

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen .....	4
2.1 Begriffe.....	4
2.2 Richtlinien für die Anlage von Schutzstreifen.....	4
2.2.1 Entstehung der Regeln für Fahrbahnen mit Schutzstreifen.....	5
2.2.2 Empfehlungen zur Änderung der Richtlinien .....	7
2.3 Einfluss von Schutzstreifen auf die Positionswahl von Radfahrenden .....	8
2.4 Verhalten von Kfz-Führenden bei Überholungen von Radfahrenden.....	9
2.4.1 Definitionen für „Überholabstand“ .....	9
2.4.2 Bewertung von Überholungen .....	10
2.4.3 Beobachtete Überholabstände an Straßen mit Schutzstreifen .....	12
2.4.4 Einfluss von Markierungen auf Überholabstände .....	14
2.4.5 Angenommene und abgelehnte Überholungen.....	15
2.5 Sicherheit von Radfahrenden bei Überholungen durch Kfz .....	16
3 Methodik.....	18
3.1 Breite Schutzstreifen für intuitiv sicheres Überholverhalten.....	18
3.2 Auswahl der Untersuchungsstrecken .....	19
3.3 Pleikartsförster Straße .....	21
3.3.1 Streckenbeschreibung – Verbindungsstraße mit einseitigem Radweg .....	21
3.3.2 Untersuchungsabschnitt – einseitiger Schutzstreifen auf 7,50 m breiter Zweirichtungsfahrbahn.....	22
3.4 Kirchheimer Weg – Einrichtungsfahrbahn mit veränderlichem Querschnitt ...	25
3.5 Messtechnik.....	28
3.5.1 Anpassung des Messwerkzeugs an Untersuchungsstrecken und Kamerastandorte .....	29
3.5.2 Messungen mit Bezug zur Streckengeometrie.....	31
3.5.3 Optimierung der Kalibrierung und Korrektur von Messungen auf der Gegenfahrbahn .....	32
3.6 Erhobene Daten bei der Auswertung der Videos .....	35
3.6.1 Überholungen auf der Zweirichtungsfahrbahn.....	36

---

3.6.2	Abgelehnte Überholungen.....	38
3.6.3	Erhebung der von Radfahrenden genutzten Verkehrsflächen .....	39
3.6.4	Laterale Positionen von Radfahrenden an einem festen Querschnitt .....	40
3.6.5	Überholungen auf der Einrichtungsfahrbahn mit variablem Straßenquerschnitt.....	40
3.6.6	Überholverhalten von breiten Kfz auf schmaler Restfahrbahn.....	40
3.6.7	Unterschiedene Fahrzeugtypen.....	41
3.7	Abgrenzung von Überholungen nach Situation im Gegenverkehr .....	42
3.8	Bemessungskriterium „angebotener Überholabstand“ .....	45
3.9	Kennwerte für Überholabstände .....	47
4	Ergebnisse aus den Beobachtungen in der Pleikartsförster Straße.....	49
4.1	Überholverhalten nach Situation im Gegenverkehr .....	49
4.2	Einfluss der Markierungen auf laterale Positionen bei Überholungen ohne Gegenverkehr.....	52
4.3	Einfluss des Gegenverkehrs auf laterale Positionen überholender Kfz.....	54
4.4	Positionswahl der Radfahrenden mit und ohne Schutzstreifen .....	56
4.5	Überholabstände.....	58
4.5.1	Vergleich der Markierungszustände.....	58
4.5.2	Vergleich mit anderen Studien .....	61
4.6	Laterale Positionen überholender Kfz und angebotene Abstände.....	64
4.7	Geschwindigkeiten überholender Kfz .....	67
4.8	Verkehrsraumnutzung der Radfahrenden .....	69
5	Ergebnisse aus den Beobachtungen im Kirchheimer Weg.....	71
5.1	Laterale Positionen überholender Kfz .....	71
5.2	Laterale Positionen überholter Radfahrender und Überholabstände .....	74
5.3	Überholverhalten breiter Kfz .....	76
5.4	Verkehrsraumnutzung der Radfahrenden .....	77
6	Ergebnisse der Analyse von Unfalldaten.....	79
6.1	Merkmale von Überholunfällen mit Radfahrerbeteiligung .....	79
6.2	Zusammenhänge zwischen Überholunfällen und Straßenraumgestaltung.....	80
7	Diskussion .....	86
7.1	Bewertung der Markierungszustände in der Pleikartsförster Straße .....	86
7.2	Bewertung der neuen Radverkehrsführung im Kirchheimer Weg.....	87
7.3	Empfehlung für die untersuchten unfallauffälligen Strecken .....	89

---

7.4	Allgemeine Empfehlungen .....	91
7.4.1	Neue Mindestbreite für Schutzstreifen .....	92
7.4.2	Empfehlungen für Einrichtungsfahrbahnen .....	93
7.4.3	Empfehlungen für Zweirichtungsfahrbahnen mit Schutzstreifen, die auf Überholungen von Radfahrenden bei Gegenverkehr ausgelegt sind .....	94
7.4.4	Explizites Befahrungsverbot von Schutzstreifen bei Überholungen von Radfahrenden .....	96
7.5	Weiterer Forschungsbedarf.....	97
7.5.1	Fahrbahnmarkierungen für 1,50 m angebotenen Abstand im 7,50 m- Querschnitt mit einseitigem Schutzstreifen .....	97
7.5.2	Breite Schutzstreifen mit schmalen Restfahrbahnen.....	99
8	Zusammenfassung und Ausblick .....	101
	Literaturverzeichnis.....	105
	Abbildungsverzeichnis .....	109
	Tabellenverzeichnis.....	112
	Anlagenverzeichnis .....	114
	Anlagen.....	115

## Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
bzw.	beziehungsweise
BAnz AT	Bundesanzeiger Amtlicher Teil
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BGBI	Bundesgesetzblatt
BGH	Bundesgerichtshof
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
i. d. F.	in der Fassung
Kfz	Kraftfahrzeug
Krad	Kraftrad
Lfd. Nr.	Laufende Nummer
Lkw	Lastkraftwagen
Nr.	Nummer
OLG	Oberlandesgericht
Pkw	Personenkraftwagen
RASt	Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen
Rf	Radfahrende
Rn	Randnummer
StVO	Straßenverkehrsordnung
ÜoG	Überholung ohne Gegenverkehr
ÜmG	Überholung mit Gegenverkehr
ÜmG-A	Überholung mit Gegenverkehr in Annäherung
ÜmG-u	Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr
VwV	Verwaltungsvorschrift
z. B.	zum Beispiel

# 1 Einleitung

Im Zuge der angestrebten Verkehrswende in Deutschland soll der Radverkehr gefördert werden. Um mehr Menschen dazu zu bewegen, das Fahrrad als Verkehrsmittel zu nutzen, muss eine attraktive Radverkehrsinfrastruktur angeboten werden. Ein wichtiges Kriterium für die Attraktivität von Radverkehrsanlagen ist die subjektive Sicherheitseinschätzung der Anlage (Schäfer et al., 2021). Auch wenn Radverkehrsanlagen mit mehr räumlicher Trennung vom Kfz-Verkehr bezüglich der subjektiven Sicherheit besser bewertet werden als Schutzstreifen, so ist eine Radverkehrsführung mit Schutzstreifen immer noch deutlich attraktiver als eine Führung im Mischverkehr ohne Radverkehrsanlage (Hardinghaus et al., 2019, Schäfer et al., 2020, Kipke und Ullmann, 2021). Außerdem sind Schutzstreifen durch ihre charakteristische Markierung auf der Fahrbahn für alle Verkehrsteilnehmenden gut sichtbar und können somit ein Mittel für Radverkehrsmarketing sein (Graf, 2020).

Ein entscheidender Vorteil von Radverkehrsführungen mit Schutzstreifen ist der geringere Flächenbedarf im Vergleich zu Radfahrstreifen oder Radwegen. Schutzstreifen sorgen also für mehr Möglichkeiten bei der Planung von Radverkehrsanlagen, insbesondere auch in bestehenden Straßen. Weitere Möglichkeiten entstehen durch asymmetrische Querschnitte: So kann beispielsweise ein Schutzstreifen auf der einen Seite der Fahrbahn mit einem Radweg auf der Gegenseite kombiniert werden. Für Querschnitte mit einseitigen Schutzstreifen auf Zweirichtungsfahrbahnen gibt es keine gesonderten Vorgaben in den Regelwerken: Sie werden analog der symmetrischen Querschnitte gebildet, obwohl es bei der Begegnung zweier Kfz durchaus eine Rolle spielt, ob die Schutzstreifen ein- oder beidseitig vorhanden sind (Hupfer, 2000, S. 43). Hier ist möglicherweise eine Ergänzung der Regelwerke notwendig.

Der geringere Platzbedarf von Schutzstreifen gegenüber anderen Radverkehrsanlagen wird dadurch erreicht, dass auf eine vollständige Trennung des Radverkehrs vom motorisierten Verkehr verzichtet wird: Kfz dürfen bei Bedarf freie Schutzstreifen mitbenutzen. Werden Radfahrende von Kfz überholt, muss – unabhängig von der Schutzstreifenmarkierung – der gesetzlich vorgeschriebene Mindestabstand eingehalten werden. Hier stehen Schutzstreifen in der Kritik: Auf Strecken mit Schutzstreifen wird häufig mit deutlich weniger als den vorgeschriebenen 1,50 m Seitenabstand überholt (Richter et al., 2019). Als Ursache werden Leitlinieneffekte genannt: Kfz-Führende orientieren sich beim Über-

holen an der Schutzstreifenmarkierung oder an den Leitlinien zwischen Fahrstreifen und halten dadurch weniger Abstand als notwendig und möglich (Ohm et al., 2015, Richter et al., 2019). Dass Schutzstreifen nach den gültigen Breitenvorgaben geringe Überholabstände begünstigen, ist nicht überraschend: die Regeln für Schutzstreifen stammen größtenteils aus der BAST-Studie von Hupfer (2000), die, je nach zulässiger Geschwindigkeit, Seitenabstände ab 0,60 m bzw. 0,80 m als ausreichend definiert.

Um das Problem geringer Überholabstände zu adressieren, empfehlen Richter et al. sowohl die Schutzstreifen als auch die restliche Fahrbahn zu verbreitern. Ein breiter Schutzstreifen allein könne den vorgeschriebenen Mindestabstand nicht garantieren, weil Radfahrende verschiedene und tendenziell mittige Positionen auf dem Schutzstreifen einnehmen. Durch diese Empfehlung erhöhen sich die notwendigen Fahrbahnbreiten für Schutzstreifen deutlich. Dadurch muss der Radverkehr auf mehr Strecken im Mischverkehr ohne explizite Radverkehrsanlage geführt werden. (Richter et al., 2019, S. 80–81)

Diese Arbeit steht also im Kontext der folgenden offenen Forschungsfragen:

- Können Schutzstreifen so angelegt werden, dass sie die vorgeschriebenen Überholabstände bewirken?
- Sind dafür Breitenvorgaben notwendig, mit denen Schutzstreifen ihre Bedeutung in der Praxis verlieren?
- Sind bei einseitigen Schutzstreifen auf Zweirichtungsfahrbahnen andere Vorgaben erforderlich als bei zweiseitigen Schutzstreifen?

Als ein Schritt zur Beantwortung dieser Fragen wurden im Rahmen dieser Arbeit neue Schutzstreifen nach einem neuen Bemessungskonzept angelegt und mittels Verkehrsbeobachtungen untersucht. Die konzeptionelle Änderung besteht darin, dass Schutzstreifen nicht mehr nur den physikalisch genutzten Raum von Radfahrenden kennzeichnen sollen, sondern den gesamten Raumbedarf der Radfahrenden – inklusive des Mindestabstands bei Überholungen durch Kfz. Dadurch wird der bekannte Leitlinieneffekt unkritisch: Kfz-Führende, die sich beim Überholen an der Schutzstreifenmarkierung orientieren, halten dann automatisch den vorgeschriebenen Mindestabstand zu rechts fahrenden Radfahrenden. Mit dem Konzept von breiten Schutzstreifen kann Radfahrenden ein Teil der Entscheidung über die Abstände, mit denen sie überholt werden wollen, zugestanden werden. Im Kontext des Straßenentwurfs würde also akzeptiert, wenn es aufgrund der Positionswahl der Radfahrenden auf einem breiten Schutzstreifen zu geringfügigen Unterschreitungen des vorgeschriebenen Mindestabstands kommt.

Die Arbeit untersucht zwei neue Radverkehrsanlagen in der Stadt Heidelberg. Diese sind ein 2 m breiter, einseitiger Schutzstreifen in der 7,50 m breiten Pleikartsförster Straße und eine Abfolge aus Radfahrstreifen und Schutzstreifen auf der Einrichtungsfahrbahn des Kirchheimer Wegs. Der Übergang des Radfahrstreifens in den Schutzstreifen ist notwendig, weil die Breite der Einrichtungsfahrbahn stetig von 5,75 m auf 4,40 m abnimmt. Ab dem Übergang dürfen 2,55 m breite Fahrzeuge Radfahrende nicht mehr überholen, weil sie dafür den vorgeschriebenen Mindestabstand unterschreiten müssten. Einen Hinweis darauf gibt die Breite der Restfahrbahn, die für solche Fahrzeuge nicht ausreicht.

Auf den genannten Strecken wird mittels Videoaufnahmen das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden qualitativ und quantitativ erfasst. Damit werden folgende Fragestellungen untersucht:

- Wie verhalten sich Verkehrsteilnehmende in Überholsituationen in der Pleikartsförster Straße? Welche Effekte hat dabei die neue Markierung?
- Lässt sich im Kirchheimer Weg durch die Notwendigkeit, eine Schutzstreifenmarkierung zu überfahren, auf ein faktisches Überholverbot hinweisen?
- Welchen Einfluss haben Typ und Breite der Radverkehrsanlage auf die Wahl der Position von Radfahrenden?
- Welche Verkehrsflächen nutzen Radfahrende? Sind die neuen Radverkehrsanlagen attraktiv genug, um regelwidrige Seitenraumbenutzung zu verhindern?
- Lassen sich aus Unfalldaten auf den untersuchten und vergleichbaren Strecken in Heidelberg Zusammenhänge zwischen Straßenraumgestaltung und der Gefährdung von Radfahrenden durch überholende Kraftfahrzeuge erkennen?

Aus den so gewonnenen Erkenntnissen werden – soweit möglich – allgemeine Empfehlungen für den Entwurf von Straßen mit Schutzstreifen abgeleitet.

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden Begriffe definiert (Abschnitt 2.1), die aktuell gültigen Regeln für Schutzstreifen, deren Entstehung und Forderungen nach Änderungen aufgeführt (Abschnitt 2.2) und der aktuelle Forschungsstand zu Verkehrsverhalten und Sicherheit auf Straßen mit Schutzstreifen dargestellt (Abschnitte 2.3 bis 2.5).

### 2.1 Begriffe

Schutzstreifen sind Teil der Fahrbahn. In den hier untersuchten Fällen liegen die Schutzstreifen angrenzend an den Fahrbahnrand.<sup>1</sup> Der Bereich zwischen den Schutzstreifen bzw. einem einseitigen Schutzstreifen und dem gegenüberliegenden Fahrbahnrand wird als „Restfahrbahn“ bezeichnet (RASt:2006, S. 83–84). Ist die Fahrbahn in Fahrstreifen aufgeteilt, so ist der Schutzstreifen jeweils auch Teil eines Fahrstreifens. Der Teil des Fahrstreifens ohne den Schutzstreifen soll hier als „Restfahrstreifen“ bezeichnet werden.

Schutzstreifen werden von der Restfahrbahn durch Leitlinien abgegrenzt. Die Aufteilung von Zweirichtungsfahrbahnen in Fahrstreifen erfolgt in der Regel ebenfalls durch Leitlinien. Zur Unterscheidung dieser Leitlinien wird erstere als „Schutzstreifenmarkierung“ und jene in der Mitte der Fahrbahn als „Mittellinie“ bezeichnet. Ist auf einer Fahrbahn keine Mittellinie markiert, so wird die Restfahrbahn, entsprechend der schweizerischen Definition, auch als „Kernfahrbahn“ bezeichnet (Zweibrücken, 2000, S. 12).

### 2.2 Richtlinien für die Anlage von Schutzstreifen

Nach den geltenden Regelwerken, den Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt:2006, S. 83–84) und den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA:2010, S. 22–23), sind Schutzstreifen mindestens 1,25 m und in der Regel 1,50 m breit. Die Restfahrbahn von Zweirichtungsfahrbahnen muss mindestens 4,50 m, von Einrichtungsfahrbahnen 2,25 m breit sein. Die ERA empfehlen bei hohen Verkehrsstärken auf Zweirichtungsfahrbahnen eine Restfahrbahnbreite von mindestens 5 m. Mittellinien dürfen auf Restfahrbahnen unter 5,50 m Breite nicht markiert werden.

---

<sup>1</sup> Schutzstreifen in Mittellage und Schutzstreifen neben Sicherheitstrennstreifen zu angrenzenden Parkständen sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Des Weiteren nennt die ERA Bereiche von Kfz-Verkehrsstärken, in denen Schutzstreifen auf zweistreifigen Straßen empfohlen werden können. Bei 50 km/h zulässiger Höchstgeschwindigkeit liegen diese zwischen ca. 400 und 1000 Kfz/h in der Spitzenstunde. Bei 30 km/h kann die Verkehrsbelastung bis zu 1800 Kfz/h betragen (ERA:2010, S. 18–19). Dabei darf die Schwerverkehrsstärke 1000 Kfz/Tag nicht übersteigen.

In den Beispielen und Abbildungen von RAS<sub>t</sub> und ERA werden auf Zweirichtungsfahrbahnen nur Querschnitte mit beidseitigen Schutzstreifen genannt bzw. dargestellt. Einseitige Schutzstreifen sind aber zulässig: „Für die Führung des Radverkehrs (...) kann es auch zweckmäßig sein, (...) für die beiden Fahrtrichtungen unterschiedliche Radverkehrsanlagen anzuwenden“ (RAS<sub>t</sub>:2006, S. 82–83). Ein Querschnitt mit einseitigem Schutzstreifen kann also erstellt werden, indem die vorhandenen Fahrbahnteile mit ihren jeweiligen Maßen zusammengestellt werden. Ein einseitiger Schutzstreifen mit Regellaß erfordert also beispielsweise Fahrbahnbreiten von 6 m oder mehr.

### 2.2.1 Entstehung der Regeln für Fahrbahnen mit Schutzstreifen

Schutzstreifen wurden eingeführt mit dem Ziel, mehr Möglichkeiten zu schaffen, wie Radverkehr auf der Fahrbahn geführt werden kann. Gegenüber der Führung im Mischverkehr ohne Radverkehrsanlagen hat der Schutzstreifen den Vorteil, dass Radfahrenden ein explizites Angebot gemacht wird – daher der früher verwendete Begriff „Angebotsstreifen“.<sup>2</sup> Im Vergleich mit Radfahrstreifen haben Schutzstreifen den Vorteil, dass sie auch auf Fahrbahnen markiert werden können, die zu schmal für Radfahrstreifen sind.

