässigen Geschwindigkeit** verringert die Geschwindigkeitsunterschiede von Kfz- und Radverkehr. Zwar sinken dadurch tendenziell die Überholabstände, aber das subjektive Sicherheitsempfinden von Radfahrer:innen steigt. Eine verordnete Geschwindigkeitsreduktion auf maximal 30 km/h ist bei beengten Verhältnissen, der Einschätzung der konsultierten Expert:innen und der Studienlage nach unbedingt erforderlich. Neben der rechtlichen Verordnung einer Höchstgeschwindigkeit trägt auch die entsprechende Gestaltung des Straßenraums zur Reduktion der Geschwindigkeit bei.
- Die Etablierung einer **schmalen Kernfahrbahn** mit breiten Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen wird als primäre Lösungsmöglichkeit erachtet. Die positive Wirksamkeit dieser Maßnahme wird vor allem in Kombination mit einer reduzierten Höchstgeschwindigkeit erzielt. Eine Entfernung der Mittellinie ist für die Wirksamkeit dieses

Lösungsansatzes notwendig. Die Regelwerke der D-A-CH-Region erlauben die Einrichtung einer schmalen Kernfahrbahn in den meisten Umständen. Alternativ zur Markierung von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen kann auch eine gemeinsame Nutzung der Fahrbahn mit begleitender Markierung (z.B. Piktogrammketten / Sharrrows) in Betracht gezogen werden. Hier müssen allerdings nationale Unterschiede beachtet werden; in Deutschland sind beispielsweise Piktogrammketten (DE) noch nicht in den Regelwerken vorgesehen.

- Der **Überholabstand** ist eine zentrale sicherheitsrelevante Größe, allerdings ambivalent zu beurteilen. Der Überholabstand verhält sich umgekehrt proportional zur Geschwindigkeit. Allerdings wird bei geringen Geschwindigkeiten ein knapperes Überholen von Radfahrer:innen als weniger gefährlich wahrgenommen. Grundsätzlich gilt, dass ein Überholabstand $< 1,0$ m als gefährlich wahrgenommen wird. Der, z.B. in Österreich auch gesetzlich verankerte, Mindestüberholabstand von 1,50 m erweist sich für Geschwindigkeiten bis 50 km/h als förderlich für das subjektive Sicherheitsempfinden. Für die tatsächliche Gefährdung von Radfahrer:innen ist auch der laterale Abstand am rechten Fahrbahnrand relevant; insbesondere im Fall von parkenden Fahrzeugen (Dooring). Eine Vergrößerung des rechten Seitenabstands kann mitunter zu einer Reduktion des Überholabstands führen, jedoch die Sicherheit der Radfahrer:innen erhöhen. Dieser Zusammenhang tritt insbesondere bei der Markierung von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen auf. Dazu kommt – in Österreich – noch der rechtliche Aspekt, dass bei markierten Radverkehrsanlagen der Mindestüberholabstand nicht schlagend wird, da es sich um keinen Überholvorgang, sondern ein Vorbeifahren handelt.
- Die **Qualität** sämtlicher Lösungen bei beengten Verhältnissen muss sich, insbesondere laut Meinung der konsultierten Expert:innen, an den höchsten ästhetischen Maßstäben orientieren. Darüber hinaus braucht es kommunikative Begleitmaßnahmen, um die Verkehrsteilnehmer:innen entsprechend einzubeziehen. Neben der ästhetischen und funktionalen Qualität müssen bei Lösungen für Radverkehrsanlagen bei beengten Verhältnissen die unterschiedlichen Bedürfnisse von Radfahrer:innen (z.B. Senior:innen, Kinder) berücksichtigt werden. Statt einer Orientierung am Kfz-Verkehr beim Design von Lösungen wird eine Optimierung für die vulnerabelsten Verkehrsteilnehmer:innen empfohlen.

- In der **Handhabe** der vorhandenen Regelwerke wird Pragmatismus beim Finden von Kompromissen und Mut zu kreativen, situationsspezifischen Lösungen empfohlen. Die gesetzlichen Grundlagen in den Ländern der D-A-CH-Region lassen an sich viel Spielraum, da kaum konkrete Maße genannt werden. Anders verhält es sich mit den technischen Richtlinien (FGSV, RVS, VSS), die jedoch laut Einschätzung der konsultierten Expert:innen einerseits zu oft als rechtlich bindend (anstelle eines empfehlenden Charakters) erachtet werden und andererseits sich zu sehr an den Bedürfnissen des Kfz-Verkehrs orientieren.

3 FELDSTUDIEN ZUR BEWERTUNG VON UNTERSCHIEDLICHEN RADVERKEHRSFÜHRUNGEN BEI BEENGTE STRASSENVERHÄLTNISSEN

Ziel der Feldstudien ist es die Wirkung unterschiedlicher Radverkehrsführungen bei beengten Straßenverhältnissen objektiv und subjektiv zu bewerten. Dafür wurden zunächst unterschiedliche Teststrecken mit verschiedenen Radverkehrsführungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz ausgewählt (siehe Kapitel 3.2). In ausgewählten Streckenabschnitten wurden zusätzlich Vorher-/Nachher-Messungen durchgeführt, bei denen Maßnahmen zur Radinfrastruktur wie Schutzstreifen (DE), Piktogrammketten (DE) oder breite Mehrzweckstreifen (AT) mit schmaler Kernfahrbahn umgesetzt wurden.

Für die Bewertung der Radverkehrsführung auf den Teststrecken kamen unterschiedliche Erhebungsmethoden – mobile Sensorik (z.B. Open Bike Sensor (OBS)), ein spezielles Sensorfahrrad (Holoscene Fahrrad), stationäre Light Detection and Ranging (LiDAR) Sensorik, stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse sowie Stressmessungen und Befragungen des subjektiven Sicherheitsempfindens – zum Einsatz (Kapitel 3.3 - 3.8). Ziel war es einen Mix an Erhebungsmethoden einzusetzen, um einerseits die jeweilige Methode nach ihrer Eignung bewerten zu können und andererseits, um einen umfassenden Eindruck von Überholvorgängen und Stressmomenten auf der Teststrecke zu erlangen. Die Erhebungsmethoden können in mobile und stationäre, sowie objektive und subjektive Methoden eingeteilt werden. Die Funktionsweise, Datenauswertung und Ergebnisse der einzelnen Erhebungsmethoden werden in den Kapiteln 3.3 - 3.8 erläutert. Die Zuordnung welche Erhebungsmethode an welcher Teststrecke eingesetzt wurde, ist in Anhang 2 Teststrecken dargestellt.

Die Ergebnisse dieser Methoden wurden anhand von sicherheitsrelevanten Kennwertengemessen. Diese Kennwerte unterscheiden sich je nach Erhebungsmethode.

Im Folgenden werden theoretische Grundlagen für die Feldstudien erläutert (siehe Kapitel 3.1), in Kapitel 3.2 ist die Auswahl der einzelnen Teststrecken aufgeführt. Außerdem werden pro Erhebungsmethode die Funktionsweise und Durchführung der Datenerhebung, die Datenauswertung und die Ergebnisse sowie deren Interpretation dargestellt (Kapitel 3.3 - 3.8). Abschließend wird eine Zusammenschau der Ergebnisse in Kapitel 3.9 präsentiert, welche gemeinsam mit der Literaturstudie und den Interviews mit Expert:innen als Basis für die Handlungsempfehlungen dient.

3.1 Definition Grundlagen für Feldstudien

In diesem Kapitel werden theoretische Grundlagen zum Verständnis der Feldstudien und der Kennwerte gegeben. Überholvorgänge und die dabei auftretenden Überholabstände sind ein wesentlicher Faktor für die objektive und subjektiv wahrgenommene Sicherheit von Radfahrer:innen. Um die Wirkungen unterschiedlicher Radverkehrsführung hinsichtlich Sicherheit zu bewerten, wurde im Projekt RADBEST der Fokus auf Überholvorgänge gelegt. Die gemessenen Überholabstände unterschiedlicher Teststrecken wurden miteinander verglichen und dienen als Grundlage für die Handlungsempfehlungen.

Laut Dozza et al., 2016 kann ein Überholvorgang in 4 Phasen gegliedert werden:

1. Die Phase der Annäherung des Kfz an das Fahrrad.
2. Die Phase, in der das Kfz beginnt auszuscheren, um nicht mit dem Fahrrad zu kollidieren.
3. Die Phase des Vorbeifahrens, d.h. der eigentliche Überholvorgang. Dieser wird lt. Dozza et al., 2016 mit einem 5,7 m langen Bereich beschrieben und setzt sich aus der angenommenen Fahrradlänge von 1,7 m plus zusätzlich 2 m vor und hinter dem Fahrrad zusammen. In weiterer Folge wird diese Phase des „Vorbeifahrens“ als Zustand des Kfz seitlich des Fahrrads verstanden und nicht im Sinne einer rechtlichen Differenzierung von Überholen im Mischverkehr vs. Vorbeifahren an markierten Schutz-/Mehrzweck-/Rad-/Radfahrstreifen, die in Österreich üblich ist.
4. Die Phase des Wiedereinscherens beschreibt das Zurücksteuern in die zuvor verlassene Spur.

Tabelle 6 fasst zusammen, welche Kennwerte sich theoretisch in den vier Überholphasen ableiten lassen und zeigt, dass nicht nur die Erhebung des lateralen Überholabstands möglich ist. Für das RADBEST wurde der Fokus auf die Phase der Annäherung des Kfz an das Fahrrad (1) und auf die Phase des Vorbeifahrens (3) gelegt. Die Auswahl der Erhebungsmethoden orientierte sich entsprechend an diesen zwei Phasen.

Im Detail wird auf die einzelnen Kennwerte jeder Erhebungsmethode in den Kapiteln der entsprechenden Erhebungsmethode eingegangen. Eine Bewertung der einzelnen Methoden findet sich in Kapitel 5.2.

Tabelle 6: Theoretisch mögliche Kennwerte pro Überholphase.

Phase des Überholvorgangs	Kennwert
1	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer des Hinterherfahrens • Minimaler longitudinaler Abstand nach hinten • Relative Geschwindigkeit des Kfz zum Zeitpunkt des min. longitudinalen Abstands nach hinten • Absolute Geschwindigkeiten des Kfz während des Hinterherfahrens • Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads • Stressmoment (MOS) • Stress, Sicherheit, Komfort (subjektiv) • Visuelle Beurteilung der Situation
2	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer des Ausscherens • Minimaler Abstand während des Ausscherens • Relative Geschwindigkeiten des Kfz während des Ausscherens • Absolute Geschwindigkeiten des Kfz während des Ausscherens • Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads während des Ausscherens • Stressmoment (MOS) • Stress, Sicherheit, Komfort (subjektiv) • Visuelle Beurteilung der Situation
3	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer des Vorbeifahrens • Abstand zum Start der Phase des Vorbeifahrens • Abstand zum Ende der Phase des Vorbeifahrens • Minimaler lateraler Abstand nach links • Minimaler lateraler Abstand nach rechts • Mittlerer lateraler Abstand nach links und Median des lateralen Abstands nach links (während der Phase des Vorbeifahrens) • Relative Geschwindigkeit des Kfz in der Phase des Vorbeifahrens (zum Zeitpunkt des minimalen lateralen Abstands) • Absolute Geschwindigkeit des Kfz in der Phase des Vorbeifahrens (gemittelt über die gesamte Phase) • Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads in der Phase des Vorbeifahrens • Stressmoment (MOS) • Stress, Sicherheit, Komfort (subjektiv) • Visuelle Beurteilung der Situation
4	<ul style="list-style-type: none"> • Dauer des Wiedereinscherens • Minimaler Abstand während des Wiedereinscherens • Relative Geschwindigkeiten des Kfz während des Wiedereinscherens • Absolute Geschwindigkeit des Kfz während des Wiedereinscherens • Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads in der Phase des Wiedereinscherens • Stressmoment • Stress, Sicherheit, Komfort • Visuelle Beurteilung der Situation

3.2 Teststrecken und Radverkehrsführungen

Die Bestimmung möglicher Streckenabschnitte für die Feldstudien zur Bewertung von unterschiedlichen Radverkehrsführungen erfolgte durch Befragungen von LOI-Partner:innen, durch Ergebnisse der Interviews mit Expert:innen (siehe Kapitel 2.2) und durch vorhandenes Wissen der Expert:innen aus dem Konsortium. Streckenabschnitte, bei denen Gebietskörperschaften offen für eine Änderung der Radinfrastruktur waren bzw. diese bereits geplant hatten, wurden für eine Vorher-Nachher-Untersuchung bevorzugt in die Auswahl aufgenommen. Aus diesem Pool an möglichen Streckenabschnitten wurden insgesamt 22 Strecken für die Feldstudien nach folgenden Kriterien ausgewählt:

1. Pro D-A-CH-Land sollten 5-10 Streckenabschnitte untersucht werden (auf einer Teststrecke können mehrere Abschnitte zusammengefasst werden).
2. Möglichst unterschiedliche Radverkehrsführungen sollten durch die Untersuchung abgedeckt werden.
3. Die Gesamtfahrbahnbreite sollte zwischen ca. 6 – 9 m liegen. Eine Verbreiterung dieser sollte nicht möglich sein (bauliche, rechtliche, naturräumliche o.Ä. Hindernisse).
4. Die Verkehrsstärken sollten über 3.000 täglichen Fahrzeugen liegen, sodass auf den Streckenabschnitten auch ausreichend Überholvorgänge stattfinden.
5. Weiter wurde versucht Streckenabschnitte innerorts und außerorts, Streckenabschnitten mit punktuellen Engstellen z.B. durch Mittelinseln, Vorher-/Nachher-Erhebungen nach Ummarkierungen sowie unkonventionellere Lösungen wie nicht rechtskräftige farbliche Markierungen aufzunehmen.
6. Abschließend sollte die Auswahl der Streckenabschnitte auch die häufigsten Lösungsstrategien, welche in den Interviews mit Expert:innen genannt wurden, abdecken.

Die final ausgewählten Streckenabschnitte sind Tabelle 7 zu entnehmen. Die Charakteristika dieser ausgewählten Streckenabschnitte werden im Einzelnen im Anhang genauer erläutert (Anhang 2 Teststrecken). Einzelne Streckenabschnitte dieser Teststrecken wurden zudem in Anlagearten gegliedert, welche aus den streckenspezifischen Charakteristiken abgeleitet werden konnten. Diese werden, wie in Tabelle 8 dargestellt definiert. Dieser Tabelle ist ebenso die länderspezifische Nomenklatur der Anlageart zu entnehmen. Die Anlagearten, welche auf der jeweiligen Teststrecke vorkommen, sind im Anhang 2 Teststrecken der jeweiligen Teststrecken zu entnehmen.

Tabelle 7: Ausgewählte Teststrecken pro Land.

Land	Teststrecke
Deutschland	Backnang – Eugen-Adolff-Str.
	Karlsruhe Durlach – B3
	Singen – Hohenkrähenstr.
	Stuttgart – Schickhardtstr.
	Stuttgart – Waldburgstr.
Österreich	Eisenstadt – Georgistr.
	Klagenfurt – St. Veiter Str.
	Pasching – Dörnbacher Str.
	Pörschach – Hauptstr.
	Puch – Halleiner Landesstr.
	Reifnitz – Wörthersee-Süduferstr.
	Wien – Währinger Str.
	Wildon – St. Georgener Str.
Schweiz	Bühler/Gais/Teufen – Hauptstr
	Marbach/Rebstein/Balgach/Widnau – Staatsstr.
	Sachseln – Brünigstr.
	Uznach – Zürcherstr.
	Walchwil – Artherstr.
	Zürich – Am Wasser
	Zürich – Badenerstr..
	Zürich – Mutschellen-/Waffenplatzstr.
	Zürich – Wehntalerstr.

Tabelle 8: Anlagearten

Kat.	DE	AT	CH	Erläuterung	Legende
1	Mischverkehr	Mischverkehr	Mischverkehr	Rad- und Kfz-Verkehr teilen sich die Verkehrsfläche	 <p>Stuttgart – Schickhardtstr. © Steinbeis Transferzentrum</p>
2	Piktogrammketten	Sharrows	/	Auf der Verkehrsfläche sind Radpiktogramme angebracht.	 <p>Stuttgart – Schickhardtstr. © Steinbeis Transferzentrum</p>
3	Radfahrstreifen	Radfahrstreifen	Radstreifen mit durchgezogener Linie (kommt nicht in den untersuchten Teststrecken vor)	Darf vom Kfz-Verkehr nicht längs befahren werden; inkl. vollwertige Kfz-Fahrstreifen. Anm.: Findet in CH selten Anwendung und findet sich nicht in den CH-Teststrecken wieder.	 <p>Puch – Halleiner Landesstr. © Salzburg Research</p>

4	Schutzstreifen	Mehrzweckstreifen	Radstreifen mit Kernfahrbahn	<p>Darf vom Kfz-Verkehr längs befahren werden, wenn erforderlich, Fahrfläche zwischen den Markierungen für Radfahrer:innen ermöglicht Pkw-Pkw Begegnungsfall, folglich >=4,5 m Fahrfläche.</p> <p><i>Anm.:</i> <i>In DE gibt es keine Kernfahrbahn. Einseitige Schutzstreifen mit Restfahrfläche >= 4,5 m in DE.</i></p>	 <p>Uznach – Zürcherstr. © OST</p>
5	Schutzstreifen mit Mittelleitlinie	Mehrzweckstreifen mit Mittelleitlinie	Radstreifen mit Mittelleitlinie	<p>Darf vom Kfz-Verkehr längs befahren werden, wenn erforderlich, Fahrfläche zwischen den Markierungen für Radfahrer:innen ist durch Mittelleitlinie getrennt.</p> <p><i>Anm.:</i> <i>Dies ist die Regellösung in CH.</i></p>	 <p>Karlsruhe Durlach – B3 © Steinbeis Transferzentrum</p>
6	/	Mehrzweckstreifen mit schmaler Kernfahrbahn	Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn	<p>Wie 4, aber Fahrfläche ist < 4,5 m.</p> <p><i>Anm.:</i> <i>In DE gibt es keine Kernfahrbahn.</i></p>	 <p>Eisenstadt – Georgistr. © Salzburg Research</p>

7	Einbahn/Einrichtungsfahrbahn mit Schutzstreifen	mit Einbahn/Einrichtungsfahrbahn mit Mehrzweckstreifen	Einbahn/Einrichtungsfahrbahn mit Radstreifen	Darf vom Kfz-Verkehr längs befahren werden, wenn erforderlich; Einbahn bzw. baulich getrennte Richtungsfahrbahn	 <p>Zürich – Mutschellen-/Waffenplatzstr. © OST</p>
---	---	---	--	---	--

3.3 Open Bike Sensor

3.3.1 Methode und Durchführung der Feldtests

Als niederschwelliger Ansatz für eine mobile Sensorik wurde **OBS**² verwendet (siehe Abbildung 23). Dieser an der Sattelstütze montierte Sensor erfasst die Abstände mittels Ultraschall nach links und nach rechts und zeichnet eine Fahrt mit Hilfe eines GNSS-Empfängers auf. Die Radfahrer:in markiert dabei die Überholvorgänge durch einen Knopfdruck. Es werden somit u.a. Datum und Uhrzeit, GNSS-Koordinaten, Einzelmessungen der Sensoren sowie der minimale Abstand nach links und nach rechts, Information darüber, ob diese Messung gerade als Überholvorgang markiert wurde und bestimmte Geräteeinstellungen, aufgezeichnet. Die Geräteeinstellungen ermöglichen beispielsweise die Angabe eines Abschlags, der bei jeder Messung abgezogen werden soll (OpenBikeSensor Contributors, 2023). In diesem Projekt wurde dieser Wert auf 45 cm gesetzt, um für die halbe Lenkerbreite (34 cm) sowie die Breite des Seitenspiegels eines Kfz (11 cm – gerundeter Durchschnittswert ADAC Fahrzeugbreiten aus 128 Fahrzeugmodellen (ADAC e.V., 2021)) zu korrigieren. Der Messwert gibt somit den Abstand von der linken Lenkeraußenseite zum rechten Außenspiegel des überholenden Kfz an.



Abbildung 23: Ausgehend von der Sattelstütze und abzüglich der halben Lenkerbreite sowie des Außenspiegels des Kfz misst der OBS den Seitenabstand nach rechts und nach links
(Quelle: Salzburg Research)

Ausgewählte Proband:innen aus dem Umfeld der Projektpartner:innen, die die Überholvorgänge auf den Teststrecken aufzeichneten, wurden vorab zum Fahrverhalten informiert. Folgende Richtlinien wurden hierfür definiert:

² <https://www.openbikesensor.org/> [abgerufen am 07.05.2024]

- Proband:innen sollten der Typologie Alltagsradfahr:in entsprechen mit einem mittleren Sicherheitsempfinden und Risikobewusstsein (selbstverständliches Fahren im Mischverkehr sowie markierten Radverkehrsführungen)
- Defensive vorausschauende Fahrweise
- Einhaltung der Straßenverkehrsregeln
- Ausreichend Abstand zum Bordstein, sowie, wenn vorhanden, zum ruhenden Kfz-Verkehr. Hinweise sind hier ca. 0,5 m bis 0,75 m, zum Bordstein und 1,0 m zum ruhenden Kfz-Verkehr.
- Bei Mehrzweck,- Schutz- oder Radstreifen möglichst mittig auf der Infrastruktur fahren
- Städtisches Geschwindigkeitsniveau der Radfahrer:innen im Bereich zwischen 15 – 25 km/h

Zusätzlich wurde noch spezifiziert, was als Überholvorgang markiert werden sollte. Hierbei wurden folgende Hinweise gegeben:

- Als Überholvorgang wird berücksichtigt, wenn die Radfahrer:innen während der Fahrt von einem Kfz links von ihnen überholt werden.
- Während der Fahrt wird ausnahmslos jeder Überholvorgang durch Drücken des roten Knopfes an der Bedieneinheit des OBS bestätigt, unabhängig von der Art der Radinfrastruktur bzw. der empfundenen Enge oder Weite des Überholvorgangs.
- Das Überholen der Radfahrer:innen an Kfz, beispielsweise an roten Ampeln oder an wartenden Linksabbiegern, wird nicht als Überholvorgang gewertet und somit von den Proband:innen nicht bestätigt.
- Werden die Proband:innen beim Losfahren nach einer Rotphase an einer Lichtsignalanlage von den Kfz wieder überholt, wird dies ebenfalls nicht als Überholvorgang bestätigt.

Als Richtwert für die minimale zu erfassende Anzahl an Überholvorgängen pro Teststrecke wurden 50 Überholvorgänge oder eine Mindestzeit von 3 h festgelegt. Die Teststrecken wurden in beide Richtungen befahren (Ausnahme Teststrecke Bühler/Gais/Teufen – Hauptstr.) und die Richtungen getrennt erfasst. Die aus dem OBS exportierten Dateien wurden entsprechend einem einheitlichen Schema zur automatisierten Weiterverarbeitung benannt. Am Ende der Testfahrten wurden Auffälligkeiten auf der Strecke und Metadaten der jeweiligen Testfahrt von den Proband:innen in einem Formular dokumentiert (Anhang 3 Fragebogen: Meta- und Zusatzinformationen von OBS-Testpersonen). Die Datenaufzeichnungen mittels OBS fanden von September 2022 bis November 2023 an allen Teststrecken

statt (siehe Anhang 2 Teststrecken). Das genaue Datum kann Anhang 2 Teststrecken entnommen werden. Vereinzelt wurden bereits bestehende Daten aus dem Jahr 2022 aus dem Projekt gue-Rad³ für Vorher-Erhebungen übernommen (Stuttgart – Waldburgstr., Stuttgart – Schickhardtstr., Singen – Hohenkrähenstr., Backnang – Eugen-Adolff-Str. (in Backnang kein Vorher-Nachher-Vergleich)). Die Rohdaten wurden auf dem Portal der OBS Community⁴ veröffentlicht.

3.3.2 Datenauswertung

Das Messergebnis des OBS entspricht dem minimalen Abstand nach links zwischen der linken Lenkeraußenseite und dem rechten Außenspiegel des überholenden Kfz bei einem markierten Überholvorgang. Dieser Wert entspricht dem minimalen Abstand während der Phase des Vorbeifahrens lt. Dozza et al., 2016 (siehe Kapitel 3.2). Um diesen Wert in Kontext zu setzen, wurden zusätzlich weitere Attribute der Teststrecke mit Hilfe einer GIS-Software erfasst. Einerseits wurden allgemeine Attribute der Teststrecke hinzugefügt, wie Verkehrsstärke, ländlicher oder städtischer Raum und ggf. Datum der Ummarkierung. Andererseits wurden Charakteristiken der Teststrecke räumlich und richtungsbezogen als Polygon erfasst und anschließend mit den OBS-Daten verschnitten. Die Länge der Polygone wurde entsprechend den Charakteristiken auf der Teststrecke gewählt. Bei der Breite der Polygone wurde zusätzlich eine Toleranz für die GNSS-Ungenauigkeiten der OBS-Messung eingerechnet. Die erfassten Charakteristiken waren:

- Gesamtfahrbahnbreite (m)
- Radinfrastrukturart (z.B. Mischverkehr, Piktogrammketten / Sharrows, Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen, etc.)
- Radinfrastrukturbreite (m)
- Vorhandensein eines Parkstreifens (vorhanden / NA)
- Mittelinsel (vorhanden / NA)
- Fahrbahnbreite bei Mittelinsel (m)
- Weiteres Infrastrukturelement (z.B. FGSO-Streifen, Mehrzweckstreifen in der Mitte der Fahrbahn, etc.)
- Baulich getrennte Richtungsfahrbahn (vorhanden / NA)
- Fahrbahnbreite bei baulich getrennter Richtungsfahrbahn (m)

³ <https://www.mobilitaetsforum.bund.de/DE/Themen/Wissenspool/Projekte/Projektbeispiele/Projekte/gUE-Rad.html#vt-sprg-5> [abgerufen am 23.04.2024]

⁴ <https://portal.openbikesensor.org/> [abgerufen am 02.07.2024]

- Kreuzungsbereich (vorhanden / NA)
- Kreisverkehr (vorhanden / NA)
- Nacherhebung nach Ummarkierung (betroffenes Polygon / neues Polygon)
- Datum der Ummarkierung

Jedem markierten Überholvorgang konnten somit diese Attribute und Charakteristiken zugewiesen werden. Für die weiteren Auswertungen blieben Überholvorgänge unberücksichtigt, welche auf Kreuzungsbereichen, Kreisverkehren, auf getrennt geführten Radwegen oder Busspuren wo Radfahren erlaubt war, stattfanden. Zusätzlich wurden Überholvorgänge mit minimalen Überholabständen ≤ 5 cm ausgeschlossen, da hier von einem Messfehler ausgegangen wird.

3.3.3 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der OBS-Messungen erläutert. Eingegangen wird v.a. auf jene, die für die weiteren Handlungsempfehlungen relevant waren. Tiefergehende Ergebnisse pro Teststrecke können dem Anhang 2 Teststrecken entnommen werden.

Tabelle 9 zeigt die Anzahl der aufgezeichneten Überholvorgänge pro Teststrecke, sowie den minimalen, maximalen, mittleren Überholabstand und das 50% Quantil, d.h. den Median.

Um die Verteilung der Überholabstände deutlicher zu machen, werden in den weiteren Ergebnissen die Überholabstände als Boxplots dargestellt. Auf der X-Achse befindet sich der Überholabstand in cm und auf der Y-Achse sind die jeweiligen Attribute aufgetragen. Die Box wird begrenzt durch das 25 % und das 75 % Quantil. Der Median ist als vertikaler Strich dargestellt. Unter diesem Überholabstandswert finden somit 50 % der Überholvorgänge statt. Die sogenannten Whiskers, horizontale Linien, erstrecken sich vom 25 % bzw. 75 % Quantil bis zum Minimal- bzw. Maximalwert, jedoch nicht weiter als 1,5-mal des Interquartilsabstands. Ausreißer darüber hinaus werden als Punkte dargestellt.

Abbildung 24 zeigt die Überholabstände pro Teststrecke pro Land als Boxplots. Am rechten Rand sind zudem die Anzahl der Überholvorgänge und der Median aufgetragen. Die Verteilung der Überholabstände wird in dieser Abbildung besser sichtbar. Trotz unterschiedlichster Charakteristika liegen die Mediane der Überholabstände bei fast allen Teststrecken zwischen 1,0 m und 1,3 m und damit unter dem in Österreich und Deutschland geltenden Mindestüberholabstand von 1,5 m. Auffällig gering sind die Abstände in der Währinger Straße in Wien. Vergleichsweise groß hingegen sind die Abstände in Pasching – Dörnba-

cher Str. und Eisenstadt – Georgistr. Generell kann festgehalten werden, dass die Überholabstände stark streuen. Um differenzierte Aussagen treffen zu können, müssen die einzelnen Charakteristiken einer Teststrecke und nicht die jeweilige Teststrecke an sich betrachtet werden. In Abbildung 25 sind deshalb die Überholabstände pro Anlageart dargestellt. Mit Ausnahme der Einbahnen / Einrichtungsfahrbahnen bewegen sich die Mediane hier zwischen 110 und 127 cm. Signifikante Unterschiede können zwischen den Anlagearten nicht ausgemacht werden.

Tabelle 9: Anzahl der Überholvorgänge pro Teststrecke, sowie Minimalwert, Maximalwert, Mittelwert und Median des Überholabstands in cm.

Strecke	Land	Anzahl	Min. (cm)	Max. (cm)	Mittel (cm)	Median (cm)
Backnang - Eugen-Adolff-Str.	DE	74	53	264	126	121
Karlsruhe Durlach - B3	DE	662	8	274	133	131
Singen - Hohenkrähenstr.	DE	4531	7	274	122	118
Stuttgart - Schickhardtstr.	DE	488	41	267	140	139
Stuttgart - Waldburgstr.	DE	229	39	256	135	132
Eisenstadt - Georgistr.	AT	53	96	240	150	143
Klagenfurt - St. Veiter Str.	AT	29	49	193	104	101
Pasching - Dörnbacher Str.	AT	60	64	213	139	140
Puch - Halleiner Landesstr.	AT	664	14	273	125	122
Pörschach - Hauptstr.	AT	64	55	193	114	118
Reifnitz - Wörthersee-Süduferstr.	AT	68	60	194	112	109
Wien - Währinger Str.	AT	65	21	219	95	91
Wildon - St. Georgener Str.	AT	105	38	231	131	124
Bühler/Gais/Teufen - Hauptstr.	CH	173	29	210	121	118
Marbach/Rebstein/Balgach/Widnau - Staatsstr.	CH	204	40	231	112	110
Sachseln - Brünigstr.	CH	172	24	259	116	113
Uznach - Zürcherstr.	CH	209	38	209	111	108
Walchwil - Artherstr.	CH	71	38	201	117	116
Zürich - Am Wasser	CH	85	43	184	105	103
Zürich - Badenerstr.	CH	90	21	250	99	97
Zürich - Mutschellen-/Waffenplatzstr.	CH	46	48	218	111	103
Zürich - Wehntalerstr.	CH	229	22	239	104	101

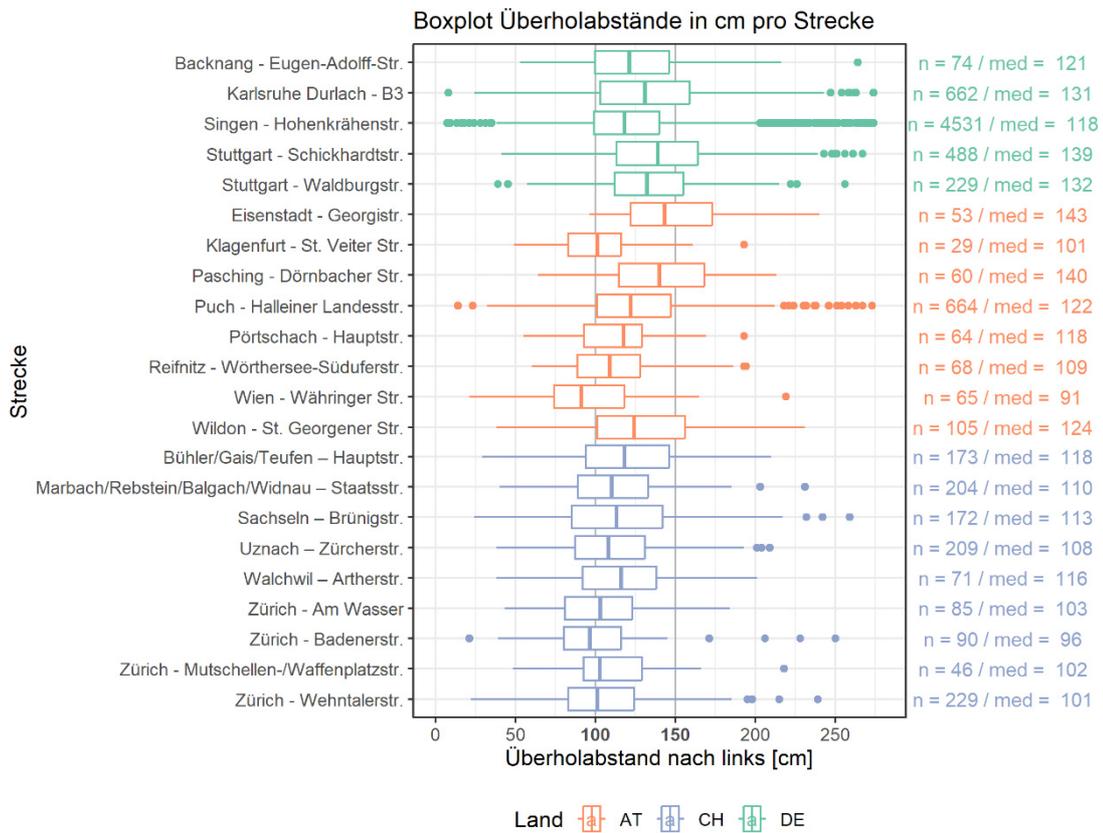


Abbildung 24: Überholabstände in cm pro Teststrecke.

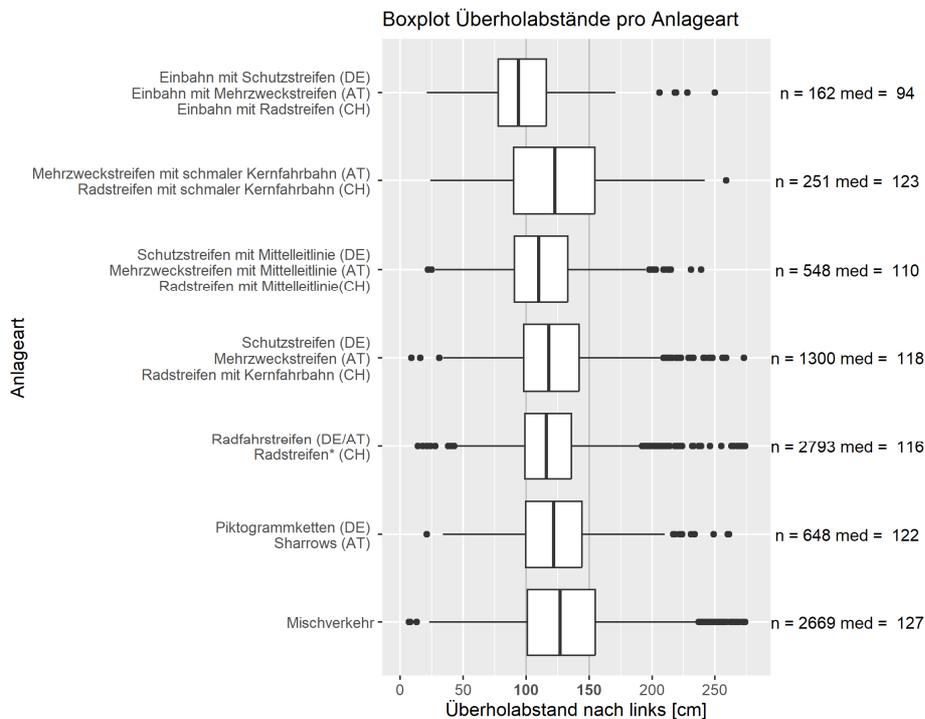


Abbildung 25: Überholabstände in cm pro Anlageart. (*nicht in den untersuchten Teststrecken)

Bei unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeit gibt es ebenso keine deutlichen Unterschiede (Abbildung 26). Selbst bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten über 50 km/h liegt der Median deutlich unter 1,5 m.