Der Breitenvorteil von Schutzstreifen entsteht dadurch, dass die strikte Trennung der Fahrzeugarten, die bei Radfahrstreifen besteht, aufgegeben wird. Der Schutzstreifen darf durch Kfz in bestimmten Fällen mitbenutzt werden. Als Ziel wird hierbei vorgegeben, dass der Schutzstreifen meistens nicht befahren wird – also meistens die gleiche räumliche Trennung bewirkt, die ein Radfahrstreifen vorschreibt. Dies soll dadurch erreicht werden, dass die Restfahrbahn für häufige Begegnungen von Kfz – typischerweise die Begegnung zweier Pkw – ausreicht. Bei anderen Begegnungen muss und darf auf den Schutzstreifen ausgewichen werden. Dabei dürfen Radfahrende nicht gefährdet werden. (Hupfer, 2000, RAS<sub>t</sub>:2006, ERA:2010)

---

<sup>2</sup> Erst die StVO-Novelle 1997 (24. StVRÄndV) führt den Begriff „Schutzstreifen“ in der heutigen Bedeutung ein. Davor wurden Schutzstreifen als „Angebotsstreifen“ oder „Suggestivstreifen“ bezeichnet (Hupfer, 2000, S. 7; Zweibrücken, 2000, S. 12).

Zur Umsetzung dieser Idee können theoretisch die Mindestbreiten für Fahrbahnen mit Schutzstreifen aus Verkehrs- und Sicherheitsräumen berechnet werden. Zum Zeitpunkt der ersten Verwendung von Schutzstreifen waren die Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV:1993) gültig. Nach diesem Regelwerk ist der Verkehrsraum für die Begegnung zweier Pkw 4,75 m breit. Zusammen mit dem Verkehrs- und Sicherheitsraum zweier Radfahrenden, ergibt sich eine Mindestfahrbahnbreite von 7,25 m.<sup>3</sup> Hupfer (2000) berechnet – unter impliziter Auslassung des Sicherheitsraums zwischen den Pkw – für den gleichen Fall eine Mindestbreite von 7 m.<sup>4</sup> In den RAST:2006, dem Nachfolge-Regelwerk der EAHV:1993, werden anstatt 0,25 m 0,75 m Sicherheitsraum zwischen Radfahrenden und Kfz angesetzt. Mit diesem Maß wäre die theoretische Mindestbreite für eine Straße mit beidseitigen Schutzstreifen also 8,25 m.

Maßgeblich für die Bemessung von Fahrbahnen mit Schutzstreifen sind aber nicht theoretische Überlegungen, sondern die Ergebnisse aus Verkehrsbeobachtungen. Die Breitenvorgaben in RAST und ERA stimmen zu weiten Teilen mit den Empfehlungen aus der umfangreichen Studie von Hupfer (2000), „Einsatzbereiche von Angebotsstreifen“, überein. Daher wird davon ausgegangen, dass diese Studie die Überlegungen bei der Entstehung der Regelwerke widerspiegelt.

Hupfer (2000) bemisst die Breite der Schutzstreifen nach dem Verhalten von Radfahrenden, die ohne Beeinflussung durch andere Verkehrsteilnehmenden auf den Schutzstreifen fahren. In diesen Situationen sollen Radfahrende nicht über die Schutzstreifenmarkierung hinausragen. Nach den Beobachtungen von Hupfer ist dieses Kriterium bei Schutzstreifenbreiten von 1,25–1,50 m in der Regel erfüllt. Für die notwendige Breite der Restfahrbahn wird der Begegnungsfall zweier Pkw bei leeren Schutzstreifen untersucht. Die Pkw-Führenden sollen dabei die Schutzstreifen inklusive Markierung nicht befahren. Ab einer Restfahrbahnbreite von 4,50 m sieht Hupfer die Häufigkeit, mit der Schutzstreifen nicht befahren werden, als ausreichend an. Erst im dritten Schritt werden die Abstände zwischen überholenden Kfz und überholten Radfahrenden überprüft. Als inakzeptabel

---

<sup>3</sup> Nach EAHV:1993 sind die Verkehrsräume von Pkw 2,25 m breit, jene von Radfahrenden 1 m. Dazu kommen drei „Breitenzuschläge“, dem äquivalent der heutigen Sicherheitsräumen zwischen Verkehrsräumen, von jeweils 0,25 m.

<sup>4</sup> Wortlaut der Herleitung: „Für das Vorbeifahren von Pkw an Radfahrern ist eine Fahrbahnbreite von mindestens 3,50 m erforderlich. Damit der Angebotsstreifen [Schutzstreifen] nur in wenigen Fällen überfahren werden muß, wäre daher eine Fahrbahnbreite von 7,00 m erforderlich. Bei diesen Mindestanforderungen wird [...] davon ausgegangen, daß gleichzeitig auf beiden Fahrstreifen das Überholen eines Radfahrers durch einen Pkw [...] erfolgt“ (Hupfer, 2000, S. 10)

werden dabei nur Überholungen mit Abständen unter 0,50 m betrachtet (siehe Abschnitt 2.4.2). Ab 0,60 m bzw. 0,80 m, je nach zulässiger Höchstgeschwindigkeit, gelten Abstände als sicher. Mit den genannten Schutzstreifen- und Restfahrbahnbreiten werden die angesetzten Kriterien auf fast allen der von Hupfer untersuchten Strecken erfüllt (siehe Abschnitt 2.4.3).

## 2.2.2 Empfehlungen zur Änderung der Richtlinien

Seit Schutzstreifen mit den heute üblichen Maßen etabliert und normiert wurden (siehe Abschnitt 2.2.1), haben einige Studien Änderungen der Richtlinien empfohlen. Diese Änderungen zielen entweder auf größere Überholabstände oder mehr Einsatzmöglichkeiten für Schutzstreifen.

Um Schutzstreifen auch auf schmaleren Fahrbahnen markieren zu können, schlagen Kaulen et al. (2013, S. 65–68) vor, beidseitige Schutzstreifen auch mit Kernfahrbahnen ab 4,10 m Breite zu markieren. Dabei müssen Überholungen mit – nach der Definition der Autoren – „kritischen“ Abständen unter 1 m in Kauf genommen werden (siehe Abschnitte 2.4.2 und 2.4.3).

Um größere als die von ihnen beobachteten Überholabstände zu erreichen (siehe Abschnitt 2.4.3), fordern Kipke und Ullmann (2021, S. 102–103) eine Mindestbreite von 1,50 m für Schutzstreifen. Aus dem gleichen Grund fordern Richter et al. (2019, S. 80–81) mindestens 1,85 m breite Schutzstreifen. Aus der Beobachtung, dass Kfz-Führende ihren Fahrstreifen beim Überholen von Radfahrenden in der Regel nicht verlassen, fordern Richter et al. außerdem, dass auch breiten Fahrzeugen ein Bewegungsspielraum innerhalb des Fahrstreifens zum Ausweichen beim Überholen verbleiben soll. Auch Restfahrstreifen neben Schutzstreifen sollen daher mindestens 3,25 m breit sein. Mit der Begründung, dass Radfahrende dazu tendieren, mittig in ihren Radverkehrsanlagen zu fahren (siehe Abschnitt 2.3) bzw. variierende Positionen einzunehmen, seien breite Schutzstreifen allein nicht ausreichend, um den rechtlich vorgeschriebenen Mindestabstand von 1,50 m bei allen Überholungen sicherzustellen. Damit Kfz-Führende im Begegnungsfall Pkw-Pkw Schutzstreifen weniger häufig befahren, sollen Kernfahrbahnen mindestens 5 m breit sein. Aus diesen Forderungen ergeben sich für Zweirichtungsfahrbahnen mit beidseitigen Schutzstreifen Gesamtbreiten von 10,20 m mit Mittellinie bzw. 8,70 m ohne Mittellinie.

Nach RASSt:2006 und ERA:2010 ist die Mindestbreite für eine Fahrbahn mit zweiseitigen Schutzstreifen 7 m. Mit den vorgeschlagenen Änderungen würde sich dieses Maß entweder auf 6,60 m reduzieren oder auf 8,70 m erhöhen.

### 2.3 Einfluss von Schutzstreifen auf die Positionswahl von Radfahrenden

Während Radfahrende von Kfz überholt werden, fahren sie näher am Fahrbahnrand als ohne eine solche Überholung. Mit Schutzstreifen<sup>5</sup> werden Unterschiede zwischen der „beeinflussten“ und „unbeeinflussten“ Positionswahl der Radfahrenden von im Schnitt 0,09–0,23 m gemessen (Zweibrücken, 2000, S. 48–53). Ohne Schutzstreifen fällt dieser Unterschied größer aus. Durch die Schutzstreifen weichen Radfahrende also bei Überholungen weniger weit nach rechts aus. Dies bestätigen Vergleiche der mittleren Abstände vom Fahrbahnrand vor und nach der Anlage von Schutzstreifen: Dietiker et al. (2012, S. 67) messen Mediane der Positionen, die mit Schutzstreifen 0,05–0,15 m weiter links liegen.

Mehrere Studien untersuchen auch laterale Positionen der Radfahrenden relativ zur Breite der Schutzstreifen. Dabei werden jeweils alle Radfahrenden an einem bestimmten Querschnitt erfasst – und somit meist ohne Einfluss durch überholende Kfz. Bei Schutzstreifen mit Breiten im Bereich von 1,25 m bis 1,50 m<sup>6</sup> und ohne angrenzende Parkstände liegt der Median der Radpositionen am oberen Ende des Breitenbereichs in etwa in der Mitte des Schutzstreifens, am unteren Ende des Bereichs eher links der Mitte (Hupfer, 2000, S. 35–36, Kaulen et al., 2013). Auf den von Richter et al. (2019, S. 61–62) untersuchten Schutzstreifen mit Breiten von unter 1,50 m bis über 1,85 m fahren Radfahrende „mittig“. Als Grundlage dieser Aussage ist aber nur ein Histogramm mit jeweils 0,50 m breiten Positionsklassen angegeben.

Radfahrende fahren also mit Schutzstreifen in der Regel weiter links als ohne Schutzstreifen. Bei 1,50 m breiten Schutzstreifen liegen die Mediane der unbeeinflussten Radpositionen tendenziell in der Mitte der Schutzstreifen, bei schmalere Schutzstreifen eher links

---

<sup>5</sup> In den beiden schweizerischen Studien von Zweibrücken (2000) und Dietiker et al. (2012) werden „Radstreifen“, d.h. das schweizerische Äquivalent des deutschen Schutzstreifens, untersucht.

<sup>6</sup> Hupfer (2000) misst die Schutzstreifenbreiten inklusive Markierung, vermutlich weil an einigen der untersuchten Strecken Breitstriche als Schutzstreifenmarkierung markiert waren. Im Gegensatz dazu wird hier angenommen, dass die Leitlinie von Schutzstreifen – wie bei Leitlinien üblich (RMS-1:1993, S. 12) – mittig auf die Grenze zwischen Schutzstreifen und Restfahrbahn markiert ist.

der Mitte. Ob sich dieser Trend bei breiteren Schutzstreifen fortsetzt, ist nicht abschließend geklärt.

## 2.4 Verhalten von Kfz-Führenden bei Überholungen von Radfahrenden

Bevor die auf Straßen mit Schutzstreifen gemessenen Überholabstände zusammengetragen werden (Abschnitt 2.4.3), werden zunächst die von den Studien verwendeten Definitionen und Bewertungsmaßstäbe für Überholabstände aufgeführt (Abschnitte 2.4.1 und 2.4.2). Danach folgen zwei Abschnitte zu bekannten Faktoren mit Einfluss auf Überholabstände (Abschnitte 2.4.4 und 2.4.5).

### 2.4.1 Definitionen für „Überholabstand“

Der seitliche Abstand von überholenden Kfz und überholten Radfahrenden wird in verschiedenen Publikationen unterschiedlich definiert: Als Überholabstände werden sowohl Reifenabstände als auch Seitenabstände angegeben. Letztere können mit Videokameras nicht direkt erfasst werden und müssen daher aus den Reifenabständen berechnet werden. Diese Umrechnung erfolgt ebenfalls nicht einheitlich.

Für die Sicherheit von überholten Radfahrenden ist der Seitenabstand zum überholenden Kfz relevant. Dieser bezeichnet den minimalen lateralen Abstand – also quer zur Fahrtrichtung gemessen – zwischen den am weitesten herausragenden Teilen der beiden Beteiligten. Bei Radfahrenden ist dies der Lenker oder Arm der Radfahrenden, bei Kfz der Spiegel. Wird ein Radfahrer von einem Kfz-Führenden ohne Seitenabstand überholt, kommt es zu einer seitlichen Berührung und infolgedessen meist zu einem Sturz des Radfahrenden.

Der Seitenabstand kann bei Erhebungen mit Videokameras nicht direkt erfasst werden. Stattdessen werden in der Regel Abstände zwischen den Reifen der Fahrzeuge gemessen. Aus diesen kann der Seitenabstand abgeschätzt werden. Mit der halben Breite eines Radfahrers von ca. 30 cm (EAHV:1993), des Überhangs eines Pkw-Spiegels von ca. 12 cm (RBSV:2020)<sup>7</sup> und dem weitestgehend unbekanntem Maß, um die Pkw-Räder nach innen versetzt sind, ergibt sich ein Wert von ca. 45 bis 50 cm. Eine exakte Berechnung ist

---

<sup>7</sup> In den aktualisierten „Richtlinien für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ (RBSV) von 2020 wird die Breite des Pkw-Bemessungsfahrzeuges ohne Spiegel als 1,89 m und mit Spiegel als „ca. 2,13 m“ angegeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Differenz von 24 cm gleichmäßig auf beide Außenspiegel verteilt.

Tabelle 1: Maße, die in den jeweiligen Publikationen als seitliche Abstände bei Überholungen angegeben werden

<b>Publikation</b>	<b>Überholabstände angegeben als ...</b>
Hupfer, 2000	Seitenabstände („Nettoabstand“, „Verkehrsteilnehmer-Abstand“), berechnet als Reifenabstand minus 0,50 m (S. 31)
Zweibrücken, 2000	Reifenabstände (S. 13)
Reichenbach und Affolter, 2003	Klassifizierte Werte (Anteil kritischer Überholungen, siehe Tabelle 2)
Dietiker et al., 2012	Reifenabstände (S. 67)
Kaulen et al., 2013	Seitenabstände („relevanter Netto-Abstand“), berechnet als Reifenabstand minus 0,50 m (S. 38)
Ohm et al., 2015	Reifenabstände („Überholabstand“, S. 12); für den Vergleich mit den rechtlich geforderten Abständen teilweise in „lichte Abstände“ (minus 0,45 m) umgerechnet (S. 63–64)
Langer, 2016	Seitenabstände ohne Berücksichtigung der Kfz-Spiegel, berechnet als Reifenabstand minus 0,30 m (S. 49–50)
Richter et al., 2019	Seitenabstände, berechnet aus laserbasierten Abstandsmessungen und Korrekturfaktoren für die Außenspiegel der überholenden Pkw (S. 66)

aufgrund der Schwankungen in den individuellen Maßen der Fahrzeuge bzw. Radfahrenden nicht möglich. Insbesondere bei Kfz mit breiteren Spiegeln ergeben sich deutlich abweichende Ergebnisse. Mit diesem Argument wird in einigen Publikationen auf die Umrechnung in Seitenabstände verzichtet. Stattdessen werden die erfassten Reifenabstände aufgeführt. Dies kann zu Fehlinterpretationen der Studienergebnisse führen.

In dieser Arbeit werden Überholabstände immer als Seitenabstände angegeben. Reifenabstände werden dabei nach der Formel  $\text{Reifenabstand} - 0,45 \text{ m}$  umgerechnet (siehe auch Abschnitt 3.6.1). Tabelle 1 führt die in den Publikationen angegebenen Maße und deren Berechnung im Einzelnen auf.

#### 2.4.2 Bewertung von Überholungen

Bei der Bewertung des Überholgeschehens zwischen Kfz und Radfahrenden auf einer Straße steht vor allem die Sicherheit der Radfahrenden im Mittelpunkt. Um diese zu quantifizieren, werden in Publikationen der Überholabstand und evtl. die Geschwindigkeit der überholenden Kfz betrachtet.

Tabelle 2: Bewertungen von Überholabständen in Publikationen aus dem Bereich Verkehrswesen

Publikation	Bewertung von Überholabständen	
Hupfer, 2000, S. 45	$\leq 0,50$ m „unsicher“	$\geq 0,60$ m „sicher“ bei 30 km/h $\geq 0,80$ m „sicher“ bei 50 km/h
Zweibrücken, 2000, S. 54		1,05 m „noch akzeptabel“ $\geq 1,20$ m „groß“
Reichenbach und Affolter, 2003	$< 0,65$ m „kritisch“ bei 30 km/h $< 0,75$ m „kritisch“ bei 50 km/h <sup>8</sup>	
Alrutz et al., 2009, S. 41	$\leq 1$ m „kritisch“	
Kaulen, Reintjes und Dudde, 2013, S. 31–33, Kipke und Ullmann, 2021, S. 28	$\leq 0,60$ m „unsicher“ $\leq 1,00$ m „kritisch“	$\geq 1,00$ m „bedingt sicher“ $\geq 1,50$ m „sicher“
Ohm et al., 2015, S. 64		1,50 m „teilweise von der Rechtsprechung gefordert“
Langer, 2016, S. 83		„rechtlich geforderte Werten in Höhe von 1,50 m bis 2,00 m“
Richter et al., 2019, S. 80		1,50 m ist „allzeit einzuhalten“

Die Einschätzung, welche Abstände bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz angemessen sind, hat sich im Lauf der Zeit gewandelt. In der Straßenverkehrs-Ordnung ist ein „ausreichender Seitenabstand“ vorgeschrieben (§5 Abs. 4 Satz 2 StVO). Seit der StVO-Novelle 2020 (54. StVRÄndV) ist der „ausreichende Seitenabstand“ erstmals auch in der Verordnung quantifiziert: Bei Überholung von Radfahrenden innerorts sind mindestens 1,50 m Seitenabstand erforderlich (§5 Abs. 4 Satz 3 StVO). Zuvor musste der Begriff „ausreichend“ durch Gerichte interpretiert werden. In einem Urteil des OLG Hamm wurde 1992 ebenfalls erstmals 1,50 m Seitenabstand gefordert (OLG Hamm 9. Zivilsenat, 10. November 1992). Vorher wurden 1 m als ausreichend angesehen (BGH, 30. Juni 1959).