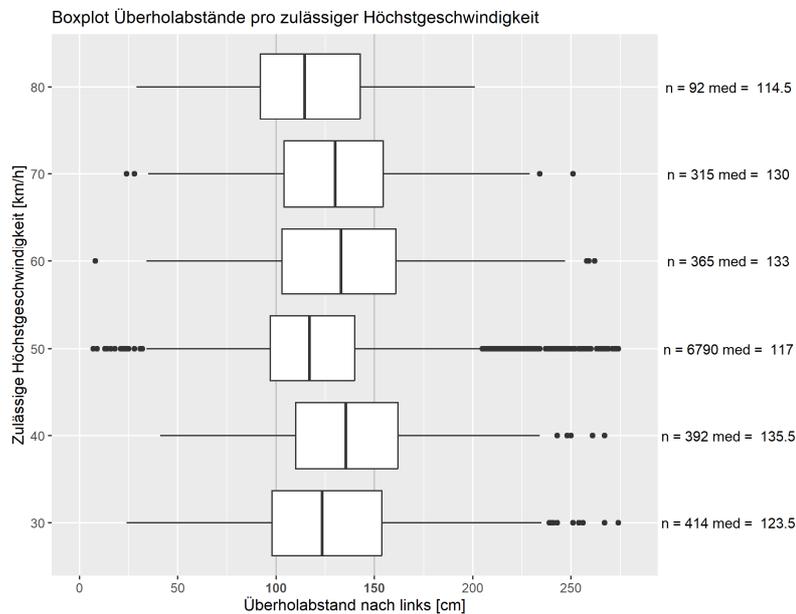


Abbildung 26: Überholabstände in cm pro zulässiger Höchstgeschwindigkeit.

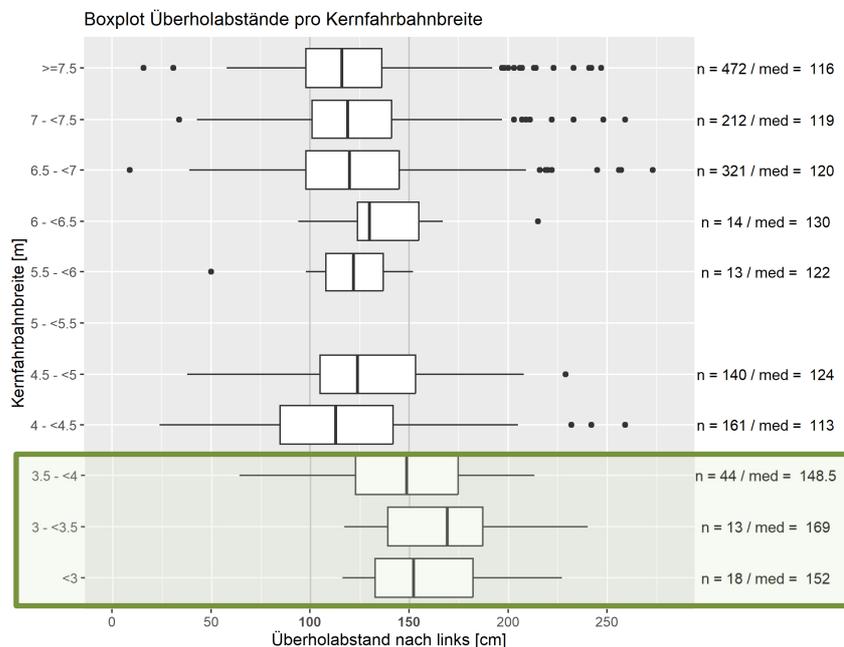


Abbildung 27: Überholabstände in cm pro Kernfahrbahnbreite.

Bei der Breite der Kernfahrbahn zeigen sich Unterschiede in den Überholabständen (Abbildung 27). Unter dem Begriff Kernfahrbahn wird die verbleibende Fahrbahnbreite zwischen

beidseitig markierten Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen verstanden. Deshalb werden in dieser Abbildung nur die Anlagearten 4 (Schutzstreifen/Mehrzweckstreifen/Radstreifen mit Kernfahrbahn) und 6 (Mehrzweckstreifen (AT) /Radstreifen (CH) mit schmaler Kernfahrbahn) berücksichtigt. In Abbildung 27 lässt sich ein Anstieg der Überholabstände bei Kernfahrbahnbreiten unter 4,0 m beobachten. Eine Erklärung hierfür wäre, dass bei Kernfahrbahnbreiten unter 4,0 m, die Breite für ein Überholen von Radfahrer:innen bei Pkw-Gegenverkehr nicht ausreicht und deshalb der Gegenverkehr abgewartet wird. Bei Kernfahrbahnbreiten von 4,0 m ist ein Überholen bei Pkw-Gegenverkehr gerade noch möglich und Radfahrer:innen werden trotz beengter Verhältnisse von manchen Pkw überholt

Eine annähernde Vergleichbarkeit über alle drei Länder ist nur bei Mischverkehr und möglichst einheitlichen Bedingungen (Geschwindigkeitsbeschränkung 50 km/h, gleiche Gesamtfahrbahnbreite (7 m), keine weiteren Infrastrukturelemente, Mittelinseln, Parkstreifen, oder Richtungsfahrbahnen) gegeben. In Deutschland betrifft dies die Strecke Backnang – Eugen-Adolff-Str. (n = 23), in Österreich die Strecke Puch – Halleiner Landesstr. (n = 79) und in der Schweiz die Strecken Bühler/Gais/Teufen – Hauptstr. (n = 12), Marbach/Rebsstein/Balgach/Widnau – Staatsstr. (n = 2), Uznach – Zürcherstr. (n = 4) und Sachseln – Brünigstr. (n = 6). Trotz der möglichst einheitlichen Bedingungen ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Ländern erkennbar. Generell ist ein Ländervergleich schwierig da die Rahmenbedingungen und Anlagen dennoch auf jeder Teststrecke sehr unterschiedlich sind.

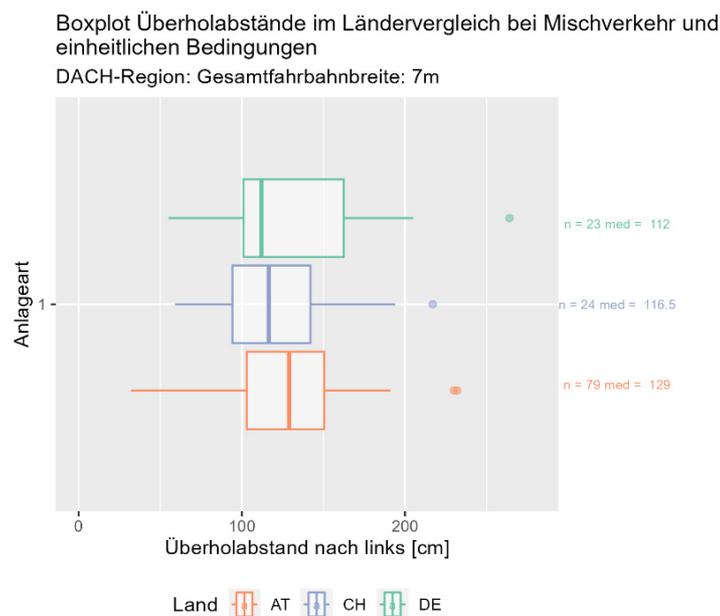


Abbildung 28: Vergleich der Überholabstände in den drei Ländern bei möglichst einheitlichen Bedingungen.

In weiterer Folge, findet nun eine Betrachtung länder- und streckenspezifischer OBS-Ergebnisse, die für die Handlungsempfehlungen von besonderer Bedeutung sind, statt. Bei der Nomenklatur wird hier explizit die länderspezifische Bezeichnung verwendet.

Auf der Teststrecke Singen – Hohenkrähenstr. wurden Richtung Süden ein Schutzstreifen (DE) mit einer Breite zwischen 1,50 und 1,85 m bzw. auf einem weiteren Abschnitt Piktogrammketten (DE) markiert, wo zuvor der Radverkehr im Mischverkehr bei einer Gesamtfahrbahnbreite von 8,5 – 10 m geführt wurde. Abbildung 29 und Abbildung 30 beziehen sich nur auf Abschnitte der jeweiligen Änderung. Die Wirkung der Piktogrammkette (DE) sowie des Schutzstreifens (DE) sind getrennt zu betrachten.

Es zeigt sich, dass in Singen – Hohenkrähenstr. durch die Piktogrammkette (DE) mit kleinen Fahrrad-Symbolbildern ohne Sharrows im Vergleich zum Mischverkehr die Anzahl der Überholvorgängen von 1,4 auf 1,0 je 100 m leicht zurückgegangen ist, während sich der Median der Überholabstände von 131 cm zu 123 cm leicht verengt hat. Im Beispiel Stuttgart – Schickartstr. wurde durch eine Piktogrammkette (DE) mit großen Fahrrad-Symbolbildern mit zusätzlichen Sharrows im Vergleich zum Mischverkehr mit 3,2 statt 5,1 Überholvorgänge pro 100 m deutlich seltener überholt. Jedoch sank bei der Piktogrammkette (DE) ebenfalls der Überholabstand im Median von 144 auf 130 cm. Diese Beobachtungen decken sich mit den Aussagen der Literaturanalyse insbesondere Koppers et al. (2021), dass Piktogrammketten (DE) zu einer reduzierten Anzahl von Überholungen der Radfahrer:innen durch Kfz und zu einer größeren Anzahl von Hinterherfahrten führen. Die von Koppers et al. (2021) berichtete leichte Zunahme des Mittelwertes des Überholabstandes durch Piktogrammketten / Sharrows konnte auf den Teststrecken nicht beobachtet werden. Bei der Bewertung der Ergebnisse der Piktogrammketten (DE) sind jedoch deren im Detail unterschiedliche Ausgestaltung mit unterschiedlicher Größe der Symbole, Ergänzung um Sharrows sowie Position auf der Fahrbahn zu beachten, wobei besser sichtbare und mit Sharrows hervorgehobene Symbole stärker die angestrebte Wirkung auf die Überholvorgänge haben. Piktogrammketten / Sharrows erhöhen zudem das Sicherheitsgefühl von Radfahrer:innen und Kfz-Lenker:innen (vgl. Kapitel 2.3.2.1). Weiterhin kann durch die Markierung von Piktogrammketten / Sharrows die Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs reduziert und die Abstände zu seitlich parkenden Kfz erhöht werden (Kapitel 2.3.2.2, 2.3.2.4).

Durch den markierten Schutzstreifen (DE) im Vergleich zum Mischverkehr ist im Beispiel Singen – Hohenkrähenstr. die Anzahl der Überholvorgänge gleichgeblieben, während der Median der Überholabstände sich leicht von 122 auf 116 cm verringert hat. Dies deckt sich

mit Ergebnissen der Literaturanalyse, dass bei Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen im Vergleich zum Mischverkehr die Überholabstände leicht zunehmen können. Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen können jedoch das Sicherheitsgefühl von Radfahrer:innen erhöhen (vgl. Kapitel 2.3.2.1).

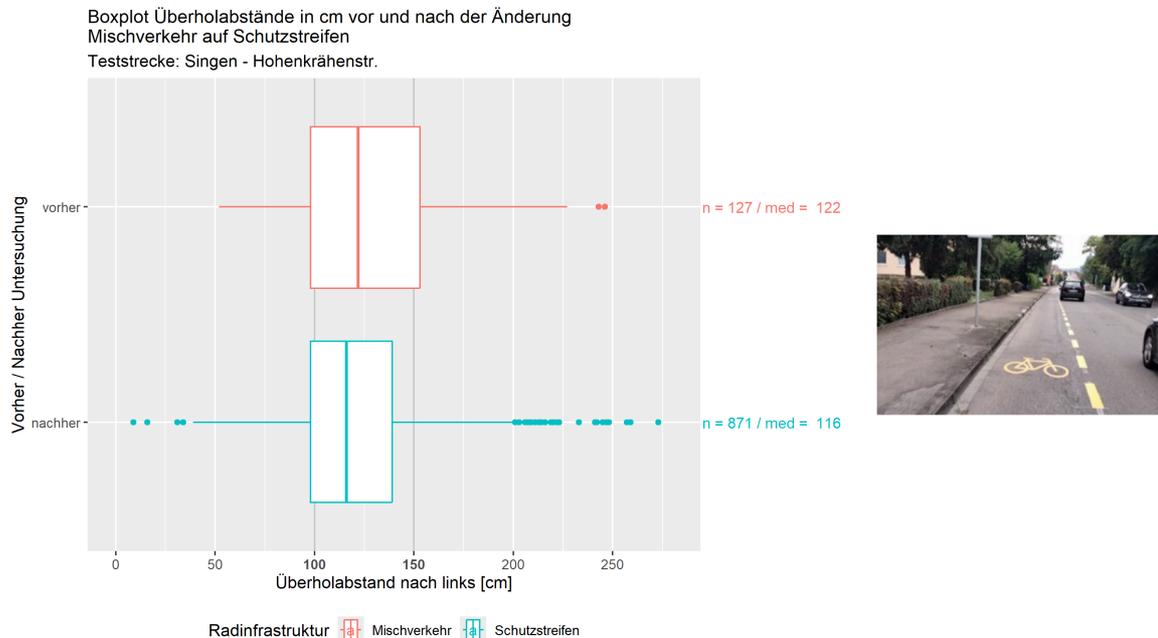


Abbildung 29: Links) Überholabstände vor und nach der Markierung eines Schutzstreifens (DE) auf der Strecke Singen-Hohenkrähenstraße. Rechts) Umsetzung des Schutzstreifens (DE). (Quelle: Steinbeis Transferzentrum)

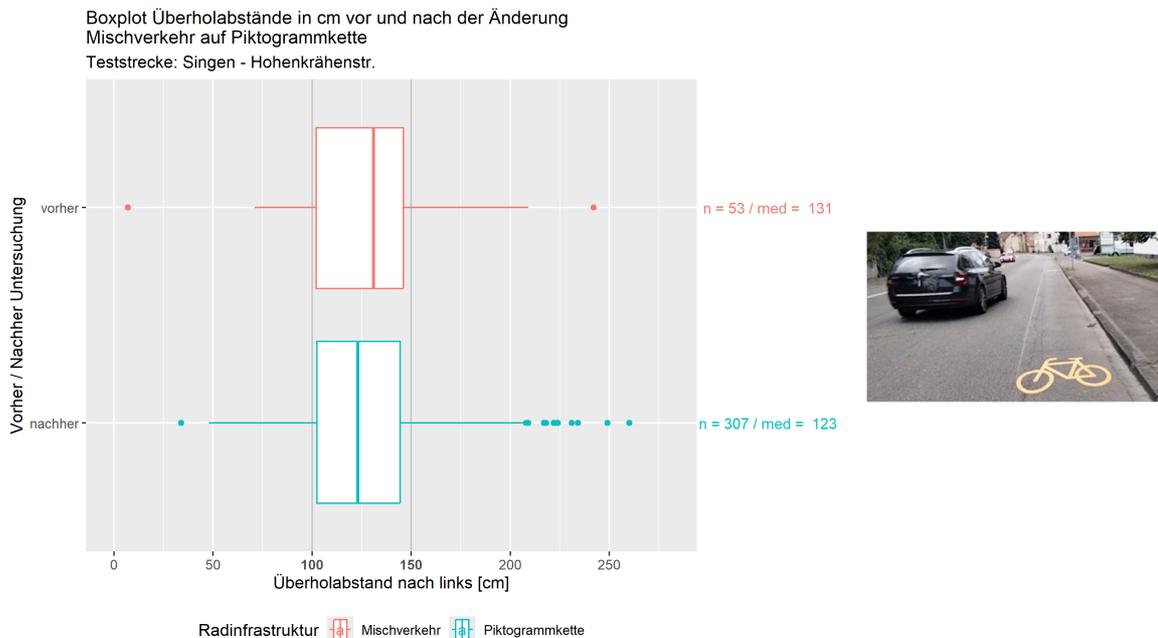


Abbildung 30: Links) Überholabstände vor und nach der Markierung einer Piktogrammkette (DE) auf der Strecke Singen-Hohenkrähenstraße. Rechts) Umsetzung dieser (DE). (Quelle: Steinbeis Transferzentrum)

Auf der Teststrecke Eisenstadt – Georgistr. wurde die bestehende Kernfahrbahn mit Mehrzweckstreifen (AT) zwischen 1,25 – 1,5 m im Sommer 2023 zu einer schmalen Kernfahrbahn mit Restfahrbahnbreite 3 m und breiten Mehrzweckstreifen (AT) von ca. 2 m ummarkiert. Den Vorgaben der RVS Radverkehr folgend wurde auch eine Temporeduktion von 50 auf 30 km/h eingeführt. Im Vorher-Nachher Vergleich wird erkennbar, dass der gesetzliche Mindestabstand von 1,5 m im Median bei der Nachher-Erhebung erreicht werden konnte (siehe Abbildung 31). Die Anzahl von 24 vs. 29 ausgewerteten Überholvorgängen ist allerdings gering. Unklar bleibt, worauf die weiteren Überholabstände genau zurückzuführen sind. Nicht auszuschließen ist, dass diese auch durch die neue, für viele Kfz-Lenker:innen unklare, Situation bedingt sind. Aufgrund der geringen Verkehrsstärken und der Ergebnisse der Feldtests mit dem Holoscene Fahrrad (Kapitel 3.4.3) ist es auch naheliegend, dass Kfz frühzeitig Ausscheren und mit ausreichend Abstand überholen können. Zukünftige Vorhaben sollten diese Aspekte näher untersuchen.

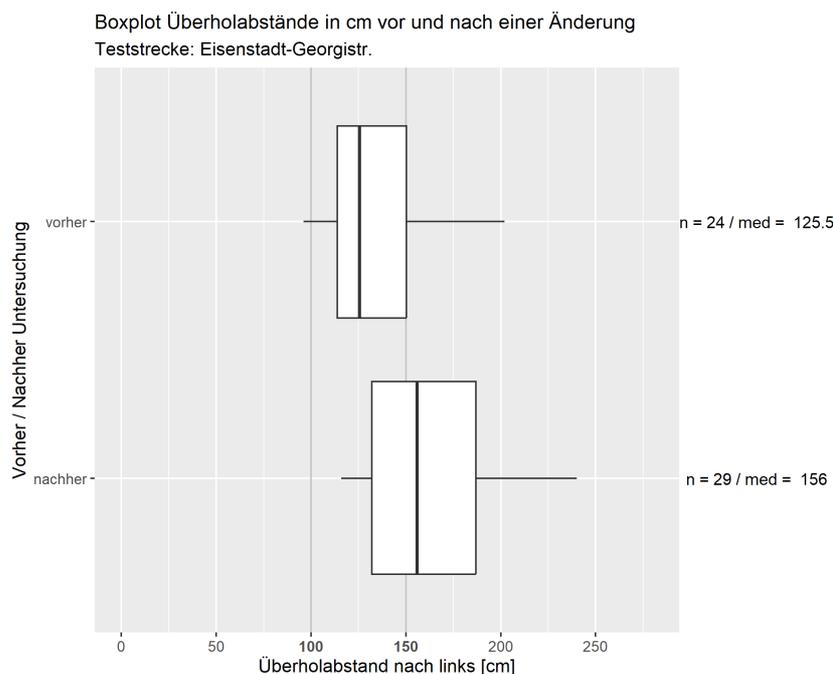


Abbildung 31: Oben) Überholabstände vor und nach der Ummarkierung und Temporeduktion auf der Georgistraße in Eisenstadt. Unten links) Mehrzweckstreifen (AT) mit 1,25 – 1,5 m Breite und einer Kernfahrbahn von 4,0 – 4,5 m (Quelle: KFV). Unten rechts) Umsetzung der Mehrzweckstreifen (AT) (ca. 2 m Breite) mit schmaler Kernfahrbahn (Kernfahrbahn ca. 3,0 m) (Quelle: Salzburg Research)

Die Teststrecke Wien – Währinger Str. wies für den Median die geringsten Überholabstände auf (Abbildung 32).

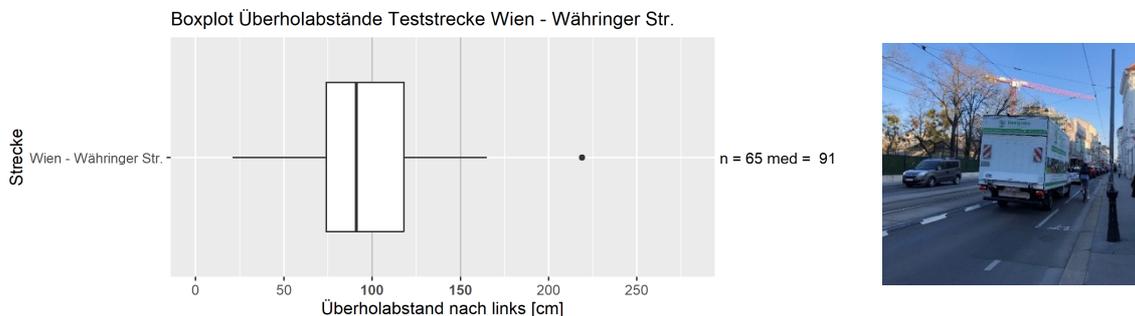


Abbildung 32: Links) Überholabstände auf der Teststrecke Wien – Währinger Str. Rechts) Abschnitt auf der Teststrecke.(Quelle: con.sens verkehrspanlung).

Es handelt sich hierbei um eine Einrichtungsfahrbahn mit abschnittsweise schmalen Mehrzweckstreifen (AT) bei geringer Fahrbahnbreite. Die Fahrbahnbreite verschmälert sich außerdem kontinuierlich. Getrennte und zugleich sehr schmale und physisch begrenzte Territorien führen hier zu sehr engen Überholvorgängen.

In der Schweiz sollten unterschiedliche Bodenmarkierungen bei kurzen Engstellen (beispielsweise Mittelinseln) untersucht werden. Einerseits wurden Radstreifen (CH) untersucht, die bei einem Fußgängerstreifen mit Mittelinsel durchgehend markiert sind (Strecke Zürich – Wehntalerstr.). Andererseits wurden die Radstreifen (CH) untersucht, die bei einer Mittelinsel unterbrochen werden, und der Radverkehr kurzzeitig im Mischverkehr geführt wird (Bühler/Gais/Teufen – Hauptstr., Marbach/Rebstein/Balgach/Widnau – Staatsstr., Sachseln – Brünigstr., Uznach – Zürcherstr. Zürich – Am Wasser, Zürich – Badenerstr., Zürich – Mutschellen-/Waffenplatzstr) (Abbildung 33).

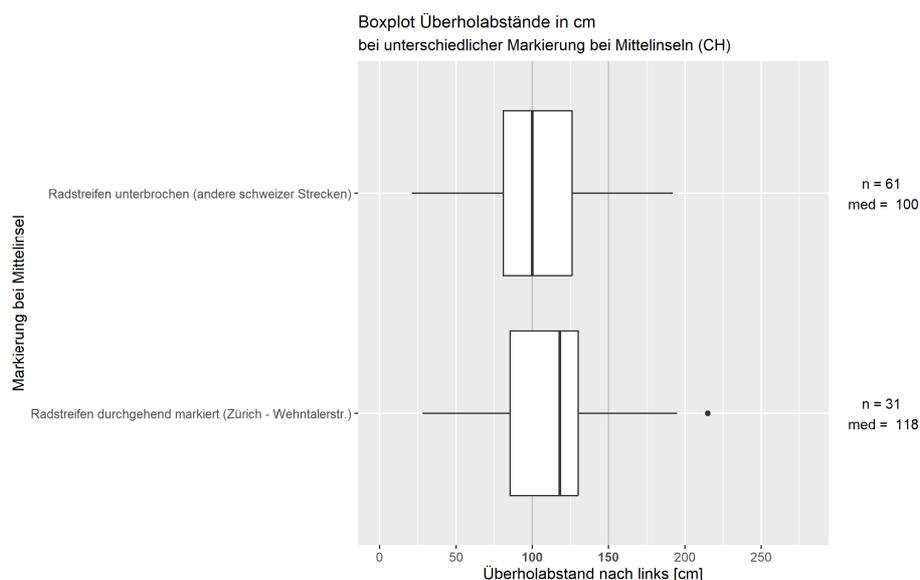


Abbildung 33: Überholabstände bei unterschiedlicher Markierung bei Mittelinseln.

Bei einer geringen Anzahl an Überholvorgängen im Bereich von Mittelinseln auf der Strecke Zürich – Wehntalerstr., ergibt sich die Tendenz, dass bei unterbrochenem Radstreifen (CH) im Median geringere Überholabstände gemessen wurden. Jedoch wurden bei durchgezogenem Radstreifen (CH) häufiger Überholvorgänge bei Mittelinseln gemessen und subjektiv wahrgenommen. Eine durchgehende Markierung könnte hier den Kfz-Lenker:innen vermitteln, dass dem Fahrrad auch bei Mittelinseln entsprechender Platz eingeräumt werden muss und somit einen gewissen Mindestüberholabstand gewährleisten. Gleichzeitig aber kann sich die Anzahl Überholvorgänge in diesem Bereich erhöhen, da die Radstreifenmarkierung (CH) als Hilfestellung zur Einschätzung des Raumbedarfs der Radfahrenden dient. Somit wird von den Kfz-Lenker:innen nur die übrig bleibende Fahrbahnbreite für ein mögliches Überholen beurteilt.

3.4 Holoscene Fahrrad

3.4.1 Methode und Durchführung der Feldtests

Das **Holoscene Fahrrad** ist ein Forschungsfahrrad, welches von Boréal Bikes⁵ entwickelt wurde und mit umfassender Sensorik (LiDARs, Kameras, GNSS-Empfänger, IMUs) ausgestattet ist (Abbildung 34). Das Holoscene Fahrrad wird von Salzburg Research als Forschungsfahrrad genutzt. Die Softwarekomponenten für die Datenauswertung wurden bereits von der Salzburg Research in anderen Projekten entwickelt und für RADBEST bereitgestellt. Für RADBEST wurden mittels LiDAR Sensorik des Holoscene Fahrrads Überholvorgänge von Kfz erfasst und ausgewertet. Der Ouster OS1 32 Zeilen LiDAR⁶ befand sich dabei am Gepäckträger des Fahrrads. Abbildung 35 zeigt einen Beispieldatensatz, welcher mit dem LiDAR-Sensor des Holoscene Fahrrads aufgenommen wurde. Sichtbar sind das Koordinatensystem des Fahrrads (d), ein Kfz (grün), sowie die Säulen eines Gebäudes (a), Kanten wie die Gehsteigkante (b) oder eine Kante zur Straßenbahn (c). Im Vergleich dazu bietet Abbildung 36 ein Orthofoto als Referenz.

Aus den LiDAR-Daten wurden die Abstände Kfz – Fahrrad vor und während Überholvorgängen analysiert. Ebenfalls wurden die relativen Geschwindigkeiten der überholenden Kfz zu jedem Zeitpunkt erfasst. Eine Abstandsmessung nach dem Überholvorgang war beim Holoscene Fahrrad nicht möglich, da sich der LiDAR-Sensor am Gepäckträger des Fahrrads befunden hat und nach vorne von der Radfahrer:in abgeschattet wurde (siehe Abbildung 34).



Abbildung 34: Holoscene Fahrrad (Quelle: Salzburg Research).

⁵ <https://www.borealbikes.com/> [abgerufen am 24.04.2024]

⁶ <https://ouster.com/products/hardware/os1-lidar-sensor> [abgerufen am 24.04.2024]

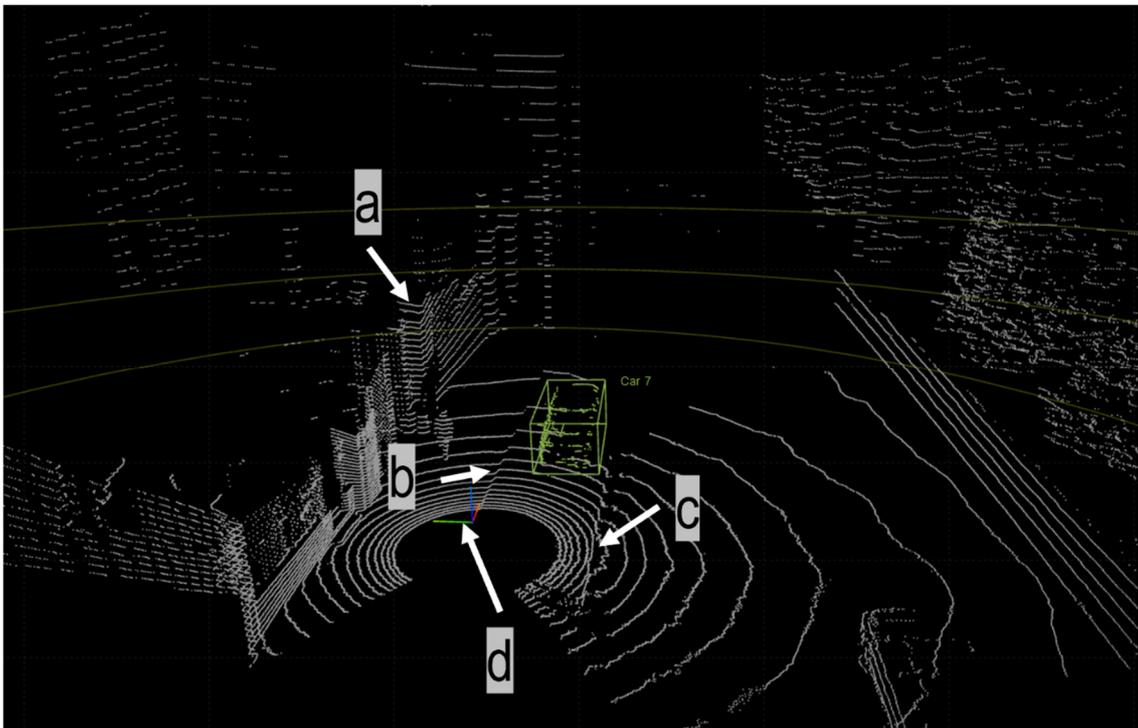


Abbildung 35: Beispiel LiDAR-Daten aufgenommen mit dem Holoscene Fahrrad. Sichtbar sind ein gelabeltes Kfz in grün, a) Säulen, b) Gehsteigkante, c) Kante zur Straßenbahn, d) das Koordinatensystem des Fahrrads (vgl. Abbildung 36) (Quelle: Salzburg Research).

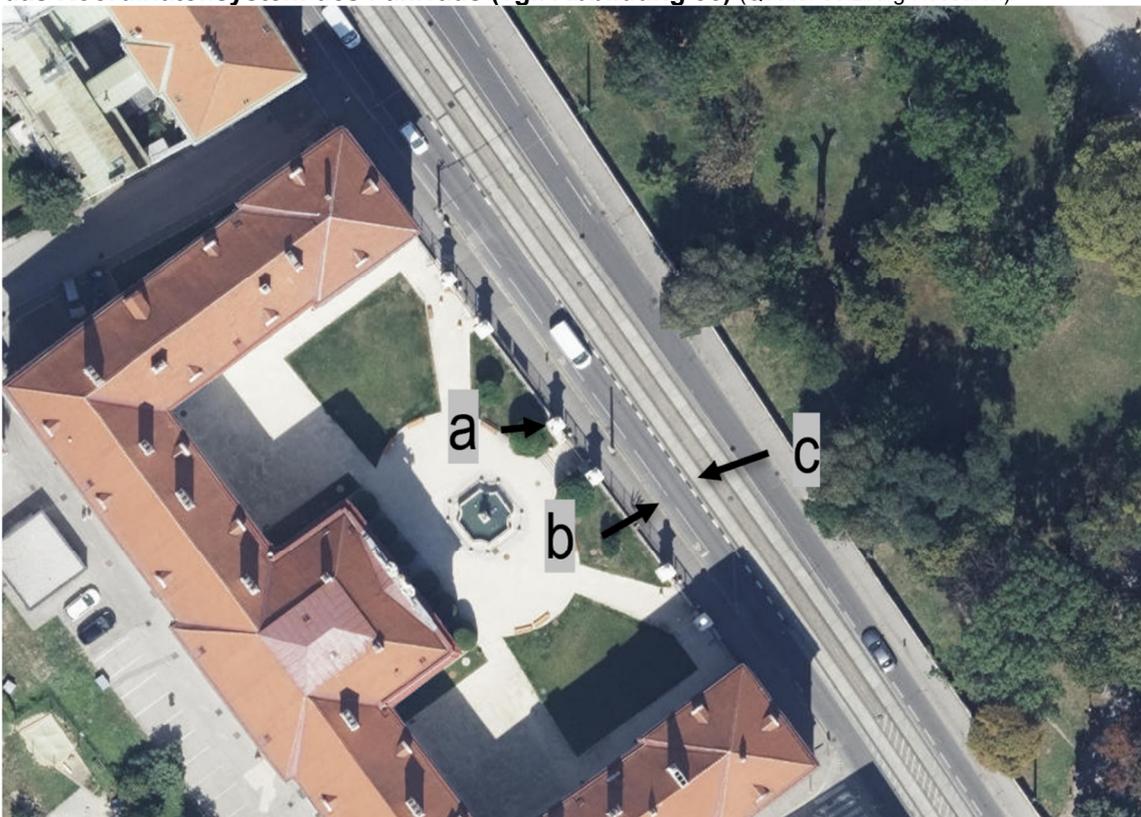


Abbildung 36: Zum Vergleich Orthofoto derselben Szene (Quelle: Stadt Wien - ViennaGIS <http://www.wien.gv.at/viennagis>).

Die Datenaufzeichnung fand auf vier ausgewählten Teststrecken in Österreich – Eisenstadt-Georgstr., Puch-Halleiner Landesstr., Pasching- Dörnbacher Str., Wien-Währinger Str. – im Zeitraum von Mai 2023 bis Oktober 2023 statt (siehe Anhang 2 Teststrecken). In der Georgistraße in Eisenstadt wurde zudem eine Vorher-Nachher-Erhebung durchgeführt, nachdem eine schmale Kernfahrbahn mit breiten Mehrzweckstreifen (AT) markiert und die höchstzulässige Geschwindigkeit von 50 auf 30 km/h gesenkt wurde (siehe auch Kapitel 3.3.3). Metadaten jeder Testfahrt wurden in einem Protokollblatt festgehalten. Diese beinhalteten u.a. Datum, Uhrzeit der Fahrten, die Anzahl der Überholvorgänge, Auffälligkeiten während der Testfahrt, technische Details zum korrekten Starten und Stoppen der Aufnahme etc..

3.4.2 Datenauswertung

Ziel der Datenerfassung mit dem Holoscene Fahrrad ist es vor allem Distanzen und Geschwindigkeiten zwischen Kfz und dem Holoscene Fahrrad für unterschiedliche Zeitpunkte zu berechnen. Dafür werden Kfz in den LiDAR-Daten erkannt, klassifiziert und deren Position und Ausdehnung als 3D Bounding Boxen erfasst. Zudem wird das Kfz über mehrere Sensoraufnahmen konstant als dasselbe Kfz erkannt. Das Fahrrad selbst wird ebenfalls über eine Bounding Box der Fahrradmaße definiert.

Weitere Berechnungen der Kennwerte beruhen auf dem Verhältnis dieser zwei Bounding Boxen. Pro Teststrecke wurden 20 Überholvorgänge inklusive Gegenverkehr ausgewertet. Die Kennwerte, anhand derer ein Überholvorgang mit den Daten des Holoscene Fahrrads evaluiert werden kann, orientieren sich an den vier Phasen eines Überholvorgangs (siehe Kapitel 3.1). Außerdem kann auch die Anwesenheit von Gegenverkehr während des gesamten Überholvorgangs als ein Kennwert berücksichtigt werden. Weitere Kennwerte, welche in RADBEST ausgewertet wurden, werden nun genauer anhand der vier Überholphasen erläutert.

1. Die Phase der Annäherung des Kfz an das Fahrrad

Die Phase der Annäherung des Kfz an das Fahrrad ist wie folgt definiert. Der betrachtete Bereich wird durch einen Trichter aufgespannt, wie in Abbildung 37 ersichtlich. Die Distanz nach hinten beträgt 20 m und in 20 m Entfernung hat der Trichter eine Breite von 8 m. Kfz, die sich in diesem Bereich befinden, werden als hinterherfahrende Kfz gewertet. Daraus leiten sich folgende Kennwerte ab:

- Minimaler Abstand nach hinten (m)

- Relative Geschwindigkeit des Kfz bei minimalem Abstand nach hinten (km/h)
- Hinterherfahrzeit (s)

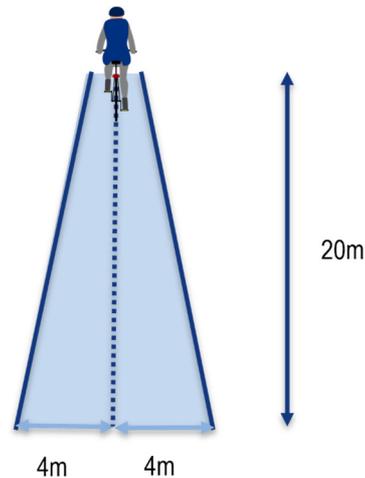


Abbildung 37: Definition des Hinterherfahrbereichs durch Aufspannen eines Trichters beim Holoscene Fahrrad.

2. Die Phase der Annäherung des Ausscherens

Die Phase des Ausscherens kann bei Vorhandensein von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen schwer klassifiziert werden, da sich ein Kfz meistens schon versetzt zum Fahrrad annähert und nur geringfügig ausschert, um es zu überholen. Daher bleibt diese Phase in der Methode unberücksichtigt.

3. Die Phase des Vorbeifahrens

Die Phase des Vorbeifahrens wurde definiert als Folge aller Messungen, in welchen sich mindestens ein Teil des Kfz seitlich des Fahrrades befand. Daraus leiten sich folgende Kennwerte ab:

- Minimaler seitlicher Abstand nach links (m)
- Relative Geschwindigkeit des Kfz zum Zeitpunkt des minimalen seitlichen Abstands (km/h)

4. Die Phase des Wiedereinscherens

Wie bereits erwähnt, kann die Phase des Wiedereinscherens aufgrund der Sensorposition nicht aufgezeichnet werden. Daher bleibt diese Phase unberücksichtigt.

3.4.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Auswertung der Überholvorgänge mittels LiDAR-Daten aus dem Holoscene Fahrrad werden folgend pro Teststrecke dargestellt. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die gemittelten Werte pro Teststrecke.

Tabelle 10: Gemittelte Kennwerte pro Teststrecke.

Teststrecke	Mittlerer minimaler seitlicher Abstand (cm)	Mittlere relative Geschwindigkeit bei min. seitlichem Abstand (km/h)	Mittlerer minimaler Abstand nach hinten (cm)	Mittlere relative Geschwindigkeit bei min. Abstand nach hinten (km/h)	Mittlere Hinterherfahrzeit (s)	Anzahl Überholvorgänge mit Gegenverkehr
Eisenstadt - Georgistr. vorher	127	21,0	463	23,1	3,5	5
Eisenstadt - Georgistr. nachher	126	20,8	555	22,8	3,2	2
Pasching - Dörnbacher Str.	124	20,0	460	15,9	6,1	11
Puch - Halleiner Landesstr.	118	24,0	481	22,8	5,0	13
Wien - Währinger Str.	87	19,7	444	18,5	4,3	0

Im Mittel wurde auf den ausgewählten Teststrecken mit einem minimalen seitlichen Abstand zwischen 87 cm und 127 cm überholt. Die relative Überholgeschwindigkeit des Kfz betrug auf den meisten Teststrecken ca. 20 km/h, in Puch – Halleiner Landesstr. 24 km/h.

Im Folgenden werden die Boxplots der einzelnen Kennwerte pro Teststrecke dargestellt und die relevantesten Aussagen zusammengefasst.

Der Median des minimalen seitlichen Abstands war bei den ausgewerteten Überholvorgängen bei der Teststrecke Wien - Währinger Str. am geringsten (siehe Abbildung 38). Auf der Teststrecke Pasching – Dörnbacher Str. wurden tendenziell geringere minimale seitliche Abstände bei Vorhandensein von Gegenverkehr gemessen als ohne Gegenverkehr (siehe Abbildung 39). In Puch – Halleiner Landesstr. war diese Tendenz nicht beobachtbar. Hier ergaben sich kaum Unterschiede. Potenziell ist dies durch die Anlageart eines Abschnitts der Strecke in Puch bedingt (Kategorie 3: Radfahrstreifen siehe Kapitel 3.2). Dennoch sind bei dieser Auswertung die geringe Anzahl an ausgewerteten Überholvorgängen für die Aussagekraft zu berücksichtigen.

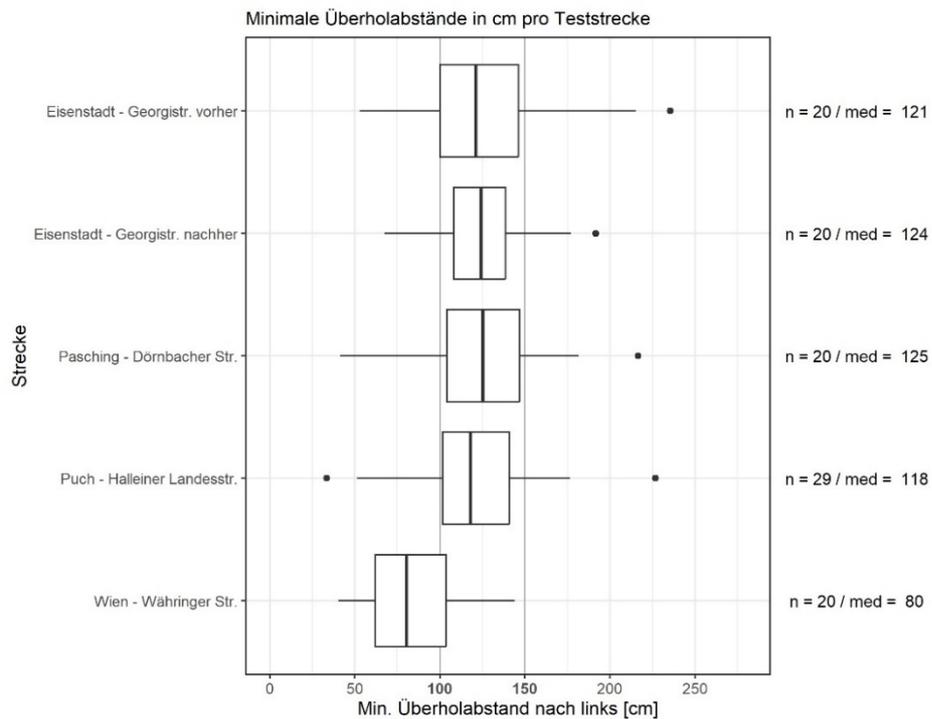


Abbildung 38: Minimale Überholabstände in cm pro Teststrecke.

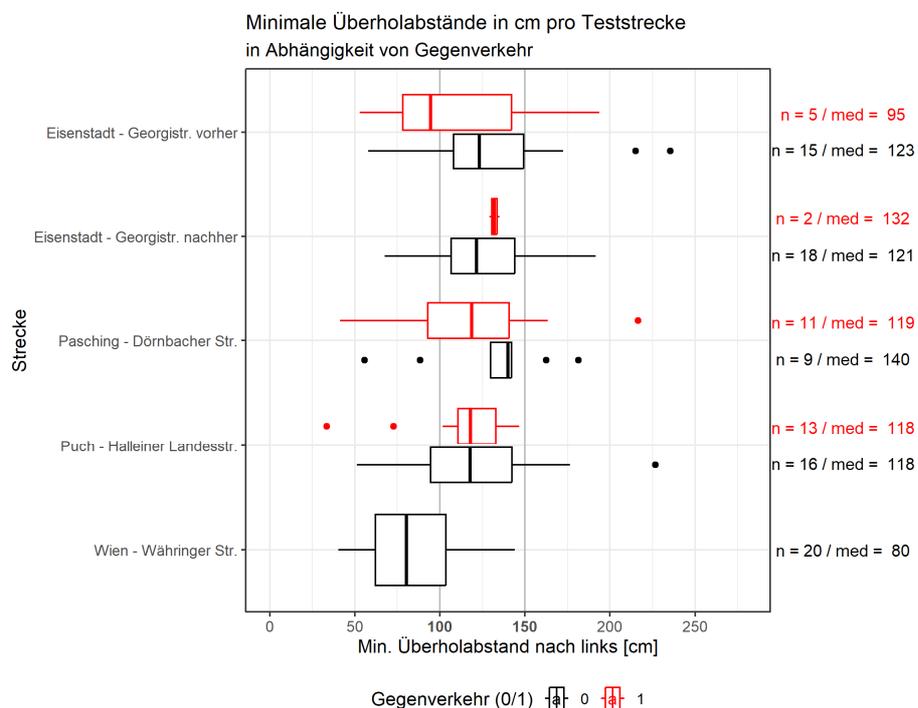


Abbildung 39: Minimale seitliche Abstände pro Teststrecke in Abhängigkeit von Gegenverkehr.

Bei den relativen Geschwindigkeiten des Kfz pro Teststrecke gab es kaum Unterschiede zwischen den Strecken (siehe Abbildung 40).

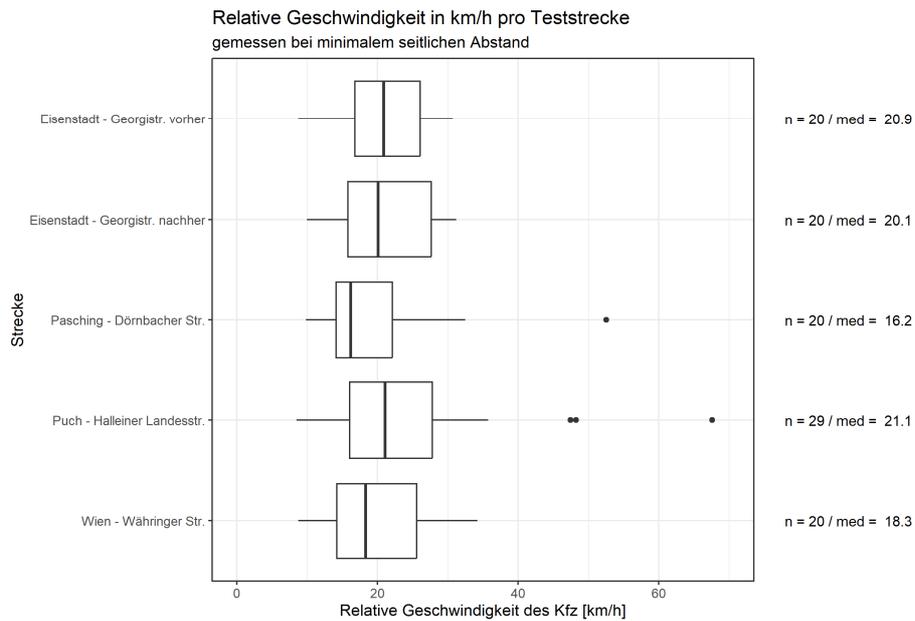


Abbildung 40: Relative Geschwindigkeit des Kfz in km/h pro Teststrecke.

Der minimale Abstand nach hinten pro Teststrecke zeigt einzelne Tendenzen (siehe Abbildung 41). In Wien – Währinger Str. und in Pasching - Dörnbacher Str. war im Median der minimale Abstand nach hinten am geringsten. Als Hypothese wird hier angenommen, dass höhere Verkehrsmengen zu knapperem Auffahren führen könnten. Die Georgistraße in Eisenstadt gestaltet sich als breite und vergleichbar wenig befahrene Straße, weshalb diese ein frühzeitiges Ausscheren erlauben könnte. Die Abstände sind hier tendenziell höher.

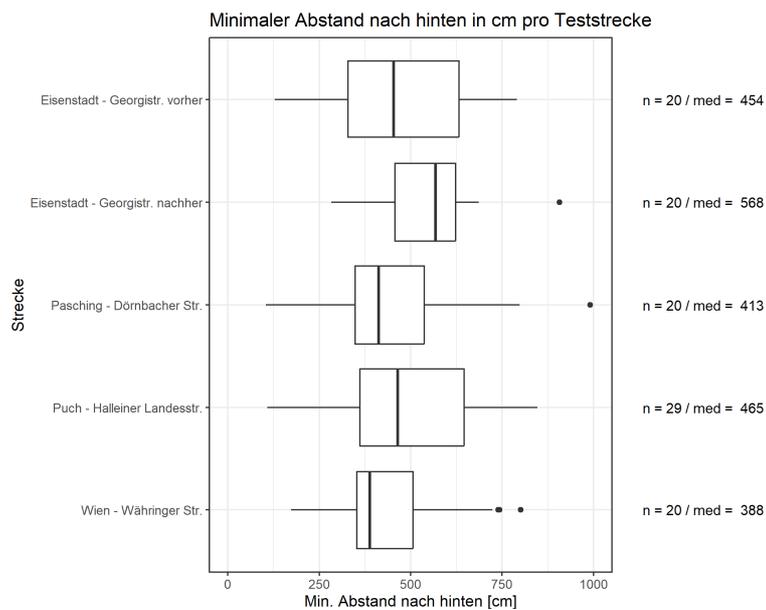


Abbildung 41: Minimaler Abstand nach hinten in cm pro Teststrecke.

Die relative Geschwindigkeit des Kfz beim Hinterherfahren zeigte ebenso unterschiedliche Tendenzen (siehe Abbildung 42). In Wien – Währinger Str. und in Pasching – Dörnbacher Str. führte potenziell ein nahes Auffahren dazu, dass Kfz-Lenker:innen bremsen mussten und sich dadurch die relative Geschwindigkeit verringerte. In der Georgistraße in Eisenstadt lässt sich vermuten, dass die Straßenbreite sowie die geringe Verkehrsstärke fliegende Überholvorgänge erlaubten und dadurch die relative Geschwindigkeit auf dieser Teststrecke am höchsten ist. Signifikante Unterschiede konnten hier nach der Temporeduktion auf T30 nicht festgestellt werden. In der Währinger Straße in Wien ließ sich eine vergleichsweise geringe relative Geschwindigkeit beim Hinterherfahren messen. Es wird vermutet, dass der fließende Verkehr am linken Rand mit geringer Geschwindigkeit gefahren ist. Es wurde während der Testfahrten eine hohe Verkehrsstärke beobachtet.

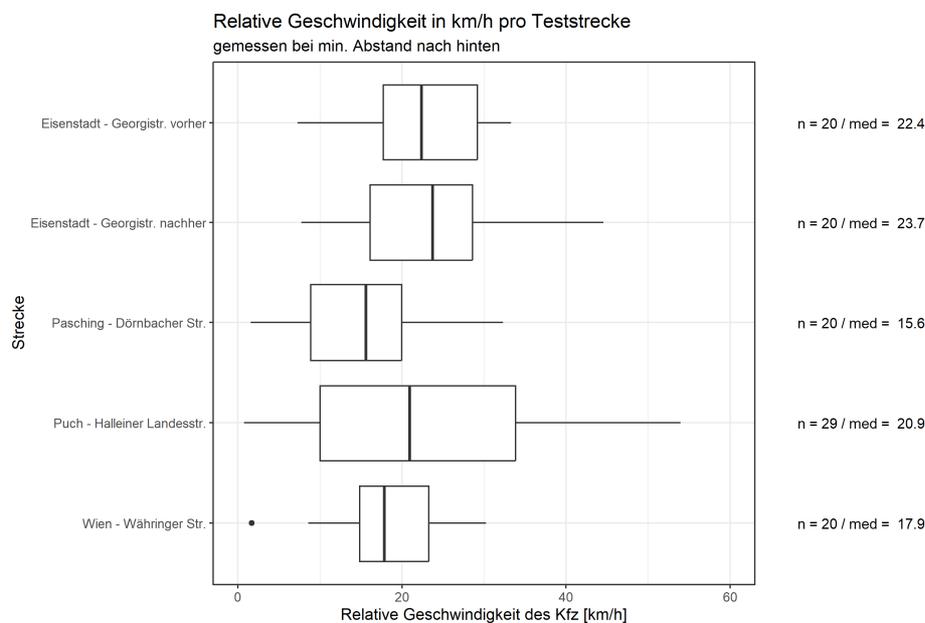


Abbildung 42: Relative Geschwindigkeit des Kfz in km/h pro Teststrecke.

Wie lange ein Kfz hinter dem oder der Radfahrer:in hergefahren ist, bevor es diesen überholte, zeigt Abbildung 43. In Puch – Halleiner Landesstr. wurde tendenziell eine kürzere Hinterherfahrzeit gemessen. Gemeinsam mit den vorhergehenden Kennwerten könnte ein zügiges Auffahren und Ausscheren ein typischer Überholvorgang auf dieser Teststrecke sein. In Pasching – Dörnbacher Str. fährt hingegen ein Kfz länger hinter dem oder der Radfahrer:in her. Die schlecht einsehbare kurvige Strecke und Gegenverkehr könnten dies bedingen. In der Georgistraße in Eisenstadt wurden kürzere Hinterherfahrzeiten nach der Umarmarkierung und Temporeduktion gemessen. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass sich die Kfz-Lenker:innen stärker an der Fahrbahnmitte orientieren und sich dadurch generell

bereits weiter links befinden. Die Teststrecke in der Währinger Straße in Wien weist eine geringe Streuung in der Hinterherfahrzeit auf. Der fließende Verkehr konnte hier sehr gleichmäßig überholen.

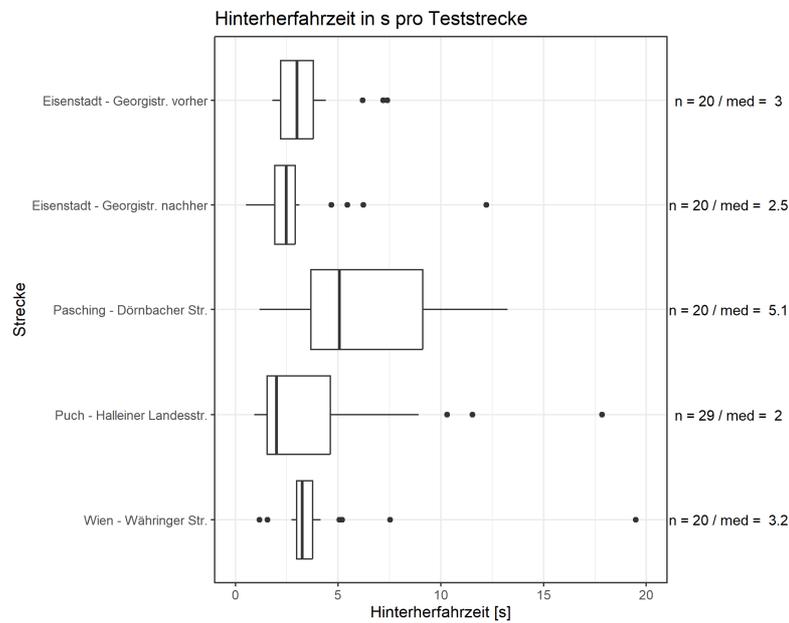


Abbildung 43: Hinterherfahrzeiten pro Teststrecke.

Abbildung 44 bestätigt, dass bei Gegenverkehr das Kfz länger hinter dem oder der Radfahrer:in herfährt.

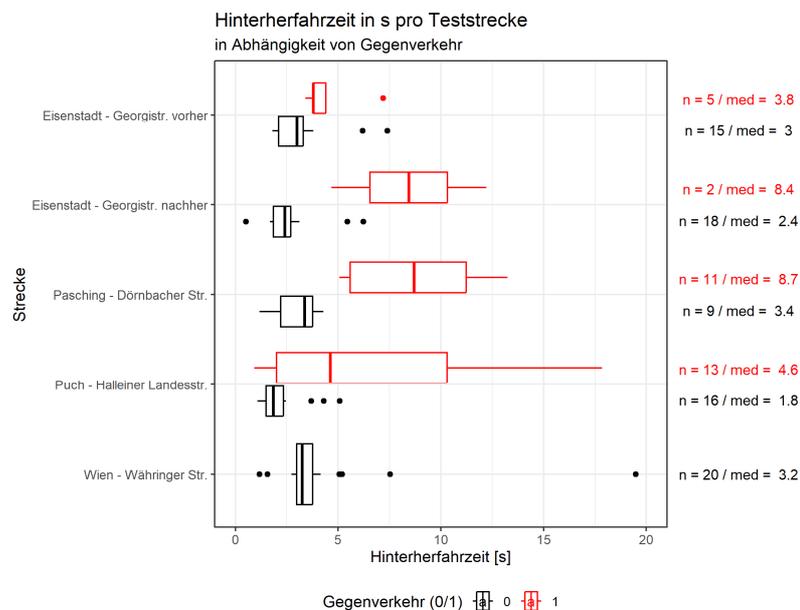


Abbildung 44: Hinterherfahrzeit pro Teststrecke in Abhängigkeit von der Anwesenheit von Gegenverkehr.

3.5 Stationäre LiDAR Sensorik

3.5.1 Methode und Durchführung der Feldtests

Für die stationäre LiDAR Sensorik kam ein sogenanntes Multi-Object-Tracking System von der ALP.Lab GmbH⁷ zum Einsatz, welches bereits im Auftrag des Mobilitätslabors zukunftswege.at⁸ an einer Testkreuzung installiert und in Betrieb genommen wurde. Salzburg Research konnte diese Forschungsinfrastruktur in Salzburg an der Testkreuzung Sterneckstraße – Linzer Bundesstraße nun auch im Rahmen des Projektes RADBEST nutzen. Eine Durchführung der Messung mit stationärer LiDAR Sensorik an ausgewählten Streckenabschnitten mit punktuellen Engstellen war aus finanziellen Gründen nicht möglich. Die Testkreuzung Sterneckstraße – Linzer Bundesstraße besitzt zwar keine markanten Engstellen, Überholvorgänge von Radfahrer:innen im Kreuzungsbereich finden aber trotzdem statt. Anhand der Daten kann demonstriert werden, wie diese Sensorik zukünftig für Messungen an Engstellen eingesetzt werden kann.

Die Testkreuzung Sterneckstraße – Linzer Bundesstraße ist mit sechs LiDAR Sensoren, wie in Abbildung 45 ersichtlich, ausgestattet.

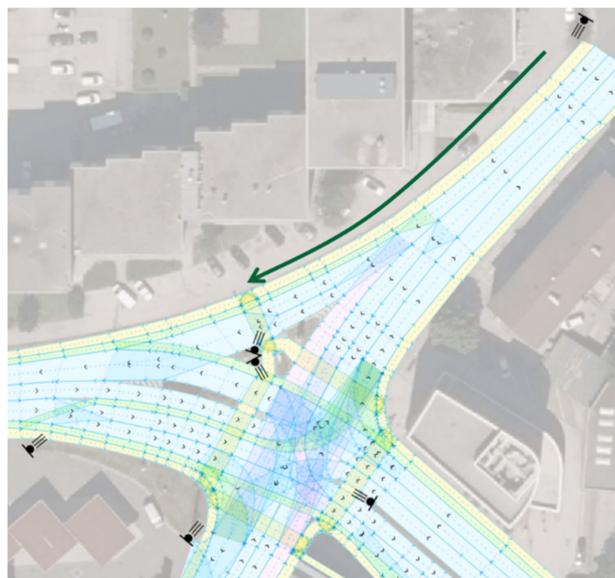


Abbildung 45: Positionen der LiDAR-Sensoren auf der Testkreuzung Sterneckstraße – Linzer Bundesstraße. Der Pfeil symbolisiert den Überholvorgang, welches in Kapitel 3.5.3 beschrieben wird. Hintergrund: Spurgenaue HD-Karte (Quelle: Salzburg Research).

⁷ <https://www.alp-lab.at/> [abgerufen am 24.04.2024]

⁸ <https://www.salzburgresearch.at/2024/mehr-sicherheit-durch-praezise-analyse-von-verkehrsbewegungen/> [abgerufen am 14.04.2024]

Durch die LiDAR Sensorik werden der Verkehrsraum und seine Nutzenden als Punktwolken erfasst. In diesen Punktwolken werden Objekte detektiert und klassifiziert, d.h. die Klassen Kfz, Zweirad, Fußgänger:in und unbekannt zugewiesen. Diese Objekte werden auch getrackt, sodass ein Fahrzeug dieselbe ID über eine Folge von Sensoraufnahmen behält. In Abbildung 46 sind diese detektierten und klassifizierten Objekte im Verkehrsraum dargestellt.

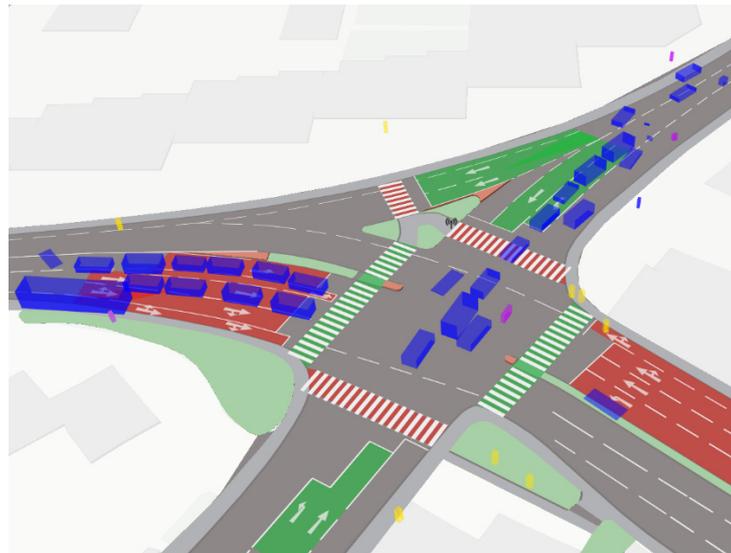


Abbildung 46: Visualisierung der detektierten und klassifizierten Objekte (blau: Kfz, violett: Zweirad, gelb: Fußgänger:in) (Quelle: Salzburg Research).

Ein Objekt enthält zudem Attribute wie seine Länge, Breite und Geschwindigkeit. Diese Objektdaten werden in einer Frequenz von 10 Hz an die von Salzburg Research in Vorgängerprojekten entwickelte Datenplattform „FlowMotion“ übermittelt (siehe Abbildung 47). Hier werden die Objektdaten zu Trajektorien verbunden, gespeichert und verarbeitet.

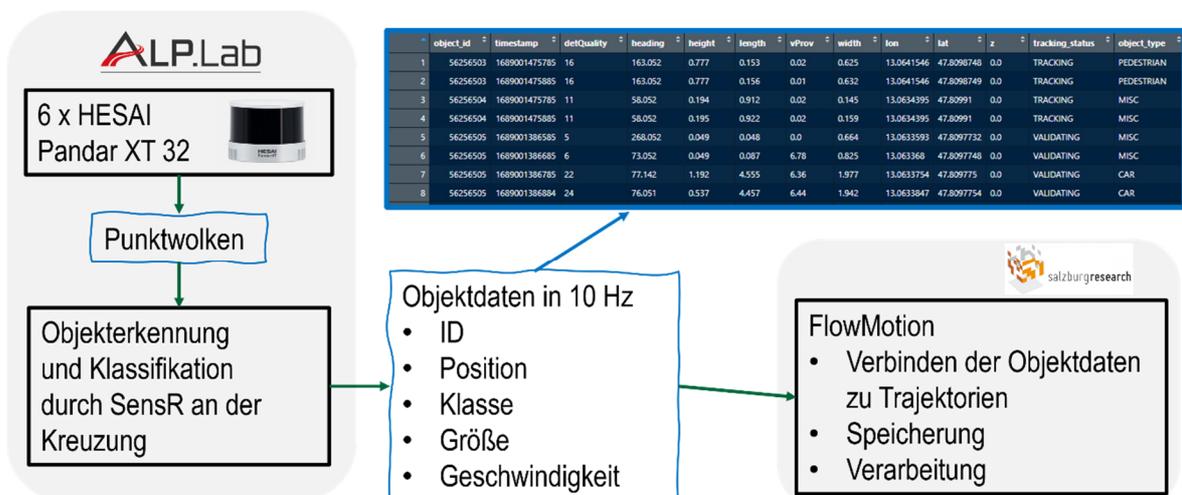


Abbildung 47: Systemüberblick der stationären LiDAR Sensorik (Quelle: Salzburg Research)

Durch Vergleichen einer Fahrrad- und einer Kfz-Trajektorie können verschiedene Kennwerte (siehe Kapitel 3.5.2) ermittelt und somit ein Überholvorgang genau beschrieben werden. Eine Auswertung erfolgte für einen exemplarischen Überholvorgang auf der Kreuzung vom 17.10.2023.

3.5.2 Datenauswertung

Für die Auswertungen der stationären LiDAR Sensorik wurde der Fokus auf die Phase des Vorbeifahrens (siehe Kapitel 3.1) gelegt. Um diese zu definieren, wurde ein Rechteck um das Fahrrad gelegt. Dieses hat die Ausdehnung der Fahrradlänge und wird zu beiden Seiten des Fahrrads um 10 m erweitert (siehe Abbildung 48). Alle Zeitpunkte, zu denen das überholende Kfz diese Zone schneidet, ergeben die Phase des Vorbeifahrens.

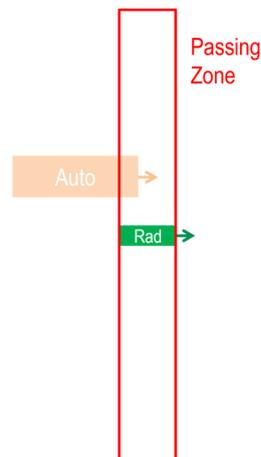


Abbildung 48: Definition der Phase des Vorbeifahrens „Passing Zone“.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass an einer Kreuzung Kfz und Fahrrad nebeneinander an der Ampel warten und bei Stau das Fahrrad ggf. am Kfz auf einer getrennten Spur vorbeifahren kann. Zusätzliche Bedingungen auf Grundlage der Geschwindigkeit der beiden Objekte sind notwendig.

In dieser Phase konnten folgende Kennwerte aus der Trajektorie des Kfz und der Trajektorie des Fahrrads berechnet werden. Bei Distanzen sind Werte sowohl nach links als auch nach rechts gemessen möglich.

- Minimale Distanz in der Phase des Vorbeifahrens [cm]
- Durchschnittliche Distanz in der Phase des Vorbeifahrens [cm]
- Median der Distanz in der Phase des Vorbeifahrens [cm]
- Distanz zum Start der Phase des Vorbeifahrens [cm]
- Distanz zum Ende der Phase des Vorbeifahrens [cm]

- Dauer der Phase des Vorbeifahrens [s]
- Durchschnittliche Geschwindigkeit des Überholenden während der Phase des Vorbeifahrens [km/h]
- Durchschnittliche Geschwindigkeit des Überholten während der Phase des Vorbeifahrens [km/h]

3.5.3 Ergebnisse und Diskussion

Für die Kreuzung Sterneckstraße Linzer-Bundesstraße wurde exemplarisch ein Überholvorgang ausgewertet (siehe Abbildung 49). Das Fahrrad und das Kfz kamen hierbei von Nordost und fuhren Richtung Südwest. Die Werte der unterschiedlichen Kennwerte der Phase des Vorbeifahrens sind in Tabelle 11 ersichtlich.

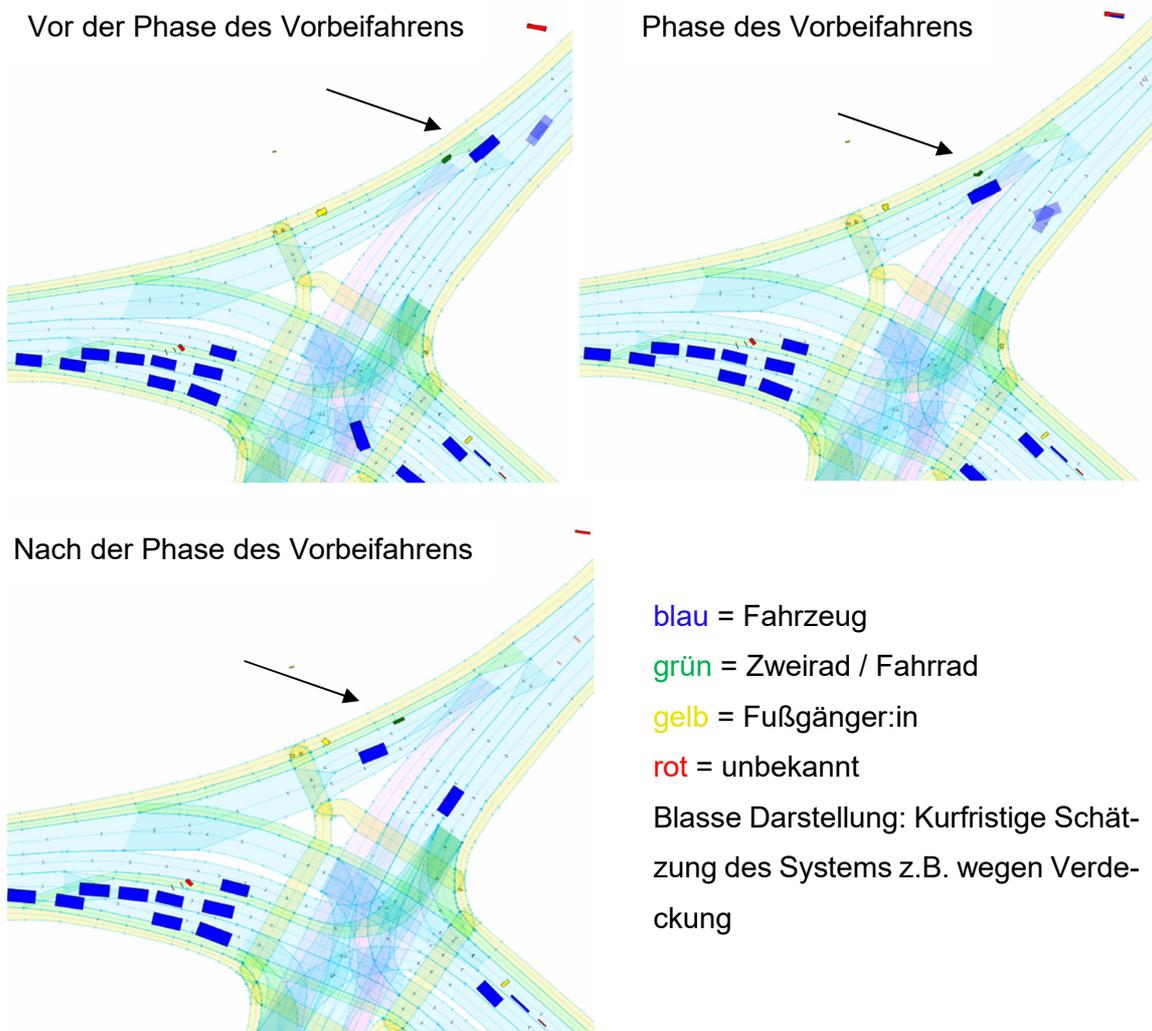


Abbildung 49: Analysierter Überholvorgang auf der Kreuzung Sterneckstraße – Linzer Bundesstraße. Hintergrund: Spurgenaue HD-Karte.