<sup>8</sup> Reichenbach und Affolter (2003) definieren Überholungen als kritisch, wenn die Reifenabstände die Soll-Werte der schweizerischen Norm für den Entwurf von Straßenquerschnitten (SN 640 201) in der damals gültigen Fassung unterschreiten (S. 46). Bei 30 km/h ist der Soll-Wert für die Reifenabstände 1,10 m (S. 18), was einem Seitenabstand von 0,65 m entspricht. Bei 50 km/h sind die Soll-Werte unstetig – bis 50 km/h gilt ein Soll-Reifenabstand von 1,20 m, ab 50 km/h ein höherer Wert (S. 18). Die Autoren verwenden den Wert „bis 50 km/h“, weil sie bei einer beschilderten Geschwindigkeit von 50 km/h tatsächlich gefahrene Geschwindigkeiten von 50 km/h oder weniger annehmen (S. 41).

Das OLG Hamm begründet den notwendigen Seitenabstand damit, dass der Überholende stets das mögliche Ausschwenken von Radfahrenden, etwa beim Blick über die Schulter, berücksichtigen muss.

In einigen Publikationen aus dem Bereich Verkehrswesen werden auch Seitenabstände unter 1,50 m als ausreichend angesehen. Erst in den letzten Jahren wird den rechtlichen Vorgaben meist keine andere Einschätzung mehr entgegengesetzt (siehe Tabelle 2).

### 2.4.3 Beobachtete Überholabstände an Straßen mit Schutzstreifen

Bei den in diversen Studien untersuchten Strecken mit Schutzstreifen wird auf den meisten Strecken der vorgeschriebene Überholabstand von 1,50 m noch nicht einmal bei der Hälfte der Überholungen eingehalten. Für die Bewertung des Überholgeschehens sind aber weniger alle Überholungen, sondern vor allem jene mit geringen Abständen relevant. Aussagekräftiger als der Median der Überholabstände sind daher Angaben zu niedrigen Perzentilen.<sup>9</sup> Ist beispielsweise das 15%-Perzentil angegeben, so bedeutet dies, dass 15 % der Überholungen mit dem angegebenen Abstand oder weniger stattfinden. Oft sind diese Perzentile nur getrennt für Überholungen mit und ohne Gegenverkehr angegeben. Dies ist für eine Gesamtbewertung der Überholabstände wenig zielführend, da dafür nur das gesamte Aufkommen niedriger Überholabstände relevant ist. Das Gesamtperzentil lässt sich auch aus den beiden einzelnen Perzentilen nicht berechnen, selbst wenn die jeweilige Stichprobengröße angegeben ist. Weil die Abstände bei Überholungen mit Gegenverkehr in der Regel geringer sind als bei Überholungen ohne Gegenverkehr (Hupfer, 2000, Ohm et al., 2015, Langer, 2016), stellen die Kennwerte ohne Gegenverkehr zumindest eine obere Grenze für die gleichen Kennwerte über alle Überholungen dar. Das Problem insgesamt niedriger Überholabstände an Schutzstreifen kann also auch mit den Werten für Überholungen ohne Gegenverkehr veranschaulicht werden.

Die Ergebnisse bisheriger Studien zeigen, dass bei Überholungen der vorgeschriebene Abstand von 1,50 m häufig deutlich unterschritten wird. Bei 14 % von 5151 Überholungen eines Messfahrrades durch Kfz auf 16 Strecken mit Schutzstreifen in Berlin liegen die Überholabstände bei maximal 1,00 m (Richter et al., 2019, Berechnung siehe Anlage A-1.1). Langer (2016) erfasst mit einem anderen Messfahrrad 1464 Überholungen auf fünf Strecken mit 1,25–1,65 m breiten Schutzstreifen in Dresden. Dabei liegt das 25%-Perzentil

---

<sup>9</sup> Diese Angaben fehlen bei Zweibrücken (2000) und Dietiker et al. (2012).

der Überholabstände bei 0,95 m.<sup>10</sup> Ohm et al. beobachten 306 Überholungen von Radfahrenden auf 14 zweistreifigen Strecken mit Schutzstreifen (siehe Anlage A-1.2). Bei 15% der Überholungen ohne Gegenverkehr wird mit weniger als 0,97 m Abstand überholt (Ohm et al., 2015, S. 63). Mit Gegenverkehr liegt dieser Wert bei 0,87 m. Alle drei genannten Studien untersuchen Straßen, bei denen die Mindestbreiten nach den Regelwerken RASt und ERA eingehalten sind (siehe Abschnitt 2.2). Auf den drei von Kaulen et al. (2013) untersuchten Strecken mit regulär breiten zweiseitigen Schutzstreifen und schmaleren Kernfahrbahnen ab 4,10 m Breite liegt das 10%-Perzentil der Überholabstände ohne Gegenverkehr nur noch zwischen 0,70 m und 0,85 m (siehe Anlage A-1.3). Auf den 20 von Hupfer untersuchten Straßen mit beidseitigen Schutzstreifen, von denen nur ein Teil die Breitenvorgaben der heutigen Regelwerke einhalten, liegt das 10%-Perzentil der Überholabstände ohne Gegenverkehr zwischen 0,40 m und 1,10 m (Hupfer, 2000, S. 46–48).

Die Studienergebnisse zu Zweirichtungsfahrbahnen mit einseitigen Schutzstreifen zeigen ein ähnliches Bild. Auch hier liegen die niedrigen Perzentile der Überholabstände meist deutlich unter 1,50 m. Bei vier untersuchten Straßen von Ohm et al. (2015) liegt das 15%-Perzentil der Überholabstände zwischen 0,85 m und 1,00 m (siehe Anlage A-1.2). Bei den zwei Strecken von Hupfer (2000) liegt das 10%-Perzentil der Abstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr im Bereich 0,80–0,90 m (siehe Anlage A-1.4), bei den drei Strecken von Kaulen et al. (2013) sogar nur bei 0,50–0,75 m (siehe Anlage A-1.3). Bei allen untersuchten Strecken mit einseitigen Schutzstreifen entsprechen die Schutzstreifen- und Restfahrbahnbreiten den gültigen Regelwerken.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass auf Strecken mit den heute üblichen Schutzstreifen geringe Überholabstände auftreten. Nicht einmal die Kriterien für sichere Überholungen nach Hupfer (2000) je nach Geschwindigkeit mindestens 0,60–0,80 m (siehe Abschnitt 2.4.2), werden dabei durchgehend eingehalten. Für den heute als angemessen angesehenen Mindestabstand von 1,50 m ist also dringend eine Überarbeitung der Regelwerke notwendig.

---

<sup>10</sup> Dieser Wert ist berechnet aus den von Langer (2016) angegebenen Seitenabständen ohne Berücksichtigung der Kfz-Spiegel. Dafür wurde eine Spiegelbreite von 0,15 m angenommen (siehe auch Abschnitt 2.4.1).

#### 2.4.4 Einfluss von Markierungen auf Überholabstände

Die Abstände zwischen überholenden Kfz und überholten Radfahrenden steigen in der Regel mit der Fahrbahnbreite (Ohm et al., 2015, S. 64, Hupfer, 2000, S. 46–55). Dieser Zusammenhang ist wenig überraschend, da auf breiteren Fahrbahnen üblicherweise größere Maße für Schutzstreifen und Restfahrbahn gewählt werden. Der Einfluss der Schutzstreifenbreite allein wurde in den Studien nicht herausgearbeitet.

Bei ähnlichen oder gleichen Fahrbahnbreiten hat die Schutzstreifenmarkierung oft einen negativen Effekt auf die Überholabstände. Im Vergleich von zwei Streckenkollektiven mit und ohne Schutzstreifen beobachten Ohm et al. (2015, S. 63) bei Überholungen ohne Gegenverkehr auf den Strecken mit Schutzstreifen ein um 0,11 m niedrigeres 15%-Perzentil der Überholabstände. Bei den Überholungen mit Gegenverkehr besteht hingegen in beiden Kollektiven kein solcher Unterschied. Die Autoren begründen dies mit dem Leitlinieneffekt des Schutzstreifens: Überholende Kfz-Führende orientieren sich beim Überholen an der Schutzstreifenmarkierung und halten dadurch geringere Überholabstände.

Aussagekräftiger als der Vergleich verschiedener Strecken sind Untersuchungen, die Überholabstände an derselben Strecke vor und nach der Anlage eines Schutzstreifens erheben. Bei der von Ohm et al. (2015, S. 69) auf diese Weise untersuchte Strecke sinkt das 15%-Perzentil der Überholabstände ohne Gegenverkehr von 1,14 m auf 0,98 m. Dabei wurde ein einseitiger, 1,25 m breiter Schutzstreifen auf einer 6 m breiten Fahrbahn markiert. Auf einer von Kipke und Ullmann (2021, S. 95) untersuchten 8 m breiten Fahrbahn sinkt durch den neuen, 1,50 m breiten Schutzstreifen das 25%-Perzentil der Überholabstände von 1,50 m auf 1 m. Kaulen et al. (2013) führen zwar Vorher-Nachher-Untersuchungen an sieben Strecken durch, aber nur bei zweien konnten vorher und nachher wenigstens zehn Überholungen beobachtet werden. Bei einer dieser Strecken bleibt das 10%-Perzentil der Überholabstände unverändert bei 0,70 m, bei einer sinkt es von 0,95 m auf 0,70 m (siehe Anlage A-1.3). Zweibrücken (2000, S. 55) beobachtet in zwei Vorher-Nachher-Untersuchungen ebenfalls abnehmende Überholabstände. Geringe Veränderungen beobachten Hupfer (2000) in vier und Dietiker et al. (2012) in zwei Vorher-Nachher-Untersuchungen.

Einen weiteren negativen Einfluss auf Überholabstände können die Leitlinien zwischen Fahrstreifen haben. Richter et al. (2019, S. 67–68) beobachten, dass Kfz-Führende es vermeiden, ihren Fahrstreifen beim Überholen zu verlassen, selbst wenn dies die verkehr-

liche Situation zugelassen hätte. Dadurch entstehen insbesondere bei weiter links fahrenden Radfahrenden oder breiten Kfz geringe Überholabstände. Hupfer (2000) benennt ebenfalls markierte bzw. noch erkennbare Mittellinien als Ursache für geringe Seitenabstände beim Überholen ohne Gegenverkehr. Auf den betroffenen Straßen sind allerdings die Schutzstreifen mit 1,10 m Breite sehr schmal (siehe Anlage A-1.4).

Steht überholenden Kfz-Führenden mehr Raum zur Verfügung, so überholen sie Radfahrende mit tendenziell mehr Abstand. Dieses Ausweichverhalten kann durch Fahrbahnmarkierungen negativ beeinflusst werden: Orientieren sich Kfz-Führende an einer Leitlinie in Fahrbahnmitte oder der Leitlinie des Schutzstreifens anstatt nur an dem überholten Radfahrenden, so können dadurch geringere Abstände entstehen. Ob und wie diese negativen Leitlinieneffekte vermieden werden können, ist eine bisher unbeantwortete Frage.

#### 2.4.5 Angenommene und abgelehnte Überholungen

Trifft ein Kfz-Führender auf einen Radfahrenden, so kann er diesen entweder sofort überholen oder die Überholung zurückstellen und dem Radfahrenden vorerst folgen, z. B. bis sich eine bessere Gelegenheit für die Überholung ergibt. Insbesondere bei Situationen, in denen Radfahrende bei Gegenverkehr erreicht werden, kann man unterschiedliche Entscheidungen der Kfz-Führenden beobachten.

Da bei Gegenverkehr in der Regel mit weniger Abstand überholt wird, hat die Entscheidung für oder gegen Überholungen bei Gegenverkehr Auswirkungen auf die Überholabstände insgesamt. Ohm et al. (2015) untersuchen das Verhältnis zwischen „angenommenen“, also sofortigen Überholungen und „abgelehnten“, also zurückgestellten Überholungen bei Gegenverkehr zur Quantifizierung eines weiteren Effekts: Werden Radfahrende nicht unmittelbar überholt, sinken die Kfz-Durchschnittsgeschwindigkeiten. Dies wirkt sich auf die Verkehrsdichte und damit auf die Bewertung der innerstädtischen Verkehrsqualität nach HBS aus. Ohm et al. stellen fest, dass der Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr mit der Fahrbahnbreite steigt. Ein Einfluss von Schutzstreifen kann dabei nicht nachgewiesen werden.

Mit steigender Fahrbahnbreite gibt es also zwei Effekte mit gegenläufigem Einfluss auf die Überholabstände: Mit der Fahrbahnbreite steigen die Abstände bei Überholungen mit Gegenverkehr, gleichzeitig gibt es aber mehr solche Überholungen, die im Vergleich zu Überholungen ohne Gegenverkehr in der Regel geringere Abstände aufweisen. Welcher Effekt bei welcher Kfz-Verkehrsstärke überwiegt, ist allerdings nicht bekannt.

## 2.5 Sicherheit von Radfahrenden bei Überholungen durch Kfz

Dass die Unfallgefahr für Radfahrende durch größere Überholabstände sinkt, ist plausibel. Trotzdem wäre es erstrebenswert, diesen Zusammenhang nicht nur aus Überlegungen, sondern auch aus dem Unfallgeschehen ableiten zu können. Eine solche Analyse ist allerdings schwierig, da Überholabstände bei oder vor Unfällen in der Regel unbekannt sind.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwiefern Schutzstreifen, abgesehen von dem oft negativen Effekt auf Überholabstände (siehe Abschnitt 2.4.4), andere Effekte haben, die zu einer größeren Sicherheit von Radfahrenden bei Überholungen durch Kfz führen können. Die Unfallanalyse von Ohm et al. (2015, S. 37–39) lässt solche Effekte nicht erkennen: Bei gleicher Fahrbahnbreite liegt der Anteil an Längsverkehr-Unfällen mit Radfahrbeteiligung auf Strecken mit Schutzstreifen bei 15,3 %, auf Strecken ohne Schutzstreifen aber nur bei 11,6 %. Dabei ist allerdings unklar, welcher Anteil dieser Längsverkehr-Unfälle wiederum auf Überholunfälle entfallen. Für einen Teil der untersuchten Unfälle analysieren Ohm et al. (2015, S. 48–50) auch Unfalltexte und arbeiten „relevante Unfallkonstellationen“ heraus. Für die Unfallkonstellation „Kfz drängt Radfahrer beim Überholen ab“ ergibt sich keine bedeutenden Unterschiede zwischen Strecken mit und ohne Schutzstreifen. Auffällig ist dabei, dass der Fall einer seitlichen Berührung bei Überholung unter den 38 relevanten Unfallkonstellationen nicht vorkommt (Ohm et al., 2015, S. A-39). Dieser Fall scheint also in den 133 analysierten Unfallberichten nicht vorzukommen.

Die Unfallanalyse von Richter et al. (2019, S. 43–50) kann positive Effekte von Schutzstreifen auf die Sicherheit von Kfz-Rad-Überholungen ebenfalls nicht nachweisen: Der Anteil von Längsverkehr-Unfällen im untersuchten Kollektiv von Strecken mit Schutzstreifen liegt gleich hoch wie in einem Vergleichskollektiv mit verschiedenen Radverkehrsführungen. Beim Vergleich der Anteile an Unfallursachen ergibt sich bei der Gruppe ‚Fehler beim Überholen‘ ein leichter Vorteil bei Strecken mit Schutzstreifen gegenüber dem Vergleichskollektiv. Nimmt man jedoch die Unfallursache ‚Fehler beim Nebeneinanderfahren‘ mit dazu – bei diesen können Seitenabstände ebenfalls eine Rolle spielen – so verschwindet dieser Vorteil.

Schutzstreifen führen also nicht grundsätzlich zu einer höheren Sicherheit von Radfahrenden bei Überholungen durch Kfz. Für die Bedeutung der Überholabständen gibt es zumindest ein starkes Indiz: Richter et al. (2019, S. 44–45) erkennen, dass die Breite von Restfahrstreifen neben Schutzstreifen einen großen Einfluss auf den Anteil von Längs-

verkehr-Unfällen hat: Liegt diese Breite über 3,25 m, machen Längsverkehr-Unfälle 9 % der Unfälle aus. Bei Breiten unter 3,25 m liegt der Anteil bei 26 %. Schmalere Restfahrestreifen lassen aufgrund von Leitlinieneffekten geringere Überholabstände erwarten. Kann angenommen werden – Richter et al. machen dazu keine Angaben – dass die jeweiligen Anteile an Überholunfällen unter den Längsverkehr-Unfällen ähnlich ist, wäre der Zusammenhang zwischen Abständen zu überholten Radfahrenden und der Unfallgefahr nachgewiesen.

## 3 Methodik

### 3.1 Breite Schutzstreifen für intuitiv sicheres Überholverhalten

Um den Radverkehr zu fördern, ist es wichtig, dass Radfahrende sich ausreichend sicher auf Radverkehrsanlagen fühlen. Schutzstreifen liegen bezüglich der gefühlten Sicherheit deutlich über Führungen im Mischverkehr ohne explizite Radverkehrsanlage (Kipke und Ullmann, 2021). Dennoch muss bei der Bemessung von Straßen der Fokus vor allem auf die objektive Verkehrssicherheit gelegt werden, da Unfälle nicht zugunsten einer gefühlten Sicherheit in Kauf genommen werden sollten. Dabei spielen Radfahrende eine besondere Rolle, da sie, im Vergleich zu Fahrzeuginsassen, besonders vulnerabel sind.

Radfahrende können in verschiedenen Situationen durch den Kfz-Verkehr gefährdet werden. Die meisten Unfälle mit Kfz-Führenden als Hauptverursacher entstehen durch Konflikte mit einbiegendem, abbiegendem und ruhendem Verkehr (Alrutz et al., 2009, Ohm et al., 2015, Richter et al., 2019). Unfälle durch überholende Kfz spielen eine geringere Rolle. Die Sicherheit von Überholungen soll in dieser Arbeit dennoch als Hauptkriterium für die Bemessung von Schutzstreifen herangezogen werden, weil es einen plausiblen Zusammenhang zur Bemessung gibt: Bewirkt ein breiterer Schutzstreifen größere Überholabstände, führt dies zu geringeren Wahrscheinlichkeiten von Kollisionen, auch falls Radfahrende stark schwanken. Dieser Zusammenhang lässt sich ansatzweise auch im Unfallgeschehen nachweisen (siehe Abschnitt 2.5).

Andere Studien wenden zur Bemessung von Schutzstreifen zusätzlich weitere Kriterien an. Es wird untersucht, ob Radfahrende auf ansonsten leeren Fahrbahnen innerhalb des Schutzstreifen fahren und ob Kfz-Führende leere Schutzstreifen befahren (Hupfer, 2000, Kaulen et al., 2013, Richter et al., 2019). Diese Kriterien haben keinen nachgewiesenen oder plausiblen Einfluss auf die Verkehrssicherheit und werden daher in dieser Arbeit nicht herangezogen.