Tabelle 11: Kennwerte des Überholvorgangs.

Kennwert	Im Beispiel
Seite des Überholvorgangs	Links
Minimale Distanz in der Phase des Vorbeifahrens [cm]	153
Durchschnittliche Distanz während der Phase des Vorbeifahrens [cm]	175
Median der Distanz während der Phase des Vorbeifahrens [cm]	179
Distanz zum Start der Phase des Vorbeifahrens [cm]	180
Distanz zum Ende der Phase des Vorbeifahrens [cm]	194
Dauer der Phase des Vorbeifahrens [s]	1,2
Durchschnittliche Geschwindigkeit des Überholenden während der Phase des Vorbeifahrens [km/h]	37,6
Durchschnittliche Geschwindigkeit des Überholten während der Phase des Vorbeifahrens [km/h]	21,1

Das Fahrrad wurde für diesen Beispielüberholvorgang mit einem in Österreich gesetzlich ausreichend großen seitlichen Abstand von 1,53 m mit durchschnittlichen 37,6 km/h innerhalb von 1,2 Sekunden überholt.

3.6 Stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse

3.6.1 Methode und Durchführung der Feldtests

Eine stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse ermöglicht die Aufzeichnung und visuelle Beurteilung von Überholvorgängen an kürzeren Streckenabschnitten. In RADBEST wurde die Analyse mittels einer Kamera des Typs „Miovision Scout“⁹ durchgeführt, welche sich im Besitz von con.sens verkehrsplanung befindet. Durch die geringe Auflösung des Kamerabildes (siehe Abbildung 50) werden keine personenbezogenen Daten aufgezeichnet.



Abbildung 50: Aufnahme der Miovision Scout Kamera auf der Währinger Straße in Wien. Durch die Unschärfe der Aufnahme sind keine Kennzeichen oder Gesichter erkennbar. (Quelle: con.sens verkehrsplanung).

Für die Montage des Kamerasystems ist jedoch eine Genehmigung des Straßenerhalters einzuholen. Die Kamera wurde an einen Verkehrszeichensteher im öffentlichen Straßenraum montiert (vgl. Abbildung 51) und hat über mehrere Stunden hinweg das Verkehrsgeschehen im Streckenbereich in Längsrichtung erfasst.

Die Erhebung fand am 7.11.2023 in der Zeit von 6 bis 17 Uhr statt. Erfasst wurde die Teststrecke Währinger Straße in Wien, die Kamera war auf Höhe ONr. 29 montiert, Blickrichtung stadteinwärts bzw. Südosten (Abbildung 52).

⁹ <https://miovision.com/scout-plus/> [abgerufen am 21.05.2024]



Abbildung 51: Montage einer MioVision Scout Kamera (Quelle: con.sens verkehrsplanung).

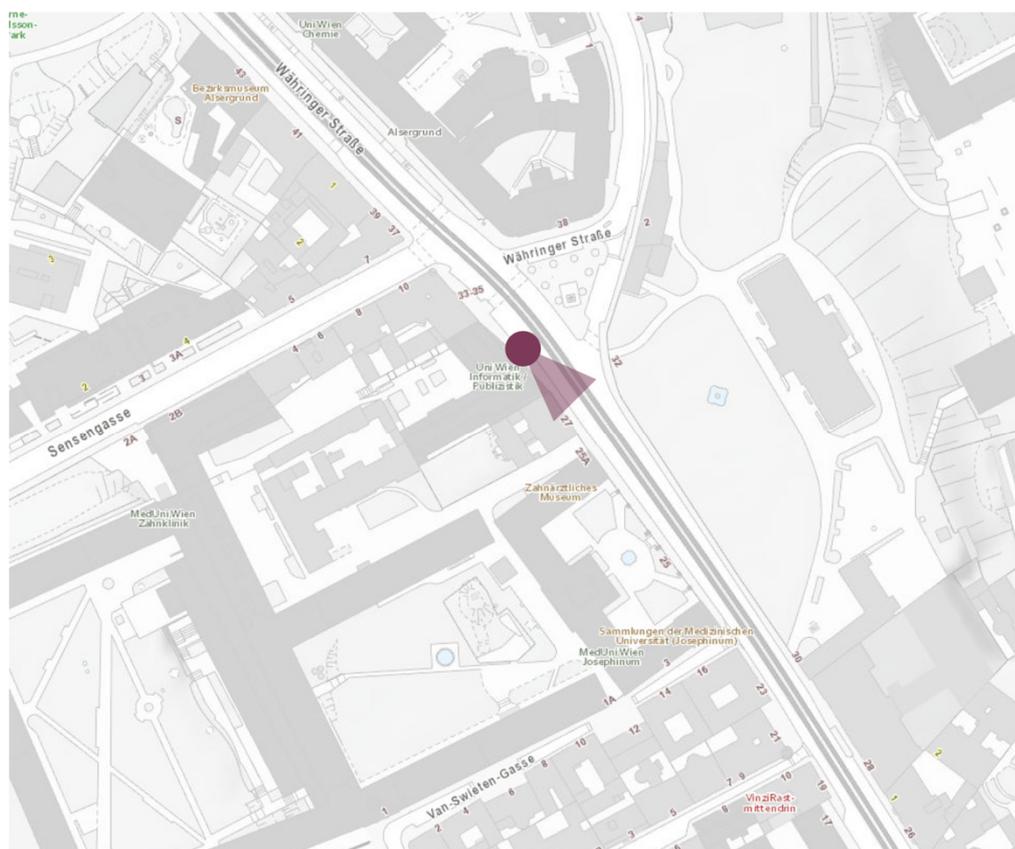


Abbildung 52: Blickwinkel der Kamera an der Teststrecke Wien – Währinger Straße (Hintergrund: Stadt Wien - ViennaGIS <http://www.wien.gv.at/viennagis>).

3.6.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung erfolgte über die Sichtung des Videomaterials und der qualitativen Beschreibung beobachteter Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer. Folgendes konnte beobachtet werden:

- Bei Abwesenheit von Radfahrer:innen nutzen Kfz-Lenker:innen den Mehrzweckstreifen (AT) teilweise mit, auch wenn dies aufgrund der Platzverhältnisse nicht erforderlich wäre.
- Sind Radfahrer:innen am Mehrzweckstreifen (AT) unterwegs, ist bei Kfz-Lenker:innen in der Regel eine Fahrlinie äußerst links zu beobachten, sehr nah an der Schwelle zum Gleiskörper der Straßenbahn.
- Die Teststrecke Wien – Währinger Str. weist einen trichterartigen Verlauf auf, bei dem es zu äußerst kritischen Breiten kommt, kurz bevor der Übergang vom Mehrzweckstreifen (AT) in den Mischverkehr erfolgt. Es ist zu beobachten, dass auch in diesem kritischen Bereich nach wie vor überholt wird, was auch über die teils sehr knappen mittels OBS gemessenen Überholabstände abgebildet wurde.
- Aus Sicht der Videoanalyse kann festgestellt werden, dass breitere Fahrzeuge (Lkw) bereits früher den Überholvorgang unterlassen als schmalere Fahrzeuge (Pkw).

3.7 Humansensorischen Messungen

3.7.1 Methode und Durchführung der Feldtests

Die humansensorischen Messungen wurden im Rahmen einer eintägigen Kampagne an der Teststrecke Puch – Halleiner Landesstr. exemplarisch angewendet. Dafür wurden Proband:innen aus dem Umfeld der Universität Salzburg rekrutiert, die in ihrer Dienstzeit die Testfahrten durchführten. Um Tagesspitzen im Pendelverkehr und durch Hol- und Bringdienste im Schulumfeld induzierten Verkehr berücksichtigen zu können, wurden die Messungen zwischen 07:00 und 14:00 an einem Freitag (7. Juli 2023) durchgeführt. Die Wetterbedingungen am 7. Juli 2023 waren sommerlich mit 19°C Tagesmittelwert und keinem Niederschlag. Das Sample der neun Proband:innen setzte sich wie folgt zusammen: 5 männliche und 4 weibliche Personen mit durchschnittlich 28,5 Jahren (min. 21, max. 35). Die Proband:innen waren durchwegs erfahrene Radfahrer:innen und fuhren auf eigenen Fahrrädern.

Alle ProbandInnen wurden vor Ort am Ausgangspunkt in unmittelbarer Nähe zur Teststrecke instruiert und mit den verschiedenen Sensoren ausgestattet. Es starteten meist zwei Personen in kurzem zeitlichem Abstand zueinander. Die Rahmenbedingungen wurden wie folgt festgelegt:

- Fahrt erfolgt allein, nicht nebeneinander.
- Wenn möglich Verwendung verfügbarer Radinfrastruktur.
- Eher defensive Fahrweise, keine riskanten Manöver durchführen oder gar provozieren.
- Zum Ausfüllen der in-situ-Umfrage ggf. den Straßenraum verlassen bzw. an einer sicheren Stelle halten.

Die Datenerhebung der humansensorischen Messungen wurde mit einer eDiary Smartphone Applikation (Petutschnig et al., 2022), dem Zephyr BioHarness Brustgurt¹⁰ und dem Empatica E4 Armband¹¹ durchgeführt. Die eDiary Applikation dient hier als Schnittstelle zwischen den beiden Sensoren und ermöglicht es den Messungen eine raumzeitliche Referenz zuzuordnen.

¹⁰ <https://pdf.medicalexpo.com/pdf/zephyr/zephyr-bioharness/83995-97427.html> [abgerufen am 27.06.2024]

¹¹ <https://support.empatica.com/hc/en-us/articles/202581999-E4-wristband-technical-specifications> [abgerufen am 27.06.2024]

Das Empatica E4 Armband ist mit Photoplethysmographie (PPG), einem Beschleunigungssensor und einem Temperatursensor ausgestattet. Zusätzlich misst das Armband mit zwei Elektroden die Leitfähigkeit der Haut einer Person.

PPG misst Volumenänderungen im Blutgefäßsystem durch LED-Beleuchtung der Haut, wodurch sich kardiovaskuläre Daten wie Interbeat-Intervall, Herzrate und Herzratenvariabilität ableiten lassen. PPG Daten werden mit einer Abtastfrequenz von 64 Hz mittels einem roten und einem grünen LED-Licht und zwei Fotodioden gemessen. Die Genauigkeit der Messung liegt laut Hersteller bei 0,9 Nanowatt pro Einheit. Aus den Änderungen in der Lichtabsorption wird im Anschluss das Interbeat-Intervall und die Herzrate errechnet und mit einer Abtastrate von 1 Hz angegeben.

Hautleitfähigkeit wird mit einer Abtastrate von 4 Messungen pro Sekunde (4 Hz) in der Einheit Mikrosiemens (μS) gemessen, wobei die Genauigkeit der Messung zwischen 1 und 900 Pikosiemens liegt. Temperaturmessungen des Sensors an der Hautoberfläche werden in einem Wertebereich von -40 bis 115 °C mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2$ °C zwischen 36 und 39 °C und einer Abtastrate von 4 Hz aufgezeichnet. Beschleunigungsdaten werden in X-, Y-, und Z-Achsen und mit einer Abtastrate von 32 Hz und in der Einheit g, der Trägheitskraft der Masse, gemessen.

Der Zephyr BioHarness misst durch im Brustgurt verbaute Elektroden ein Elektrokardiogramm, welche die Herzaktion als elektrische Spannung in 250 Messungen pro Sekunde (250 Hz) und einem Wertebereich von 0 und 0,05 Volt ausgibt. Zusätzlich werden Beschleunigungsdaten in X-, Y- und Z-Richtung mit 100 Hz aufgezeichnet.

Die Sensormessungen werden mittels Bluetooth Low Energy (BLE) Technologie an die eDiary Smartphone Applikation übertragen und zusammen mit den Smartphone Daten in einer lokalen SQLite Datenbank abgespeichert.

Durch einen im Smartphone verbauten GPS-Empfänger werden geographische Koordinaten aufgezeichnet und in derselben SQLite Datenbank gespeichert. Durch zeitlich synchronisierte Messungen ergeben sich somit raumzeitlich referenzierte Sensormessungen.

Als zusätzliche Referenz können Proband:innen in-situ Fragebögen in der eDiary Applikation ausfüllen, wo sie den Studienleiter:innen subjektive Empfinden mitteilen.

Hier werden folgende Fragen gestellt: „Was beschreibt ihr Gefühl am besten?“, „Auf einer Skala von 0 – 100, wie würden Sie die Intensität der Reaktion einschätzen?“ und „Was war der Auslöser der gefühlten Reaktion?“. Die Auswahlmöglichkeiten für die Gefühlsbeschreibung sind: „Freude, Fröhlichkeit“, „Angst, Erschrecken, Anspannung“, „Traurigkeit, Enttäu-

schung“, „Ärger, Ekel“. Für den Auslöser der Reaktion haben ProbandInnen folgende Auswahlmöglichkeiten: „Autos, LKW“, „Fahrradfahrer:innen“, „Fußgänger:innen“, „Straßenzustand, Beschilderung“, „Platzverfügbarkeit“, „Geräuschkulisse“, „Gerüche“, „Grün Umgebung“, sowie „Etwas anderes“. Optional können Proband:innen noch weitere Kommentare hinzufügen. Zusätzlich gibt es noch ein optionales Textfeld, „Kommentare“, in dem Proband:innen weitere Informationen zu der beschriebenen Situation an die Studienleiter:innen übermitteln können.

Das zentrale Innovationselement der Methode sind die Humansensorik-Daten (physiologische Veränderungen als Manifestation emotionspsychologischer Prozesse), welche in einer Datenbank am Smartphone abgespeichert werden. Durch die Verortung der Messungen kann ermittelt werden, wo und wann sich Menschen wie fühlen, und einer entsprechenden städtischen Umgebungs- bzw. Verkehrssituation zugeordnet werden. Zusätzlich zu den physiologischen Sensormessungen werden Videos aus der Ego-perspektive aufgenommen um das Sichtfeld der Proband:innen, sowie mögliche Stressauslöser feststellen zu können. In-situ Umfragen werden neben den physiologischen Sensormessungen mittels der eDiary Smartphone Applikation (Petutschnig et al., 2022) nach einer positiven oder negativen Reaktion in Bezug auf das Stressempfinden an Ort und Stelle ausgefüllt. Zusätzlich zu den raumzeitlich referenzierten Einträgen werden Proband:innen zu der verspürten Stressintensität und des Auslösers befragt, Informationen welche als zusätzlicher Referenz in der raumzeitlichen Analyse von erkannten Stress-Hotspots (Kyriakou & Resch, 2019) dienen. Die Methode ist interdisziplinär (Verkehrsplanung-Geoinformatik-Soziologie), evidenzbasiert (gestützt durch wissenschaftliche Erkenntnisse) und technologieunterstützt (Humansensorik, GIS-Analysen, Videos) angelegt.



Abbildung 53: Links) Proband ausgestattet mit Humansensorik. Rechts) Zephyr BioHarness Brustgurt (Quelle: Universität Salzburg).

Als zusätzliche Referenz zu den physiologischen Sensordaten und den abgeleiteten, georeferenzierten Stresssituationen, werden post-hoc Fragebögen verwendet, um die Studienteilnehmer:innen retrospektiv zu ihrem subjektiven Stress- und Sicherheitsempfinden zu befragen. Hier bekommen Studienteilnehmer:innen die Möglichkeit Punkte, die auf der Teststrecke besonders auffällig waren, zu markieren, und weitere Kommentare hinzuzufügen.

Die Fragebögen sowie first-person Kameraaufnahmen, die während der Sensormessung mittels GoPro Videos aufgezeichnet werden, dienen zur Überprüfung der Stresssituationen, die basierend auf physiologischen Messdaten abgeleitet wurden.

3.7.2 Datenauswertung

Die Analyse von georeferenzierten physiologischen Messdaten bietet Einblicke in das subjektive Stressempfinden von Personen, die zur effizienten und sicheren Stadt- und Verkehrsplanung herangezogen werden können.

Aus tragbaren Sensoren und den damit aufgezeichneten physiologischen Reaktionen des menschlichen Körpers werden Stressmomente, sogenannte MOS bzw. Moments of Stress (Kyriakou et al., 2019) erkannt. Hier wird eine individualisierte Methode für die Erkennung von akutem Stress in Elektrodermaler Aktivität (EDA), die Leitfähigkeit der Haut, verwendet (Moser, Resch & Ehrhart, 2023). Durch Filtern im Frequenzbereich lässt sich in einem Vorverarbeitungsschritt zwischen körperlicher / physischer Anstrengung, der tonischen Komponente, und akutem Stress, der phasischen Komponente des Hautleitfähigkeitssignals, unterscheiden.

Hier wird die gemessene EDA durch einen Bandpassfilter in elektrodermale Reaktion (EDR) und elektrodermales Level (EDL) gegliedert. Zuerst wird ein Butterworth Tiefpassfilter der 1. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 1 Hz angewendet, um durch Bewegung verursachte Schwankungen und Rauschen aus dem Signal zu filtern. Die Grenzfrequenz von 1 Hz wurde basierend auf Literatur und einer Fourier Transformation ermittelt, welche das Signal von der Zeitdomäne in die Frequenzdomäne transformiert. Nach Bereinigung des EDA-Signals wird durch Anwenden eines Butterworth Hochpassfilter der 1. Ordnung und einer Grenzfrequenz von 0,05 Hz zwischen akuter Stressreaktion (EDR) und körperlicher Anstrengung (EDL) unterschieden. In einem weiteren Schritt wird eine räumliche Analyse der erkannten Stresssituation zur Identifizierung von Stress-Hotspots (Kyriakou & Resch, 2019) in der städtischen Mobilitätsinfrastruktur ausgeführt, welche wichtige Einsichten in

das subjektive Stress- und Sicherheitsempfinden der ProbandInnen in Bezug auf umliegenden Umgebungsparameter bietet. Statistisch signifikante Stress-Cold- und Hotspots werden im Anschluss visuell auf einer Karte dargestellt, welche von Stadt- und Verkehrsplaner:innen genutzt werden kann.

Zusätzlich zur insgesamten Anzahl an MOS pro Fahrtrichtung, pro Teilnehmer:in und pro Straßensegment (definiert und abgegrenzt durch die infrastrukturbasierten Polygone), wird ein Verhältnis aus Stresspunkten und den in einem 20 Meter definierten Radius gemessenen Punkten gebildet. Durch dieses Verhältnis von Stress- und Nicht-Stress Punkten werden Stress Hot-Spots, die durch längere Steh- und Wartezeiten entstehen können, so weit wie möglich vermieden.

Je nach Infrastruktur Gegebenheit, wurde die Teststrecke in Bezug auf die Fahrbahnbreite in einzelne Polygone unterteilt. Die aufgezeichneten GPS-Trajektorien und die Polygone werden hier mit einem räumlichen Join verschnitten, wodurch alle GPS-Punkte, die innerhalb eines Polygons vorkommen, diesem zugeordnet werden. Zusätzlich wird in der folgenden Analyse zwischen Nord- und Südrichtung unterschieden, wobei diverse Kennzahlen pro Polygon und pro Teilnehmer:in berechnet werden. Die Anzahl der erkannten Stresssituationen kann somit in Relation zur Segmentlänge eines Polygons, sowie der durchschnittlichen Anzahl an erkannten Stressmomenten je Fahrtrichtung gesetzt werden.



Abbildung 54: Punkte der GPS-Trajektorien der humansensorischen Messungen in Puch – Halleiner Landesstr.

3.7.3 Ergebnisse und Diskussion

Während der gesamten Feldstudie in Puch – Halleiner Landesstr. wurden 448 MOS gemessen (203 südwärts und 245 nordwärts). Die neun Proband:innen legten insgesamt eine Strecke von 98,1 km zurück (ca. 10,9 km pro Person). Sie fuhren im Schnitt mit einer Geschwindigkeit von 19,2 km/h. Dabei war die Geschwindigkeit südwärts mit leichtem Gefälle etwas höher bei 20,4 km/h im Vergleich zur Gegenrichtung mit 18,0 km/h. Pro Minute traten durchschnittlich 1,55 MOS auf. In Relation zur gefahrenen Strecke traten im Schnitt 4,57 MOS pro Kilometer auf (4,14 südwärts und 4,99 nordwärts).



Abbildung 55: Richtungsabhängige Hot-Spot Karten.

Mittels richtungsabhängigen Hot-Spot Karten lassen sich Gefahrenstellen und Bereiche, wo das subjektive Sicherheitsempfinden der Proband:innen hoch war, feststellen (Abbildung 55). Die Hot-Spots an den Wendepunkten deuten auf ein erhöhtes Stressempfinden der Proband:innen bei einem Wechsel der Straßenseite und der damit verbundenen Straßenüberquerung hin. Interessant ist die erste längere Hot-Spot Ausprägung in Richtung Süden, welche vermutlich durch das Ende des Radwegs und den vermehrten sowie knapperen Überholvorgängen auf der Straße entstanden ist. Weitere Hot-Spots in Richtung Süden könnten als Grund die Annäherung an eine Kreuzung mit Ampelregelung haben, wodurch erhöhtes Verkehrsaufkommen mit vermehrten Start-Stopp Situationen zustande kommt. Die letzten Hot-Spots in Südrichtung, die kurz vor dem Wendepunkt zu sehen sind, könnten durch erhöhte Geschwindigkeit der Autofahrer, welche durch eine Annäherung an das Ende des Ortsgebiets beschleunigen, zustande kommen.

In der Hot-Spot Karte in Richtung Norden sieht man einen sehr langen Hot-Spot Bereich, der auf einem Straßenbereich mit längerer Steigung auftritt. Neben körperlicher Anstrengung, die das generelle Stresslevel der Proband:innen erhöhen kann, kommt es hier aufgrund der reduzierten Geschwindigkeit, häufiger zu riskanten and knappen Überholvorgängen an Straßensegmenten, wo Kfz an der rechten Straßenseite parken.



Abbildung 56: Abweichungen des Stress-Scores im Vergleich zum durchschnittlichen Stress-Score pro Fahrtrichtung und Polygon.

An den Abweichungen des Stress-Scores (= „mos_score“) im Vergleich zum durchschnittlichen Stress-Score pro Fahrtrichtung kann man sehen, dass auf Höhe der Ampelkreuzung vermehrt Stresssituationen auftreten (Abbildung 56). Signifikante Abweichungen an Straßensegmenten mit erhöhter Steigung (in Richtung Norden) deuten auch auf ein erhöhtes Stressempfinden der Proband:innen hin. Auffällig ist hier auch eine längere Cold-Spot Ausprägung am nördlichen Ende der Teststrecke. Dieser könnte als Ursache die zunehmende Fahrbahnbreite und den separaten Fahrrad-Fahstreifen haben, was, relativ zu den anderen Streckenabschnitten, zu einem zunehmenden Sicherheitsempfinden bei den Proband:innen führt.



Abbildung 57: Durchschnittlicher MOS Score pro Polygon.



Abbildung 58: Anzahl der MOS je Meter je Polygon

Die Anzahl der Stresssituationen, relativ zur Segmentlänge der Polygone (Abbildung 58), und das Verhältnis zwischen gemessenen Stresspunkten und den im jeweiligen Segment aufgezeichneten GPS-Punkten (Abbildung 59) zeigen wiederum in Südrichtung einen moderaten Stress in Annäherung an die Kreuzung mit Ampelregelung. Die moderate Ausprägung ist darauf zurückzuführen, dass Proband:innen bei Grünphasen und der erhöhten Geschwindigkeit durch leichtes Gefälle, weniger Überholvorgänge von Autos bewältigen müssen und somit weniger Stress verspüren. Das moderate bis hohe Stressempfinden am südlichen Ende der Teststrecke könnte wieder durch einen Anstieg der Überholvorgänge gegen Ende des Ortsgebiets hervorgerufen werden. Die beiden Karten in Nordrichtung spie-

geln die Erkenntnisse aus der Hot-Spot Karte wider, was darauf hindeutet, dass bei erhöhter Steigung und geringeren Straßenbreiten Kolonnenfahrrad, und folglich mehrere hintereinander folgende Überholvorgänge stattfinden, was zu dem erhöhten subjektiven Stressempfinden der ProbandInnen führt.

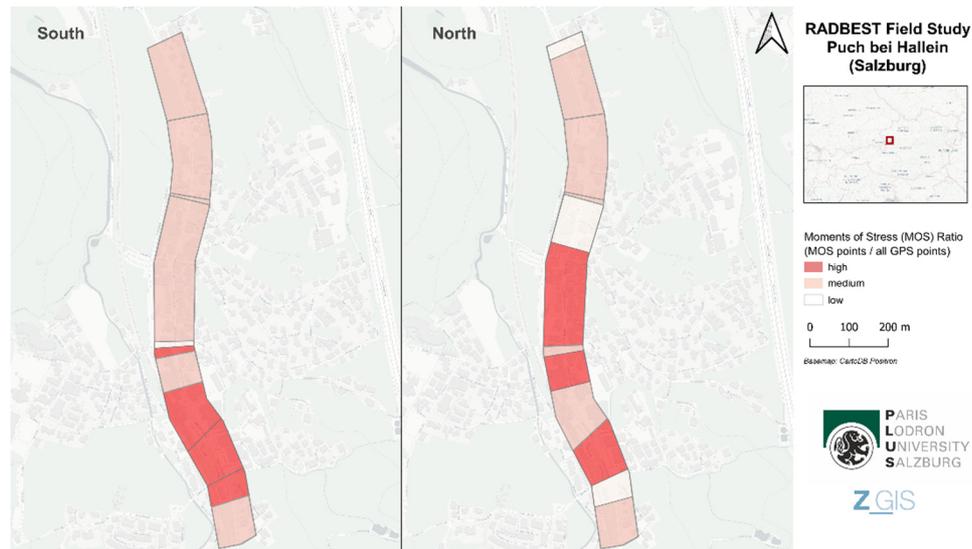


Abbildung 59: Verhältnis MOS Positionen zu allen GPS-Positionen pro Polygon.

Die Abbildung 60 von Stressmomenten pro Polygon pro Sekunde verdeutlicht ein erhöhtes Stressempfinden der ProbandInnen, dass trotz der höheren Geschwindigkeit in den jeweiligen Segmenten, durch häufige Überholvorgänge ausgelöst werden kann. Vor allem in Südrichtung könnte eine rigorose Überwachung der Höchstgeschwindigkeit die Beschleunigung vor dem Ortsende verhindern.



Abbildung 60: MOS pro Polygon pro Sekunde.

3.8 Befragungen

3.8.1 Methode und Durchführung der Feldtests

Die Befragung in RADBEST wurde auf Basis einer Befragung aus einem Vorprojekt¹² durchgeführt. Die Befragungen wurden mit Hilfe eines Web-basierten Umfragetools umgesetzt. Dazu wurde auf einem Server der Universität Salzburg eine Umfrage in der Open Source Software LimeSurvey¹³ aufgesetzt. Der Link zur Umfrage wurde den Proband:innen zur Verfügung gestellt. Für die Teststrecke Eisenstadt – Georgistr. wurden direkt vor Ort Proband:innen befragt. Bei der Teststrecke Puch – Halleiner Landesstr. wurden die Proband:innen der Humansensorik gebeten den Fragebogen auszufüllen. Für die Schweizer Strecken konnten Personen durch das Streuen der Umfrage über den ProVelo Newsletter erreicht werden. In Karlsruhe Durlach – B3 und Singen – Hohenkrähenstr. wurden Personen vor Ort auf der Teststrecke befragt, für die Stuttgarter Teststrecken wurden Proband:innen über die Kanäle des lokalen ADFC akquiriert. Der Fragebogen war für alle Teststrecken gleich gestaltet; lediglich für die Teststrecke Puch – Halleiner Landesstr. wurden noch Fragen für die humansensorischen Messungen ergänzt. Auf welchen Teststrecken diese Befragungen stattgefunden haben, kann Anhang 2 Teststrecken entnommen werden. Die Antworten der Umfrage wurden vollständig anonym gesammelt. Es wurden auch keine weiteren direkten oder indirekten personenbezogenen Daten (z.B. IP-Adressen) gesammelt. Die Umfrage umfasste die folgenden Fragen:

Tabelle 12: Fragen und Antwortmöglichkeiten der Befragung.

Gruppenname	Frage	Antwortmöglichkeiten
Teststrecke	An welcher Feldstudie haben Sie teilgenommen?	Auswahlmenü
Humansensorik	Nur für Teststrecke in Puch – Halleiner Landesstr. ID's der mobilen Sensoren.	
Angaben zur Person	Wie beschreiben Sie Ihren Wohnort?	Slider zwischen urban - rural
	Bitte geben Sie Ihr Geburtsjahr ein.	Numerische Eingabe
	Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an?	Auswahlmenü
	Welcher ist Ihr höchster Bildungsabschluss?	Auswahlmenü
	In welchem Haushaltstyp leben Sie?	Auswahlmenü
Fahrradtyp	Besitzen Sie ein eigenes funktionsfähiges Fahrrad?	Ja – Nein

¹² <https://projekte.ffg.at/projekt/3298537> [abgerufen am 16.05.2024]

¹³ <https://www.limesurvey.org/de> [abgerufen am 16.05.2024]

	Inwieweit stimmen Sie der folgenden Aussage zu: „Radfahren im Straßenverkehr erfordert Mut!“	sehr wenig – wenig – überwiegend – völlig
	<p>Bewertung von Aussagen zum Radverkehr:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fahrradfahren ist ein wichtiger Teil meines Lebens. Ich bezeichne mich oft als Radfahrer, wenn ich mit anderen Personen spreche. Ich bevorzuge das Fahrrad, selbst wenn andere Verkehrsmittel (Auto, Bahn, ...) zur Verfügung stehen, die für diesen Zweck passender sind. Ich fahre mit dem Fahrrad bei allen Wetterlagen (Schnee inklusive). Ich habe Angst bei Radfahren auf stark befahrenen Straßen ohne Radinfrastruktur. Auf Radinfrastruktur, die vom KFZ-Verkehr getrennt ist, fühle ich mich wohler als auf einem Radweg auf der KFZ-Fahrbahn. 	stark zustimmend – zustimmend – widersprechend – stark widersprechend
	Welcher Satz beschreibt Ihre Nutzung des Fahrrads in den letzten 12 Monaten am besten?	Täglich – Einmal in der Woche, mindestens alle 2 Wochen – Einmal in zwei bis drei Monaten oder seltener – Ich bin im vergangenen Jahr nicht Fahrrad gefahren
	Welches Statement beschreibt Ihr Interesse am Radfahren am besten?	Ich habe kein Interesse am Radfahren! – Ich fahre bereits so häufig Fahrrad wie ich will! – Ich fahre viel Fahrrad, würde gerne mehr fahren! – Ich fahre nicht häufig Fahrrad, ich würde gerne mehr fahren!
	Was ist Ihre Wunschgeschwindigkeit beim Radfahren?	Schrittgeschwindigkeit (4 km/h) – Etwas schneller als Fußgänger (8-12 km/h) – Zügig (15-25 km/h) – Schnell: Annäherung an KFZ-Geschwindigkeit (ca. 25-30 km/h)
Bewertung der Fahrradfreundlichkeit und ästhetischen Qualität der Teststrecke	Würden Sie die Umgebung als fahrradfreundlich bezeichnen?	Slider zwischen trifft gar nicht zu – trifft uneingeschränkt zu
	Bitte bewerten Sie den Platz zum Radfahren in der Umgebung?	Slider zwischen zu wenig Platz – zu viel Platz
	Verhalten sich die Autofahrer in dieser Umgebung Ihrer Meinung nach richtig?	Slider zwischen überhaupt nicht – ja, absolut
	Wie schätzen Sie die befahrene Teststrecke bezüglich der folgenden Eigenschaften ein? Bitte bewegen Sie den Schieberegler zwischen den Gegensatzpaaren:	Slider zwischen ... sicher – gefährlich angenehm – unangenehm komfortabel – umständlich interessant – uninteressant sauber – schmutzig leise – laut entspannt – stressig schön – hässlich

		wohlriechend – stinkend
Bewertung der Radfahrt	Wie wohl haben Sie sich generell während der Radfahrt gefühlt?	Slider zwischen sehr unwohl – sehr wohl
	Bitte markieren Sie nun einen Punkt auf der Karte, wo Sie sich besonders wohl bzw. unwohl gefühlt haben.	Kartenapplikation
	Was haben Sie an diesem Punkt gefühlt?	Freude, Fröhlichkeit – Angst, Erschrecken – Traurigkeit – Ärger
	Wie stark war das Gefühl (wohl/unwohl) an der markierten Stelle?	Slider zwischen schwach – sehr stark
	Möchten Sie einen weiteren Punkt verorten an dem Sie sich wohl/unwohl gefühlt haben?	Ja – Nein
Abschluss	Möchten Sie zum Abschluss noch weitere Kommentare zur Umgebung, Studie oder Umfrage abgeben?	Freitexteingabe

3.8.2 Datenauswertung und Ergebnisse

Für jede Teststrecke an der mindestens 10 Personen bei der Befragung teilgenommen hatten wurden Factsheets erstellt. Diese geben Aufschluss über die befragte Personengruppe, wie fahrradfreundlich die Umgebung auf der Teststrecke wahrgenommen wurde und an welchen Punkten der Teststrecke die Befragten Angst, Ärger, Freude oder Traurigkeit empfanden. Diese Factsheets sind Anhang 4 Factsheets zur Befragung zu entnehmen.

3.9 Zusammenfassung

In den drei Ländern der D-A-CH-Region wurden insgesamt an 22 Teststrecken Feldtests durchgeführt. Mit unterschiedlichen Erhebungsmethoden wurde sowohl die objektive (OBS, Holoscene Fahrrad, stationäre LiDAR Sensorik, stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse) als auch die subjektive (humansensorische Messungen, Befragungen) Sicherheit untersucht. Der Fokus lag auf der Messung der Abstände und Dauer während der Kzf-Folge bzw. während des Überholens, sprich der Überholphasen 1 (Phase der Annäherung des Kfz an das Fahrrad) und 3 (Phase des Vorbeifahrens) (Kapitel 3.1). Beispielsweise wird mit dem OBS der minimale laterale Abstand nach links in der Phase des Vorbeifahrens erhoben, während das Holoscene Fahrrad und die stationäre LiDAR Sensorik umfassendere Messungen in Phasen 1 und 3 zulassen.