Die Grundidee dieser Arbeit ist es, mit der Markierung eines breiten Schutzstreifens den Platzbedarf eines Radfahrenden einschließlich des Sicherheitsraums zu kennzeichnen. Ist ein solcher Schutzstreifen markiert und orientieren sich überholende Kfz-Führende beim Überholen an der Schutzstreifenmarkierung, soll allein dadurch der vorgeschriebenen Überholabstand eingehalten werden. Die Leitlinie eines breiten Schutzstreifens soll Kfz-Führenden außerdem helfen einzuschätzen, ob der verbleibende Raum neben einem Rad-

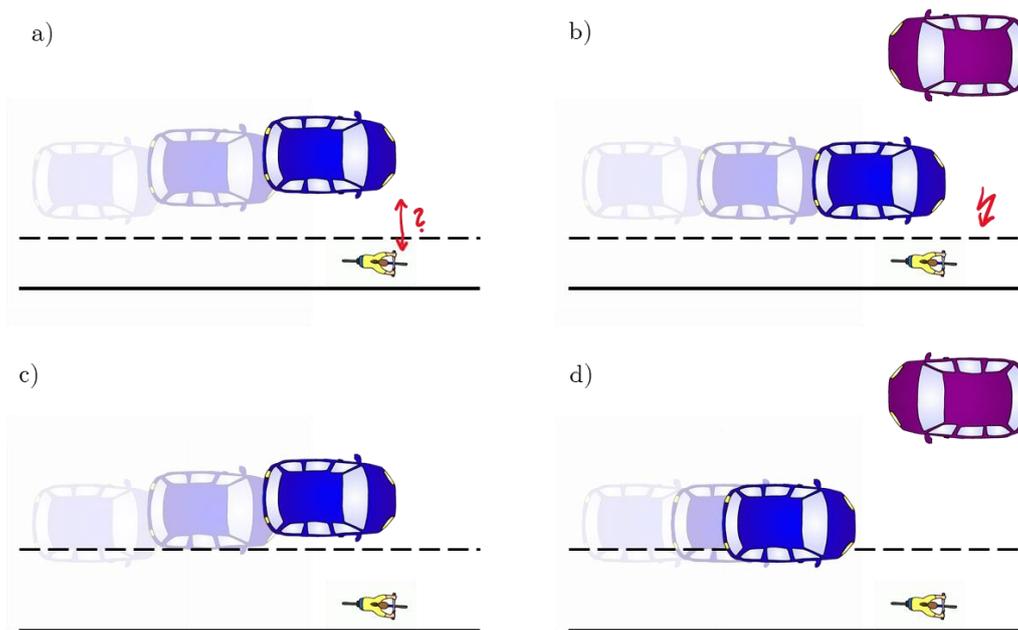


Abbildung 1: Verkehrssituationen mit verschiedenen breiten Schutzstreifen (nicht maßstabsgetreu): Bei Schutzstreifen mit heutigen Breiten muss der Überholabstand individuell geschätzt werden (a). Die Schutzstreifenmarkierung kann zu unzulässigen Überholungen verleiten (b). Bei breiten Schutzstreifen hilft die Markierung, den vorgeschriebenen Überholabstand einzuhalten (c) und den notwendigen Raum für Überholungen korrekt einzuschätzen (d). Quelle: Eigene Darstellung mit Clipart von Domaschke (13. Oktober 2014).

fahrenden für eine Überholung ausreicht oder ob z. B. Gegenverkehr erst abgewartet werden muss. Breite Schutzstreifen sollen also intuitiv sicheres Verhalten der Kfz-Führenden fördern.

Hingegen müssen Kfz-Führende auf Strecken mit den heute üblichen schmaleren Schutzstreifen den vorgeschriebenen Sicherheitsabstand zu Radfahrenden ohne Hilfestellung einhalten. Die Schutzstreifenmarkierung kann hier in die Irre führen, wenn sie suggeriert, dass dem Radfahrenden nur der Raum des schmalen Schutzstreifens zusteht (siehe Abbildung 1).

### 3.2 Auswahl der Untersuchungsstrecken

Für die vorliegende Arbeit wurden für zwei verschiedene Zwecke Untersuchungsstrecken auf innerörtlichen Straßen in der Stadt Heidelberg ausgewählt. Einerseits wurden Strecken gesucht, auf denen neue breite Schutzstreifen markiert werden können. Für diesen Zweck wurden zwei Strecken gefunden. Des Weiteren wurden 29 Streckenabschnitte mit und ohne Schutzstreifen ausgewählt, für die die Sicherheit von Überholungen anhand von

Unfalldaten untersucht werden soll (siehe Abschnitt 6). Für die Streckenabschnitte in beiden Kollektiven gelten folgende Auswahlkriterien:

- Die Strecke ist Teil des Hauptnetzes des Radverkehrs (Stadt Heidelberg, 2020, S. 259) oder erschließt wichtige innerstädtische Ziele wie Einzelhandel oder Schulen.
- Die Strecke hat eine Verbindungsfunktion im motorisierten Verkehr, sodass an Knotenpunkten entlang der Strecke Vorfahrt besteht oder diese angeordnet werden könnte. Dieses Kriterium stellt sicher, dass auf der Strecke ein Schutzstreifen markiert werden kann.

Bei der Suche nach Strecken, auf denen breite Schutzstreifen markiert werden können, galten weitere Einschränkungen. Auf den in Frage kommenden Strecken muss Bedarf an einem Schutzstreifen bestehen. Es soll also kein Schutzstreifen redundant zu bestehenden Radverkehrsanlagen angelegt werden. Außerdem sollen für die neuen Schutzstreifen keine bestehenden Radverkehrsanlagen, z. B. schmalere Schutzstreifen, entfernt werden. Wegen des dichten Netzes an Radverkehrsanlagen in der Stadt Heidelberg führte dies zu nur drei Kandidaten: Einen Streckenabschnitt der Pleikartsförster Straße (siehe Abschnitt 3.3), einen Abschnitt des Kirchheimer Wegs (siehe Abschnitt 3.4) und einen Abschnitt der Henkel-Teroson-Straße. Aufgrund des Unfallgeschehens in der Henkel-Teroson-Straße wurde ein Verkehrsversuch an dieser Stelle abgelehnt. Somit verblieben zwei Strecken für die Verkehrsverhaltensbeobachtungen auf Straßen mit breiten Schutzstreifen.

Auf den Streckenabschnitten im Kollektiv der Unfallanalyse muss jeweils mindestens ein Teil der Radfahrenden im Mischverkehr auf der Fahrbahn fahren – mit oder ohne Schutzstreifen. Abschnitte mit Radfahrstreifen oder Radwegen, die eine Nutzung durch alle Radfahrenden erwarten lassen, sind also ausgeschlossen, nicht aber Strecken mit freigegebenen Gehwegen oder umwegiger Führung über parallele Wege.

Unter den 29 Streckenabschnitten für die Unfallanalyse haben vier beidseitige Schutzstreifen, vier Abschnitte einseitige Schutzstreifen und 21 Abschnitte keine Schutzstreifen. Alle Schutzstreifen wurden vor dem Jahr 2016 angelegt, sodass mit den verfügbaren Unfalldaten von 2017–2020 keine Vorher-Nachher-Untersuchungen möglich waren. Die Strecken der Sicherheitsuntersuchung sind in Anlage A-2 aufgelistet.

### 3.3 Pleikartsförster Straße

Die erste Strecke für die Untersuchung breiter Schutzstreifen liegt im nördlichen Abschnitt der Pleikartsförster Straße (siehe Abbildung 2).

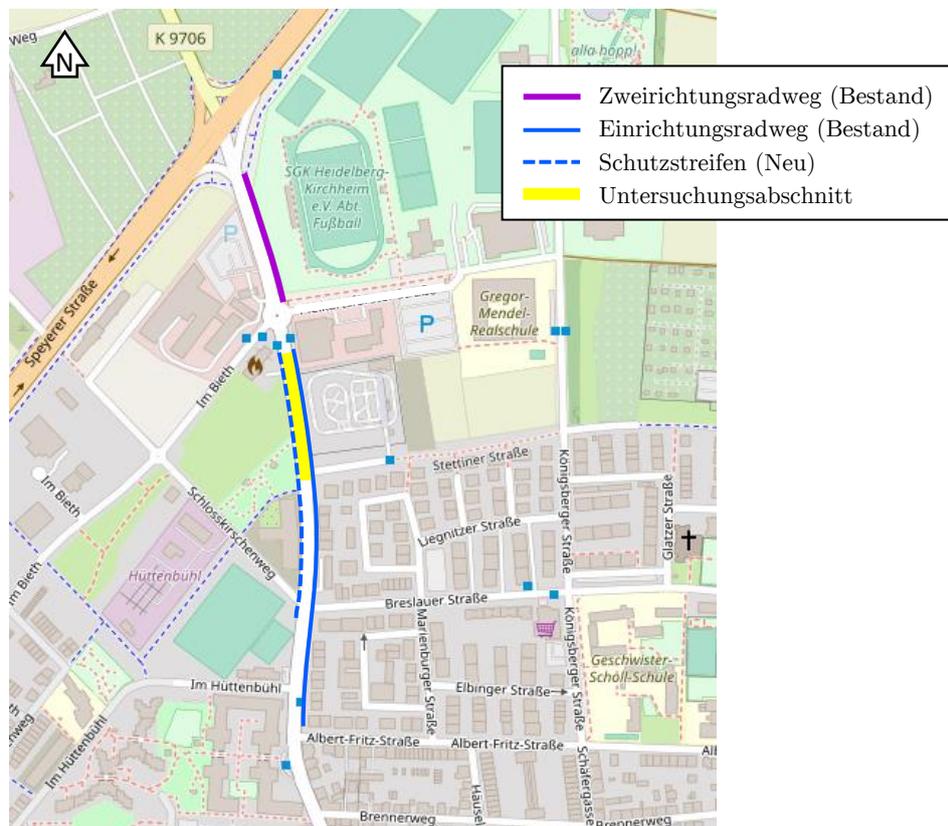


Abbildung 2: Radverkehrsanlagen in der Pleikartsförster Straße, Umgebungskarte, Untersuchungsabschnitt (Quelle der Hintergrundkarte: OpenStreetMap)

#### 3.3.1 Streckenbeschreibung – Verbindungsstraße mit einseitigem Radweg

Die Pleikartsförster Straße ist eine Hauptverkehrsstraße im Heidelberger Stadtteil Kirchheim. Sie führt von Norden in den Stadtteil und verbindet den Stadtteil mit der Innenstadt. Über die Straße führt eine Regionalbuslinie im 30-Minuten-Takt. Die Straßenkategorie nach RIN:2000 ist HS IV (Stadt Heidelberg, 2020, S. 248).

Im nördlichen Abschnitt hat die Pleikartsförster Straße nach Umfeldnutzung und Gestaltung des Straßenraums die Charakteristik einer Verbindungsstraße (siehe RAST:2006, S. 58). Die Straße wird in diesem Abschnitt von ca. 8000 Kfz/Tag befahren (Stadt Heidelberg, 2020, S. 249). Die zulässige Höchstgeschwindigkeit liegt bei 50 km/h. Abgesehen vom Kreisverkehrsplatz am Knotenpunkt mit der Straße „Im Bieth“ sind die Knotenpunkte im nördlichen Abschnitt als einfache plangleiche Kreuzungen und Einmündungen

ausgeführt. Fahrzeugen auf der Pleikartsförster Straße wird dabei an jeder Kreuzung und Einmündung einzeln durch das Verkehrszeichen 301 Vorfahrt gewährt. Der Nachrang der Stettiner Straße ist durch eine Gehwegüberfahrt gekennzeichnet. Der nördliche Abschnitt der Pleikartsförster Straße endet mit dem Beginn der Tempo-30-Zone südlich der Kreuzung mit der Breslauer Straße und dem Schlosskirschenweg.

Auf der Ostseite der Pleikartsförster Straße ist ab der Einmündung der Albert-Fritz-Straße ein getrennter Geh- und Radweg angelegt (siehe Abbildung 2). Dieser ist nur für die Fahrtrichtung Nord freigegeben. Vor dem Kreisverkehr am Knotenpunkt mit der Straße „Im Bieth“ werden Radfahrende vom Radweg auf die Fahrbahn geführt, dahinter wieder auf einen gemeinsamen Geh- und Radweg. Letzterer wird aufgrund des Anschlusses an den Zweirichtungsradweg der Speyerer Straße auch in Fahrtrichtung Süd genutzt. Daran anschließend wurde für diese Fahrtrichtung eine Radverkehrsanlage ergänzt (siehe Abbildung 2 und Abschnitt 3.3.2).

Die Pleikartsförster Straße ist Teil einer Hauptroute des Radverkehrs zwischen dem Stadtteil und der Innenstadt. Im Anschluss an die Pleikartsförster Straße führt diese Route über Radwege entlang der mit 37.000 Kfz/Tag sehr stark befahrenen Speyerer Straße (Stadt Heidelberg, 2020, S. 249). Es ist anzunehmen, dass diese Route hauptsächlich von routinierten und schnellen Radfahrenden benutzt wird, zumal aus dem Stadtteil in die Innenstadt eine alternative Route abseits der Hauptverkehrsstraßen über eine Kleingartenanlage und eine Fahrradstraße besteht.

### 3.3.2 Untersuchungsabschnitt – einseitiger Schutzstreifen auf 7,50 m breiter Zweirichtungsfahrbahn

Der Untersuchungsabschnitt in der Pleikartsförster Straße ist 130 m lang und liegt zwischen dem Kreisverkehr am Knotenpunkt mit der Straße „Im Bieth“ und der Einmündung der Stettiner Straße (siehe Abbildung 2).

Die Fahrbahn im Untersuchungsabschnitt ist gleichbleibend 7,50 m breit. Sie wird auf beiden Seiten von Hochborden mit 12 cm Höhe begrenzt. Bordrinne, 0,15 m breit, und Abläufe, 0,30 m breit, auf der Westseite sind befahrbar und in sehr gutem Zustand. Auf der Ostseite sind Bordrinne (0,30 m) und Abläufe (0,45 m) zwar ebenfalls befahrbar – aufgrund von Bewuchs in den Fugen erscheint der Zustand hier allerdings schlechter als er tatsächlich ist.

Die Untersuchung umfasst drei Markierungszustände. Die Fahrbahnaufteilung ist dabei wie folgt (siehe auch Abbildungen 3 bis 5):

- 3,75 m Fahrstreifen + 3,75 m Fahrstreifen („Markierungszustand I“)
- 2,00 m Schutzstreifen + 5,50 m Kernfahrbahn („Markierungszustand II“)
- 2,00 m Schutzstreifen + 2,50 m Restfahrstreifen + 3,00 m Fahrstreifen („Markierungszustand III“)

Die Fahrtrichtung Süd – also jene mit Schutzstreifen in Markierungszustand II und III – wird als „Bezugsrichtung“ bezeichnet. In dieser Richtung gesehen verläuft die Fahrbahn in einer Rechtskurve. Der Bord auf der Innenseite der Kurve liegt dabei auf einem Bogen mit 1310 m Radius.



Abbildung 3: Markierungszustand I der Pleikartsförster Straße: zwei 3,75 m breiten Fahrstreifen. Die Bezugsrichtung führt auf den Betrachter zu.



Abbildung 4: Markierungszustand II der Pleikartsförster Straße: 2 m Schutzstreifen und 5,50 m Kernfahrbahn



Abbildung 5: Markierungszustand III der Pleikartsförster Straße: 2 m Schutzstreifen plus 2,50 m Restfahrstreifen und 3 m Fahrstreifen für den Gegenverkehr

Die Mittellinie zur Trennung der Fahrstreifen in Markierungszustand I und III ist eine Leitlinie mit 3m/3m-Strich-Lücke-Verhältnis. Die Leitlinie des Schutzstreifens hat das übliche 1m/1m-Strich-Lücke-Verhältnis. Markierungszustand I ist der Vorher-Zustand in der Pleikartsförster Straße. Die Markierungszustände II und III wurde nach Plänen des Autors von der Stadt Heidelberg angeordnet und umgesetzt. Die neue Markierung wurde mit Dünnschichtmarkierungsfolie in Gelb realisiert und ist daher sehr gut sichtbar.

Die Breite des neuen Schutzstreifens ist mit 2,00 m konservativ gewählt. Aus dem Ziel, den Sicherheitsraum von Radfahrenden zu kennzeichnen, ergeben sich tendenziell größere Maße (siehe Abschnitt 3.8). Mit diesem Vorgehen nähert sich diese Arbeit von unten an die optimale Schutzstreifenbreite an: Sollte sich der neue Schutzstreifen als zu schmal herausstellen, so kann dessen Breite zumindest als neues Mindestmaß festgelegt werden.

Der 2,00 m breiten Schutzstreifen erlaubt es, Markierungszustand III zu realisieren, der den Fahrzeugen des Begegnungsfalls Rad-Pkw-Pkw eigene Bereiche zuweist. Um den Abstand zwischen überholten Radfahrenden und überholenden Pkw zu maximieren, müssen beide Pkw ihre laterale Position möglichst weit weg vom Schutzstreifen wählen. Dies soll durch die Lage der Leitlinie zwischen den beiden Fahrstreifen erreicht werden. Allerdings darf die Fahrbahn des Gegenverkehrs nicht zu schmal gewählt werden, um breite Fahrzeuge nicht zur dauerhaften Mitbenutzung der Gegenfahrbahn zu zwingen. Die gewählte Breite von 3,00 m für die Gegenfahrbahn liegt sehr niedrig – bereits 0,25 m unter dem Mindestmaß für Fahrstreifen mit Linienbusverkehr nach RAST:2006 (S. 69). Für den Restfahrstreifen neben dem Schutzstreifen ergibt sich eine Breite von 2,50 m. Diese liegt 0,25 m unter der Mindestbreite für Restfahrstreifen. Letzteres Maß ist in den Regelwerken





Abbildung 7: Luftbild des Untersuchungsabschnitts im Kirchheimer Weg (Quelle: Stadt Heidelberg)

dem östlichen Teil Kirchheims. Der Untersuchungsabschnitt des Kirchheimer Wegs liegt zwischen den Einmündungen des Margot-Becke-Rings und des Harbigwegs (siehe Abbildung 6). Dieser Abschnitt dient zusätzlich als Zufahrt zum Sportzentrum West und zum Zentralbetriebshof der städtischen Abfallwirtschaft.