OBS-Messungen kamen hierbei am flächendeckendsten zum Einsatz und werden in weiterer Folge vorrangig für die Handlungsempfehlungen herangezogen. Sie zeigten, dass trotz sehr unterschiedlicher Charakteristika der Teststrecken die Mediane der Überholabstände bei fast allen Teststrecken zwischen 1,0 und 1,3 m waren und somit unter dem gesetzlichen Mindestabstand in Österreich und Deutschland. Zwischen den unterschiedlichen Anlagearten aller drei Länder konnten keine signifikanten Unterschiede im Überholabstand festgestellt werden. Zielführend war die Betrachtung einzelner Teststrecken im Vorher-Nachher-Vergleich. Auf der Teststrecke Eisenstadt – Georgistr. konnten weitere Überholabstände nach der Verbreiterung der Mehrzweckstreifen (AT) von 1,25 – 1,5 auf 2,0 m und einer Verschmälerung der Kernfahrbahn von 4,0 – 4,5 auf 3,0 m sowie einer Temporeduktion von 50 auf 30 km/h festgestellt werden. Auf der Teststrecke Singen – Hohenkrähenstr. wurde eine geringfügige Abnahme des Überholabstands gemessen durch die Markierung von Schutzstreifen (DE) bzw. Piktogrammketten (DE), wo zuvor der Radverkehr im Mischverkehr geführt wurde.

4 ABLEITUNG VON HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR RADVERKEHRSFÜHRUNGEN BEI BEENGTE VERHÄLTNISSEN

4.1 Ausgangsthesen und Schlussfolgerungen

Im Rahmen von RADBEST sprechen wir von „Radfahren bei beengten Verhältnissen“, wenn auf Hauptstraßen aufgrund der räumlichen Verhältnisse die Standardlösungen gemäß den jeweiligen nationalen Richtlinien nicht umsetzbar sind. Es handelt sich daher um Situationen, wo Radfahrer:innen – unter unterschiedlichen Bedingungen – im Mischverkehr mit Kfz auf der Fahrbahn fahren. Deziert nicht gemeint sind Nebenstraßen mit niedrigen Kfz-Verkehrsstärken, auf denen der Radverkehr standardmäßig im Mischverkehr mit Kfz geführt wird. Es ist daher davon auszugehen, dass „Radfahren bei beengten Verhältnissen“ in einem Radverkehrsnetz nicht der Regelfall ist, sondern auf einzelnen, wenigen Straßenabschnitten auftritt.

Im Sinne der Radverkehrsförderung braucht es insbesondere für diese Strecken dennoch Lösungen, die objektiv sicher sind und von Radfahrer:innen aller Nutzer:innengruppen als sicher und komfortabel befahrbar wahrgenommen werden. In diesem Sinn können die nachfolgend dargestellten Handlungsempfehlungen einen Beitrag für durchgängige Radverkehrsnetze und damit zur Steigerung der Attraktivität des Radfahrens leisten.

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen und Radverkehrslösungen um fachliche Vorschläge handelt. Die Umsetzung der empfohlenen Radverkehrslösungen erfordert zum Teil Anpassungen nationaler Regelwerke (Straßenverkehrsordnung, Richtlinien). Aussagen dazu finden sich in Kapitel 4.3. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass im Sinne der Akzeptanz aller Verkehrsteilnehmer:innen ein gewisser Radverkehrsanteil eine Grundvoraussetzung für die Umsetzung der empfohlenen Lösungen darstellt. Bei neuartigen Lösungen, die nicht für alle Verkehrsteilnehmer:innen selbsterklärend sind, braucht es zudem eine begleitende Information und bewusstseinsbildende Maßnahmen.

4.1.1 Überholabstand als Indikator für Sicherheit und Komfort

Ein zentraler Indikator für die subjektive Sicherheit und den Fahrkomfort von Radfahrer:innen ist der seitliche Abstand beim Überholt werden von Kraftfahrzeugen. Innerorts ist bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h ein Überholabstand von 1,5 m als objektiv sicher zu bezeichnen und wird von Radfahrer:innen überwiegend als angenehm

wahrgenommen. Dies spiegelt sich auch in der deutschen und österreichischen Straßenverkehrsordnung wider, die innerorts 1,5 m als Mindestüberholabstand von Kfz vorschreibt. Überholabstände von weniger als 1,0 m werden von Radfahrer:innen, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus der Literaturanalyse, überwiegend als nicht sicher und unangenehm bzw. gefährlich wahrgenommen. Bei Kfz-Überholvorgängen mit einem Seitenabstand zwischen 1,0 und 1,5 m gibt es keine wissenschaftliche Evidenz zur Wahrnehmung der subjektiven Sicherheit sowie des Komforts von Radfahrer:innen. Für die Beurteilung dieser Überholabstände spielen begünstigende bzw. belastende Faktoren wie Radverkehrsstärke, Kfz-Geschwindigkeit, Kfz-Verkehrsstärke, Schwerverkehrsanteil und Überholdruck eine Rolle. Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h wird jedenfalls ein minimaler Überholabstand von 1,50 m als notwendig angesehen. Bei niedrigeren Kfz-Geschwindigkeiten wird ein Überholabstand von 1,5 m im Sinne der Sicherheit und des Komforts der Radfahrenden und der Einheitlichkeit von Regelungen als zweckmäßig erachtet.

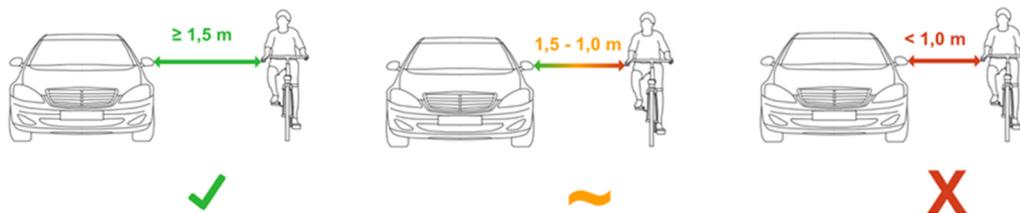


Abbildung 61: Sicherheit und Komfort seitlicher Überholabstände.

4.1.2 Thesen zu Überholvorgängen und Schlussfolgerungen

Überholvorgänge sind Einzelereignisse mit einer Vielzahl von Einflussfaktoren auf das Überholverhalten. Neben ortsspezifisch weitgehend konstanten Parametern, wie Fahrbahnbreite, zulässige Höchstgeschwindigkeit, Kfz-Verkehrsstärke, Rad-Verkehrsstärke, Art der Radverkehrsanlage, gibt es situationsspezifische Parameter, wie beispielsweise Art und Abmessungen des überholenden Kfz, Fahrgeschwindigkeit, Auftreten von Gegenverkehr, überholendes Einzelfahrzeug oder Kfz-Pulk, Fahrbahn- und Lichtverhältnisse. Darüber hinaus gibt es personenspezifische Merkmale der Radfahrer:innen: Art des Fahrrades, Wahl der Fahrlinie, Fahrgeschwindigkeit, Konstanz der Fahrlinie, Alter, Körpergröße, Art der Kleidung, Sichtbarkeit, Helm ja/nein. Und es gibt personen- und situationsspezifische Faktoren der Kfz-Lenker:innen: Rücksichtnahme, Risikobereitschaft beim Überholen, unterschiedliche Fähigkeiten zur Distanzeinschätzung (Gegenverkehr, Seitenabstand beim Überholen), Erfahrung als Kfz-Lenker:in, eigene Erfahrungen als Radfahrer:in, ggf. Zeit-

druck, etc. Eine große Streuung des Überholverhaltens – und damit auch der Überholabstände – ist daher systemimmanent. Selbst bei Streckenabschnitten mit durchschnittlich höheren Überholabständen treten Überholvorgänge mit geringen Abständen auf. Das heißt, unterschiedliche Kfz-Lenker:innen verhalten sich in gleichen Situationen zum Teil sehr unterschiedlich.

Die bisher angewandte, herkömmliche Radinfrastruktur bzw. ein Mischverkehr Kfz – Rad ohne Fahrradinfrastruktur führt bei beengten Verhältnissen – wie die umfangreichen Feldtests zeigen – überwiegend nicht zum gewünschten Überholverhalten.

Die Feldtests zeigen weiters, dass bei den untersuchten Streckenabschnitten mit Mischverkehr Kfz-Rad und beengten Verhältnissen das Fahr- und Überholverhalten der Kfz-Lenker:innen durch die heute bestehende Infrastruktur nur eingeschränkt beeinflusst wird. Es braucht bei Straßen mit beengten Verhältnissen daher eine „deutliche Sprache der Infrastruktur“ und / oder restriktive rechtliche Maßnahmen, um einen gewünschten Mindest-Kfz-Überholabstand von Radfahrer:innen zu gewährleisten.

4.2 Handlungsempfehlungen

Das Forschungsprojekt RADBEST gibt Empfehlungen für vielversprechende Lösungsansätze, die im jeweiligen nationalen Kontext weiterzuentwickeln sind. Als hilfreich dafür werden Pilotversuche und vertiefende Untersuchungen, beispielsweise zur Bestimmung von Einsatzgrenzen, angesehen.

4.2.1 Rechtliche Aspekte

Insbesondere im Zuge der Workshops mit Expert:innen wurden rechtliche Aspekte zur Erhöhung der Sicherheit und des Komforts von Radfahrer:innen im Mischverkehr mit Kfz intensiv diskutiert. Daraus werden folgende Empfehlungen abgeleitet:

- Prüfung einer rechtlichen Festlegung von 1,5 m Überholabstand innerorts bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h in der Schweiz analog zu Deutschland und Österreich.
- Erleichterung der Verordnung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen, wenn Radfahrende die Fahrbahn im Mischverkehr mit Kfz benutzen.
- Aufnahme eines Überholverbotes von einspurigen Fahrzeugen in der Schweiz und Österreich analog zu Deutschland.
- Überprüfungen des Überholabstandes und Bestrafung seitens der Exekutive. In dem Zusammenhang wird auf das hohe Strafmaß in Spanien bei Nichteinhaltung des Überholabstandes hingewiesen, welches eine deutliche Wirkung zeigt.
- Anpassung der österreichischen StVO, sodass der Mindestabstand beim Überholen auch bei Radstreifen und Mehrzweckstreifen gilt. Derzeit handelt es sich in diesen Fällen um ein „Vorbeifahren“ und kein „Überholen“ von Radfahrer:innen.

4.2.2 Aspekte der Straßengestaltung und Verkehrsorganisation

Im ersten Schritt der Planungen ist stets zu prüfen, ob es möglich ist, zusätzlichen Raum für Radverkehrsanlagen zu schaffen, zum Beispiel durch den Entfall von Parkstreifen oder Beseitigung von Engstellen durch Grundstückseinlösungen. Mehr Platz im Straßenraum leistet einen Beitrag zu weiteren Überholabständen.

Sofern dies auf Hauptstraßen möglich ist, wird in Situationen des Radfahrens bei beengten Verhältnissen eine bauliche Straßengestaltung empfohlen, die eine verträgliche Führung des Radverkehrs im Mischverkehr mit Kfz bestmöglich gewährleistet bzw. unterstützt. Dies

kann durch verkehrsberuhigende Maßnahmen wie Fahrbahnanhebungen, Fahrbahnverengungen, Fahrbahnverschwenke, Fahrradschleusen (Straßeneinengung, die keinen Gegenverkehr Pkw-Pkw zulässt, wo Radfahrer:innen mit einem kurzen Radweg vorbeigeführt werden) erreicht werden. Eine attraktive Straßengestaltung, insbesondere Grüngestaltung, kann auch zu einer Geschwindigkeitsdämpfung und damit zu einer verträglicheren Führung des Radverkehrs im Mischverkehr mit Kfz beitragen.

Auch Kfz-verkehrsdämpfende Maßnahmen wie zum Beispiel Dosierungen oder Fahrradstraßen können zweckmäßig sein, sofern derartige Maßnahmen umsetzbar bzw. genehmigungsfähig sind.

4.2.3 Prinzipieller Lösungsansatz

Als prinzipieller Lösungsansatz wird empfohlen, dass Radfahrer:innen entweder sicher, mit großem Abstand oder nicht überholt werden. Die „Sprache der Infrastruktur“ soll den Kfz-Lenker:innen dies möglichst eindeutig vermitteln, damit das Prinzip intuitiv verstanden wird und das gewünschte Verhalten auftritt.

Sofern der Überholabstand durch Infrastrukturmaßnahmen nicht ausreichend gewährleistet werden kann, ist ein Überholverbot von Radfahrer:innen (einspurigen Fahrzeugen) für Kfz in Erwägung zu ziehen.

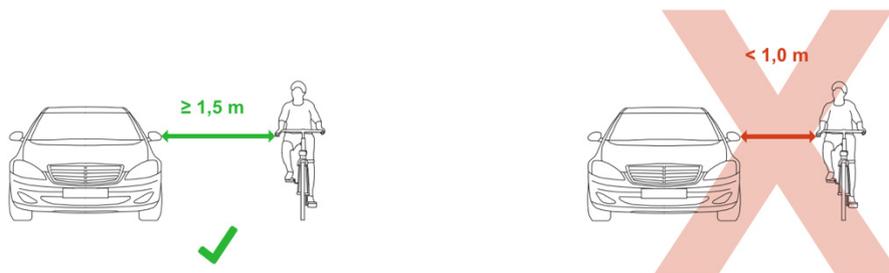


Abbildung 62: Prinzipieller Lösungsansatz für Radfahren bei beengten Verhältnissen.

4.2.4 Präferenzlösung für Radfahren bei beengten Verhältnissen

Als Präferenzlösung für Radfahren bei beengten Verhältnissen werden breite Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn empfohlen. Diese Lösung eignet sich besonders gut bei Fahrbahnbreiten zwischen 7,0 und 8,0 m. Folgende Parameter sind bei der Umsetzung jedenfalls einzuhalten:

- Zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h
- Kernfahrbahnbreite 3,0 – 3,8 m ohne Markieren einer Mittelleitlinie
- Richtbreite der Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen : 2,0 m, minimale Breite 1,75 m
- Anbringen von gut sichtbaren Rad-Piktogrammen etwas außermittig rechts
- Zusätzlicher Schutzstreifen bei längsparkenden Pkw mit mind. 0,5 m Breite¹⁴
- Optional kann der Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen eingefärbt werden.

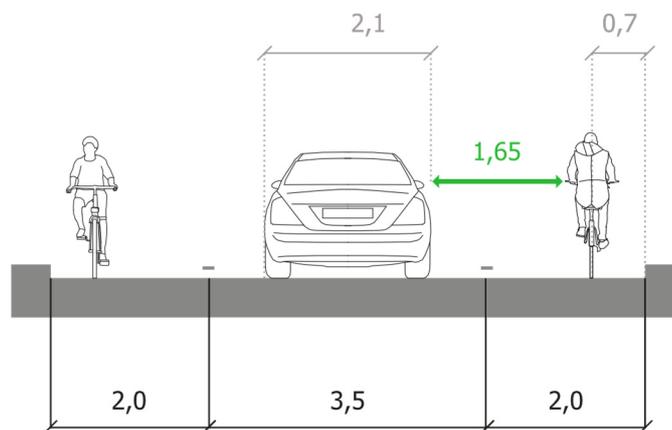


Abbildung 63: Präferenzlösung breite Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn bei 7,5 m Fahrbahnbreite.

Unter der Annahme eines 2,10 m breiten Fahrzeuges inkl. Seitenspiegel, einer Kernfahrbahnbreite von 3,5 m und mittlerer Kfz-Befahrung sowie eines 2,0 m breiten Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifens der leicht außermittig rechts befahren wird, ergibt sich bei statischer Betrachtung ein rechnerischer Überholabstand von 1,65 m. Die Breite der Radfahrenden wurde dabei mit 0,7 m angenommen. Der angestrebte Wert von 1,5 m wird damit erreicht und es besteht ein Spielraum für die Schwankungen der Fahrlinie, die sich in der Lichtraumbreite von 1,0 m für Radfahrende abbilden. Die Gesamtfahrbahnbreite beträgt im dargestellten Fall 7,5 m. Selbst bei etwas schmalerer Kernfahrbahn ist davon auszugehen, dass

¹⁴ Grundsätzlich sollte es bei Radfahren bei beengten Verhältnissen keine Längsparkstreifen geben, weil in diesem Fall stattdessen eine qualitativ hochwertigere Radverkehrsanlage errichtet werden könnte. Es kann jedoch bei schwankenden Straßenbreiten oder bei schutzwürdigen Bäumen im Straßenraum zu Situationen mit längsparkenden Fahrzeugen neben den Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen kommen.

der Überholabstand – je nach gewählter Fahrlinie von Kfz und Radfahrer:innen – in einem Bereich von ca. 1,5 m liegen wird. Ein 2,0 m breiter Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen bietet den Radfahrer:innen ein hohes Maß an Sicherheit und Fahrkomfort, weil davon auszugehen ist, dass Kfz-Lenker:innen beim Überholen den Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen nicht befahren. Eine Kernfahrbahnbreite von 3,80 m sollte nicht überschritten werden, da ab einer Breite von 4,0 m Pkw-Begegnungen auf der Kernfahrbahn möglich werden und somit – bei gleichzeitigem Überholen von Radfahrer:innen – ein spürbar geringerer Überholabstand auftritt.

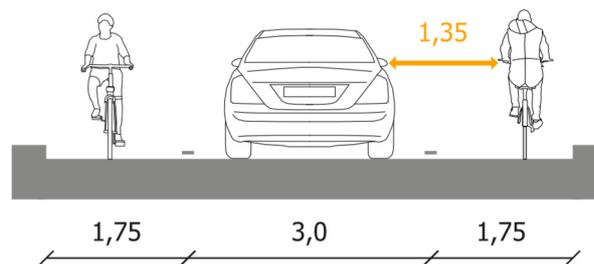


Abbildung 64: Breite Mehrzweck-/Schutzstreifen mit schmaler Kernfahrbahn mit 6,5 m Gesamtfahrbahnbreite.

Hauptstraßen weisen oftmals eine Fahrbahnweite von 6,5 m auf, da dies die Standardbreite gemäß Richtlinien für Straßen mit Linienbusverkehr darstellt. Das Prinzip Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen kann hier zur Anwendung kommen, wenn die Breite der Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen 1,75 m und jene der Kernfahrbahn 3,0 m beträgt. In der oben dargestellten Abbildung ist ersichtlich, dass der rechnerische Überholabstand in diesem Fall etwas geringer als 1,3 m ist, wenn der Pkw genau mittig auf dem Fahrstreifen fährt. Bei Fahrbahnbreiten zwischen 6,5 m und 7,0 m bleibt die Kernfahrbahnbreite 3,0 m und die Schutz- / Mehrzweck- /Radstreifen werden entsprechend dem zur Verfügung stehenden Gesamtmaß der Fahrbahn verbreitert.

Auch bei größeren Fahrbahnbreiten werden breite Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn empfohlen. Erst ab einer Breite von 9,5 m ist ein Befahren von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen bei Kernfahrbahnen mit Pkw-Gegenverkehr mit ausreichendem Sicherheitsabstand beim Überholen möglich. Das entspricht einem Querschnitt mit 5,5 m Kernfahrbahn und beidseitigen Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen mit 2,0 m Breite. Nachfolgend ist beispielhaft ein Querschnitt mit 9,0 m Breite dargestellt mit beidseitigen Baumreihen – die erhalten bleiben sollen – und Parkstreifen dazwischen. Die angrenzenden Gehsteige sind nicht dargestellt. Sollten keine Längsparker vorhanden sein, kann entweder die Fahrbahn verschmälert oder die Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen verbreitert

werden. Die Kernfahrbahn soll 3,80 m nicht überschreiten, damit kein Pkw-Gegenverkehr auf der Kernfahrbahn möglich ist.

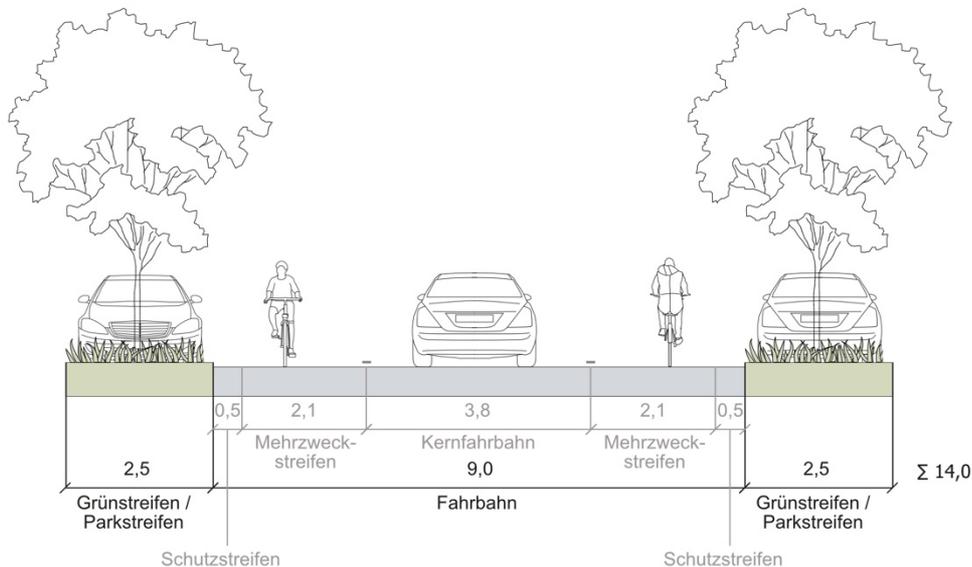


Abbildung 65: Breite Mehrzweck-/Schutzstreifen mit schmaler Kernfahrbahn mit 9,0 m Gesamtfahrbahnbreite und beidseitigen Bäumen.

Da aus den Feldtests keine Aussagen hinsichtlich der Einsatzgrenzen, wie z. B. Kfz-Verkehrsstärke (DTV) oder Länge des Streckenabschnittes abgeleitet werden können, werden dazu Empfehlungen aus fachlicher Sicht formuliert, die durch Pilotprojekte und vertiefende Untersuchungen zu überprüfen bzw. anzupassen sind. Es wird vorgeschlagen, grundsätzlich keine Obergrenze für einen DTV festzulegen – in der Annahme, dass es sich bei derartigen Streckenabschnitten um eine Ausnahmesituation im Straßennetz handelt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass bei höherem DTV eine Akzeptanz der Kfz-Lenker:innen, nicht überholen zu können, nur bei kürzeren Streckenabschnitten gegeben sein wird. Insofern gibt es vermutlich einen – mit den vorliegenden Studienergebnissen nicht quantitativ darstellbaren – Zusammenhang zwischen DTV des Kfz-Verkehrs und Streckenlänge.

Ein weiterer Aspekt im Zusammenhang mit höheren Kfz-Verkehrsstärken ist, dass in diesen Fällen der Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen de facto permanent von Kfz befahren wird, wenn sich keine Radfahrer:innen darauf befinden. In den Workshops mit Experten:innen wurde dieser Aspekt kontroversiell gesehen. Ein Teil der Expert:innen sieht darin kein Problem. Ein anderer Teil befürchtet, dass ein Gewöhnungseffekt eintritt, sodass Kfz-Lenker:innen auch in anderen Situationen den Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen mitbenutzen, selbst wenn eine ausreichende Breite der Kernfahrbahn vorhanden ist. Auf Basis der vorliegenden Evidenzen und Praxiserfahrungen erscheint ein nachteiliger Gewöhnungseffekt der PKW-Lenker:innen bei dem vorgeschlagenen Lösungsansatz als unwahrscheinlich.

Bei der Beurteilung, ob die vorgeschlagene Lösung zum Einsatz kommt, ist eine allfällig vorhandene stärkere Längsneigung und der öffentliche Verkehr zu berücksichtigen. Beide Aspekte können eventuell dagegen sprechen, wenn dadurch unzumutbare Behinderungen / Zeitverzögerungen zu erwarten wären. Wobei an dieser Stelle darauf hingewiesen wird, dass diese Wirkungen auch bei Mischverkehr ohne Radverkehrsanlage in ähnlichem Maße auftreten.

In jedem Fall wird vor Umsetzung der vorgeschlagenen Radverkehrslösung eine Überprüfung und Beurteilung der spezifischen Situation empfohlen. Zudem werden künftige Projekte Erkenntnisse über die Wirkungen und Einsatzgrenzen bringen.

Hinsichtlich der Ausführungsdetails wie Größe, Anzahl und Position von Fahrradpiktogrammen und gegebenenfalls Richtungspfeilen gilt der Grundsatz, dass die Schutz-/ Mehrzweck-/Radstreifen für alle Verkehrsteilnehmer:innen gut und eindeutig erkennbar sein sollen. Mit der Position der Piktogramme kann zudem die Fahrlinie der Radfahrer:innen suggeriert werden.

Fazit:

Für das Radfahren bei beengten Verhältnissen auf Hauptstraßen mit Fahrbahnbreiten zwischen 6,5 m und 9,5 m sind breite Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn bei Tempo 30 die Präferenzlösung. Für die Festlegung von Einsatzgrenzen sind künftige Projekte zu evaluieren und weiterführende Untersuchungen durchzuführen.

4.2.5 Präferenzlösung für Radfahren bei sehr beengten Verhältnissen

Bei Fahrbahnbreiten unter 6,5 m können breite Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen mit beengter Kernfahrbahn nicht mehr zur Anwendung kommen, weil die Kernfahrbahn dann schmaler als die Mindestfahrstreifenbreite für Kfz wäre bzw. die Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifenbreite auf 1,5 m reduziert werden müsste. In diesem Fall wird ein sogenannter „qualifizierter Mischverkehr“ mit Piktogrammketten / Sharrows und einer max. zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h empfohlen. Auch bei einer Fahrbahnbreite zwischen 6,5 m und 7,0 m können Piktogrammketten / Sharrows eine geeignete Maßnahme sein. Hier sind die Vor- und Nachteile gegenüber breiten Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen mit beengter Kernfahrbahn situativ abzuwägen. Folgende Parameter sind bei der Umsetzung jedenfalls einzuhalten:

- Fahrbahnbreite unter 7,0 m ohne Markieren einer Mittelleitlinie
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h
- Große Piktogrammketten / Sharrows abgerückt vom Fahrbahnrand (Richtwert 1,25 m)

Optionale Zusatzmaßnahmen:

- Gesamte Fahrbahn einfärben (Farbasphalt, färbige Deckschicht) um die Besonderheit dieses Straßenabschnittes hervorzuheben
- Überholverbot von einspurigen Fahrzeugen bei akzeptabler Streckenlänge
- Zusätzlicher Sicherheitstrennstreifen bei längsparkenden Kfz mit mind. 0,5 m Breite¹⁵
- Flächige Markierungen in Längsrichtung in Fahrbahnmitte und/oder am Fahrbahnrand zur optischen Einengung der Fahrstreifen

Die Größe, Anzahl und Position der Piktogramme / Sharrows ist so zu wählen, dass die Präsenz des Radverkehrs auf der Fahrbahn sowohl von Kfz-Lenker:innen, als auch von Radfahrer:innen intuitiv erfasst wird. Mit dem gewählten Abstand der Piktogramme / Sharrows vom Fahrbahnrand soll zudem eine Fahrlinie der Radfahrer:innen suggeriert wer-

¹⁵ Grundsätzlich sollte es bei Radfahren bei beengten Verhältnissen keine Längsparkstreifen geben, da in diesem Fall stattdessen eine qualitativ hochwertigere Radverkehrsanlage errichtet werden könnte. Es kann jedoch bei schwankenden Straßenbreiten oder bei schutzwürdigen Bäumen im Straßenraum zu Situationen mit längsparkenden Fahrzeugen neben den Mehrzweckstreifen / Schutzstreifen kommen.

den, die so weit in Fahrstreifenmitte liegt, dass Radfahrer:innen bei Pkw-Gegenverkehr keinesfalls von Kfz überholt werden. Für die Beeinflussung der Fahrlinie der Radfahrer:innen spielt vermutlich die Größe der Piktogramme / Sharrows eine Rolle. Vertiefende Untersuchungen hinsichtlich Größe, Anzahl und Position von Piktogramme / Sharrows werden empfohlen.

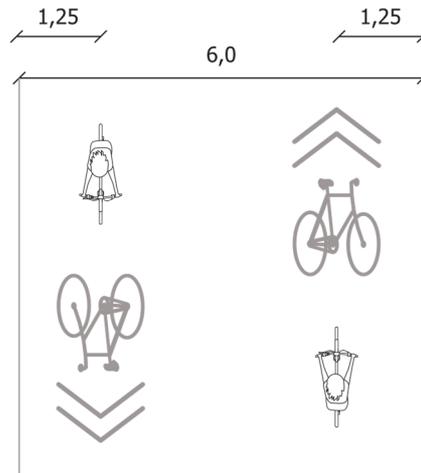


Abbildung 66: Präferenzlösung qualifizierter Mischverkehr.

Analog zur Radverkehrslösung Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn wird aus fachlicher Sicht auch beim qualifizierten Mischverkehr vorgeschlagen, grundsätzlich keine Obergrenze für einen DTV festzulegen. Dies ebenfalls in der Annahme, dass es sich bei derartigen Streckenabschnitten um eine Ausnahmesituation im Hauptstraßennetz handelt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass bei höherem DTV eine Akzeptanz der Kfz-Lenker:innen, nicht überholen zu können, nur bei kürzeren Streckenabschnitten gegeben sein wird. Insofern gibt es einen – mit den vorliegenden Studienergebnissen nicht quantitativ darstellbaren – Zusammenhang zwischen DTV des Kfz-Verkehrs und Streckenlänge. Dies gilt es auch bei Verordnung eines Überholverbotes von einspurigen Fahrzeugen zu beachten.

Fazit:

Bei Fahrbahnbreiten von 7,0 m oder weniger wird qualifizierter Mischverkehr mit Piktogrammketten / Sharrows und Tempo 30 als Radverkehrslösung empfohlen. Bei Fahrbahnbreiten zwischen 6,5 m und 7,0 m sind sowohl Piktogrammketten / Sharrows, als auch breite Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn möglich. Für die Festlegung von Einsatzgrenzen sind künftige Projekte zu evaluieren und weiterführende Untersuchungen durchzuführen.

4.2.6 Anwendungsfälle für eine asymmetrische Radverkehrslösung bei beengten Verhältnissen

Im Sinne der Vollständigkeit der Lösungsoptionen wird auch eine Variante mit einseitigem, breiten Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen und qualifiziertem Mischverkehr in der anderen Richtung vorgeschlagen. Diese Mischform der zuvor vorgestellten Radverkehrslösungen bei beengten Verhältnissen ist insbesondere bei einem Straßenabschnitt mit Längsneigung empfehlenswert und findet in der Praxis bereits Anwendung. Bergauf fahrende Radfahrer:innen mit geringer Geschwindigkeit, dadurch stärker schwankender Fahrlinie und somit einem erhöhten Breitenbedarf benutzen den Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen. Bergab fahrende Radfahrer:innen mit höherer Fahrgeschwindigkeit bewegen sich im qualifizierten Mischverkehr und werden bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h – die auch in dieser Situation empfohlen wird – von Kfz im Regelfall nicht überholt. Auch im Fall von asymmetrischen Radverkehrsstärken ist diese Radverkehrslösung zweckmäßig.

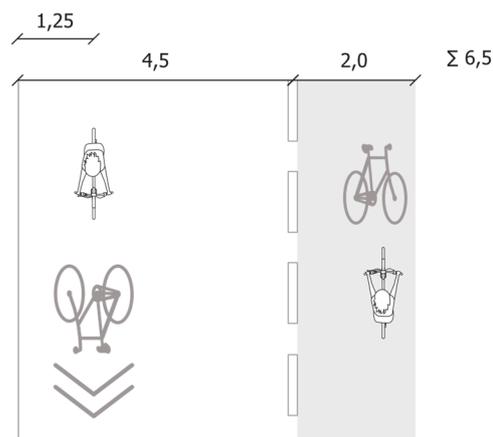


Abbildung 67: Asymmetrische Radverkehrslösung

Fazit:

Eine asymmetrische Lösung mit Piktogrammketten / Sharrows in einer Fahrtrichtung und breiten Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn in der anderen Richtung sind bei Straßen mit Längsneigung oder asymmetrischen Radverkehrsstärken eine geeignete Radverkehrslösung.

4.2.7 Präferenzlösung für Radfahren bei punktuellen Engstellen

An punktuellen Engstellen – wie zum Beispiel bei Fahrbahnteilern als Querungshilfe – wird im Sinne einer intuitiv erfassbaren Radfahr-Priorität das Durchziehen von bereits im Streckenverlauf vorhandenen Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen oder das Anbringen von Piktogrammketten / Sharrows empfohlen. Ziel ist es aus fachlicher Sicht, dass Radfahrer:innen bereits im Zulauf zur Engstelle mit Hilfe der Markierungen so weit in der Fahrstreifenmitte fahren, dass sie nicht mehr von Kfz überholt werden. Die Aufmerksamkeit der Kfz-Lenker:innen soll idealerweise durch zusätzliche Bodenmarkierungen erhöht werden. Gegebenenfalls kann aus Gründen der Verkehrssicherheit im Zulauf und bei der Engstelle auch – sofern gesetzlich möglich – ein Überholverbot für einspurige Fahrzeuge verordnet werden. Treten solche punktuelle Engstellen im Streckenverlauf wiederholt auf, wird eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h empfohlen.

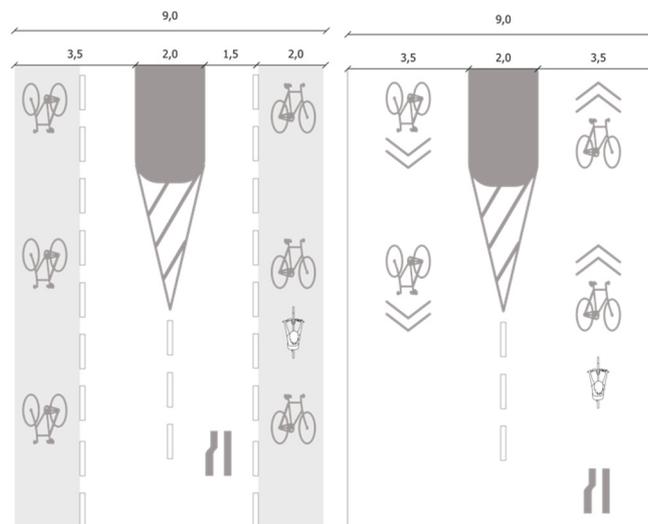


Abbildung 68: Radverkehrslösung bei punktuellen Engstellen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die in der obigen Abbildung dargestellten Radverkehrslösungen als vereinfachtes Schema zu verstehen sind. Die Fahrstreifenbreiten bleiben bei Engstellen üblicherweise konstant oder verändern sich im Zu- und Nachlauf nur geringfügig. Die Straßengeometrien sind in der Praxis sehr unterschiedlich, weshalb die Darstellungen hier vereinfacht sind.

Nachdem die Ergebnisse der Feldtests keine eindeutige Präferenz für eine der beiden Varianten zeigen, wird zudem empfohlen, derartige Verkehrslösungen vertieft zu untersuchen. Im Zuge der Interviews mit Expert:innen gab es kontroverse Diskussionen betreffend der sehr schmalen Restfahrbahnbreite beim durchgezogenen Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen, jedoch vor allem im Hinblick auf vorhandene Richtlinien und den Aspekt, dass Kfz den

Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen in diesem Fall mitbenutzen müssen. Aus fachlicher Sicht wird dieser Lösungsvorschlag grundsätzlich als gute Option angesehen.