Durch den Kirchheimer Weg führt eine Straßenbahnlinie. Im Untersuchungsabschnitt fährt die Straßenbahn auf einem besonderen Bahnkörper in der Mitte der Straße. Untersucht wird die westliche Richtungsfahrbahn in diesem Bereich. Diese wird regulär in Richtung Süd befahren. Die Richtungsfahrbahn wird am linken Rand durch einen 12 cm hohen Hochbord begrenzt. Rechts der Fahrbahn schließt sich ein 5 cm hoher Mittelbord und ein 2 m breiter Gehweg an. Die Bordrinnen sind befahrbar und in sehr gutem Zustand.

Der Untersuchungsabschnitt beginnt direkt im Anschluss an den Knotenpunkt mit dem Margot-Becke-Ring und ist 128 m lang. Er endet mit dem Beginn der Fahrbahnaufweitung für den Rechtsabbiegestreifen des Knotenpunkts mit dem Harbigweg (siehe Abbildung 7). Im Untersuchungsabschnitt wird die Fahrbahn kontinuierlich schmaler. Am Anfang ist sie 5,75 m breit, am Ende 4,90 m. Zur genaueren Beschreibung der Strecke wird sie mit einer Stationierung in Metern versehen. Diese wird entlang des rechten Bords gemessen. Der Nullpunkt ist auf einen leicht wiederauffindbaren Ort, den Rand des ersten Straßenablaufs, gelegt. Dadurch läuft die Stationierung von -1 bis 127.

Mittels theoretischer Breitenberechnungen wird hergeleitet, dass eine Einrichtungsfahrbahn mindestens 5,10 m breit sein muss, damit ein Fahrzeug mit 2,55 m Breite, dem Maximum für reguläre Lastkraftwagen nach § 32 StVZO, einen Radfahrenden überholen darf.<sup>11</sup> Diese Breite wird im Kirchheimer Weg ab

<sup>11</sup> Für diese Überholung sind folgende Breiten angesetzt: 0,80 m für den Radfahrenden, 1,50 m Seitenabstand, 2,55 m für das Kfz und 0,25 m Abstand zum linken Bord. Dafür muss angenommen



Abbildung 8: Verschwenkung der Markierung der Radverkehrsanlagen im Kirchheimer Weg

Station 50 unterschritten. Ab diesem Punkt gilt also ein faktisches Überholverbot für 2,55 m breite Fahrzeuge. Die Idee der Markierungslösung ist es, dieses Überholverbot durch die Fahrbahnmarkierungen zu kennzeichnen. Bis zum Beginn des Überholverbots wird ein Radfahrstreifen mit angrenzendem Kfz-Fahrstreifen markiert. Danach wird ein Schutzstreifen so angelegt, dass die Restfahrbahn nur noch 2,50 m breit ist. Für 2,55 m breite Fahrzeuge reicht also die Fahrbahn neben dem Bereich der Radfahrenden nicht aus. Dies soll auf das faktische Überholverbot hinweisen.

Da der Fahrstreifen neben dem Radfahrstreifen breiter ist als die Restfahrbahn, ist eine Verschwenkung der Markierung notwendig (siehe Abbildung 8). Diese wird so angelegt, dass Station 50 in etwa in der Mitte der Verschwenkung liegt.

Im Bereich des Radfahrstreifens wird die maximal 5,75 m breite Fahrbahn so aufgeteilt, dass der Fahrstreifen für die Kfz gleichbleibend 3,10 m breit ist. Dadurch nimmt die Breite des Radfahrstreifens ab. Minimal ist der Radfahrstreifen inklusive Markierung 2,05 m breit. Die gleichbleibende Breite des Fahrstreifens soll den Kfz-Führenden helfen, die Verengung im Übergang zum Schutzstreifen besser wahrzunehmen. Außerdem wird so aller verfügbarer Raum den Radfahrenden zugeteilt.

Am Ende des Radfahrstreifens bei Station 46 schließt an den Breitstrich die Leitlinie des Schutzstreifens an. Diese wird nach links verschwenkt, sodass bei Station 56 die Restfahrbahnbreite 2,50 m erreicht ist. Diese Breite bleibt gleich bis zum Ende des Schutzstreifens

---

werden, dass sich der Spiegel des breiten Kfz oberhalb des höchsten Punkt des Radfahrenden befindet und daher beim Seitenabstand nicht berücksichtigt werden muss.



Abbildung 9: Ende des Schutzstreifens im Kirchheimer Weg

bei Station 117. Der Schutzstreifen ist nach der Verschwenkung 2,50 m breit und wird dann stetig bis auf 2 m schmaler.

Das abrupte Ende des Schutzstreifens ist auf eine falsche Annahme zurückzuführen: Es wurde angenommen, dass der Schutzstreifen nicht über den bestehenden Richtungspfeil auf der Fahrbahn ab Station 118 hinweggeführt werden kann (siehe Abbildung 9). Da die Markierungen im Rahmen eines Verkehrsversuchs, und daher als Gelbstrich, ausgeführt wurde, wäre dies aber durchaus möglich gewesen.

Bevor die neue Radverkehrsanlage nach den Plänen des Autors auf die Fahrbahn markiert wurde, war der Gehweg für Radfahrende freigegeben. Dieses Angebot hat ein Großteil der Radfahrenden genutzt. Mit der Markierung der Radverkehrsanlagen wurde die Freigabe des Gehwegs für Radfahrende zurückgenommen.

### 3.5 Messtechnik

Der Verkehrsablauf auf den Untersuchungsstrecken wurde mit Kameras gefilmt. Zum Einsatz kamen dabei handelsübliche Camcorder in wasserdichten Gehäusen. In der Pleikartsförster Straße wurden zwei dieser Camcorder an Masten der Straßenbeleuchtung auf der Seite der Bezugsrichtung montiert (siehe Abbildung 10a). Die Kameraobjektive befanden sich dabei in 3,20–3,40 m Höhe und blickten entgegen der Bezugsrichtung (siehe Abbildung 11). Im Kirchheimer Weg wurde die Kamera durch ein Stativ mit Teleskoparm in ca. 8 m Höhe gehoben (siehe Abbildung 10b). Die Blickrichtung war hier in Bezugsrichtung (siehe Abbildung 14 in Abschnitt 3.5.3).



Abbildung 10: Montage der Camcorder für die Verkehrsbeobachtungen an Straßen mit breiten Schutzstreifen

Die Auswertung der Videos erfolgte mittels eines selbst erstellten, browserbasierten Werkzeuges. Das Werkzeug erlaubt es, ähnlich wie das von diversen Verkehrsverhaltensbeobachtungsstudien verwendete ViVAtraffic (Hupfer, 2000, Zweibrücken, 2000, Schell, 2007, Dietiker et al., 2012), mittels einer projektiven Transformation, Positionen aus dem Videobild abzugreifen und daraus Abstände und Geschwindigkeiten zu berechnen. Weil ViVAtraffic nicht mehr vertrieben wird, war die Programmierung eines neuen Messwerkzeuges notwendig.

### 3.5.1 Anpassung des Messwerkzeugs an Untersuchungsstrecken und Kamerastandorte

Um die Position von Fahrzeugen nicht nur relativ zueinander, sondern auch relativ zu Fahrbahnrand oder Markierungen bestimmen zu können, muss dem Messwerkzeug die Geometrie der Untersuchungsabschnitte bekannt gemacht werden. Für die Speicherung der geometrischen Informationen wird zuerst ein Koordinatensystem festgelegt. Dieses Koordinatensystem wird als „Weltkoordinatensystem“ bezeichnet und kann beliebig gewählt werden.



Abbildung 11: Kalibrierung der projektiven Transformation für eine der Kameras in der Pleikartsförster Straße: Ein Punkt mit bekannten Weltkoordinaten wird gekennzeichnet, um die zugehörigen Bildkoordinaten zu bestimmen.

Für die Kalibrierung des Messwerkzeugs muss es allerdings möglich sein, Weltkoordinaten für Punkte auf der Straße zuverlässig zu bestimmen. Daher bietet es sich an, das Weltkoordinatensystem an festen Punkten und geraden Kanten in der Straße auszurichten. Im Kirchheimer Weg wurde das Koordinatensystem an der Stationierungsachse ausgerichtet (siehe Abschnitt 3.4). In der Pleikartsförster Straße, die im Untersuchungsabschnitt einen gleichförmigen Bogen beschreibt, wurde der Mittelpunkt dieses Bogens als Nullpunkt und ein Radius durch einen bekannten Punkt des Bogens als eine der Achsen festgelegt. Damit ließen sich die jeweiligen Weltkoordinaten durch Messungen entlang des Bords und durch Messung des Abstands senkrecht dazu bestimmen.

Um Weltkoordinaten aus den Kamerabildern ablesen zu können, wird für jede Kamera eine projektive Transformation kalibriert. Die projektive Transformation ist eine Abbildung zwischen der Fahrbahnebene und der Bildebene der Kamera. Um die Transformation zu bestimmen, werden mindestens vier Punkte benötigt, für die sowohl die Weltkoordinaten als auch die Position im Kamerabild („Bildkoordinaten“) bekannt sind. Aus den Koordinatenpaaren wird die Transformationsmatrix mittels Singulärwertzerlegung berechnet. (Criminisi et al., 1999)

In der Pleikartsförster Straße wurde die Lage der Straßenabläufe vermessen und für die Kalibrierung mit einem Blatt Papier gekennzeichnet, jeweils einmal am Bordrand und einmal 3 m in Richtung Fahrbahnmitte versetzt (siehe Abbildung 11). Im Kirchheimer Weg konnten vier Punkte gefunden werden, die dauerhaft im Bild zu sehen sind. Dadurch

konnte die Kalibrierung aus einem beliebigen Videobild bestimmt werden, ohne dass eine manuelle Kennzeichnung vor Ort notwendig gewesen wäre.

### 3.5.2 Messungen mit Bezug zur Streckengeometrie

Mit den projektiven Transformationen aus der Kalibrierung kann das Messwerkzeug für jeden Punkt im Bild die zugehörigen Weltkoordinaten berechnen. Wird diese zusätzlich mit der Information zur Lage der Fahrbahnränder des zugehörigen Streckenabschnitts kombiniert, können folgende Werte berechnet werden:

- die laterale Position des Punktes auf der Fahrbahn, gemessen vom – in Bezugsrichtung gesehen – rechten Bord der jeweiligen Untersuchungsstrecke, und
- die Station des Punktes, also die Lage des Punktes gemessen entlang der Strecke.

Im Kirchheimer Weg wird die laterale Position zusätzlich auch als Abstand vom linken Fahrbahnrand angegeben, weil sich dieser nicht einfach aus dem Abstand zum rechten Fahrbahnrand berechnen lässt. Zur Unterscheidung der von links und rechts gemessenen lateralen Positionen wird ersteren ein Minuszeichen vorangestellt.

Aus den Positionsinformationen können Abstände und Geschwindigkeiten berechnet werden. Der laterale Abstand zweier Punkte auf der Fahrbahn berechnet sich als Differenz der lateralen Positionen, der Abstand in Längsrichtung als Differenz der Stationen. Wird der Ort eines Fahrzeuges mehrfach hintereinander erfasst, kann aus dem Abstand in Längsrichtung und der Zeitdifferenz die Geschwindigkeit des Fahrzeuges bestimmt werden. In der Pleikartsförster Straße wird für die Geschwindigkeitsberechnung zusätzlich die laterale Position des Fahrzeuges mit einbezogen, da sich die Fahrtstrecke bei einer Fahrt weiter außen im Bogen verlängert. Aufgrund des großen Kurvenradius von 1310 m ergeben sich gegenüber der naiven Berechnung aber nur Unterschiede von weniger als 0,5 %.

Die Stationierung in der Pleikartsförster Straße ist durchgehend, sodass Abstände in Längsrichtung auch aus Punkten aus den Videobildern beider Kameras berechnet werden können. In der ersten Kamera sind 54 m der Messstrecke sichtbar, die zweite Kamera wird für Messungen in einem 80 m langen Abschnitt verwendet. Die Messbereiche der Kameras überlappen sich um 4 m.

Die Videos beider Kameras können außerdem – beispielsweise über Bremslichter – zeitlich synchronisiert werden, sodass auch Geschwindigkeitsberechnungen auf der gesamten Messstrecke möglich sind.

### 3.5.3 Optimierung der Kalibrierung und Korrektur von Messungen auf der Gegenfahrbahn

Um die Kalibrierung der projektiven Transformationen zu validieren, werden Kanten und Fahrbahnmarkierungen der Messstrecken entsprechend ihrer bekannten Position in die Kamerabilder eingezeichnet. Idealerweise liegen die eingezeichneten Linien dabei über den entsprechenden Linien im Videobild.

In der Pleikartsförster Straße zeigten sich allerdings große Abweichungen bei den gemessenen lateralen Positionen auf der Gegenfahrbahn. Der Grund dafür liegt in der Konzeption der projektiven Transformation, die voraussetzt, dass sich die gemessenen Punkte in einer Ebene befinden. Entsprechend der Kalibrierung ist diese Messebene die Fahrbahndecke der Bezugsrichtung. Durch das Dachprofil der Pleikartsförster Straße liegt die Decke der Gegenfahrbahn zunehmend unter der Messebene. Dadurch erscheinen Abstände zum Bord der Bezugsrichtung kleiner als sie tatsächlich sind. Um diesem Problem zu begegnen, könnte eine zweite projektive Transformation für die Gegenfahrbahn erstellt werden. Dies birgt allerdings die Gefahr von Unstetigkeiten am Übergang zwischen den beiden Transformationen in Fahrbahnmitte. Da sowieso nur Positionen bis ca. zur Hälfte der Gegenfahrbahn gemessen werden müssen (siehe Abschnitt 3.6.1), wird ein anderer, einfacher Korrekturansatz gewählt: Nach der Kalibrierung der projektiven Transformation wird die laterale Position des Gegenfahrbahnrandes entsprechend dieser Transformation gemessen. Die gemessenen lateralen Positionen liegen dabei – je nach Kameraposition – bei Werten um die 7,00 m. Zur Berechnung der wahren lateralen Positionen wird der Anteil der gemessenen lateralen Position jenseits der Fahrbahnmitte bei 3,75 m skaliert, sodass sich für einen gemessenen Wert von 7,00 m der wahre Wert von 7,50 m ergibt.

In der Kalibrierung der zweiten Kamera in der Pleikartsförster Straße zeigte sich außerdem ein zweiter systematischer Fehler: Die eingezeichneten Linien waren stärker gekrümmt als die entsprechenden Elemente der Fahrbahn im Bild. Der genaue Grund hierfür ist nicht bekannt – möglicherweise befindet sich der beobachtete Abschnitt in einer Wanne mit sehr großem Radius. Das Problem konnte behoben werden, indem für die Fahrbahn ein größerer Bogenradius angesetzt wurde.

In der im Messwerkzeug hinterlegten Geometrie des Kirchheimer Wegs wurde der rechte Fahrbahnrand zuerst vereinfachend als gerade angenommen. Bei der Validierung der Kalibrierung über die eingezeichneten Linien stellte sich diese Annahme jedoch als Ursache für systematische Fehler heraus. Mit der Berücksichtigung eines leichten Knicks im



Abbildung 12: Anzeige des Videos der ersten Kamera der Pleikartsförster Straße nach abgeschlossener Kalibrierung. Die eingezeichneten Linien zeigen die Ränder der Bordrinnen und die Mitte der Markierung laut Kalibrierung. In Bezugsrichtung ist die innere Kante der Bordrinne eingezeichnet, da die äußere Kante durch den Bord verdeckt ist.



Abbildung 13: Anzeige des Videos der zweiten Kamera der Pleikartsförster Straße im Messwerkzeug nach abgeschlossener Kalibrierung



Abbildung 14: Anzeige des Videos des Kirchheimer Wegs im Messwerkzeug nach abgeschlossener Kalibrierung. Die eingezeichneten Linien zeigen die Lage der Fahrbahn­ränder und der Schutzstreifenmarkierung laut Kalibrierung.

rechten Fahrbahnrand bei Station 54 – die Richtung des Bords weicht danach 1:281 von der Richtung des Bords davor ab – konnte eine deutlich bessere Kalibrierung erreicht werden.

Für alle Kameras und Messzeiträume konnte eine sehr genaue Kalibrierung erreicht werden (siehe Beispiele in Abbildungen 12 bis 14). Die Fehler in den gemessenen lateralen Positionen liegt dabei in der Regel unter einer halben Breite eines Schmalstrichs, also 6 cm. Nur in den ersten 10 m Strecke im Bild der zweiten Kamera in der Pleikartsförster Straße ergeben sich Abweichungen von bis zu 10 cm (siehe Abbildung 13).

Beim Tauschen von Speicherkarten und Stromversorgung konnten kleine Veränderungen der Blickrichtung der Kameras nicht ausgeschlossen werden. Um diese zu kompensieren, wurde das Messwerkzeug um eine Funktion ergänzt, die es erlaubt, die projektive Transformation interaktiv um eine Translation und Rotation zu ergänzen. Von dieser Funktion musste bei der Auswertung von Markierungszustand II in der Pleikartsförster Straße auch während eines Messtags Gebrauch gemacht werden, weil hier Kamera durch die Windlast auf die darüber befindlichen Wahlplakate mehrfach verschoben wurde.

Aus dem Pixelraster der Kamerabilder ergeben sich untere Grenzen für die Abstände zwischen gerade noch unterscheidbaren Positionen. Diese „Auflösung“ ist durch den

Tabelle 3: Auflösung der Messungen in laterale Richtung und Stationierungsrichtung. Die beiden Werte für die Auflösung in Stationierungsrichtung bezieht sich auf die Mitte bzw. das Ende des Messbereichs.

Kamera	Laterale Auflösung	Auflösung in Stationierungsrichtung (Mitte/Ende)
Pleikartsförster Straße 1	Mindestens 0,04 m	0,30 m / 0,70 m
Pleikartsförster Straße 2	Mindestens 0,05 m	0,40 m / 1,40 m
Kirchheimer Weg	Mindestens 0,07 m	0,35 m / 1,00 m

geneigten Blickwinkel der Kameras in Querrichtung deutlich besser als in Stationierungsrichtung: Selbst an den am weitesten von den Kameras entfernten Punkten der Messbereiche können noch laterale Positionen auf mindestens 7 cm genau unterschieden werden, in Stationierungsrichtung zum Teil nicht einmal mehr auf einen Meter genau (siehe Tabelle 3). Die Videos der Pleikartsförster Straße haben eine Größe von  $1280 \times 720$  Pixel, die Videos des Kirchheimer Weg  $1920 \times 1080$  Pixel.

### 3.6 Erhobene Daten bei der Auswertung der Videos

Das Hauptinteresse bei der Auswertung der Videos gilt den Überholungen von Radfahrenden durch Kfz (siehe Abschnitte 3.6.1, 3.6.5 und 3.6.6). Es werden aber auch die Situationen erfasst, in denen Radfahrende nicht überholt werden – sogenannte „abgelehnte Überholungen“ (siehe Abschnitte 3.6.2 und 3.6.6). Darüber hinaus wird gezählt, welche Verkehrsflächen Radfahrende nutzen (siehe Abschnitt 3.6.3) und bei Radfahrenden auf der Fahrbahn der Abstand zum Bord gemessen (siehe Abschnitte 3.6.4 und 3.6.5).