Fazit:

An punktuellen Engstellen – wie zum Beispiel bei Fahrbahnteilern – wird im Sinne einer intuitiv erfassbaren Radfahr-Priorität das Durchziehen von bereits im Streckenverlauf vorhandenen Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen oder das Anbringen von Piktogrammketten / Sharrows empfohlen. Vertiefende Untersuchungen zu beiden Varianten sind anhand konkreter Projekte durchzuführen.

4.2.8 Präferenzlösung für Radfahren bei Einrichtungsfahrbahnen

Bei Einrichtungsfahrbahnen mit beengten Verhältnissen – wenn kein ausreichend breiter Radfahrstreifen oder Radweg neben einem Kfz-Fahrstreifen errichtet werden kann – gelten die gleichen Empfehlungen wie bei der punktuellen Engstelle. Die beiden Optionen – breiter Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen mit schmaler Restfahrbahn bzw. Piktogrammketten / Sharrows– machen den Radverkehr sichtbar und erhöhen die subjektive Sicherheit und den Benutzerkomfort für Radfahrer:innen. Wichtig sind eine Dimensionierung und Ausführung, die sicher stellen, dass Radfahrer:innen von Kfz nicht (beengt) überholt werden können. Erforderlichenfalls ist dies mit rechtlichen Mitteln zu unterbinden.

4.2.9 Resümee

Für Radfahren bei beengten Verhältnissen gibt es keine optimale Lösung, es gilt die bestmögliche Lösung abseits der Wunschlösungen gemäß Richtlinien zu finden. Dabei sind eine Prüfung und Beurteilung der spezifischen Situation notwendig. Eine Einbindung aller relevanten Akteur:innen ist bei der Lösungsfindung, aber auch für die Kommunikation nach außen und damit einhergehend für die Akzeptanz seitens der Verkehrsteilnehmer:innen, essenziell. Weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der Einsatzgrenzen (DTV, Streckenlängen, etc.) sowie der Auswirkungen des dauerhaften Befahrens von Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen werden als notwendig erachtet.

Lücken im Radverkehrsnetz sind zu schließen. Auf derartigen Straßen einen Mischverkehr Kfz-Rad unverändert zu belassen, wird nicht empfohlen. Sämtliche Lösungsoptionen sind abzuwägen und eine bewusste, gut begründete Entscheidung für die Präferenzvariante ist

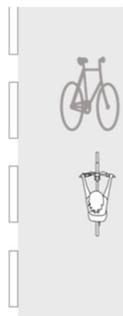
zu treffen. Ergänzend zur baulichen Gestaltung und möglicher Kfz-verkehrsdämpfender Maßnahmen stehen für Radverkehrslösungen grundsätzlich folgende Instrumente zur Verfügung:



Zulässige Höchstgeschwindigkeit 30 km/h



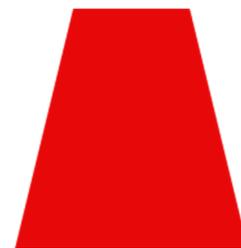
Überholverbot von einspurigen Fahrzeugen



Breite Schutzstreifen mit schmaler Kernfahrbahn



Piktogrammketten / Sharrows



Flächige Markierungen / Fahrbahneinfärbungen

Abbildung 69: Instrumente für Radverkehr bei beengten Verhältnissen.

Im nachfolgenden Diagramm sind die möglichen Lösungsansätze für Radverkehrsanlagen bei beengten Straßenverhältnissen in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite dargestellt. Dabei werden Lösungsansätze für den gesamten Bereich enger Fahrbahn von 6,0 bis 9,0 m aufgezeigt:

RADBEST Lösungsansätze für Radverkehrsanlagen bei beengten Straßenverhältnissen

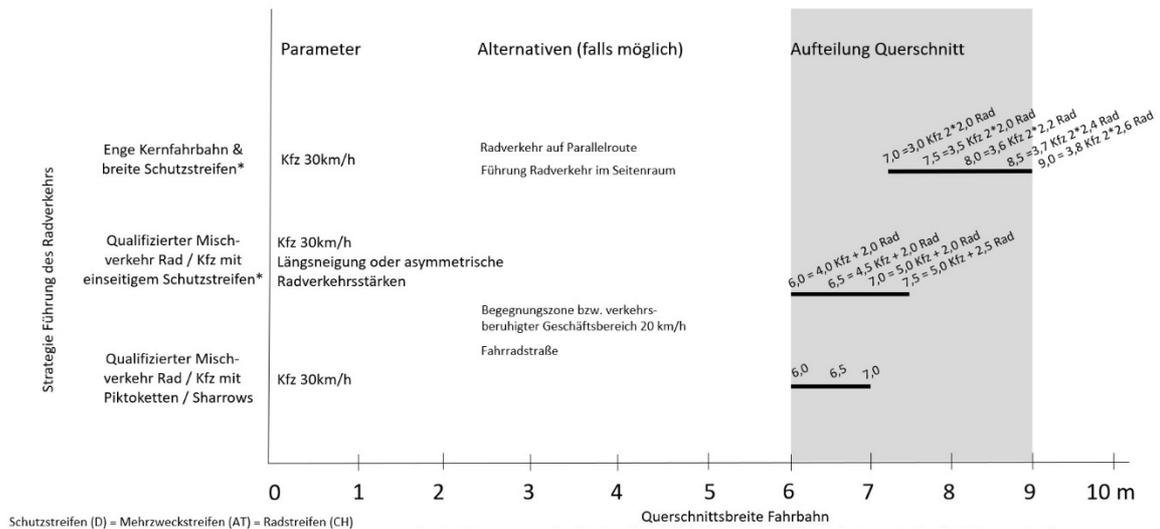


Abbildung 70: Lösungsansätze für Radverkehr bei beengten Verhältnissen für unterschiedliche Fahrbahnbreiten.

Die Einordnung der empfohlenen Lösungsansätze in die geltenden Regelwerke in Deutschland, der Schweiz und Österreich sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

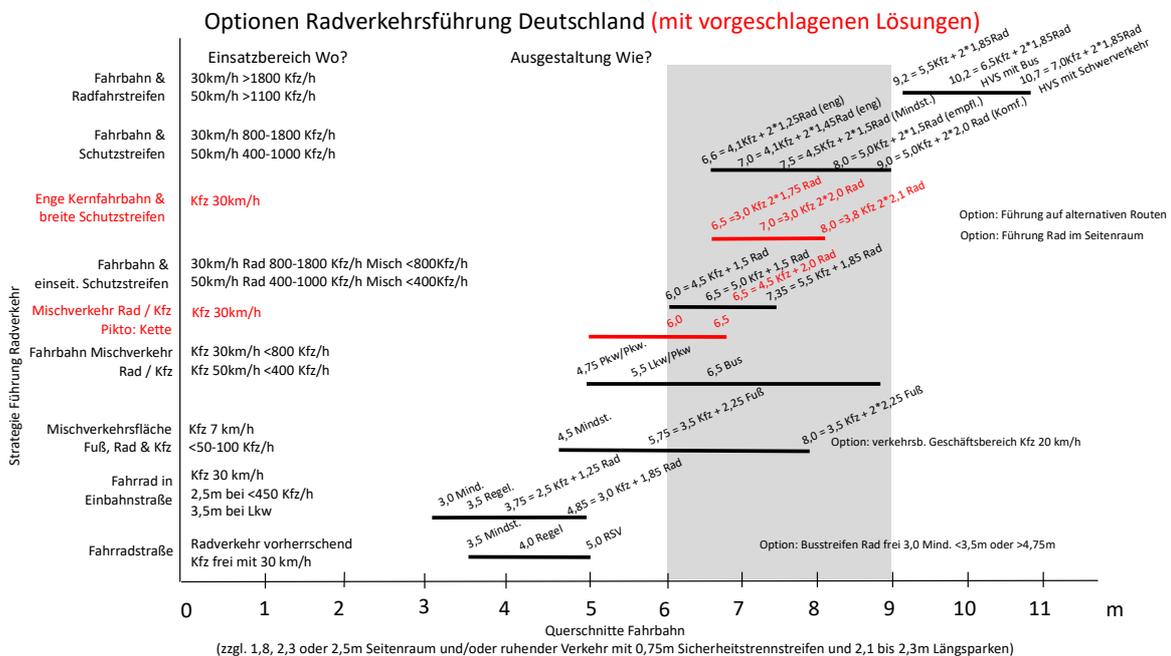


Abbildung 71: Optionen für die Radverkehrsführung in Deutschland

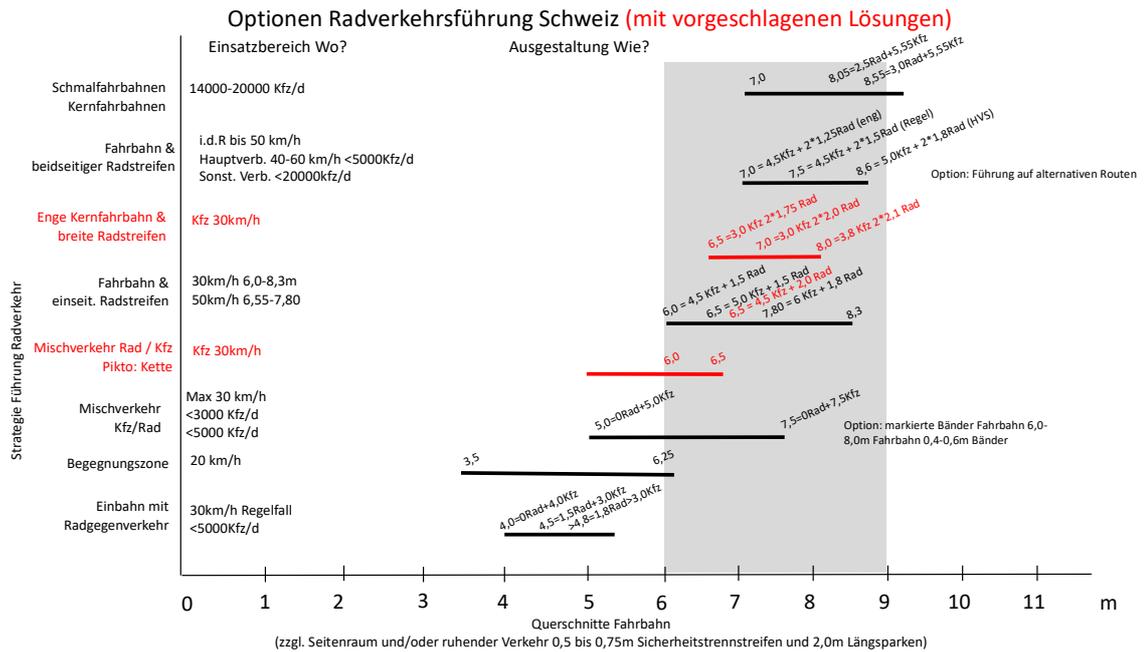


Abbildung 72: Optionen für die Radverkehrsführung in der Schweiz

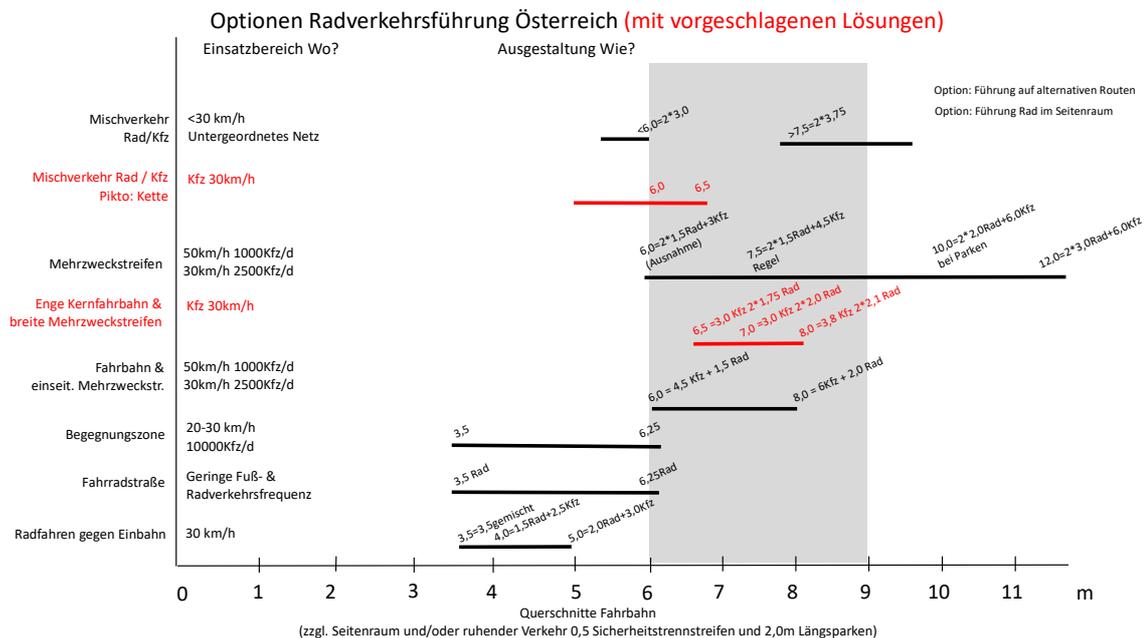


Abbildung 73: Optionen für die Radverkehrsführung in Österreich

Die Lösungsansätze ergänzen die bisherigen im Regelwerk vorgeschlagenen Lösungen, die in Bezug auf die Überholvorgänge nicht immer die gewünschte Wirkung erzielen. Zudem verdeutlicht die nachfolgende Darstellung, dass durch die neuen Lösungsansätze

enge Kernfahrbahn mit Schutz-/Mehrzweck-/Radstreifen sowie Mischverkehr mit Piktogrammketten / Sharrows bisherige Lücken im Lösungsraum geschlossen werden.

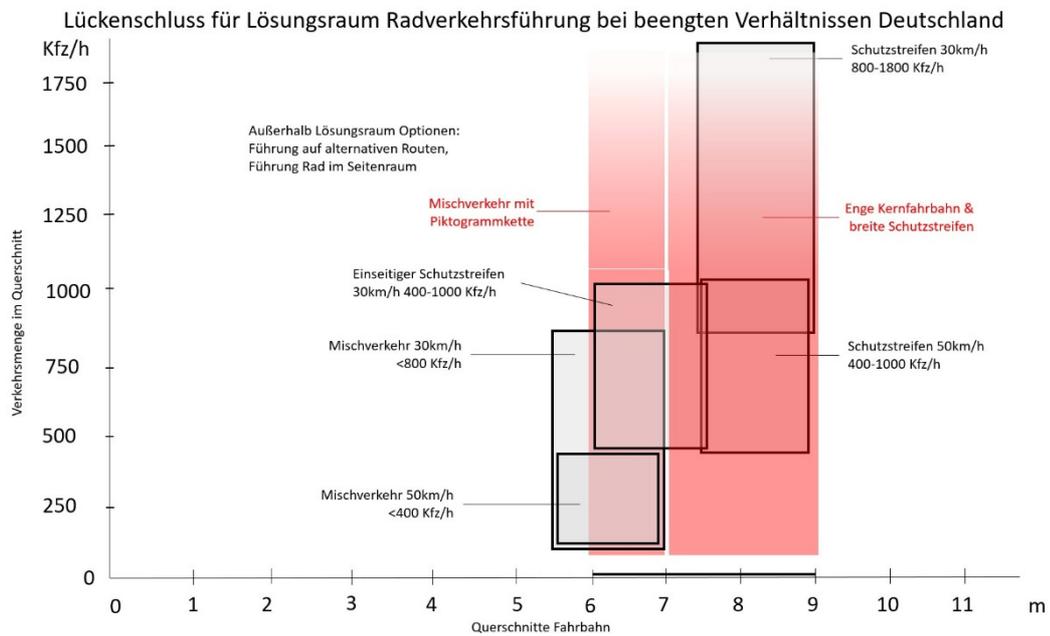


Abbildung 74: Lückenschlüsse im Lösungsraum der Radverkehrsführung (exemplarische Darstellung für Deutschland)

4.3 Änderungserfordernisse von Normen und Regelwerken auf nationaler Ebene

Nachfolgend werden zur Umsetzung der oben angeführten Radverkehrslösungen Hinweise für erforderliche Änderungen von StVO und Richtlinien für Deutschland, Schweiz und Österreich angeführt. Ein Anspruch auf Vollständigkeit ist dabei nicht gegeben.

4.3.1 Änderungserfordernis StVO bzw. Richtlinien in Deutschland

Straßenverkehrs-Ordnung:

- Um den Schutzstreifen (DE) mit enger Kernfahrbahn zu anzuwenden sind die Regelungen der VwV StVO anzupassen. Diese sieht neben Schutzstreifen (DE) eine Kernfahrbahn vor, die mindestens einen Begegnungsfall Pkw-Pkw (mind. 4,1 bis 4,5 m) erlaubt. Ein solcher Begegnungsfall von 2 Pkw ist beim Überholen von Radfahrenden jedoch nach den Empfehlungen des Projektes explizit nicht gewünscht. Die VwV StVO müsste daher so angepasst werden, dass auch Kernfahrbahnen unter 4,1 m zulässig sind.
- Eine Anpassung der StVO ist dahingehend zu prüfen, dass analog zum Verständnis der BGH-Gerichtsurteile (BGH, Az. 4 StR 508/74, BGHSt 26, 73-79, Rn. 1) auch bei Radfahrstreifen (DE) es sich um ein Überholen (nicht um ein Vorbeifahren) handelt auch wenn der Radfahrstreifen einen Sonderweg bildet.
- Für die sichere Führung von Radfahrenden in beengten Verhältnissen bietet sich eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h an. Die Ausweisung von 30km/h als zulässige Höchstgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen ist nach der StVO an genau definierte Rahmenbedingungen gebunden. So muss für die Anordnung nach §45 (1) Satz 1 StVO eine konkrete Gefahrenlage bestehen, die Wahrscheinlichkeit, dass Schadensfälle auftreten können. Nach §45 (9) Satz 1 können zudem Verkehrszeichen nur dort angeordnete werden, wo dies auf Grund der besonderen Umstände zwingend erforderlich ist. Die Maßnahme muss damit möglich, geeignet und mildestes Mittel sein. Zudem sind nach §45 (9) Satz 3 Beschränkungen des fließenden Verkehrs nur möglich, wenn auf Grund der besonderen örtlichen Verhältnisse eine Gefahrenlage besteht, die das allgemeine Risiko einer Beeinträchtigung der in den vorstehenden Absätzen genannten Rechtsgüter erheblich übersteigt. Die Gefahrenlage, die das allgemeine Risiko erheblich übersteigt, stellt eine hohe Anforderung dar und bedarf den konkreten Nachweis im Einzelfall. Die Begründung

allein mit beengten Verhältnissen dürfte für die Ausweisung von einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h auf Hauptverkehrsstraßen rechtlich nicht ausreichend sein. Die Gründe unter denen eine solche Ausweisung möglich ist sollten daher erweitert werden z.B. durch die Aufnahmen beengter Verhältnisse in die Ausnahmenregelungen des §45 (9) Satz 4 StVO.

- Piktogrammketten (DE) sind bisher in der StVO nicht vorgesehen. Es fehlt daher eine fachliche Basis diese rechtlich Anzuordnen. Die Erlasslage dazu ist in verschiedenen Bundesländern uneinheitlich. In Bundesländern wie Baden-Württemberg oder Nordrhein-Westfalen ermöglichen Erlasse die Anordnung von Piktogrammketten, während in anderen Bundesländern dies nicht vorgesehen ist. Aufgrund einer fehlenden Basis im Verkehrszeichenkatalog oder den Richtlinien für Markierung von Straßen RMV werden Piktogrammketten zudem meist ohne „Sharrows“ eingesetzt, was deren Sichtbarkeit und Präsenz im Straßenraum einschränkt. Um eine bundeseinheitliche Handhabung auch unter Berücksichtigung von „Sharrows“ zu ermöglichen, ist die Schaffung einer einheitlichen Regelung durch den Bund zu prüfen.
- Die Einsatzbedingungen für das Zeichen 277.1 StVO Überholverbot für Zweiräder sind in der VwV StVO eng gefasst. Das Überholverbot von Zweirädern darf nur dort angeordnet werden, wo aufgrund der örtlichen Gegebenheiten, insbesondere aufgrund von Engstellen, Gefäll- und Steigungsstrecken, oder einer regelmäßig nur schwer zu überblickenden Verkehrslagen ein sicherer Überholvorgang von Fahrrädern nicht gewährleistet werden kann. Jedoch gibt es auch außerhalb dieser örtlichen Gegebenheiten Straßenabschnitte mit vielen engen Überholabständen zwischen Kfz-Rad. Daher ist vom Bund zu prüfen, ob die Einsatzbedingungen des Zeichen 277.1 in der VwV StVO erweitert werden. So könnte die Anordnung nicht allein an die oben aufgeführten örtlichen Gegebenheiten gebunden sein. Vielmehr müsste die Anordnung auch dort möglich sein, wo regelmäßig Verstöße gegeben die Mindestüberholabständen beobachtet werden und damit die Notwendigkeit besteht die allgemeine Verkehrsregel des Überholens den Verkehrsteilnehmern zu verdeutlichen.

FGSV-Richtlinien und Empfehlungen:

Auf Basis der oben vorgeschlagenen Änderungen der StVO müssten auch in FGSV-Richtlinien und Empfehlungen nachfolgende Änderungen geprüft werden.

- Die Lösung enge Kernfahrbahn 3,0 – 3,8 m Breite und breite Schutzstreifen von 2,0 m sollte als Lösung für kurze Abschnitte in das Regelwerk übernommen werden.

Dafür ist die verbindliche Mindestfahrbahnbreite von 4,5 m aufzuheben. Dabei sollte der Sicherheitstrennstreifen zum ruhenden Verkehr mindestens 0,5 m betragen (die aktuelle E KLIMA sieht ein Mindestmaß von 0,75 m vor).

- Piktogrammketten (DE) sind im bisher FGSV Regelwerk nicht vorgesehen. Es fehlt daher eine fachliche Basis deren Einsatzbereich zu beurteilen sowie diese sachgerecht zu gestalten. Bei der Fortschreibung der ERA wird jedoch die Aufnahmen von Piktogrammketten (DE) als eine Lösungsmöglichkeit zur Qualifizierung des Mischverkehrs diskutiert. In diesem Rahmen sollten dann auch Qualitätskriterien für die Ausgestaltung von Piktogrammketten (DE) vorgesehen werden.
- Die gegenwärtige ERA sieht eine kritische Fahrbahnbreite von 6,0 bis 7,0 m vor, die vermieden werden sollte. Dieser sehr enge definierte kritische Fahrbahnbreite kann durch die vorliegenden Untersuchungen nicht belegt werden und scheint vielmehr einen deutlich breiteren Bereich mit vielen engen Überholabständen zu umfassen. Die enge Definition des kritischen Querschnitts sollte daher entfallen.
- Im Zulauf zu Engstelle sollte sichergestellt werden das Radfahrende nicht mehr überholt werden. Ein Lösungsvorschlag sieht daher vor, die Radfahrende mit Hilfe von Markierungen tendenziell „weit genug in die Mitte holen“, damit sie nicht überholt werden können. Dies ist nicht mit den Regelungen der aktuellen ERA konform, die vorsehen das Schutzstreifen (DE) 10 m vor Engstelle enden und Radfahrende im Mischverkehr zu führen sind.

4.3.2 Änderungserfordernis StVO bzw. Richtlinien in Österreich

Straßenverkehrsordnung:

- Eventuell Präzisierung erforderlich, dass ein – de facto – permanentes Befahren des Mehrzweckstreifens (AT) durch Pkw zulässig ist. Vorbehaltlich einer juristischen Beurteilung erscheint die derzeitige Definition des Mehrzweckstreifens gemäß StVO §2 Abs. 7a „Mehrzweckstreifen (MZS): Ein Radfahrstreifen oder ein Abschnitt eines Radfahrstreifens, der unter besonderer Rücksichtnahme auf die Radfahrer von anderen Fahrzeugen befahren werden darf, wenn für diese der links an den Mehrzweckstreifen angrenzende Fahrstreifen nicht breit genug ist“ allerdings ausreichend.
- Aufnahme eines Überholverbotes von einspurigen Fahrzeugen analog zu Deutschland.

- Erleichterung einer Verordnung von 30 km/h als zulässiger Höchstgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen aufgrund der Führung des Radverkehr auf der Fahrbahn im Mischverkehr mit Kfz.
- Festsetzung eines hohen Strafmaßes bei Nichteinhaltung des Überholabstandes (und regelmäßige Überprüfungen seitens der Exekutive).
- Anpassung der österreichischen StVO, sodass der Mindestabstand beim Überholen auch bei Radstreifen (AT) und Mehrzweckstreifen (AT) gilt. Derzeit handelt es sich in diesen Fällen um ein „Vorbeifahren“ und kein „Überholen“.

RVS-Richtlinien:

- Breite Mehrzweckstreifen mit schmaler Kernfahrbahn (AT): Grundsätzlich in der RVS enthalten, allerdings derzeit beschränkt auf Straßen mit geringen Verkehrsstärken oder punktuellen Engstellen.
- Einrichtungsfahrbahnen: Die Restfahrbahnbreite neben Mehrzweckstreifen beträgt derzeit im Regelfall 2,3 m und ist in Ausnahmefällen auf 2,0 m reduzierbar.
- Anpassung der Abmessungen und Positionierung von Sharrows.

4.3.3 Änderungserfordernis Gesetzgebung und Richtlinien in der Schweiz

Gesetze und Verordnungen auf Bundesebene:

Strassenverkehrsgesetz (SVG)

- Aufnahme eines Überholverbotes von einspurigen Fahrzeugen analog zu Deutschland
- Prüfung einer rechtlichen Festlegung von 1,5 m Überholabstand innerorts bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h in der Schweiz analog zu Deutschland und Österreich.

Verkehrsregelnverordnung (VRV):

- An punktuellen Engstellen soll das Rechtsfahrgebot des Radverkehrs aufgehoben werden, um ein zu nahes Überholen zu verunmöglichen. Dies könnte analog zur Regelung in Kreisverkehrsplätzen geregelt werden. So können Radfahrer:innen wählen, ob sie rechts am Fahrbahnrand fahren oder mehr in Richtung Fahrbahnmitteln fahren wollen. (Art. 8 Abs. 4 VRV)
- Prüfung einer rechtlichen Festlegung von 1,5 m Überholabstand innerorts bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h in der Schweiz analog zu Deutschland und Österreich.

Signalisationsverordnung:

- Bisher sind Piktogrammketten / Sharrows in der Signalisationsverordnung nicht vorgesehen.

Um bei beengten Verhältnissen auf die Präsenz der Fahrräder hinzuweisen, sind Piktogrammketten / Sharrows in die Signalisationsverordnung aufzunehmen. Auch die Größe und Position von Fahrradpiktogrammen auf der Fahrbahn sollte nicht vorgegeben werden.

- Heute kann gemäß Art. 108 SSV Tempo 30 nur in Ausnahmefällen auf Hauptstraßen angeordnet werden. Hierbei soll die Erhöhung der Veloverkehrssicherheit explizit als Ausnahmefall genannt werden.

Normen/Weisungen:

- Weisungen des UVEK vom 11. Juli 2024 über besondere Markierungen auf der Fahrbahn:

Gemäß Weisung darf die rote Einfärbung von Radstreifen nur „auf Haupt- und vortrittsberechtigten Nebenstraßen mit einem hohen Verkehrsaufkommen und einzig in Verzweigungs- oder Einspurbereichen angebracht werden, wo aufgrund der Verkehrs- oder Sichtverhältnisse eine erhöhte Gefahr besteht, dass der motorisierte Verkehr beim Queren des Radstreifens das Vortrittsrecht der Radfahrerinnen und Radfahrer missachtet.“ Diese Formulierung ist allenfalls so anzupassen, dass eine Einfärbung immer dann möglich ist, wenn die Sichtbarkeit des Radverkehrs aufgrund der lokalen Verhältnisse zu verbessern ist.

- Norm VSS 40 201: Gemäß heutiger Norm werden Grundabmessungen und Zuschläge so bemessen, dass Fahrräder bei allen Höchstgeschwindigkeiten ohne zusätzliches Ausschwenken deutlich unter 1,5 m überholt werden. Ein Zuschlag für den Begegnungsfall Radverkehr-PW/LW ist einzuführen, so dass der Überholabstand im Normalfall mind. 1,5 m beträgt. Daraus leitet sich eine Mindestbreite für Radstreifen von 1,80 m ab.
- Norm VSS 40 212: Gemäß Norm muss bei einer Kernfahrbahn im Kern der jeweilige Begegnungsfall gewährleistet werden. Diese Bestimmung ist zu überprüfen, ob auch beim Kreuzen Pkw/Pkw der Radstreifen (CH) im Regelfall befahren werden darf und so die Sicherheit und der Raumbedarf des Radverkehrs höher gewichtet sind.

Über diese national geltenden Regelwerke hinaus sind die jeweiligen kantonalen und kommunalen Regelwerke zu überprüfen und ggf. anzupassen.

4.4 Begründung der Empfehlungen

Nachfolgend werden die Begründungen bzw. Herleitungen der Empfehlungen für unterschiedliche Aspekte angeführt:

4.4.1 Überholabstand (objektive/subjektive Sicherheit, Komfort)

- Mindestbreite beim Überholen von 1,5 m bzw. 1,3 m: Gesetzgebung DE und AT (StVO), Empfehlung RADBEST Workshop mit Expert:innen, eigene Empfehlung, Rechtsprechung in Deutschland als Grundlage für deutsche StVO: Hauenstein et al., 2023.
- Überholabstände < 1,0 m werden als gefährlich wahrgenommen: La Mondia and Duthie, 2012, Henao and Apparicio, 2022, Nolan et al., 2021, Mehta et al., 2015.
- Überholabstände > 1,5 m bei 50 km/h werden als sicher wahrgenommen: Llorca et al., 2017.
- Wahrnehmung, dass Vorhandensein einer Radverkehrsanlage positiv wahrgenommen wird: Koppers et al., 2021.
- Höheres Sicherheitsgefühl durch Radfahrstreifen (Radfahrer:innen und Kfz-Lenker:innen) trotz geringerer Überholabstände: Rubie et al., 2020 .
- Empfehlung Radverkehrsanlage besser als Mischverkehr ohne Maßnahme: RADBEST Interviews mit Expert:innen
- Höheres Sicherheitsgefühl und höherer Komfort bei breiteren Streifen trotz etwas geringerer Überholabstände: Stadt Salzburg, 2019.
- Empfehlung für sicheres Überholen oder kein Überholen (z.B. mit Verkehrszeichen): OBS-Messungen im Zuge von RADBEST (durchgehend starke Streuung, hoher Anteil an Überholvorgängen unter 1,0 m)
- Empfehlung breite Mehrzweckstreifen bei schmaler Kernfahrbahn
 - Generelle Empfehlung: RADBEST Interviews und Workshops mit Expert:innen (Kernfahrbahn = bewährte Lösung in der Schweiz, mehrheitlich als sinnvoll erachtet)
 - Tempo 30: RVS, Empfehlung RADBEST Interviews und Workshops mit Expert:innen, Erhöhung der subjektiven und objektiven Sicherheit gemäß Literaturanalyse (von Stülpnagel et al., 2022, Hantschel, 2022)
 - Keine Mittelleitlinien: RVS, OBS-Messungen im Zuge von RADBEST, Literaturanalyse (Feng et al., 2018)

- Aussagen zu Kernfahrbahnbreite: OBS-Messungen im Zuge von RADBEST
- Breite des Mehrzweckstreifens: RADBEST Feldtest Georgistraße, eigene Herleitung aus Querschnittsbetrachtung, RADBEST Vorher-Nachher-Untersuchung Durlach bei schmalen Mehrzweckstreifen (1,4 m) geringere Überholabstände als im Mischverkehr
- Breite des Schutzstreifens bei Parkstreifen: RVS & Guide Velo (0,5 m), Standard Kanton Zürich & E Klima (0,75 m), KfV-Untersuchung (0,75 m Türöffnungsbreite ab Außenkante Seitenspiegel aus Doorring Studie des Kuratoriums für Verkehrssicherheit, 2020)
- Tempo 30: RADBEST Interviews und Workshops mit Expert:innen
- DTV-Obergrenze, dauerhaftes Befahren der Mehrzweckstreifen: fachliche Empfehlung (Anmerkung: kontroverse Sichten der Expert:innen)

4.4.2 Empfehlung qualifizierter Mischverkehr

- Grundsätzlich positive Wirkung von Sharrows: Knoflacher, 2014, Literaturanalyse (Hunter et al., 2011).
- Auswirkungen von Sharrows auf den Überholabstand: widersprüchliche Aussagen der Literatur La Mondia and Duthie, 2012, Kay et al., 2014, Feizi et al., 2021, und keine Wirkungen nachgewiesen bei Rubie et al. (2020) und der Vorher-Nachher-Untersuchung (RADBEST Feldtest Singen – Hohenkrähenstr.)
- Tempo 30: RADBEST Interviews und Workshops mit Expert:innen
- Ungünstige Fahrbahnbreite 6,0 – 7,0 m: ERA, RVS, RADBEST Feldtest Backnang.

4.4.3 Empfehlungen Engstellen und Einrichtungsfahrbahnen

- Bestehende Markierung bei Engstellen weiterführen (OBS-Messungen im Zuge von RADBEST, Steiner et al., 2009)
- Verkehrssicherheit wird durch durchgängigen und breiten Radstreifen (CH) erhöht (Stadt Bern Verkehrsplanung, 2021), Dettling & Gerber, 2021, Nehmiz & Gerber, 2022)
- Sharrows/ Piktogrammketten sind Mischverkehr Kfz/Fahrrad vorzuziehen: Knoflacher, 2014

4.4.4 Empfehlung Einbindung relevanter Akteure / partizipative Prozesse bei Lösungsfindung

- RADBEST Interviews und Workshops mit Expert:innen

5 EMPFEHLUNGEN FÜR EVIDENZBASIERTE ENTSCHEIDUNGEN ZUR RADVERKEHRSFÜHRUNG

Ausgehend von den Erfahrungen der Feldstudien zur evidenzbasierten Bewertung unterschiedlicher Radverkehrsführungen bei beengten Verhältnissen werden in diesem Kapitel Empfehlungen für zukünftige Untersuchungen abgeleitet. Diese Empfehlungen sollen beispielsweise Verkehrsplaner:innen oder Kommunen dabei unterstützen Problemstellen in der Radverkehrsführung evidenzbasiert mit geeigneten Erhebungsmethoden untersuchen zu können. Die im Zuge von RADBEST durchgeführten Expert:innen Interviews (Kapitel 2.2) ergaben, dass Evidenzgrundlagen für die Planung adäquater Radverkehrsanlagen bei beengten Verhältnissen als hilfreich erachtet werden. Häufig gibt es Problemstellen oder Lücken im Radverkehrsnetz die geschlossen werden sollen, für die jedoch aufgrund der konkreten Situation spezifische Lösungen entwickelt werden müssen. Diese Streckenabschnitte sollen Ausgangspunkt einer Untersuchung sein, für die nachfolgend verschiedene methodische Optionen angeführt werden. Gegebenenfalls gibt es bereits Lösungsansätze anderenorts für ähnliche Situationen. Auch hier kann eine Untersuchung ansetzen.