Die Videoaufnahmen wurden in drei Messzeiträumen im Sommer und Herbst 2021 erstellt. Die Aufnahmen fanden außerhalb der Schulferien und jeweils mindestens zwei Wochen nach der Ummarkierung statt. In jedem Messzeitraum wurde an vier Tagen gefilmt – im Nachhinein erwies sich aber schon ein kleiner Teil dieses Materials als ausreichend. Das Wetter war an allen ausgewerteten Tagen trocken.

Die Auswertung der Pleikartsförster Straße umfasst für jeden Markierungszustand die Videos beider Kameras von einem Tag zwischen 10:15 bis 17:15 Uhr.<sup>12</sup> Durch Auswahl des gleichen Zeitraums soll der Einfluss der über den Tag variierenden Verkehrsstärken

<sup>12</sup> Für Markierungszustand II fehlt – wegen fehlender Videos – die Auswertung des verkehrsschwachen Zeitraums zwischen 10:15 und 10:40 Uhr. Zum Vergleich: In den anderen Markierungszuständen findet in diesem Zeitraum je eine Überholung statt.



Abbildung 15: Positionen, die bei Überholungen erfasst werden (schematische Darstellung; im Messwerkzeug kann das Video vergrößert werden)

minimiert werden. Aufgrund von erratischen Ausfällen der Camcorder konnte aber nicht der gleiche Wochentag gewählt werden: Die Auswertungen von Markierungszustand I und III umfassen einen Mittwoch, die von Markierungszustand II einen Donnerstag.

Die Hauptauswertung des Kirchheimer Wegs, in der alle Ereignistypen erfasst werden, umfasst eine nachmittägliche Hauptverkehrszeit an einem Freitag von 16:00 bis 18:00 Uhr. Für die Überholungen durch Lkw (siehe Abschnitt 3.6.6) wurden zusätzlich 17 Stunden Videomaterial über zwei Tage ausgewertet.

Das eigens programmierte Messwerkzeug ermöglicht es, viele Daten der untersuchten Situationen zuverlässig zu erheben. Die jeweils zu erhebenden Daten werden durch das Messwerkzeug abgefragt, angezeigt und schließlich als Datensatz gespeichert.

### 3.6.1 Überholungen auf der Zweirichtungsfahrbahn

Bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz auf der Zweirichtungsfahrbahn der Pleikartsförster Straße werden zum Zeitpunkt der Überholung folgende Daten erfasst (siehe Abbildung 15):

- die Position des Vorderreifens des Fahrrades,
- die Position des rechten Vorderreifens des überholenden Kfz und

- die Position des linken Vorderreifens des Fahrzeuges im Gegenverkehr neben oder vor dem überholenden Kfz, sofern ein solches Fahrzeug vorhanden ist und sich im Sichtbereich einer der Kameras befindet.

Der Zeitpunkt der Überholung wird definiert als der Moment, indem sich die Vorderreifen des überholten und des überholenden Fahrzeugs auf gleicher Höhe befinden. Der Ort der Vorderreifen in Stationierungsrichtung wird als Überholort bezeichnet. Befindet sich das Kfz im Gegenverkehr bereits neben dem überholenden Kfz, ist das Vorderrad von ersterem möglicherweise verdeckt. In diesem Fall wird die Überholung wenige Videobilder früher erfasst.

Als Überholabstand wird in dieser Arbeit der Seitenabstand angegeben, also der Abstand zwischen den jeweils weitesten hervorstehenden Teilen der Fahrzeuge bzw. des Radfahrenden. Der Seitenabstand wird aus den lateralen Positionen der Reifen von Fahrrad und überholendem Kfz berechnet. Für die Umrechnung wird vom Reifenabstand 0,45 m abgezogen (siehe Abschnitt 2.4.1). Bei Fahrrädern oder Fahrradanhängern, die breiter als 0,60 m sind, wird die Umrechnung entsprechend korrigiert.

Um den Einfluss von Mittellinien und Gegenverkehr zu untersuchen, ist es interessant, auch die Position des linken Vorderreifens des überholenden Kfz zu messen. Findet die Überholung nahe an der erfassenden Kamera statt, ist dieser Reifen allerdings durch das Fahrzeug selbst verdeckt. Daher wird das Erhebungsproblem zweigeteilt: zu einem Zeitpunkt, zu dem beide Vorderreifen des Fahrzeugs sichtbar sind, wird die Breite des Fahrzeuges gemessen. Damit kann die Position des linken Vorderreifens während der Überholung aus der Position des rechten Vorderreifens berechnen.

Für die Berechnung der Geschwindigkeiten müssen die Positionen der Fahrzeuge in Stationierungsrichtung zu zwei Zeitpunkten bekannt sein. Für die Geschwindigkeit des Radfahrenden wird dafür die Position während der Überholung verwendet und eine weitere Position vor der Überholung erfasst. Die Position des überholenden Kfz wird explizit zwei Mal zusätzlich erfasst, und zwar am Schatten unter Stoßstange. Über diesen Schatten kann die Position des Kfz in Stationierungsrichtung deutlich genauer erfasst werden als über den Reifen – insbesondere bei Kfz in größerer Entfernung zu den Kamerastandorten, die fast genau von vorne gesehen werden. Die Positionsmessungen für die Geschwindigkeit des Kfz liegen in der Regel auch zeitlich vor und während der Überholung – nur falls sich die Überholung räumlich ganz am Anfang des Untersuchungsabschnitts befindet, wird die zweite Positionsmessung wenige Sekunden nach der Überholung durchgeführt.

Einen wichtigen Einfluss auf das Überholverhalten hat der Gegenverkehr. Um diesen Gegenverkehr erfassen zu können, können zusätzliche Kameras mit entgegengesetzter Blickrichtung verwendet werden (Ohm et al., 2015, S. 54). In dieser Arbeit wurde ein anderer Ansatz gewählt: Zusätzlich zum sichtbaren Gegenverkehr (siehe oben) wird gemessen, wann sich das nächste Fahrzeug des Gegenverkehrs am Ort der Überholung befindet. Dieser Zeitraum kann immer gemessen werden, selbst wenn die Überholung am Ende der Messstrecke stattfindet. Sowohl der Abstand zum Gegenverkehr als auch die Zeit bis zum Gegenverkehr kann zur Klassifizierung der Situation im Gegenverkehr genutzt werden (siehe Abschnitt 3.7). Werden zwei Positionen des Fahrzeugs im Gegenverkehr erfasst und liegen diese zeitlich mindestens eine Sekunde auseinander, so wird daraus auch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs berechnet.

Findet die Überholung unter Ausnutzung einer Lücke im Gegenverkehr statt, wird zusätzlich die zeitliche Länge dieser Lücke gemessen. Dafür wird der Ort des letzten Gegenverkehrsfahrzeugs vor der Überholung markiert und die Zeitdauer gemessen, bis das erste Fahrzeug nach der Überholung diesen Ort erreicht. Um den Einfluss der Fahrzeuglängen auf die Messung zu minimieren, wird vom Hinterrad des vorderen Fahrzeugs zum Vorderrad des hinteren Fahrzeugs gemessen.

Das in diesem Abschnitt beschriebene Ereignis umfasst nur Überholungen in Bezugsrichtung. Aufgrund des Radweges auf der Gegenseite wurde die Gegenfahrbahn nur von sehr wenigen Radfahrenden benutzt. Insgesamt wurden in Gegenrichtung drei Überholungen beobachtet, eine mit ca. 1,05 m Abstand und zwei mit mindestens 1,50 m Abstand.

### 3.6.2 Abgelehnte Überholungen

Trifft ein Kfz-Führender auf einen in die gleiche Richtung fahrenden Radfahrenden, so muss er entscheiden, ob er den Radfahrenden sicher überholen kann oder nicht. Entscheidet sich der Kfz-Führende gegen eine sofortige Überholung, so wird dies als „abgelehnte Überholung“ bezeichnet (Ohm et al., 2015, siehe auch Abschnitt 2.4.5). Um den Einfluss von Schutzstreifenmarkierungen auf diese Entscheidung zu ermitteln, werden abgelehnte Überholungen bei der Videoauswertung erfasst.

Typischerweise treten abgelehnte Überholungen bei Gegenverkehr auf: Ein Kfz-Führender erreicht einen Radfahrenden, folgt diesem, bis der Gegenverkehr passiert hat, und überholt dann. Dieser Vorgang würde als zwei Ereignisse erfasst: erst als abgelehnte Überholung und dann als („angenommene“) Überholung, wie in Abschnitt 3.6.1 beschrieben. Ist

der Zeitraum zwischen Erreichung und Überholung kurz, ist es allerdings schwierig festzustellen, ob es eine Entscheidung gegen die Überholung bei Gegenverkehr gegeben hat, oder ob die Überholung sowieso nicht früher möglich gewesen wäre. Für eine genauere Entscheidungsgrundlage für diese Frage müssten hypothetische Fahrlinien berechnet werden, was in dieser Arbeit nicht erfolgt.

Stattdessen wird eine Situation dann als abgelehnte Überholung erfasst, wenn ein Kfz seine Geschwindigkeit beim Erreichen eines Radfahrenden deutlich verringert oder einem Radfahrenden mit der gleichen Geschwindigkeit folgt. Geschwindigkeiten werden hierfür nur optisch aus dem Video geschätzt. Inwieweit dieses Vorgehen dem von Ohm et al. (2015) entspricht, lässt sich nicht sagen, da die Autoren das Problem der Abgrenzung von abgelehnten Überholungen nicht thematisieren.

Aufgrund einer nachträglichen Änderung der Erhebungsmethode wurden abgelehnte Überholungen nur in einer Untermenge der ausgewerteten Videos aus der Pleikartsförster Straße erhoben. Die Erhebung umfasst jeweils nur den Zeitraum zwischen 13:15 und 17:15 Uhr (vergleiche Abschnitt 3.6). Im Kirchheimer Weg werden nur abgelehnte Überholungen von Lkw erhoben (siehe Abschnitt 3.6.6).

### 3.6.3 Erhebung der von Radfahrenden genutzten Verkehrsflächen

Zur Erfassung der Radverkehrsstärken werden alle Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße und im Kirchheimer Weg gezählt. Dabei wird die Fahrtrichtung und die genutzte Verkehrsfläche erfasst.

Die Zählung in der Pleikartsförster Straße umfasst alle Radfahrenden, die den nördlich an die Einmündung der Stettiner Straße angrenzenden Abschnitt nutzen (siehe Abbildung 2 in Abschnitt 3.3.1). Der Zählquerschnitt liegt dabei direkt angrenzend an die Einmündung. Nutzbare Verkehrsflächen sind hier der Gehweg auf der Westseite, die Fahrbahn oder der getrennte Geh- und Radweg auf der Ostseite. Für letzteren ist in der Regel nur die Fahrtrichtung Nord zulässig. Benutzt ein Radfahrender den Gehweg auf der Westseite oder den Geh- und Radweg auf der Ostseite in Fahrtrichtung Süd, wird zusätzlich erfasst, ob dieser maximal 10 Jahre alt ist, oder ob er eine solche Person begleitet. Im Zweifelsfall wird von einer Person über 10 Jahren ausgegangen.

Im Kirchheimer Weg werden alle Radfahrenden bei Station 31 gezählt.

### 3.6.4 Laterale Positionen von Radfahrenden an einem festen Querschnitt

In der Pleikartsförster Straße wird die laterale Position aller Radfahrenden an einem festen Querschnitt gemessen. Somit kann die Positionswahl von „unbeeinflussten“ Radfahrenden mit der Positionswahl während Überholungen durch Kfz verglichen werden (siehe Abschnitt 2.3).

Vermessen werden dabei alle Radfahrenden, die auf der Fahrbahn in Bezugsrichtung fahren. Der Messquerschnitt entspricht dabei in der Regel dem Zählquerschnitt aus Abschnitt 3.6.3. Im Fall von außergewöhnlicher Beeinflussung der Radfahrenden am Messquerschnitt, z. B. durch haltende Fahrzeuge, wurde außerhalb des Bereichs der Beeinflussung gemessen.

Neben der lateralen Position wird die Geschwindigkeit der Radfahrenden gemessen. Außerdem wird erfasst, ob Radfahrende nebeneinander fahren.

### 3.6.5 Überholungen auf der Einrichtungsfahrbahn mit variablem Straßenquerschnitt

In der Hauptauswertung des Kirchheimer Wegs werden alle Überholungen von Radfahrenden durch Kfz erfasst. Dabei wird die laterale Position des Fahrradreifens, des rechten Reifens des Kfz sowie – falls nicht verdeckt – des linken Reifens des Kfz erfasst. Weil die Fahrzeuge auf dieser Strecke von hinten gefilmt werden, wird der Überholzeitpunkt festgelegt als jener, zu dem sich die Hinterreifen der Fahrzeuge auf gleicher Höhe befinden.

Weil sich die Überholungen zufällig über den gesamten Untersuchungsabschnitt verteilen, liegen durch die erfassten Überholungen auch laterale Positionen der Radfahrenden an vielen verschiedenen Stationierungen vor. Damit können auch die Einflüsse der variablen Breite des Radfahrstreifens bzw. des Schutzstreifens untersucht werden (siehe Abschnitt 5.2).

### 3.6.6 Überholverhalten von breiten Kfz auf schmaler Restfahrbahn

Neben dem Schutzstreifen im Kirchheimer Weg entsteht eine Restfahrbahn, die für Fahrzeuge mit 2,55 m Breite nicht ausreichend ist. Die Führenden dieser Fahrzeuge müssen also den Schutzstreifen immer überfahren. Für die Frage, ob sie dies auch tun, wenn auf dem Schutzstreifen Radfahrende fahren, wird das Überholverhalten dieser Fahrzeug-Führenden gesondert untersucht (siehe Abschnitt 5.3).

Wird ein Radfahrender von einem breiten Kfz erreicht, so wird beobachtet, ob die Überholung im Untersuchungsabschnitt stattfindet, oder ob diese bis zur Aufweitung nach dem Untersuchungsabschnitt herausgezögert wird (vergleiche Abschnitt 3.4). Bei Überholungen im Untersuchungsabschnitt werden die lateralen Positionen der beteiligten Fahrzeuge und der Überholort erfasst (siehe Abschnitt 3.6.5). Aus dem Überholort lässt sich wiederum ableiten, ob die Überholung im Bereich des Radfahrstreifens oder im Bereich des Schutzstreifens stattgefunden hat.

Da Fahrzeuge mit 2,55 m Breite im Kirchheimer Weg deutlich seltener sind als andere Kfz, werden für das Überholverhalten dieser Fahrzeuge weitere 17 Stunden Videomaterial ausgewertet.

### 3.6.7 Unterschiedene Fahrzeugtypen

Bei den Erhebungen wurden diverse Fahrzeugtypen erfasst. Für die Auswertung spielten diese – abgesehen von der Sonderauswertung von breiten Kfz im Kirchheimer Weg (siehe Abschnitt 3.6.6) – aber nur eine untergeordnete Rolle.

Als „Radfahrende“ wurden Führende von Fahrrädern verschiedener Bauart und Führende von Elektrokleinstfahrzeugen, also E-Rollern, erfasst. Als Bauarten wurden normale Fahrräder, Fahrräder mit Anhänger, Lastenfahrräder und andere Dreiräder unterschieden. Besondere Bauarten kommen nur selten vor: In Bezugsrichtung der Pleikartsförster Straße liegt ihr Anteil bei 1,5 %, im Kirchheimer Weg bei 1,7 %. In der Auswertung wird die Breite der Fahrräder mit besonderer Bauart berücksichtigt: Für den Überholabstand wird anstatt der Breite von 0,60 m die tatsächliche Breite angesetzt (vergleiche Abschnitt 3.6.1). In der Darstellung von Abbildung 23, in der Überholabstände aus der Differenz von Kfz-Position und Rad-Position abgelesen werden können, werden die Rad-Positionen um die halbe zusätzliche Breite nach links korrigiert. In dieser Darstellung werden also breite Fahrräder durch normal breite Fahrräder mit gleicher Position des linken Rands ersetzt.

Führende von E-Rollern wurden als „Radfahrende“ erfasst, da sie sich bei Überholungen durch Kfz in der gleichen Rolle befinden wie Radfahrende im engeren Sinn. Der Anteil von E-Rollern am „Radverkehr“ war – entsprechend des Abstands zum Stadtzentrum – auf den untersuchten Strecken unterschiedlich hoch: In der Pleikartsförster Straße wurden in Bezugsrichtung 1,0 % solcher Fahrzeuge erfasst, im Kirchheimer Weg 5,2 %. Auffällig

am Verhalten der E-Roller-Führenden war dabei nur die überproportional hohe, unzulässige Seitenraumnutzung in der Pleikartsförster Straße.

Kfz-Typen gehen grundsätzlich über die ebenfalls erfasste Breite der Fahrzeuge in die Auswertung ein. Im Kirchheimer Weg wurden zusätzlich 2,55 m breite Lkw und Busse gesondert ausgewertet (siehe Abschnitt 5.3). In der Pleikartsförster Straße ist innerhalb der ausgewerteten Zeit kein besonderes Überholverhalten von breiteren Kfz zu beobachten: Die insgesamt 11 Überholungen mit solchen Fahrzeugen, darunter neun Lieferwagen oder kleinere Lkw und zwei breite Lkw, liegen im Rahmen des üblichen Überholverhaltens (siehe Anlage A-3.6).

Die Überholungen von Radfahrenden durch Krafträder wurden erfasst, für die Auswertung aber verworfen. Krafträder haben eine deutlich geringere Breite als zweispurige Kfz und führen daher in der Auswertung vor allem zu Ausreißern. Eine Sonderauswertung der fünf Überholungen durch Krafträder, darunter vier in Markierungszustand I der Pleikartsförster Straße, erschien nicht sinnvoll.

### 3.7 Abgrenzung von Überholungen nach Situation im Gegenverkehr

Überholt ein Kfz-Führender einen Radfahrenden bei Gegenverkehr, so muss er seitlichen Abstand vom überholten Radfahrenden halten und gleichzeitig eine Kollision mit dem entgegenkommenden Fahrzeug verhindern. Da sich der Gegenverkehr auf der gegenüberliegenden Seite des überholten Radfahrenden befindet, entsteht ein Zielkonflikt, der in der Regel zu geringeren Seitenabständen zum überholten Radfahrenden führt. Es ist also sinnvoll, die Situation im Gegenverkehr bei der Analyse der Überholungen mit einzubeziehen.