5.1 Prozess für evidenzbasierte Entscheidungen

Es wird im Folgenden ein Prozess vorgeschlagen, wie eine strukturierte Untersuchung von Radverkehrsführungen gestaltet werden kann. Hierbei werden auch die einzelnen Erhebungsmethoden, welche in RADBEST angewandt wurden, im Detail bewertet. Dieser Prozess lässt sich in nachstehende Schritte gliedern:

1. Definition der grundlegenden Fragestellung
2. Identifikation und Beschreibung der Problemstelle oder ggf. die zu untersuchenden Lösungsansätze
3. Definition / Ableitung relevanter Kennwerte
4. Auswahl der Erhebungsmethode(n)
5. Durchführung der Untersuchung
6. Auswertung, Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse
7. Ableitung von Maßnahmen

1. Definition der grundlegenden Fragestellung

Zunächst muss die grundlegende zu untersuchende Fragestellung abgeklärt werden. Dabei gilt es u.a. folgende Fragen zu beantworten:

- Was soll untersucht werden? z.B. Verbesserung Verkehrssicherheit, Überholabstand Kfz-Rad, subjektives Sicherheitsempfinden
- Gibt es Lösungsansätze in der Literatur / durch vorhergegangene Untersuchungen?
- Ist ein Vergleich von Radverkehrsführungen zwischen verschiedenen Streckenabschnitten mit unterschiedlicher Radverkehrsführung gewünscht? Beispielsweise die Untersuchung der Problemstelle und die Untersuchung eines bereits andernorts umgesetzten Lösungsansatzes für eine ähnliche Problemstelle.
- Ist ein Vergleich unterschiedlicher Radverkehrsführungen am selben Streckenabschnitt mittels einer Vorher-Nachher-Erhebung von Interesse und möglich? Im Projekt RADBEST haben sich Vorher-Nachher-Erhebungen als zielführend erwiesen. Die Möglichkeit einer spezifischen Änderung der Radverkehrsführung sollte ggf. bei der entsprechenden Problemstelle geprüft werden.
- Was soll erfasst werden? Objektiv gemessene minimale Überholabstände eines Überholvorgangs am relevanten Streckenabschnitt? Die Charakterisierung eines gesamten Überholvorgangs? Eine subjektive Bewertung des Streckenabschnitts?

- Sollte eine objektive Untersuchung von Überholvorgängen gewünscht sein, ist die Anzahl der zu untersuchenden Überholvorgänge zu definieren. Dies beeinflusst die Wahl der Erhebungsmethode sowie den Personalaufwand.
- Stehen Proband:innen für etwaige Befahrungen des Streckenabschnitts zur Verfügung? In RADBEST erwies sich ein Crowd-Sourcing Ansatz als schwierig, da sowohl das Anwerben von Testpersonen als auch die Erhebung der gewünschten Anzahl an Überholvorgängen mehr Zeit als eine gezielte Befahrung in Anspruch nimmt.

2. Identifikation und Beschreibung der Problemstelle oder ggf. der zu untersuchenden Lösungsansätze

Sind diese Punkte entsprechend abgeklärt, ist es erforderlich den zu untersuchenden Streckenabschnitt der Problemstelle bzw. des Lösungsansatzes im Detail zu charakterisieren. Es wird dabei empfohlen u.a. Folgendes zu berücksichtigen:

- Handelt es sich um eine punktuelle Engstelle oder eine längere Strecke?
- Mit welchem Gesamtverkehrsaufkommen kann auf diesem Abschnitt gerechnet werden?
- Wie hoch ist der Radverkehrsanteil?
- Wie ist die Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmenden einzuschätzen? Welche Auswirkungen sind erwünscht?
- Die Komplexität des Abschnitts soll ermittelt werden. Handelt es sich um einen Abschnitt mit gleichbleibender Radverkehrsführung oder ändert sich diese im Verlauf des Streckenabschnitts? In welcher Weise beeinflussen Infrastrukturelemente das Verhalten der Verkehrsteilnehmer:innen (z.B. Kreuzungen, Kreisverkehre, Parkstreifen, Mittelinseln, etc.)?

3. Definition / Ableitung relevanter Kennwerte

Ausgehend von der grundlegenden Fragestellung und der zu untersuchenden Situation können die zu ermittelnden Kennwerte abgeleitet werden. Diese Kennwerte geben wiederum Aufschluss über die Erhebungsmethoden, welche für die spezifische Problemstelle geeignet wären (siehe auch Methodenkapitel der einzelnen Erhebungsmethoden in Kapitel 3). Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Kennwerte pro Überholphase, welche mit den in RADBEST untersuchten Erhebungsmethoden

ausgewertet werden können. Mithilfe dieser Tabelle kann die Auswahl der Erhebungsmethoden bereits eingegrenzt werden.

Tabelle 13: Kennwerte pro Erhebungsmethode (- nicht möglich, ✓ möglich, (✓) möglich, im Rahmen von RADBEST nicht durchgeführt, *1 siehe Kapitel 3.1)

Phase des Überholvorgangs*1	Kennwert	OBS	Holoscene Fahrrad	Stationäre LiDAR Sensorik	Stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse	Humansensorik	Befragung
1	Dauer des Hinterherfahrens	-	✓	(✓)	-	-	-
	Minimaler longitudinaler Abstand nach hinten	-	✓	(✓)	-	-	-
	Relative Geschwindigkeit des Kfz zum Zeitpunkt des min. longitudinalen Abstands nach hinten	-	✓	(✓)	-	-	-
	Absolute Geschwindigkeiten des Kfz während des Hinterherfahrens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Objektive Messung von Stressmomenten (MOS)	-	-	-	-	✓	-
	Stress, Sicherheit, Komfort (subjektiv)	-	-	-	-	-	✓
	Visuelle Beurteilung der Situation	-	(✓)	(✓)	✓	-	-
2	Dauer des Ausscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Minimaler Abstand während des Ausscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Relative Geschwindigkeiten des Kfz während des Ausscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Absolute Geschwindigkeiten des Kfz während des Ausscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads während des Ausscherens des Kfz	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Objektive Messung von Stressmomenten (MOS)	-	-	-	-	✓	-
	Stress, Sicherheit, Komfort (subjektiv)	-	-	-	-	-	✓
	Visuelle Beurteilung der Situation	-	(✓)	(✓)	✓	-	-
3	Dauer des Vorbeifahrens	-	(✓)	✓	-	-	-
	Abstand zum Start der Phase des Vorbeifahrens	-	(✓)	✓	-	-	-
	Abstand zum Ende der Phase des Vorbeifahrens	-	(✓)	✓	-	-	-
	Minimaler lateraler Abstand nach links	✓	✓	✓	-	-	-
	Minimaler lateraler Abstand nach rechts	(✓)	(✓)	(✓)	-	-	-
	Mittlerer lateraler Abstand nach links und Median des lateralen Abstands nach links (während der Phase des Vorbeifahrens)	-	(✓)	✓	-	-	-
	Relative Geschwindigkeit des Kfz in der Phase des Vorbeifahrens (zum Zeitpunkt des minimalen lateralen Abstands)	-	✓	(✓)	-	-	-

	Absolute Geschwindigkeit des Kfz in der Phase des Vorbeifahrens (gemittelt über die gesamte Phase)	-	(✓)	✓	-	-	-
	Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads in der Phase des Vorbeifahrens	-	(✓)	✓	-	-	-
	Objektive Messung von Stressmomenten (MOS)	-	-	-	-	✓	-
	Stress, Sicherheit, Komfort (subjektiv)	-	-	-	-	-	✓
	Visuelle Beurteilung der Situation	-	(✓)	(✓)	✓	-	-
4	Dauer des Wiedereinscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Minimaler Abstand während des Wiedereinscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Relative Geschwindigkeiten des Kfz während des Wiedereinscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Absolute Geschwindigkeit des Kfz während des Wiedereinscherens	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Absolute Geschwindigkeit des Fahrrads in der Phase des Wiedereinscherens des Kfz	-	(✓)	(✓)	-	-	-
	Objektive Messung von Stressmomenten (MOS)	-	-	-	-	✓	-
	Stress, Sicherheit, Komfort	-	-	-	-	-	✓
	Visuelle Beurteilung der Situation	-	(✓)	(✓)	✓	-	-

4. Auswahl der Erhebungsmethode(n)

Sofern eine konkrete Vorstellung über die Problemstelle bzw. einen zu untersuchenden Lösungsansatz und die relevanten Kennwerte vorliegt, kann die Erhebungsmethode gewählt werden. Grundsätzlich kann zwischen mobiler und stationärer Sensorik unterschieden werden.

Generell sind mit mobiler Sensorik längere Streckenabschnitte untersuchbar. Ein höheres Verkehrsaufkommen ist insofern von Vorteil, da dadurch in kürzerer Zeit mehrere Überholvorgänge stattfinden und sich die Dauer der Datenerfassung verringert. Durch gezielte, wiederholte Befahrungen ist die mobile Sensorik auch für Streckenabschnitte geeignet, welche einen geringen Radverkehrsanteil aufweisen. Unter mobile Sensorik fallen in RADBEST folgende Erhebungsmethoden: OBS, Hologramm Fahrrad und Humansensorik.

Im Vergleich dazu bietet die stationäre Sensorik den Vorteil über einen längeren Zeitraum kurze Streckenabschnitte oder punktuelle Engstelle auswerten zu können. Mittels stationärer LiDAR-Sensorik oder stationärer kamerabasierter Verkehrskonfliktanalyse kann somit, auch bei sehr niedrigem Verkehrsaufkommen, ein fixer Ausschnitt des Straßenraums (z. B. eine Kreuzung oder punktuelle Engstelle) analysiert werden. Sollte der Radverkehrsanteil zu niedrig sein, könnten gezielte Befahrungen

die Anzahl an Interaktionen zwischen Kfz und Fahrrad im gegenständlichen Abschnitt erhöhen. Durch Befragungen können zusätzlich subjektive Empfindungen zu Streckenabschnitten erfragt werden.

Für eine evidenzbasierte Entscheidung kann entweder eine Erhebungsmethode oder eine Kombination von verschiedenen Erhebungsmethoden festgelegt werden.

5. Durchführung der Untersuchung

Nach Auswahl der Erhebungsmethode kann mit der Planung der Datenerfassung im Feld begonnen werden. Für eine einheitliche Datenerfassung ist es sinnvoll Handlungsanweisungen für die Datenerfassung zu definieren. In den Handlungsanweisungen sollten folgende Punkte berücksichtigt werden: Ziel der Datenerfassung, Angaben zur Teststrecke (siehe unten), Montage der Sensorik inkl. notwendiger Materialien (z.B. Kabelbinder, Klebeband), allfällige Einstellungen der Sensorik, Hinweise zum Fahrverhalten mit dem Fahrrad, Kontaktdaten für Rückfragen, etc. Im Falle von mehreren Proband:innen können diese Handlungsanweisungen auch die Grundlage für eine allfällige Einschulung darstellen.

Des Weiteren ist eine zeitliche und örtliche Planung der Testfahrt notwendig. Dabei sollte einerseits auf die Witterung und andererseits auf die örtlichen Gegebenheiten der Teststrecke geachtet werden. Der genaue Start- und Endpunkt sind festzulegen. Zusätzlich sollten auch die Wendepunkte sowie Haltepunkte (idealerweise der Start- oder Endpunkt) definiert werden. Dabei ist vor allem auf die Sicherheit der Proband:innen zu achten bzw. sollten auch andere Verkehrsteilnehmer:innen nicht behindert werden (z.B. an Haltepunkte andere Radfahrer:innen).

Im Falle einer Vorher-Nachher Untersuchung ist noch zu überlegen ob begleitende Maßnahmen zur Information aller Verkehrsteilnehmer:innen zu den geänderten Infrastrukturmaßnahmen notwendig sind. Dies erscheint vor allem dann sinnvoll, wenn neuartige Infrastrukturmaßnahmen umgesetzt werden, die noch nicht bekannt sind (siehe Beispiel enge Kernfahrbahn in Eisenstadt – Georgstr.). Zusätzlich sollte beachtet werden, dass bei geänderten Infrastrukturmaßnahmen ein gewisse Zeit benötigt wird, bis sich alle betroffenen Verkehrsteilnehmer:innen an die neue Situation gewöhnt haben. Erst dann ist eine Nachher-Erfassung sinnvoll.

Während des Durchführungszeitraumes sollte ein Ansprechpartner erreichbar sein, um kurzfristige Anfragen der Proband:innen schnell klären zu können. Zusätzlich

sollte im Rahmen der Datenerfassung auch Fotos von der Teststrecke und der Datenerfassung selbst gemacht werden. Diese sind hilfreich für die abschließende Dokumentation.

Nach Abschluss der Datenaufzeichnung sollte diese noch kurz dokumentiert werden. Dies wurde im Rahmen von RADBEST mit Hilfe eines Fragebogens / Formular (siehe Anhang 3 Fragebogen) durchgeführt. Darin werden die allgemeinen Daten zu Testfahrt wie Streckenabschnitt, Datum, Dauer, Witterung, Angaben zum Fahrrad, Probleme mit Testequipment, Beobachtungen zur Teststrecke und Verkehrsgeschehen während der Testfahrten, etc. dokumentiert.

6. Auswertung, Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse

Unmittelbar nach Abschluss der Datenerfassung kann mit der Auswertung der Daten begonnen werden. Abhängig vom Anzahl der Proband:innen sind die aufgezeichneten Rohdaten zu sammeln und zu speichern bzw. zu sichern.

Zu Beginn der Datenauswertung ist es ideal die Vorgehensweise und Arbeitsschritte festzulegen. Dazu ist noch einmal die Fragestellung bzw. Hypothese der Untersuchung zu sichten und die Methode der Datenauswertung festzulegen. Es ist eine Auswahl von Softwarewerkzeugen durchzuführen (z.B. Statistik- und GIS-Software). Zusätzlich müssen überlegen zur Visualisierung der Ergebnisse angestellt werden.

Liegen die Auswerteergebnisse vor, sollten diese in einer Präsentation aufbereitet und interpretiert werden (inkl. Fragestellungen, Ziel der Datenerfassung). Die Ergebnisse können dann im Rahmen von internen Projektmeetings mit unterschiedlichen Akteuren und Expert:innen diskutiert werden. Die Erfahrung zeigt, dass nach einer ersten Präsentationrunde oftmals noch weitere tiefergehende Auswertungen und Analysen notwendig sind. Diese können dann entweder nochmals präsentiert, interpretiert bzw. diskutiert werden.

Abschließend erfolgt die Dokumentation der Auswerte- und Interpretationsergebnisse in einem Ergebnisbericht. Für die Präsentation und den Ergebnisbericht hat sich als sinnvoll erwiesen, auf eigene Fotos zurückgreifen zu können, die während der Datenerfassung aufgenommen wurden. Google Street View Bilder sind zwar für die Planung der Feldtests gut geeignet, dürfen aber aus Lizenzgründen nicht veröffentlicht werden.

7. Ableitung von Maßnahmen

Als letzter Schritt des Prozesses für evidenzbasierte Entscheidungen erfolgt auf Basis der Auswerte- und Interpretationsergebnisse die Ableitung von verkehrsplanerischen Maßnahmen für den zu untersuchenden Streckenabschnitt und Fragestellung. Diese erfolgen nach verkehrsplanerischen Gesichtspunkten und unter Einhaltung der nationalen Gesetze und Regelwerke.

5.2 Bewertung der in RADBEST eingesetzten Erhebungsmethoden

Tabelle 14 gibt für alle Erhebungsmethoden, welche in RADBEST verwendet wurden, einen schematischen Überblick über den Aufwand vor, während und nach der Datenaufzeichnung, sowie die Ergebnisse, Kosten und ob personenbezogene Daten aufgezeichnet werden.

Tabelle 14: Schematischer Überblick der mobilen und stationären Erhebungsmethoden.

Erhebungsmethode	Aufwand Vorbereitung	Aufwand Installation	Aufwand Durchführung	Aufwand Auswertung	Ergebnisse / Datenqualität	Kosten	Aufzeichnung personenbezogener Daten
Einfache mobile Sensorik für Abstandsmessung	 bis 		 bis 	 bis 	★★★	€-€€	-
Forschungsfahrrad		-			★★★★★	€€€	(!)
Humansensorik					★★	€€€	!!
Stationäre LiDAR-Sensorik					★★★★★	€€€	-
Stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse					★★★	€€	-
Befragung	 bis 	 bis 	 bis 	 bis 	★★★	€€	-

 = gering,  = mittel,  = hoch,

★ - ★★★★★ = geringe bis hohe Qualität der Ergebnisse

€ = günstig, €€ = teuer, €€€ = sehr teuer,

- = keine Aufzeichnung personenbezogener Daten,

! = Aufzeichnung personenbezogener Daten,

!! = Aufzeichnung personenbezogener und sehr sensibler Daten

Im Folgenden werden diese Kategorien für jede Erhebungsmethode spezifiziert. Zudem werden auch die Potenziale und Limitationen benannt.

5.2.1 Bewertung einfache mobile Sensorik für Abstandsmessung

Allgemeine Beschreibung	Als einfache mobile Sensorik für Abstandsmessung wird von der Fahrrad-Community der OpenBikeSensor (OBS) als niederschwelliger und kostengünstiger Sensor eingesetzt. Damit können einfach Überholabstände zwischen Fahrrädern und Kfz auf Basis eines Ultraschallsensors gemessen werden. Im Rahmen von RADBEST wurde dieser einfache Sensor eingesetzt, da auch kein anderer verfügbar war ¹⁶ .
Aufwand Vorbereitung	<p>Die einfache mobile Sensorik variiert beim Aufwand in der Vorbereitung. Sofern im Falle von OBS bereits Sensorik vorhanden ist, ist der Aufwand gering. Muss der OBS erst beschafft werden erhöht sich der Aufwand entsprechend, da der OBS selbst gebaut werden muss. Als fertiges Produkt wird er nicht angeboten. Möglicherweise gibt es auch Schwierigkeiten bei der Beschaffung der Bauteile und unterschiedliche Qualitäten der Hardwareteile (v.a. GNSS-Modul). Ein Ausleihen bei Interessensvertretungen von Radfahrer:innen (z.B. Radlobby oder ADFC) könnte eine weitere Option sein.</p> <p>Die Suche und Akquise von Proband:innen für die Datenaufzeichnung können aufwendig sein. Hier muss auch die Definition von Handlungsanweisungen und Geräteeinstellungen für die Proband:innen mitgedacht werden.</p>

¹⁶ Das vielversprechende Start-up *Dashbike* (Dashfactory GmbH) hat mittlerweile (04.01.2024) Insolvenz angemeldet (<https://neu.insolvenzbekanntmachungen.de/ap/suche.jsf> [abgerufen am 27.06.2024]).

Eine möglicherweise gewünschte Auswertung nach unterschiedlicher Radinfrastruktur erfordert im Vorfeld die Definition von Streckenabschnitten mit unterschiedlicher Infrastruktur sowie die digitale Erfassung mit einer GIS-Software.

Aufwand Installation

Der Aufwand der Installation ist sehr gering. Der OBS wird einfach mit Kabelbindern am Fahrrad angebracht. Es muss darauf geachtet werden, dass die Sattelstütze ausreichend weit (mind. 8 cm) heraussteht und sich kein Gepäckträger auf gleicher Höhe befindet, damit eine Montage möglich ist. Eine Montage an der Querstange des Fahrradrahmens ist nicht zu empfehlen, da die Knie bei der Tretbewegung Fehlmessungen verursachen können. Für die Montage des Druckknopfs braucht es am Lenker entsprechend Platz.

Aufwand Durchführung

Die Durchführung der Datenaufzeichnung ist mit wenig Aufwand verbunden und es kann abhängig von der Verkehrsstärke innerhalb von einigen Stunden die definierte Anzahl an Überholvorgängen gemessen werden. Bei Streckenabschnitten mit unterschiedlicher Radinfrastruktur müssen pro Infrastruktur genügend Überholvorgänge gemessen werden, damit die Auswertung nach Infrastruktur aussagekräftig wird. Dadurch kann sich der Aufwand bei der Datenaufzeichnung erhöhen. Fahrtrichtungsspezifische Erhebungen erfordern ein Beenden und Neustarten der Erhebung, im Fall einer kurzen Strecke ist dadurch mit einem zeitlichen Mehraufwand zu rechnen (ein Split von Trajektorien kann auch im Post-Processing durchgeführt werden; der Aufwand dafür muss berücksichtigt werden). Zusätzlich müssen die Koordination und möglicherweise zusätzliche Kosten bei mehreren Proband:innen in die Aufwandseinschätzung einfließen.

Aufwand Auswertung

Der Aufwand der Auswertung hängt vom Streckenabschnitt ab. Bei kurzen Abschnitten mit gleichbleibender Radinfrastruktur ist der Aufwand gering. Bei längeren Abschnitten mit

unterschiedlicher Radinfrastruktur ist die Auswertung aufwendiger. Die Verwendung von GIS-Software wird empfohlen. Zusätzlich ist die Auswertung mittels einer Statistiksoftware zielführend. Nach aktuellem Kenntnisstand steht bis dato seitens der OBS-Community keine Software für die Auswertungen zur Verfügung.

Ergebnisse/Datenqualität	Das Ergebnis einer Messung mit einfacher mobiler Sensorik sind Überholabstände im cm- bis dm-Bereich. Je nach Ausführung des Sensors können Abstände nach links und zusätzlich nach rechts gemessen werden. Bei der Messung nach rechts bleibt jedoch unklar, ob es sich beim rechts erfassten Objekt um den Rand des Straßenraums (z.B. Fassadenflucht), um einzelne Objekte (z.B. Mülltonnen) oder andere Verkehrsteilnehmer:innen (z.B. Fußgänger:innen) handelt. Insofern sind Messungen nach rechts im Regelfall wenig aussagekräftig. Die Verortung der Überholvorgänge erfolgt mit einem kostengünstigen GNSS-Modul. Eine genaue und zuverlässige Verortung ist mit diesem Modul nicht möglich. Es muss daher mit Abweichungen im Meterbereich gerechnet werden.
Kosten	Einfache mobile Sensorik wird auch als kostengünstigste Sensorik bei den mobilen Erhebungsmethoden angesehen; je nach Ausführung und Bezugsquelle für die Hardware ist mit 50-100 € pro Gerät zu rechnen. Für die Durchführung der Datenaufzeichnung muss Budget für die Koordination der Datenaufzeichnung sowie ggf. für Incentives bzw. Aufwandsentschädigungen für die Proband:innen eingeplant werden. Je nach Fragestellung und Beschaffenheit der Teststrecke (gleichbleibende vs. abwechselnde Radinfrastruktur) sind die Kosten für Auswertung gering bis mittel anzunehmen.
Aufzeichnung personenbezogener Daten	Wenn einfache mobile Sensorik auf ausgewählten Streckenabschnitten eingesetzt wird, kann eine Aufzeichnung von personenbezogenen Daten ausgeschlossen werden. Wird

die Sensorik im Rahmen von Messungen von Alltagswegen verwendet, kann durch die aufgezeichneten Positionsdaten möglicherweise eine Verknüpfung auf die Wohn- und Arbeitsadresse der Testpersonen erfolgen.

Potenziale

Im Falle von OBS als einfache mobile Sensorik handelt es sich um einen offenen, bürgerwissenschaftlichen Ansatz. Der OBS kann selbst gebaut werden. Er wird von verschiedenen Initiativen genutzt (z.B. <https://www.1meter50.at/> [abgerufen am 14.05.2024]) und findet auch in wissenschaftlichen Studien in Deutschland (v.a. an der Hochschule Karlsruhe) weit verbreitete Anwendung.

Limitationen

Als Limitationen des einfachen mobilen Sensors sind die Einschränkungen bei der Installation und der Datenqualität zu beachten. Eine Datenaufzeichnung kann nur bei trockenen Verhältnissen erfolgen. Bei der Verwendung mehrerer Sensoren bzw. Fahrräder, muss die richtige Lenkerbreite eingestellt werden. Zudem ist keine Überprüfung der Fahrweise der Proband:innen möglich, beispielsweise ob diese weiter rechts oder links gefahren sind, zum Beispiel nach einer Änderung von Fahrbahnmarkierungen. Die Erfassung der Überholvorgänge ist abhängig von den Testfahrenden. D.h. die aufgezeichneten Überholvorgänge spiegeln möglicherweise nicht die tatsächliche Anzahl der Überholvorgänge während der Fahrt wider.

Zusammenfassung

Zusammengefasst ist die einfache mobile Sensorik der kostengünstigste und datenschutzfreundlichste Erhebungsmethode, misst jedoch nur den Überholabstand und liefert nur eine räumliche Verortung mit einer Genauigkeit im Meterbereich.

5.2.2 Bewertung Forschungsfahrrad

Allgemeine Beschreibung	Das Forschungsfahrrad ist ein Spezialfahrrad, welches mit unterschiedlicher Sensorik ausgestattet werden kann (z.B. Videoerfassung, LiDAR-Erfassung, IMU-Sensorik, C-ITS, etc.).
Aufwand Vorbereitung	Der Aufwand der Vorbereitung zur Datenerfassung mittels Holoscene Fahrrad ist gering. Generell muss v.a. die Messkampagne und der Transport zum gewünschten Streckenabschnitt mit einem geeigneten Kfz geplant werden. Bei längeren Messkampagnen muss ein Standort für das Laden des Akkus organisiert werden. Sofern eine Datenerhebung mit dem Holoscene Fahrrad im EU-Ausland durchgeführt werden soll, müssen bestimmte Ein- und Ausfuhrbestimmungen berücksichtigt werden. Ggf. erhöht sich der Aufwand dadurch.
Aufwand Installation	Eine Installation ist nicht notwendig, da das Fahrrad bereits fahrtauglich und mit der benötigten Sensorik ausgestattet ist.
Aufwand Durchführung	Die Durchführung der Datenaufzeichnung selbst kann nur durch geschulte Mitarbeiter:innen durchgeführt werden. Es ist davon auszugehen, dass zwei Personen für den Transport und die Datenaufzeichnung notwendig sind.
Aufwand Auswertung	Für die Auswertungen ist der Aufwand als hoch einzustufen. In der Regel werden von einem Forschungsfahrrad Rohdaten von der eingesetzten Sensorik bereitgestellt. In einem initialen Prozess müssen die Schritte der Datenverarbeitung und -prozessierung definiert und festgelegt werden. Je nach Wunsch des späteren Automatisierungsgrades der gesamten Datenauswertung oder einzelner Teilschritte muss mit einem entsprechenden hohen Arbeitsaufwand für die Entwicklung und Programmierung der Algorithmen und Prozesse kalkuliert werden. Im Falle der Auswertung von LiDAR-Daten muss auch noch die Annotation von überholenden Kfz in den

Daten berücksichtigt werden. Dies erfolgt entweder manuell oder über das Training von KI-Modellen. Damit würde eine spätere Automatisierung möglich werden. Die Kosten für die manuelle Annotation sind als mittel einzustufen, die Kosten für das Training von KI-Modellen als hoch. Stehen die beschriebenen Prozesse und Auswertungen bereits aus Vorprojekten für eine (teil-)automatisierte Prozessierung zur Verfügung, dann können die Kosten für die Datenauswertung als mittel angenommen werden.

Ergebnisse/Datenqualität	Das Holoscene Fahrrad liefert umfassende Ergebnisse. Kennwerte können für den gesamten Überholvorgang ermittelt werden. Die Genauigkeit liegt dabei im cm-/sek-Bereich.
Kosten	Die Kosten für Datenaufzeichnung mittels Holoscene Fahrrad sind durch den Personalaufwand für Datenaufzeichnung als mittel anzusehen. Für die Datenauswertung als hoch.
Aufzeichnung personenbezogener Daten	Die Aufzeichnung personenbezogener Daten ist für die Videodaten relevant, für LiDAR-Daten nicht. Die Aufzeichnung von hochauflösenden Videos bei der Datenerfassung kann aktiviert bzw. deaktiviert werden. Im Falle der Aufzeichnung dieser Videos sind datenschutzrechtliche Vorgaben hinsichtlich personenbezogener Daten zu berücksichtigen.
Potenziale	Das Potenzial des Holoscene Fahrrads liegt darin, dass ein gesamter Überholvorgang bzw. auch nicht realisierte Überholvorgänge aus der Sicht von Radfahrer:innen aufgezeichnet und analysiert werden können.
Limitationen	Limitierende Faktoren sind die Durchführung der Messfahrten nur durch geschulte Mitarbeiter:innen und nur bei trockenen Verhältnissen. Die Befürchtung, dass das Forschungsfahrrad aufgrund seiner Ausstattung sehr auffällig ist, konnte im Rahmen der Testfahrten im Rahmen von RADBEST nicht bestätigt werden. Im Rahmen von RADBEST kam es zu keinen signifikanten Abweichungen vom mittleren Überholverhalten.

Zusammenfassung Zusammenfassend liefert das Holoscene Fahrrad die umfassendsten Kennwerte eines Überholvorgangs bei gleichzeitig mittlerem Aufwand in der Vorbereitung, Installation, Durchführung und hohem Aufwand in der Auswertung.

5.2.3 Bewertung Humansensorik

Allgemeine Beschreibung Mit Humansensorik lassen sich individuelle Stressmomente objektiv quantifizieren und mobil messen. In der Regel bestehen humansensorische Messeinrichtungen aus mehreren Sensoren (z.B. Sensor-Brustgurt, Sensor-Armband, Smartphone App für Standortaufzeichnung, etc.) die miteinander kombiniert werden müssen.

Aufwand Vorbereitung Der Aufwand in der Vorbereitung betrifft vor allem die Akquise von Proband:innen und ist – wie bei allen anderen Messkampagnen mit Proband:innen – als hoch einzustufen.

Aufwand Installation Der Installationsaufwand ist als mittel abzuschätzen. Alle Proband:innen müssen mit der notwendigen Sensorik vor Ort ausgestattet und kurze Funktionstests mit der Sensorik durchgeführt werden. Die Proband:innen müssen vor Ort durch qualifiziertes Personal unterstützt werden.

Aufwand Durchführung Bei der Durchführung der Studie erhöht sich der Aufwand dadurch, dass qualifiziertes Personal die Betreuung der Proband:innen vor Ort übernehmen muss.

Aufwand Auswertung Für die Auswertungen ist der Aufwand als hoch einzustufen. In der Regel werden von der Humansensorik Rohdaten bereitgestellt. In einem initialen Prozess müssen die Schritte der Datenaufbereitung, -verarbeitung und -prozessierung definiert und festgelegt werden. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Daten von unterschiedlicher Sensorik zusammengeführt werden müssen. Je nach Wunsch des späteren Automatisierungsgrades der gesamten Datenauswertung oder

einzelner Teilschritte muss mit einem entsprechenden hohen Arbeitsaufwand für die Entwicklung und Programmierung der Algorithmen und Prozesse kalkuliert werden. Stehen die beschriebenen Prozesse und Auswertungen bereits aus Vorprojekten für eine (teil-)automatisierte Prozessierung zur Verfügung, dann können die Kosten für die Datenauswertung als mittel angenommen werden.

Ergebnisse/Datenqualität	Ein limitierender Faktor bei den Ergebnissen der Humansensorik ist, dass gemessene Stressmomente unterschiedlicher Messkampagnen nur schwer vergleichbar sind.
Kosten	Die Kosten für die Anschaffung und Nutzung der vorhandenen Hardware sind hoch. Die Personalkosten tragen erheblich zu den Gesamtkosten bei.
Aufzeichnung personenbezogener Daten	Bei dieser Methode werden personenbezogene und sensible Daten erhoben. Physiologische Daten unterliegen strengen Datenschutzbestimmungen, die es zu berücksichtigen gilt. Auch die Arbeit mit Pseudonymen im Kontakt mit Proband:innen ist zwingend erforderlich.
Potenziale	Erhebungen mittels Humansensorik ermöglichen es, Stressmomente zu messen, die auf anderem Wege nicht zu erhalten sind. Die Methode ist zudem zur Validierung von eigenen Angaben (self-stated) und zur Generierung von Hypothesen zur Wechselwirkung von Umgebung und Erfahrung bestens geeignet.
Limitationen	Als Limitation ist der mittlere Aufwand für die Messung und der hohe Aufwand für die Auswertung zu nennen. Ein zusätzlicher Erklärungswert gegenüber anderen Erhebungsmethoden stellt sich zudem erst bei einer ausreichend großen Stichprobe (> 20) ein. Anzumerken sei noch, dass sich bei dieser Methode durch Korrelationen nicht zwingend auch Kausalitäten ergeben.

Zusammenfassung Zusammenfassend bietet diese Methode die Möglichkeit individuelle Empfindungen objektiv messbar zu machen. Die Humansensorik kann mobil auf jeder Strecke eingesetzt werden. Ein Nachteil ist jedoch die bedingte Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Messkampagnen.

5.2.4 Bewertung stationäre LiDAR-Sensorik

Allgemeine Beschreibung Durch die LiDAR Sensorik werden der Verkehrsraum und seine Nutzenden als Punktwolken erfasst. In diesen Punktwolken werden Objekte (z.B. Kfz, Fahrrad) detektiert und Trajektorien der Objekte aus dem Beobachtungsbereich abgeleitet. Aufgrund dieser Daten können Überholvorgänge zwischen Kfz und Fahrrad detailliert analysiert werden.

Aufwand Vorbereitung Bei der Untersuchung mit einer stationären LiDAR-Sensorik muss vorab die Fragestellung klar definiert sein und der zu untersuchende Streckenabschnitt festgelegt werden. Abhängig von der Länge des definierten Streckenabschnittes muss in weiterer Folge die Anzahl der notwendigen Sensoren geplant werden. Als aktueller Richtwert sind für eine Strecke von 50 m zwei Stück LiDAR Sensoren notwendig. Bei längeren Abschnitten entsprechend mehr.

Aufwand Installation Der Aufwand zur Installation der LiDAR-Sensorik ist aktuell hoch. Abhängig von den Eigentumsverhältnissen und der Beschaffenheit der vorhandenen Infrastruktur (Mast) ist eventuell ein Statikgutachten notwendig. Für die Montage wird ein Steiger oder eine Hebebühne benötigt. Des Weiteren ist aktuell nur eine Montage mit fixem Stromanschluss möglich. In Zukunft soll jedoch durch die Weiterentwicklung der Technologie ein Betrieb mit Akkus und/oder PV-Stromversorgung möglich sein.