Befindet sich bei einer Überholung das Fahrzeug des Gegenverkehrs unmittelbar neben oder vor dem überholenden Kfz, so ist es plausibel, dass dieses Fahrzeug das Verhalten des Kfz-Führenden beeinflusst. Aufgrund der hohen Differenzgeschwindigkeiten zwischen dem überholenden Kfz und dem Gegenverkehr von ca. 80–100 km/h kann aber auch deutlich weiter entfernter Gegenverkehr einen Einfluss auf das Überholverhalten haben. Allein durch Beobachtungen abzuschätzen, ab wann dieser Einfluss greift, ist schwierig. Daher wird in dieser Arbeit die Situation im Gegenverkehr erst quantitativ erfasst und erst anschließend über Schwellwerte klassifiziert.

Für den Gegenverkehr werden, falls vorhanden, zwei Werte aus den erfassten Daten (siehe Abschnitt 3.6.1) berechnet:

- die „Restentfernung“, also die Distanz in Stationierungsrichtung zwischen Überholort und dem Ort der Vorderräder des entgegenkommenden Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Überholung, und
- die „Restzeitlücke“, also die Dauer, die das entgegenkommende Fahrzeug benötigt, um mit seinen Vorderrändern den Überholort zu erreichen, gemessen ab dem Überholzeitpunkt.

Die Bezeichnungen mit dem Präfix „Rest“ soll verdeutlichen, dass diese Werte jeweils nur die restliche Entfernung bzw. die restliche Zeit ab etwa der Hälfte des gesamten Überholvorgangs umfassen. Befindet sich der Gegenverkehr zum Überholzeitpunkt außerhalb des in den Videos sichtbaren Bereichs, so kann die Restentfernung nicht bestimmt werden. In diesen Fällen wird also nur die Restzeitlücke bestimmt. Bei kleinen oder negativen Restentfernungen entfällt die Erfassung der Restzeitlücke. Es werden daher beide Werte für die Klassifikation herangezogen.

Anhand der Restzeitlücke bzw. der Restentfernung zum Gegenverkehr werden Überholungen von Radfahrenden durch Kfz wie folgt unterteilt:

- Überholungen ohne Gegenverkehr
- Überholungen mit Gegenverkehr in Annäherung
- Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr

Die Schwellwerte zur Abgrenzung der Situationen werden durch die nachfolgende Sonderauswertung der Ergebnisse bzw. zusätzliche Beobachtungen bestimmt.

Die Abgrenzung der Situationen mit und ohne Gegenverkehr wird aus der Gegenüberstellung von beobachteten lateralen Positionen der überholenden Kfz und den Restzeitlücken entwickelt (siehe Abbildung 16). Es wird ein Schwellwert für die Restzeitlücke gesucht, bei dem der Einfluss des Gegenverkehrs deutlich nachlässt. Aufgrund der starken Streuung der lateralen Positionen ist das Ergebnis allerdings nicht eindeutig. Für die Auswertung in dieser Arbeit wird eine Überholung mit mindestens 5,3 s Restzeitlücke als „Überholung ohne Gegenverkehr“ definiert. Unter 5,3 s Restzeitlücke erscheint die Positionswahl der überholenden Kfz eingeschränkt, darüber deutlich freier. Der Schwellwert für die Restentfernung wird aus der Restzeitlücke und dem Median der Geschwindigkeit des Gegenverkehrs, 41,3 km/h, berechnet. Daraus ergibt sich der Schwellwert von 61 m.

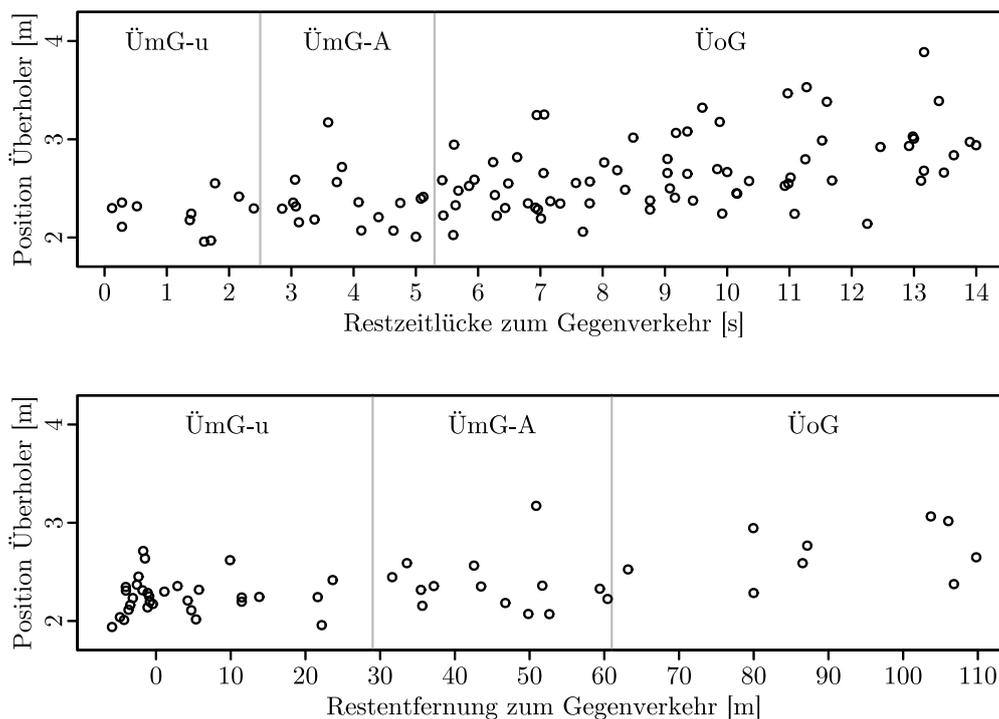


Abbildung 16: Laterale Positionen der überholenden Kfz nach Restzeitlücke bzw. Restentfernung zum Gegenverkehr. Die vertikalen, grauen Linien zeigen die Schwellwerte für die Unterscheidung zwischen Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr (ÜmG-u), Überholungen mit Gegenverkehr in Annäherung (ÜmG-A) und Überholungen ohne Gegenverkehr (ÜoG).

Zur Unterscheidung der Überholsituationen „Überholungen mit Gegenverkehr in Annäherung“ und „Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr“ wird das Verhalten der überholenden Kfz-Führenden beobachtet. Ab einer Restzeitlücke von 2,5 s bzw. entsprechend einer Restentfernung von 29 m schwenken viele der Kfz-Führenden nach der Überholung bis zur Begegnung mit dem Gegenverkehr bereits wieder in Richtung Bord zurück. Bei geringeren Restwerten wird ein solches Verhalten schon aus physikalischen Gründen nur selten beobachtet.

In Publikationen, die Abstände bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz messen, wird zwar meistens zwischen Überholungen mit und ohne Gegenverkehr unterschieden, es finden sich aber keine formalen Definitionen zur Abgrenzung dieser Situationen. Einzig in der Publikation von Ohm et al. (2015, S. 80) findet sich ein Schwellwert, der in der durchgeführten mikroskopischen Verkehrssimulation verwendet wird: Bei dieser gilt eine Überholung als Überholung ohne Gegenverkehr, wenn das nächste Fahrzeug im Gegenverkehr bei Beginn der Überholung noch mindestens 120 m entfernt ist. Wird angenommen, dass Kfz-Führende symmetrisch aus- und einscheren, so liegt dieser Schwellwert

sehr nahe an dem in dieser Arbeit bestimmten Schwellwert von 61 m für die Restentfernung.

### 3.8 Bemessungskriterium „angebotener Überholabstand“

Der Entwurf von Straßen erfolgt mit dem Ziel, sicheres und regelkonformes Verhalten der Verkehrsteilnehmenden zu fördern. Im Fall des Überholabstands ist klar, dass Werte unter 1,50 m nicht regelkonform sind (§ 5 StVO).<sup>13</sup> Aus der Anforderung an den Überholabstand ergibt sich, dass ein überholender Kfz-Führender seine laterale Position entsprechend der lateralen Position des überholten Radfahrenden wählen muss – auch falls letztere ungewöhnlich weit links liegt. Kann der vorgeschriebene Überholabstand nicht eingehalten werden, so gilt de facto ein Überholverbot (Müller, 2019).

Nach der Idee von breiten Schutzstreifen (siehe Abschnitt 3.1) sollen sich Kfz-Führende beim Überholen an der Schutzstreifenmarkierung orientieren können und dadurch einen sicheren und regelkonformen Seitenabstand zu überholten Radfahrenden einhalten. Dabei müssen allerdings Einschränkungen in Kauf genommen werden, welche Überholungen für die Bemessung des Schutzstreifens herangezogen werden können. Würden die gleichen Regeln bei der Bemessung angesetzt, die rechtlich von den Verkehrsteilnehmenden in jedem Einzelfall gefordert werden, so würde der am weitesten links fahrende Radfahrende die notwendige Breite des Schutzstreifens bestimmen. Dieser Ansatz ist aber offensichtlich nicht sinnvoll.

Stattdessen wird in dieser Arbeit vorgeschlagen, eine Annahme zu den lateralen Positionen von Radfahrenden zu treffen. Die Annahme beinhaltet, dass ein „ausreichender Bereich“ der Fahrbahn festgelegt werden kann, für den folgendes gilt:

- Radfahrende können in dem ausreichenden Bereich sicher – insbesondere ohne Gefährdung durch Straßenabläufe und Borde – fahren.
- Die Fahrt innerhalb des ausreichenden Bereichs ist für Radfahrende angenehm.
- Auch bei gewöhnlichen Schwankungen der Radfahrenden wird der ausreichende Bereich nicht verlassen.

---

<sup>13</sup> Aus der Formulierung in § 5 StVO, die besagt, dass ein „ausreichender Seitenabstand (...) eingehalten werden [muss]“ und dass „der ausreichende Seitenabstand innerorts mindestens 1,5 m [beträgt]“, ergibt sich, dass es Situationen geben kann, in denen noch mehr Abstand eingehalten werden muss.

Als Bezeichnung für den Seitenabstand zwischen dem linken Rand des ausreichenden Bereichs für Radfahrende und einem überholenden Kfz wird der Begriff „angebotener Überholabstand“ vorgeschlagen. Aus der Definition des ausreichenden Bereichs ergibt sich nämlich, dass ein Radfahrender durch sein Verhalten sicherstellen kann, dass der tatsächliche Überholabstand größer oder gleich dem angebotenen Überholabstand ist.

Der angebotene Überholabstand soll als Kriterium für die Bemessung von Schutzstreifen herangezogen werden. Das Ziel dabei ist, dass alle überholenden Kfz mindestens einen angebotenen Überholabstand von 1,50 m einhalten. Dadurch, dass der angebotene Überholabstand nicht mehr von der tatsächlichen lateralen Position der überholten Radfahrenden abhängt, ergibt sich aus dem Ziel eine Untergrenze des Abstandes der überholenden Kfz vom Fahrbahnrand. Die Schutzstreifenmarkierung soll also bewirken, dass alle Kfz-Führenden beim Überholen von Radfahrenden diesen Mindestabstand zum Fahrbahnrand einhalten.

Ist ein Schutzstreifen wie beschrieben bemessen und erreicht er das genannte Ziel, so können Radfahrende wissen, wo überholende Kfz fahren. Fährt ein Radfahrender weiter links als durch den ausreichenden Bereich vorgesehen, so muss er erwarten, dass ein überholender Kfz-Führender sein Fahrzeug – trotz der Vorschriften der StVO – an der Schutzstreifenmarkierung ausrichtet. In diesem Fall würde also ein tatsächlicher Überholabstand von unter 1,50 m entstehen. Da der vorgeschriebene Überholabstand dem Schutz der Radfahrenden dient, kann toleriert werden, dass Radfahrende auf einen Teil dieses Abstandes verzichten.

Diese Arbeit stellt keine Untersuchungen an, um zu bestimmen wie groß der ausreichende Bereich für Radfahrende sein muss.<sup>14</sup> Stattdessen wird angenommen, dass der Verkehrsraum nach RSt:2006 (S. 28) ausreichend für Radfahrende ist. Dieser Verkehrsraum ist 1 m breit und kann an den freien Fahrbahnrand angrenzen.<sup>15</sup> Der angebotene Überholabstand entspricht also dem tatsächlichen Überholabstand bei Radfahrenden, die mit ihren Reifen 0,70 m vom Fahrbahnrand entfernt fahren. Zusammen mit der gewählten

---

<sup>14</sup> Der ausreichende Bereich lässt sich nicht im normalen Verkehr messen, da unklar ist, welcher Anteil der Radfahrenden mit mindestens 1,50 m Seitenabstand überholt werden will und entsprechend handelt.

<sup>15</sup> Aus diversen Angaben in RSt:2006 und ERA:2010 ergibt sich, dass sich die Forderung nach einem zusätzlichen Sicherheitsraum von 0,50 m zum Fahrbahnrand (RSt:2006, S. 28) nicht auf Radverkehrsanlagen auf der Fahrbahn bezieht. Diese Interpretation der Regelwerke widerspricht der von Kaulen et al. (2013, S. 77).

Berechnungsvorschrift für Überholabstände, Reifenabstand minus 0,45 m (siehe Abschnitt 2.4.1), ergibt sich also ein angebotener Abstand von 1,50 m, wenn überholende Kfz-Führenden mit der rechten Reifenaußenkante mit mindestens 2,65 m Abstand vom Fahrbahnrand fahren.

Wird eine andere Breite als 1 m für den ausreichenden Bereich der Radfahrenden bestimmt oder angenommen, so kann auch diese Breite als Basis für die Definition des angebotenen Abstands herangezogen werden. Der Grenzwert für die Position überholender Kfz, ab der 1,50 m angebotener Abstand erreicht wird, ändert sich dann entsprechend. Das gleiche gilt, falls Radfahrende mehr Abstand zum Fahrbahnrand halten müssen, etwa aufgrund angrenzender Parkstände.

Unabhängig von der gewählten Definition hängt der Wert des angebotenen Abstands nicht mehr von der lateralen Position des einzelnen, überholten Radfahrenden ab, sondern nur noch von jener des überholenden Kfz. Somit eignet sich der angebotene Abstand als Bemessungskriterium für Fahrbahnmarkierungen, die dem Abstand des Kfz-Verkehrs zum Fahrradverkehr dienen.

### 3.9 Kennwerte für Überholabstände

Auch wenn es das Ziel ist, Radverkehrsanlagen auf 1,50 m angebotenen Abstand zu bemessen, sollten Studien weiterhin auch die tatsächlichen Überholabstände untersuchen. Treten nämlich deutlich zu niedrige Überholabstände auf, lässt dies auf ein Sicherheitsproblem schließen, dass möglicherweise eine Reaktion erfordert.

In Untersuchungen der Sicherheitsabstände wird häufig nur ein niedriges Perzentil betrachtet. Dies ist insofern unbefriedigend, als dass dadurch nur die Aussage gemacht wird, dass bei einem Großteil der Überholungen der genannte Abstandswert mindestens eingehalten wird. Eine Aussage über die – für die Sicherheit besonders relevanten – Überholungen mit geringeren Abständen fehlt dabei.

Um dieses Problem zu adressieren, könnte zusätzlich der minimale Abstand angegeben werden. Dieser Ansatz hat zwei Nachteile: Bei der Überholung, bei der der minimale Abstand auftritt, könnte es sich tatsächlich um einen ungewöhnlichen Ausnahmefall gehandelt haben. Diesem will man nicht über Gebühr Gewicht verleihen. Der zweite Nachteil ist, dass das Minimum mit dem Stichprobenumfang sinkt. Eine Studie, die das Ziel

hat, die Sicherheit einer Radverkehrslösung nachzuweisen, wäre also bei gründlicher Arbeit im Nachteil.

Daher wird vorgeschlagen, zusätzlich zu dem gewählten Perzentil den Mittelwert der kleineren Überholabstände anzugeben. Für den Vergleich von Strecken oder Markierungszuständen bietet es sich an, diesen Mittelwert relativ zum Wert des Perzentils anzugeben. Damit kann eine sinnvolle Aussage über übliche Überholabstände und gleichzeitig über die – für die Sicherheit besonders wichtigen – kleineren Überholabstände gemacht werden (siehe Anlage A-3.3).

## 4 Ergebnisse aus den Beobachtungen in der Pleikartsförster Straße

In der 7,50 m breiten Pleikartsförster Straße wurden Verkehrsbeobachtungen in drei verschiedenen Markierungszustände durchgeführt: Dem Vorher-Zustand ohne Radverkehrsanlage (Markierungszustand I) und zwei Nachher-Zuständen mit Schutzstreifen (Markierungszustand II und III, siehe Abschnitt 3.3.2).

Vor der Betrachtung der Überholabstände (Abschnitt 4.5) werden zunächst mehrere Einzelaspekte untersucht, die jeweils einen Einfluss auf die Überholabstände haben können. In Abschnitt 4.6 wird, als alternatives Bemessungs- und Bewertungskriterium, der angebotene Abstand bestimmt. Abschnitte 4.7 und 4.8 untersuchen Geschwindigkeiten der Kfz und Verkehrsraumnutzung der Radfahrenden als weitere sicherheitsrelevante Aspekte.

### 4.1 Überholverhalten nach Situation im Gegenverkehr

In der Pleikartsförster Straße zeigt sich ein deutlicher Einfluss der Fahrbahnmarkierungen auf das Verhalten von Kfz-Führenden beim Erreichen von Radfahrenden.

In Markierungszustand I, in dem die Fahrbahn durch eine Mittellinie in zwei 3,75 m breite Fahrstreifen geteilt ist, variieren die Entscheidungen der Kfz-Führenden, wenn sie Radfahrende bei Gegenverkehr erreichen: Teilweise überholen Kfz-Führende mit Gegenverkehr sofort (siehe „ÜmG“ in Abbildung 17), teilweise werden Überholungen vorerst abgelehnt und auf einen späteren Zeitpunkt verschoben (siehe Abbildung 18). Wird trotz Gegenverkehr überholt, so versuchen Kfz-Führende meist eine Lücke im Gegenverkehr abzapfen. Dadurch können sie bis zur Begegnung mit dem Gegenverkehrsfahrzeug zumindest teilweise wieder zurück Richtung Bord einscheren. Solche Überholungen werden als Überholung mit Gegenverkehr in Annäherung definiert (siehe Abschnitt 3.7).

In Markierungszustand II mit Schutzstreifen und Kernfahrbahn sind die Anzahl der Überholungen mit Gegenverkehr und die Anzahl der abgelehnten Überholungen vergleichbar mit denen in Markierungszustand I. Es gibt allerdings Verschiebungen in der Art der Überholungen mit Gegenverkehr: In Markierungszustand II wird häufig auch bei unmittelbarem Gegenverkehr, also ohne Lücke im Gegenverkehrsstrom, überholt.