Aufwand Durchführung	Wenn die Sensorik in Betrieb ist, muss lediglich ein Monitoring der Datenaufzeichnung erfolgen. Für die Zeit der Messdauer können somit alle Überholvorgänge bzw. auch nicht realisierte Überholvorgänge mit geringem Aufwand aufgezeichnet werden.
Aufwand Auswertung	Für die Auswertungen ist der Aufwand als hoch einzustufen. Abhängig vom Systemanbieter der LiDAR-Sensorik werden entweder Rohdaten oder nach Objekten klassifizierte Daten angeboten. Im weiteren Prozess müssen die Schritte der Datenverarbeitung und -prozessierung definiert und festgelegt werden. Je nach Wunsch des späteren Automatisierungsgrades der gesamten Datenauswertung oder einzelner Teilschritte muss mit einem entsprechenden hohen Arbeitsaufwand für die Entwicklung und Programmierung der Algorithmen und Prozesse kalkuliert werden. Stehen die beschriebenen Prozesse und Auswertungen bereits aus Vorprojekten für eine (teil-)automatisierte Prozessierung zur Verfügung, dann können die Kosten für die Datenauswertung als mittel angenommen werden.
Ergebnisse/Datenqualität	Als Ergebnis können Kennwerte für den gesamten Überholvorgang im definierten Untersuchungsbereich ermittelt werden. Die Genauigkeit liegt dabei im cm-/sek-Bereich.
Kosten	Die Installationskosten sind aktuell hoch. Außerdem muss Budget für die Miete der Sensorik (Anzahl abhängig von Streckenlänge) sowie für die Datenbereitstellung eingerechnet werden. Die Kosten für die Datenauswertung sind anschließend im hohen Bereich.
Aufzeichnung personenbezogener Daten	Ein Vorteil des stationären LiDAR-Systems ist es, dass keine personenbezogenen Daten aufgezeichnet werden.
Potenziale	Dieses System hat das Potenzial, dass durch technologische Weiterentwicklung der Sensorik in Zukunft eine temporäre Messung von wenigen Tagen mit einem erheblich geringeren

Installationsaufwand möglich sein sollte. Zudem kann durch eine Automatisierung in der Datenauswertung der Aufwand verringert werden.

Limitationen	Generell ist zu beachten, dass nur ein kurzer ausgewählter Streckenabschnitt mit dieser Sensorik untersucht werden kann. Ebenso sind die aktuell hohen Kosten für Installation und Betrieb ein limitierender Faktor.
Zusammenfassung	Zusammengefasst bietet die stationäre LiDAR-Sensorik die Möglichkeit ohne Aufzeichnung von personenbezogenen Daten eine Vielzahl von Konfliktsituationen zwischen Kfz und Fahrrad auszuwerten. Dabei kann der gesamte Überholvorgang analysiert werden, sofern dieser im Untersuchungsbereich liegt. Die hohen Kosten sind aktuell noch ein Nachteil dieser Methode.

5.2.5 Bewertung stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse

Allgemeine Beschreibung	Bei der stationären kamerabasierten Verkehrskonfliktanalyse wird mittels Kameras das Verkehrsgeschehen aufgezeichnet. Am Markt werden dazu einfache und High-End Video Systeme angeboten. Im Rahmen von RADBEST wurde ein einfaches Videosystem (MioVision Scout) eingesetzt. Diese Bewertung beschränkt sich auf einfache Videosysteme.
Aufwand Vorbereitung	Bei der Vorbereitung zur Erfassung des Verkehrsraumes mit einem solchen System muss eine Genehmigung zur Beobachtung bei der zuständigen Gebietskörperschaft bzw. beim Infrastrukturbetreiber eingeholt werden. Dabei sind mögliche länderspezifische Unterschiede zu berücksichtigen.
Aufwand Installation	Die temporäre Installation kann mit einem mit dem Kamerasystem bereitgestellten Teleskopmast und einem Batterie-

system erfolgen. Der Teleskopmast muss dabei in unmittelbarer Nähe einer vorhandenen Infrastruktur (Mast, Verkehrszeichen) aufgestellt werden.

Aufwand Durchführung	Der Aufwand für die Datenaufzeichnung ist gering. Für die gegebene Messdauer können alle Überholvorgänge oder nicht-realisierte Überholvorgänge aufgezeichnet werden.
Aufwand Auswertung	Sofern die Auswertung aus der Beobachtung der Verkehrssituation besteht, ist der Aufwand sehr hoch. Über Dienste der unterschiedlichen Anbieter können im Regelfall noch Verkehrsstärken oder weitere Analysen automatisiert ausgewertet werden.
Ergebnisse/Datenqualität	Die Kamera eignet sich für die visuelle Beobachtung eines Streckenabschnittes, jedoch ist die Messung von Überholabständen aufgrund der zu geringen Bildauflösung nicht möglich. Nachtaufnahmen sind zudem nur bei idealen Sicht- und Lichtverhältnissen möglich.
Kosten	Grundsätzlich müssen Kamerasystem entweder einmalig angeschafft (ca. 5.000 €) oder möglicherweise können diese auch gemietet werden (Kosten unbekannt). Der Aufwand für die manuelle Datenauswertung ist als hoch abzuschätzen.
Aufzeichnung personenbezogener Daten	Ein Vorteil ist, dass aufgrund der geringen Auflösung der Bilder keine Erkennung von Kennzeichen und Personen möglich ist und daher keine personenbezogenen Daten erhoben werden.
Potenziale	Die stationäre kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse mittels einem einfachen Videosystem ist die kostengünstige Alternative für die Aufzeichnung und Beobachtung eines Streckenabschnittes. Durch die konkrete Betrachtung einzelner Überholvorgänge lassen sich bestimmte Aussagen überprüfen, die ohne Aufzeichnung nicht möglich sind, beispielsweise wie verhält sich die Testperson im Hinblick auf den

Fahrstil. Außerdem können Verhaltensmuster der Kfz-Lenker:innen unter bestimmten Bedingungen (nicht realisierte Überholvorgänge, Überholvorgänge trotz Gegenverkehr etc.) beobachtet werden.

Limitationen	Mit diesem System ist eine Ableitung von quantitativen Kennwerten zum Überholvorgang selbst aufgrund der geringen Kameraauflösung nicht möglich.
Zusammenfassung	Eine kamerabasierte Verkehrskonfliktanalyse bietet den Vorteil einer einfach zu installierenden und einfach aber intensiv auszuwertenden Methode. Die Auswertung von quantitativen Kennwerten ist mit diesem System nicht möglich. Diese Methode eignet sich jedoch als Ergänzung zu anderen Erhebungsmethoden.

5.2.6 Bewertung Befragung

Allgemeine Beschreibung	Eine Befragung erlaubt es eine subjektive Einschätzung des Streckenabschnitts, welche objektiv nicht messbar sind, von Radfahrer:innen und ggf. anderen Verkehrsteilnehmenden (z.B. Kfz-Lenker:innen) zu bekommen.
Aufwand Vorbereitung	In der Vorbereitung ist für das Design und Erstellung des Fragebogens mit mittleren bis hohen Aufwänden zu rechnen. Sollte ein Fragebogen aus Vorprojekten zur Verfügung stehen, muss dieser nur mehr an die aktuelle Fragestellung angepasst werden. Damit reduzieren sich die Kosten. Zusätzlich liegt die Herausforderung in der Akquise von Verkehrsteilnehmer:innen, die bereits sin den Fragebogen auszufüllen.
Aufwand Installation	Idealerweise wird der Fragebogen als web-basierter Fragebogen umgesetzt. Dieser kann sowohl Vor-Ort mit Hilfe von Smartphones oder Tablets bzw. auch zu Hause von Ver-

kehrsteilnehmer:innen ausgefüllt werden. Zusätzlich erleichtert es die Auswertung. Bei einem erstmaligen Aufsetzen eines web-basierten Fragebogens ist mit höherem Aufwand auszugehen, kann auf einer bestehenden Version aufgebaut werden, sind die Aufwände geringer.

Aufwand Durchführung	Bei einer Vor-Ort-Befragung mit einem Tablet durch Interviewer:innen ist der Aufwand sehr hoch und abhängig von der Besucherfrequenz des zu betrachtenden Streckenabschnitts. Geringer ist der Aufwand, wenn ein selbstständiges Ausfüllen des Fragebogens durch ausgewählte Proband:innen, welche die Kenntnis zum ausgewählten Streckenabschnitt besitzen, ermöglicht wird. Jedoch ist hier die Bewerbung des Fragebogens notwendig.
Aufwand Auswertung	Eine detaillierte Auswertung, v.a. auch wenn es Möglichkeiten zu qualitativen Rückmeldungen gab, ist mit mittleren bis hohem Aufwand verbunden. Vor allem dann, wenn ein Fragebogen zum ersten Mal ausgewertet wird müssen die entsprechenden Auswerterroutinen definiert und umgesetzt werden. Bei vorhandenem Auswerteschema ist eine einfache Auswertung der Fragebögen mit geringem Aufwand machbar.
Ergebnisse/Datenqualität	Die Ergebnisse des Fragebogens hängen stark von der Zusammensetzung der Proband:innen ab. Diese Zusammensetzung variiert abhängig vom Ort der Bewerbung des Fragebogens. Es besteht die Möglichkeit, dass nur eine gewisse Zielgruppe erreicht wird. Dieser Bias sollte in der Interpretation berücksichtigt werden.
Kosten	Die Kosten einer Befragung sind bei erstmaliger Durchführung insgesamt als mittel einzustufen. Bei wiederholter Durchführung sollten die Kosten, abgesehen von Personalkosten bei einer Vor-Ort-Befragung, relativ gering ausfallen.

Aufzeichnung personenbezogener Daten	<p>Bezüglich des Datenschutzes ist darauf zu achten, dass keine personenbezogenen Daten erfasst werden. Sozio-demographische Merkmale (Geschlecht, Alter, Wohnort, Qualifikation etc.) sind bei ausreichend großer Stichprobe je Erhebungskampagne aus datenschutzrechtlicher Sicht unproblematisch. Bei kleiner Stichprobe muss in der Erhebung auf Merkmale verzichtet werden, aus deren Kombination ein Rückschluss auf Einzelpersonen möglich wird. Der Aufwand für eine Umsetzung inkl. personenbezogener Daten ist für den gegenständlichen Fall eher nicht gerechtfertigt.</p>
Potenziale	<p>Eine Befragung bietet den Vorteil das subjektive Empfinden von Radfahrer:innen und ggf. anderen Verkehrsteilnehmenden auf dem zu untersuchenden Streckenabschnitt zu erfassen.</p>
Limitationen	<p>Die Akquise der Teilnehmenden direkt vor Ort ist schwierig und abhängig von Radfahrfrequenz und Haltepunkten (Ampeln, Vorrang geben, Stoppschilder, etc.). Bei der Verteilung über Interessensvertretungen (z. B. Radlobby) kann eine homogene Gruppe erreicht werden. Dadurch entsteht jedoch ein Bias in den Ergebnissen (interessierte, meist erfahrene Radfahrer:innen).</p>
Zusammenfassung	<p>Zusammenfassend kann man mit einer Befragung wichtige qualitative Informationen über einen Streckenabschnitt erlangen. Die Zusammensetzung der Befragten muss jedoch bei der Auswertung berücksichtigt werden.</p>

6 LITERATURVERZEICHNIS

- ADAC e.V., 2021. Fahrzeuge mit über 2 Meter Breite: Messwerte/ADAC Position. München. https://assets.adac.de/image/upload/v1573473524/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/Fahrzeugbreiten_hgw9tn.pdf [abgerufen am 21.05.2024].
- APASNORE, P., ISMAIL, K. & KASSIM, A. 2017. Bicycle-vehicle interactions at mid-sections of mixed traffic streets: Examining passing distance and bicycle comfort perception. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 141-148.
- BUNDESGERICHTSHOF 1975. Az. 4 StR 508/74, BGHSt 26, 73-79, Rn 10.
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ vom 03.05.1909 Neugefasst durch Bek. V. 5.3.2003 | 310, 919; zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 12.7.2024 | Nr. 233. Straßenverkehrsgesetz. StF: BGBl. Nr. 159/1960 (NR: GP IX RV 22 AB 240 S. 36. BR: S. 163.)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE, MOBILITÄT, INNOVATION UND TECHNOLOGIE 1960. Straßenverkehrsordnung. StVO.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG vom 26. Januar 2001 in der Fassung vom 08. November 2021 (Banz AT 15.11.2021 B1). Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung. VwV-StVO.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR vom 06. März 2013. Zuletzt geändert durch Art. 38 G v. 15.7.2024 | Nr. 236. Straßenverkehrsordnung. StVO.
- BÜRO FÜR MOBILITÄT & UNIVERSITÉ DE LAUSANNE 2024. *Guide Velo. Mesures de Promotion du Vélo.*
- DETLING, R., & GERBER, S. 2021. Bern, Muristrasse – Sofortmassnahmen Velo. Bern: Verkehrsplanung der Stadt Bern.
- DIE BUNDESVERSAMMLUNG DER SCHWEIZERISCHEN EIDGENOSSENSCHAFT vom 19. Dezember 1958, Stand 1. Mai 2024. Strassenverkehrsgesetz, SVG.
- DIE BUNDESVERSAMMLUNG DER SCHWEIZERISCHEN EIDGENOSSENSCHAFT vom 18. März 2022. Veloweggesetz. VWG.
- DOZZA, M. 2017. Crash risk: How cycling flow can help explain crash data. *Accident Analysis & Prevention*, 105, 21-29.
- DOZZA, M., SCHINDLER, R., BIANCHI-PICCININI, G. & KARLSSON, J. 2016. How do drivers overtake cyclists? *Accident Analysis & Prevention*, 88, 29-36.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) 2001. Verordnung über die Tempo 30 Zonen und die Begegnungszonen, 741.213.3, Stand 1. Januar 2023.
- FEIZI, A., MASTALI, M., VAN HOUTEN, R., KWIGIZILE, V. & OH, J.-S. 2021. Effects of bicycle passing distance law on drivers' behavior. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 145, 1-16.
- FENG, F., BAO, S., HAMPSHIRE, R. C. & DELP, M. 2018. Drivers overtaking bicyclists—An examination using naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 115, 98-109.
- FGSV 1998. *Merkblatt zur Wegweisenden Beschilderung für den Radverkehr.*
- FGSV 2002. *Hinweise zu, Radverkehr außerhalb städtischer Gebiete.* HRaS.
- FGSV 2005. *Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs.* HSRa.
- FGSV 2010. *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen.* ERA.
- FGSV 2012. *Hinweise zum Fahrradparken.*
- FGSV 2005. *Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs.* HSRa.
- FGSV 2010. *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen.* ERA.
- FGSV 2012. *Hinweise zum Fahrradparken.*

- FOURNIER, N., BAKHTIARI, S., VALLURU, K. D., CAMPBELL, N., CHRISTOFA, E., ROBERTS, S. & KNODLER, M. 2020. Accounting for drivers' bicycling frequency and familiarity with bicycle infrastructure treatments when evaluating safety. *Accident Analysis & Prevention*, 137, 105410.
- HANTSCHHEL, S. 2022. *Einflussfaktoren auf die Akzeptanz und die Verkehrssicherheit des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen*. PhD, Technische Universität Dresden.
- HAUENSTEIN, J., ECKERT, J., ZEILE, P. & MERK, J. 2023. The Effect of Overtaking Distances on the Stress Occurrence of Cyclists in Urban Areas. *REAL CORP 2023 Proceedings/Tagungsband*, 699-708.
- HENAO, A. & APPARICIO, P. 2022. Dangerous Overtaking of Cyclists in Montreal. *Safety*, 8.
- HUNTER, W. W., SRINIVASAN, R., THOMAS, L., MARTELL, C. A. & SEIDERMAN, C. B. 2011. Evaluation of Shared Lane Markings in Cambridge, Massachusetts. *Transportation Research Record*, 2247, 72-80.
- JÖRGENSEN, P. 2020. *Shared speed for safe transportation and sustainable cities - A study from a cyclist perspective on how traffic design can promote shared speed and the acceptance of mixed traffic*. MSc, Chalmers University of Technology.
- KANEDA, S., ASADA, S., YAMAMOTO, A., KAWACHI, Y. & TABATA, Y. A Hazard Detection Method for Bicycles by Using Probe Bicycle. 2014 IEEE 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops, 21-25 July 2014 2014. 547-551.
- KANG, L. & FRICKER, J. D. 2016. Sharing urban sidewalks with bicyclists? An exploratory analysis of pedestrian perceptions and attitudes. *Transport Policy*, 49, 216-225.
- KANTON ZÜRICHVD / BD / DS. *Richtlinie Velostandards 01.09.2021 (Version 1.0) 3/104*.
- KARNDACHARUK, A., WILSON, D. J. & DUNN, R. 2014. A Review of the Evolution of Shared (Street) Space Concepts in Urban Environments. *Transport Reviews*, 34, 190-220.
- KAY, J. J., SAVOLAINEN, P. T., GATES, T. J. & DATTA, T. K. 2014. Driver behavior during bicycle passing maneuvers in response to a Share the Road sign treatment. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 92-99.
- KIYOTA, M., VANDEBONA, U., KATAFUCHI, N. & INOUE, S. 2000. Bicycle and pedestrian traffic conflicts on shared pavements. *14th VeloCity International Conference*. Munich.
- KOPPERS, A., RUF, S., GERLACH, J., LEVEN, T., & HAGEMEISTER, C. 2021. Radfahren bei beengten Verhältnissen – Wirkung von Piktogrammen und Hinweisschildern auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit. Kurzbericht.
- KNOFLACHER, H. 2014. Untersuchung der Wirkungen von Fahrradpiktogrammen auf das Verhalten von Rad- und AutofahrerInnen. Klosterneuburg.
- KYRIAKOU, K., & RESCH, B. 2019. Spatial analysis of moments of stress derived from wearable sensor data. *Advances in Cartography and GIScience of the ICA*, 2, 1-8.
- KYRIAKOU, K., RESCH, B., SAGL, G., PETUTSCHNIG, A., WERNER, C., NIEDERSEER, D., LIEDLGRUBER, M., WILHELM, F., OSBORNE, T., PYKETT, J. 2019. Detecting Moments of Stress from Measurements of Wearable Physiological Sensors. *Sensors*, 19(17), 3805.
- KURATORIUM FÜR VERKEHRSSICHERHEIT, 2020. KfV - Sicher Leben #20, Doorung-Unfälle. Risiken des Radfahrens im Längsverkehr neben haltenden und parkenden Kfz. Eine Untersuchung verkehrstechnischer Lösungen

- LA MONDIA, J. J. & DUTHIE, J. C. 2012. Analysis of Factors Influencing Bicycle–Vehicle Interactions on Urban Roadways by Ordered Probit Regression. *Transportation Research Record*, 2314, 81-88.
- LAND BADEN-WÜRTTEMBERG vom 11. Mai 1992 (Gbl. S330. 683). Zuletzt geändert durch Gesetz vom 07.02.2023 (Gbl. S. 26) m.W.v. 11.02.2023. Straßengesetz Baden-Württemberg.
- LLORCA, C., ANGEL-DOMENECH, A., AGUSTIN-GOMEZ, F. & GARCIA, A. 2017. Motor vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: Analysis on speed and lateral clearance. *Safety Science*, 92, 302-310.
- MEHTA, K., MEHRAN, B. & HELLINGA, B. 2015. Evaluation of the Passing Behavior of Motorized Vehicles When Overtaking Bicycles on Urban Arterial Roadways. *Transportation Research Record*, 2520, 8-17.
- MINISTERIUM FÜR VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG 2017. *Musterlösungen für Radverkehrsanlagen in Baden-Württemberg*.
- MOSER, M., RESCH, B., & EHRHART, M. 2023. An Individual-Oriented Algorithm for Stress Detection in Wearable Sensor Measurements. *IEEE Sensors Journal*, 23, 19, 22845 – 22856.
- NEHMIZ, M., & GERBER, S. 2022. Bern, Papiermühlestrasse. Videobasierte Wirkungsanalyse. Bern: Verkehrsplanung Stadt Bern.
- NOLAN, J., SINCLAIR, J. & SAVAGE, J. 2021. Are bicycle lanes effective? The relationship between passing distance and road characteristics. *Accident Analysis & Prevention*, 159, 106184.
- OBERLANDESGERICHT HAMM 1992. AZ. 9 U 66/92.
- OPENBIKESENSOR CONTRIBUTORS, 2023: Bedienungsanleitung. <https://www.openbikesensor.org/docs/user-guide/> [abgerufen am 21.05.2024].
- PARKIN, J. & MEYERS, C. 2010. The effect of cycle lanes on the proximity between motor traffic and cycle traffic. *Accident Analysis & Prevention*, 42, 159-165.
- PETUTSCHNIG, A., REICHEL, S., MĚCHUROVÁ, K. & RESCH, B. 2022. An eDiary app approach for collecting physiological sensor data from wearables together with subjective observations and emotions. *Sensors*, 22, 16, 6120.
- PULUGURTHA, S. S. & THAKUR, V. 2015. Evaluating the effectiveness of on-street bicycle lane and assessing risk to bicyclists in Charlotte, North Carolina. *Accident Analysis & Prevention*, 76, 34-41.
- REICHENBACH, M. & AFFOLTER, R. (2003). *Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer*. Forschungsauftrag SVI 1999/35 (41/99). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. Bundesamt für Strassen.
- RUBIE, E., HAWORTH, N., TWISK, D. & YAMAMOTO, N. 2020. Influences on lateral passing distance when motor vehicles overtake bicycles: a systematic literature review. *Transport Reviews*, 40, 754-773.
- RVS 2020. *Planung und Entwurf von Innerortsstraßen*. RVS 03.04.12.
- RVS 2022. *Radverkehr*. RVS 03.02.13.
- SANDERS, R. L. 2016. We can all get along: The alignment of driver and bicyclist roadway design preferences in the San Francisco Bay Area. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 120-133.
- SHELL, J. 2007. *Möglichkeiten der Radverkehrsführung auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen*. MSc, Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft.
- SCHURIG, R. 2015. Straßenverkehrs-Ordnung. StVO: mit Anlagen zur StVO (jeweils bei den §§ 40 bis 43) und Allgemeiner Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO): Kommentar. Bonn: Kirschbaum Verlag.

- SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (VSS) 2022. *Statuten*. Zürich.
- SHACKEL, S. C. & PARKIN, J. 2014. Influence of road markings, lane widths and driver behaviour on proximity and speed of vehicles overtaking cyclists. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 100-108.
- STADT BERN, DIREKTION FÜR TIEFBAU VERKEHR UND STADTGRÜN 2020. *Masterplan Veloinfrastruktur Stadt Bern*.
- STADT BERN VERKEHRSPANUNG 2021. Anwendung von Velostreifen bei Engstellen in Mittellage. Bern: Stadt Bern.
- STADT SALZBURG, 2019. Pilotprojekt Mehrzweckstreifen Neutorgasse. con.sens verkehrsplanung zt gmbh, UML - Urbanes Mobilitätslabor Salzburg, Universität Salzburg Z-GIS im Auftrag der Stadt Salzburg, Abteilung für Verkehrsplanung.
- STADT ZÜRICH TIEFBAUAMT, VERKEHR UND STADTRAUM 2024. *Velostandards Stadt Zürich*. Steuerungsausschuss „Stadtverkehr 2025“ (Hrsg.).
- STEINER, R., RICKLI, P., SCHORI, K., FROSSARD, J.-L., GHIELMETTI, M., JÖRI, H., von HEBERSTREIT, B & WYSS, C. (2009). Forschungsauftrag Velomarkierungen. Bern: *Bundesamt für Strassen ASTRA*.
- STEWART, K. & MCHALE, A. 2014. Cycle lanes: their effect on driver passing distances in urban areas. *Transport*, 29, 307-316.
- UNITED NATIONS. Vienna Convention on Road Traffic, 8. November 1968, ratifiziert durch 86 Länder, in Kraft getreten am 21. Mai 1977.
- UNITED NATIONS. Vienna Convention on Road Signs and Signals, 8 November 1968, ratifiziert durch 74 Länder, in Kraft getreten am 6. Juni 1978.
- VERWALTUNGSGERICHTSHOF BADEN-WÜRTTEMBERG 2013. 8 S 1694/11.
- VON STÜLPNAGEL, R., HOLOGA, R. & RIACH, N. 2022a. Cars overtaking cyclists on different urban road types – Expectations about passing safety are not aligned with observed passing distances. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 89, 334-346.
- VON STÜLPNAGEL, R., PETINAUD, C. & LIßNER, S. 2022b. Crash risk and subjective risk perception during urban cycling: Accounting for cycling volume. *Accident Analysis & Prevention*, 164, 106470.
- WILKE, A., AUSSENDORF, J. & KOOREY, G. 2013. Assessment of the Effectiveness of Narrow Separators on Cycle Lanes. *IPENZ Transportation Group Conference*. Dunedin.

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Ziele und Methoden von RADBEST.	13
Abbildung 2: Optionen Radverkehrsführung in Deutschland abhängig von Fahrbahnbreite.	28
Abbildung 3: Optionen Radverkehrsführung in Österreich abhängig von Fahrbahnbreite.	29
Abbildung 4: Optionen Radverkehrsführung in der Schweiz abhängig von Fahrbahnbreite.	31
Abbildung 5: Zusammenhang von Radverkehrsführung, Verkehrsmenge und Geschwindigkeit in Deutschland.	33
Abbildung 6: Lösungsraum Mischverkehr und Schutzstreifen (DE) in Deutschland.	35
Abbildung 7: Stichprobe der Interviewpartner:innen nach Länder und Geschlecht (n=23).	37
Abbildung 8: Verteilung der Fachdomänen gemäß Selbstzuordnung der 23 Expert:innen (Mehrfachzuordnungen möglich).....	37
Abbildung 9: Häufigkeit der Nennung von Regelwerken über alle Länder der D-A-CH- Region hinweg.	38
Abbildung 10: Länderspezifische Häufigkeit der Nennung von Regelwerken.	40
Abbildung 11: Von Expert:innen erwähnte Lösungsstrategien für die Radverkehrsführung bei beengten Verhältnissen.....	41
Abbildung 12: Länderspezifische Auswertung der genannten Lösungsstrategien.	42
Abbildung 13: Nennung von Gründen für die Nicht-Realisierung von adäquaten Radverkehrsanlagen bei beengten Verhältnissen in der D-A-CH-Region.....	44
Abbildung 14: Nennung von Gründen für die Nicht-Realisierung von Lösungen nach Ländern.	46
Abbildung 15: Nennungen von erfolgreichen Lösungsstrategien bzw. Rahmenbedingungen für ebendiese in den drei Ländern der D-A-CH-Region.	49
Abbildung 16: Verwendete oder gewünschte Evidenzgrundlagen in den Ländern der D-A- CH-Region. Mehrfachnennungen möglich.	52
Abbildung 17: Nennung von Evidenzgrundlagen gegliedert nach Ländern.....	53
Abbildung 18: Systematische Literaturanalyse. Die Initialen stehen für die unabhängigen, involvierten Wissenschaftler:innen.	59
Abbildung 19: Anzahl der berücksichtigten Studien nach Publikationsjahr	60
Abbildung 20: Studiendesigns der berücksichtigten akademischen Studien.	60

Abbildung 21: Länder, in denen die Untersuchungsgebiete der berücksichtigten Studien liegen.....	61
Abbildung 22: Häufigkeit erhobener Metriken in den untersuchten 28 Studien.....	62
Abbildung 23: Ausgehend von der Sattelstütze und abzüglich der halben Lenkerbreite sowie des Außenspiegels des Kfz misst der OBS den Seitenabstand nach rechts und nach links (Quelle: Salzburg Research).....	86
Abbildung 24: Überholabstände in cm pro Teststrecke.	91
Abbildung 25: Überholabstände in cm pro Anlageart. (<i>*nicht in den untersuchten Teststrecken</i>).....	91
Abbildung 26: Überholabstände in cm pro zulässiger Höchstgeschwindigkeit.....	92
Abbildung 27: Überholabstände in cm pro Kernfahrbahnbreite.	92
Abbildung 28: Vergleich der Überholabstände in den drei Ländern bei möglichst einheitlichen Bedingungen.	93
Abbildung 29: Links) Überholabstände vor und nach der Markierung eines Schutzstreifens (DE) auf der Strecke Singen-Hohenkrähenstraße. Rechts) Umsetzung des Schutzstreifens (DE). (Quelle: Steinbeis Transferzentrum).....	95
Abbildung 30: Links) Überholabstände vor und nach der Markierung einer Piktogrammreihe (DE) auf der Strecke Singen-Hohenkrähenstraße. Rechts) Umsetzung dieser (DE). (Quelle: Steinbeis Transferzentrum).....	95
Abbildung 31: Oben) Überholabstände vor und nach der Ummarkierung und Temporeduktion auf der Georgstraße in Eisenstadt. Unten links) Mehrzweckstreifen (AT) mit 1,25 – 1,5 m Breite und einer Kernfahrbahn von 4,0 – 4,5 m (Quelle: KFV). Unten rechts) Umsetzung der Mehrzweckstreifen (AT) (ca. 2 m Breite) mit schmaler Kernfahrbahn (Kernfahrbahn ca. 3,0 m) (Quelle: Salzburg Research).....	96
Abbildung 32: Links) Überholabstände auf der Teststrecke Wien – Währinger Str. Rechts) Abschnitt auf der Teststrecke.(Quelle: con.sens verkehrsplanung).....	97
Abbildung 33: Überholabstände bei unterschiedlicher Markierung bei Mittelinseln.....	97
Abbildung 34: Holoscene Fahrrad (Quelle: Salzburg Research).	99
Abbildung 35: Beispiel LiDAR-Daten aufgenommen mit dem Holoscene Fahrrad. Sichtbar sind ein gelabeltes Kfz in grün, a) Säulen, b) Gehsteigkante, c) Kante zur Straßenbahn, d) das Koordinatensystem des Fahrrads (vgl. Abbildung 36) (Quelle: Salzburg Research).	100
Abbildung 36: Zum Vergleich Orthofoto derselben Szene (Quelle: Stadt Wien - ViennaGIS http://www.wien.gv.at/viennagis).	100

Abbildung 37: Definition des Hinterherfahrbereichs durch Aufspannen eines Trichters beim Holoscene Fahrrad.....	102
Abbildung 38: Minimale Überholabstände in cm pro Teststrecke.....	104
Abbildung 39: Minimale seitliche Abstände pro Teststrecke in Abhängigkeit von Gegenverkehr.....	104
Abbildung 40: Relative Geschwindigkeit des Kfz in km/h pro Teststrecke.....	105
Abbildung 41: Minimaler Abstand nach hinten in cm pro Teststrecke.....	105
Abbildung 42: Relative Geschwindigkeit des Kfz in km/h pro Teststrecke.....	106
Abbildung 43: Hinterherfahrzeiten pro Teststrecke.....	107
Abbildung 44: Hinterherfahrzeit pro Teststrecke in Abhängigkeit von der Anwesenheit von Gegenverkehr.....	107
Abbildung 45: Positionen der LiDAR-Sensoren auf der Testkreuzung Sterneckstraße – Linzer Bundesstraße. Der Pfeil symbolisiert den Überholvorgang, welches in Kapitel 3.5.3 beschrieben wird. Hintergrund: Spurgenaue HD-Karte (Quelle: Salzburg Research).	108
Abbildung 46: Visualisierung der detektierten und klassifizierten Objekte (blau: Kfz, violett: Zweirad, gelb: Fußgänger:in) (Quelle: Salzburg Research).....	109
Abbildung 47: Systemüberblick der stationären LiDAR Sensorik (Quelle: Salzburg Research).....	109
Abbildung 48: Definition der Phase des Vorbeifahrens „Passing Zone“.....	110
Abbildung 49: Analysierter Überholvorgang auf der Kreuzung Sterneckstraße – Linzer Bundesstraße. Hintergrund: Spurgenaue HD-Karte.....	111
Abbildung 50: Aufnahme der Miovision Scout Kamera auf der Währinger Straße in Wien. Durch die Unschärfe der Aufnahme sind keine Kennzeichen oder Gesichter erkennbar. (Quelle: con.sens verkehrsplanung).....	113
Abbildung 51: Montage einer MioVision Scout Kamera (Quelle: con.sens verkehrsplanung).....	114
Abbildung 52: Blickwinkel der Kamera an der Teststrecke Wien – Währinger Straße (Hintergrund: Stadt Wien - ViennaGIS http://www.wien.gv.at/viennagis).....	114
Abbildung 53: Links) Proband ausgestattet mit Humansensorik. Rechts) Zephyr BioHarness Brustgurt (Quelle: Universität Salzburg).....	118
Abbildung 54: Punkte der GPS-Trajektorien der humansensorischen Messungen in Puch – Halleiner Landesstr.....	120
Abbildung 55: Richtungsabhängige Hot-Spot Karten.....	121

Abbildung 56: Abweichungen des Stress-Scores im Vergleich zum durchschnittlichen Stress-Score pro Fahrtrichtung und Polygon.	122
Abbildung 57: Durchschnittlicher MOS Score pro Polygon.....	123
Abbildung 58: Anzahl der MOS je Meter je Polygon.....	123
Abbildung 59: Verhältnis MOS Positionen zu allen GPS-Positionen pro Polygon.....	124
Abbildung 60: MOS pro Polygon pro Sekunde.	124
Abbildung 61: Sicherheit und Komfort seitlicher Überholabstände.	130
Abbildung 62: Prinzipieller Lösungsansatz für Radfahren bei beengten Verhältnissen...	133
Abbildung 63: Präferenzlösung breite Schutz-/ Mehrzweck- /Radstreifen mit schmaler Kernfahrbahn bei 7,5 m Fahrbahnbreite.....	134
Abbildung 64: Breite Mehrzweck-/Schutzstreifen mit schmaler Kernfahrbahn mit 6,5 m Gesamtfahrbahnbreite.	135
Abbildung 65: Breite Mehrzweck-/Schutzstreifen mit schmaler Kernfahrbahn mit 9,0 m Gesamtfahrbahnbreite und beidseitigen Bäumen.	136
Abbildung 66: Präferenzlösung qualifizierter Mischverkehr.	139
Abbildung 67: Asymmetrische Radverkehrslösung	140
Abbildung 68: Radverkehrslösung bei punktuellen Engstellen.	141
Abbildung 69: Instrumente für Radverkehr bei beengten Verhältnissen.	143
Abbildung 70: Lösungsansätze für Radverkehr bei beengten Verhältnissen für unterschiedliche Fahrbahnbreiten.	144
Abbildung 71: Optionen für die Radverkehrsführung in Deutschland	144
Abbildung 72: Optionen für die Radverkehrsführung in der Schweiz.....	145
Abbildung 73: Optionen für die Radverkehrsführung in Österreich.....	145
Abbildung 74: Lückenschlüsse im Lösungsraum der Radverkehrsführung (exemplarische Darstellung für Deutschland).....	146

8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht rechtliche Grundlagen, Richtlinien und Empfehlungen in der D-A-CH-Region.	16
Tabelle 2: Glossar Radverkehr in D-A-CH-Region.	18
Tabelle 3: Suchbegriffe in deutscher und englischer Sprache (links) samt den daraus abgeleiteten Suchkonzepten (rechts).	58
Tabelle 4: 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).	58
Tabelle 5: Referenzen und Inhalte aus der grauen Literatur.	71
Tabelle 6: Theoretisch mögliche Kennwerte pro Überholphase.	80
Tabelle 7: Ausgewählte Teststrecken pro Land.	82
Tabelle 8: Anlagearten.	83
Tabelle 9: Anzahl der Überholvorgänge pro Teststrecke, sowie Minimalwert, Maximalwert, Mittelwert und Median des Überholabstands in cm.	90
Tabelle 10: Gemittelte Kennwerte pro Teststrecke.	103
Tabelle 11: Kennwerte des Überholvorgangs.	112
Tabelle 12: Fragen und Antwortmöglichkeiten der Befragung.	125
Tabelle 13: Kennwerte pro Erhebungsmethode (- nicht möglich, ✓ möglich, (✓) möglich, im Rahmen von RADBEST nicht durchgeführt, *1 siehe Kapitel 3.1)	158
Tabelle 14: Schematischer Überblick der mobilen und stationären Erhebungsmethoden.	163

9 ANHANG

Anhang 1 Lösungsstrategien

Anhang 2 Teststrecken

**Anhang 3 Fragebogen: Meta- und Zusatzinformationen von OBS-Test-
personen**

Anhang 4 Factsheets zur Befragung