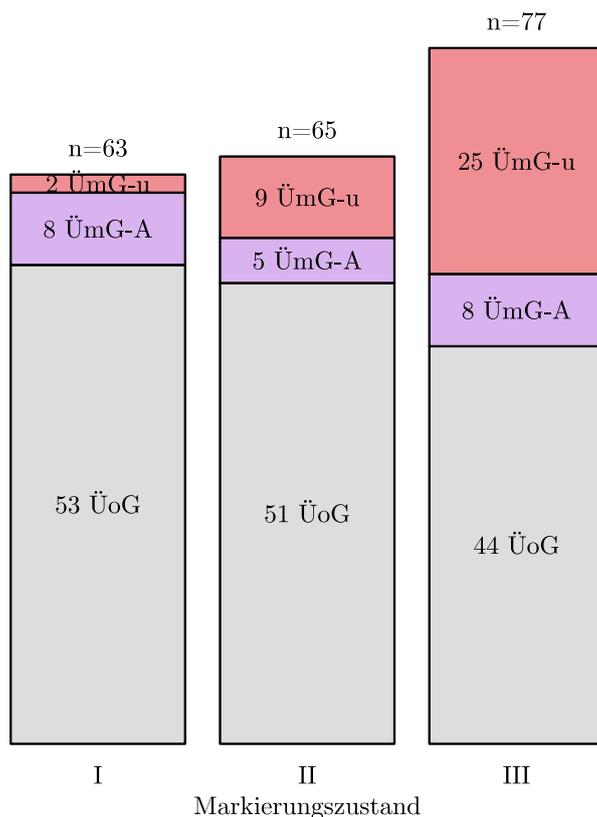


Abbildung 17: Anzahl Überholungen von Radfahrenden durch Kfz nach Markierungszustand in der Pleikartsförster Straße. Unterschieden wird außerdem die Situation im Gegenverkehr nach Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr (ÜmG-u), Überholungen mit Gegenverkehr in Annäherung (ÜmG-A) und Überholungen ohne Gegenverkehr (ÜoG).

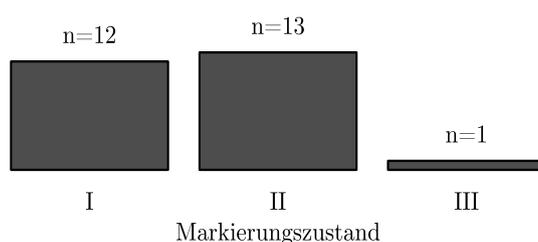


Abbildung 18: Anzahl abgelehnter Überholungen nach Markierungszustand in der Pleikartsförster Straße. Hinweis: Abgelehnte Überholungen wurden nur für einen Teil des Auswertungszeitraums erhoben (siehe Abschnitt 3.6.2).

In Markierungszustand III sind durch die zusätzliche Mittellinie jeweils eigene Bereiche für Radfahrenden, überholende Kfz und den Gegenverkehr ausgewiesen. Mit diesen Markierungen spielt der Gegenverkehr bei der Entscheidung für oder gegen eine Überholung keine erkennbare Rolle mehr: Es wurde nur noch eine abgelehnte Überholung beobachtet

und die Zahl der Überholungen mit Gegenverkehr, insbesondere auch mit unmittelbarem Gegenverkehr, übersteigt diejenige der anderen Markierungszustände deutlich.

In der Entscheidung von Kfz-Führenden für oder gegen Überholungen von Radfahrenden bei Gegenverkehr scheint also vor allem die Frage relevant, ob der Raum für die Begegnung mit dem Gegenverkehr ausreicht. Die Mittellinie des Markierungszustand III, die 2,50 m links des 2 m breiten Schutzstreifens liegt, ist den Kfz-Führenden dabei eine große Hilfe. In Markierungszustand I und II müssen Kfz-Führende den Raumbedarf des Gegenverkehrs ohne Hilfe durch Markierungen einschätzen. Auch die Mittellinie in Markierungszustand I, 3,75 m links des Fahrbahnrandes, ist dabei nicht hilfreich, weil sie für die Überholung von Radfahrenden die falsche Lage hat (siehe Abschnitt 4.3).

Die Ergebnisse zeigen also, dass Fahrbahnmarkierungen einen deutlichen Einfluss auf den Anteil angenommener Überholungen bei Gegenverkehr haben können. Ein solcher Nachweis gelingt Ohm et al. (2015, S. 61) nicht. In der Studie wurde aber nur unterschieden, ob ein Schutzstreifen vorhanden ist, und nicht, ob und wie weitere Leitlinien markiert sind.

In Markierungszustand III der Pleikartsförster Straße liegt außerdem die absolute Zahl des Anteils angenommener Überholungen bei Gegenverkehr deutlich oberhalb der von Ohm et al. (2015, S. 62) bestimmten Werte. Laut der Studie werden auf 7,50 m breiten Fahrbahnen Werte zwischen 40 % und 75 % erwartet. In Markierungszustand III liegt dieser Anteil bei 96 % (siehe Anlage A-3.1). Durch den hohen Anteil angenommener Überholungen ist in Markierungszustand III die Verkehrsqualität für den Kfz-Verkehr am besten (siehe Abschnitt 2.4.5). Aufgrund der geringen Verkehrsstärken im Rad- und Kfz-Verkehr sind die absoluten Unterschiede zwischen den Markierungszuständen allerdings als gering einzuschätzen.

Breite Kfz spielen bei den abgelehnten Überholungen keine besondere Rolle: Nur in drei Fällen in Markierungszustand I und einem Fall in Markierungszustand II war dabei mindestens ein Lieferwagen oder Lkw beteiligt. In den restlichen Fällen wurden also Überholungen im Begegnungsfall Rad-Pkw-Pkw abgelehnt.

## 4.2 Einfluss der Markierungen auf laterale Positionen bei Überholungen ohne Gegenverkehr

Werden überholende Kfz in ihrer Positionswahl nicht vom Gegenverkehr beeinflusst, können andere Einflüsse zu Tage treten. In der Pleikartsförster Straße haben die Schutzstreifenmarkierung und die Mittellinie in Markierungszustand III deutlichen Einfluss auf die lateralen Positionen überholender Kfz. Die Mittellinie in Markierungszustand I wiederum hat keinen erkennbaren Einfluss.

Im Markierungszustand I ist eine Mittellinie in 3,75 m Abstand vom Bord markiert. Diese Mittellinie wird beim Überholen ohne Gegenverkehr frei überfahren (siehe Abbildung 19a). Wäre das nicht der Fall, entstünden deutlich zu kleine Überholabstände: Bei einem 1,75 m breitem Kfz und einem Radfahrenden, der mit den Reifen in 0,60 m Abstand vom Bord fährt, betrüge der Seitenabstand maximal 0,95 m. Bei der Wahl zwischen einem solch geringen Abstand und dem Überfahren der Mittellinie entscheiden sich die Kfz-Führenden in der Pleikartsförster Straße in der Regel für letzteres.

Im Markierungszustand II ist ein Schutzstreifen mit einer Leitlinie bei 2 m Abstand vom rechten Bord markiert. Diese Leitlinie hat unterschiedliche Effekte auf das Verhalten der Kfz-Führenden beim Überholen ohne Gegenverkehr (siehe Abbildung 19e im Vergleich mit Abbildung 19d). Manche Kfz-Führende fahren mit ihrem rechten Rad auf oder sehr nahe an der Schutzstreifenmarkierung, obwohl Raum vorhanden gewesen wäre, auf der freien Kernfahrbahn nach links auszuweichen. Dementsprechend liegt das 5%-Perzentil der Positionen der rechten Reifen in Markierungszustand II um 0,14 m niedriger als in Markierungszustand I. Andere Kfz-Führende orientieren sich ebenfalls an der Schutzstreifenmarkierung, halten dabei aber einen Abstand von ca. 0,50–0,70 m. Dadurch fahren sie weiter links: die 23. bis 43. Perzentile der Positionen der rechten Reifen der überholenden Kfz liegen in Markierungszustand II jeweils mindestens 0,10 m höher als in Markierungszustand I. Es treten also verschiedene Leitlinieneffekte gleichzeitig auf, teilweise mit positiven, teilweise mit negativem Einfluss auf die Überholabstände: Viele Kfz-Führende fahren durch die Schutzstreifenmarkierung weiter links, einige lassen sich aber auch dazu verleiten, weiter rechts zu fahren als Kfz-Führende es ohne die Schutzstreifenmarkierung tun würden.

Im Markierungszustand III ist zusätzlich zum Schutzstreifen eine Mittellinie in 4,50 m Abstand zum rechten Bord markiert. Diese Linie wird beim Überholen ohne Gegen-

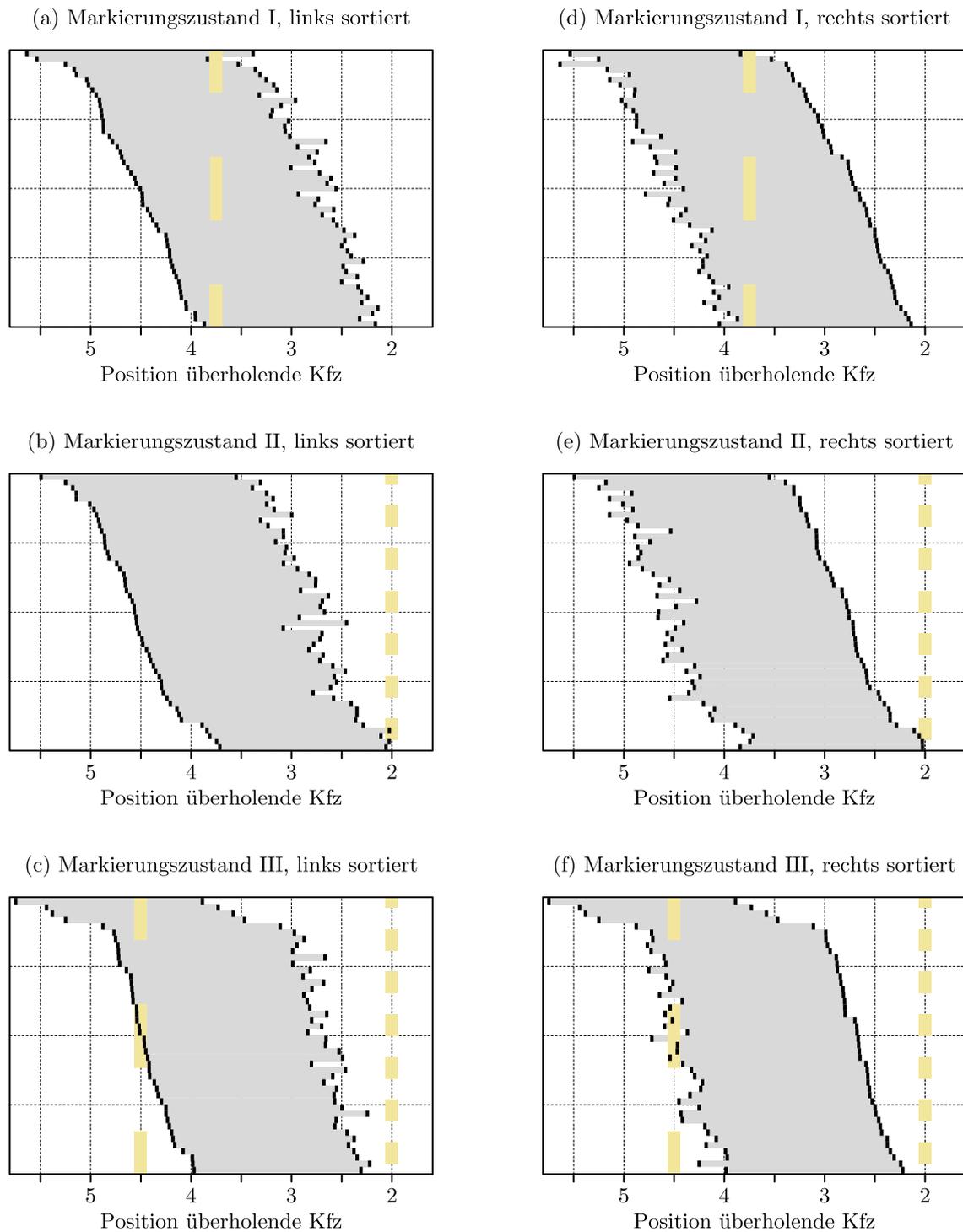


Abbildung 19: Laterale Positionen der überholenden Kfz bei Überholungen ohne Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße. Die erfassten Fahrzeuge sind mit ihren Reifenaußenkanten (schwarz) jeweils als ein horizontaler Streifen dargestellt. Die Fahrbahnmarkierungen (gelb) sind lateral maßstabsgetreu.

verkehr von den meisten Kfz-Führenden nicht oder nur wenig überfahren (siehe Abbildung 19c). Kfz-Führende weichen also beim Überholen weniger weit nach links aus, als sie könnten – die Gegenfahrbahn ist ja in den betrachteten Fällen frei. Der Effekt der Mittellinie betrifft allerdings vor allem Kfz-Führende, die sowieso tendenziell weiter links fahren: Das 75%- und 50%-Perzentil der Positionen der rechten Reifen der überholenden Kfz ist in Markierungszustand III um 0,34 m bzw. 0,17 m geringer als in Markierungszustand II. Beim 25%-Perzentil beträgt der Unterschied nur noch 0,04 m (vergleiche Abbildungen 19e und 19f).

Die Analyse in diesem Abschnitt zeigt, dass sich Leitlinieneffekte nicht nur indirekt aus den Überholabständen ablesen lassen (vergleiche Ohm et al., 2015, S. 63), sondern auch direkt aus den lateralen Positionen ohne Gegenverkehr überholender Kfz. Die Beobachtung anderer Studien, dass überholende Kfz-Führende Leitlinien zwischen Fahrstreifen auch dann nicht überfahren, wenn der angrenzende Fahrstreifen frei ist (Richter et al., 2019, S. 68, Reichenbach und Affolter, 2003, S. 47), kann nur teilweise bestätigt werden. Ob dieser Effekt auftritt, hängt von der Lage der Mittellinie ab: In der Pleikartsförster Straße orientieren sich Kfz-Führende beim Überholen von Radfahrenden deutlich an der Mittellinie mit 4,50 m Abstand vom rechten Bord, aber gar nicht an der Mittellinie bei 3,75 m. Mittellinien haben also dann keine negativen Auswirkungen auf Überholabstände, wenn sie entweder nah genug oder in ausreichend großem Abstand zum Fahrbahnrand markiert sind.

#### 4.3 Einfluss des Gegenverkehrs auf laterale Positionen überholender Kfz

Überholt ein Kfz-Führender einen Radfahrenden bei unmittelbarem Gegenverkehr, so begrenzt letzterer, wie weit der Kfz-Führende nach links ausweichen kann. Die lateralen Positionen dieser überholenden Kfz liegt daher meist weiter rechts als bei den anderen Überholtypen (siehe Anlage A-3.2). Dadurch treten potenziell kritische Überholabstände auf.

Bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr fahren Kfz-Führende in Bezugsrichtung in Markierungszustand III mit ihren linken Reifen im Schnitt 0,12 m weiter links als in Markierungszustand II (siehe Tabelle 4 und Abbildung 20).<sup>16</sup> Markierungszustand

---

<sup>16</sup> Weil sie miteinander verrechnet werden dürfen, sind in diesem Abschnitt Mittelwerte als zusammenfassende Kenngrößen angegeben. In Anlage A-3.3 finden sich zusätzlich Mediane. Diese weichen aber nur unwesentlich von den Mittelwerten ab.

Tabelle 4: Mittelwerte der lateralen Positionen der linken Reifen der Kfz in der Pleikartsförster Straße. Die lateralen Positionen bezeichnen dabei, wie üblich, den Abstand zum Bord der Bezugsrichtung (siehe Abschnitt 3.6.1). Werte mit unzureichender Datengrundlage sind nicht angegeben.

Fahrzeuge	Markierungszustand		
	I	II	III
Alle Kfz im Gegenverkehr	4,66 m	4,79 m	4,97 m
Kfz des unmittelbaren Gegenverkehrs		4,89 m	5,07 m
Kfz in Bezugsrichtung beim Überholen mit unmittelbarem Gegenverkehr		3,93 m	4,05 m

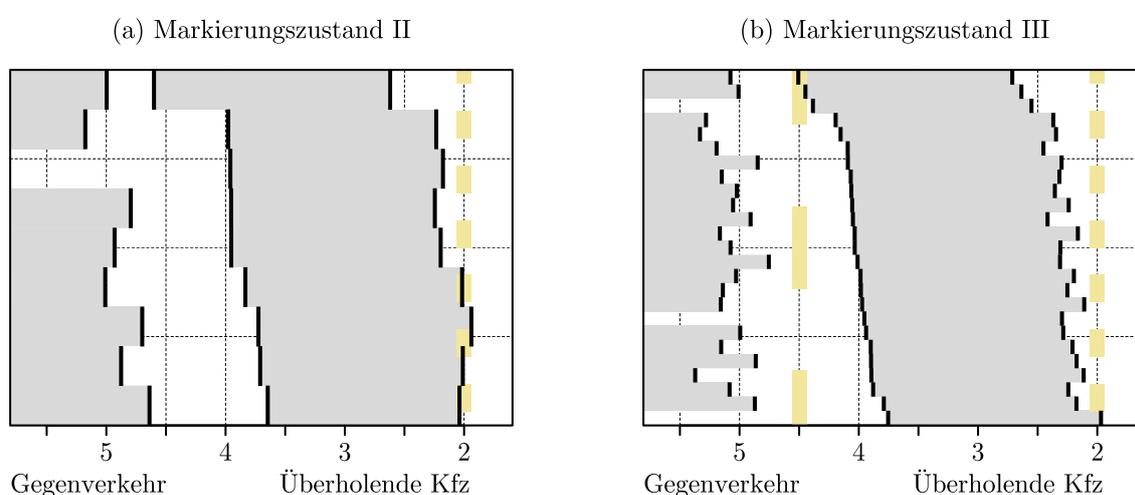


Abbildung 20: Laterale Positionen des überholenden Kfz und des jeweiligen Kfz des Gegenverkehrs bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße. Fehlende Kfz des Gegenverkehrs befanden sich außerhalb des Erfassungsbereichs. Markierungen (gelb) sind lateral maßstabsgetreu.

III unterscheidet sich von Markierungszustand II dadurch, dass zusätzlich eine Mittellinie markiert ist. Diese Mittellinie bewirkt, dass die bei der Überholung entgegenkommenden Fahrzeuge im Schnitt 0,18 m näher an ihrem Bord fahren. Dadurch können die überholenden Kfz „nachrücken“ und einen größeren Abstand zu den überholten Radfahrenden einhalten.

Die Unterschiede in den Markierungszuständen bewirken auch unabhängig von Überholungen, dass die Fahrzeuge in der Gegenrichtung weiter von der Seite der Bezugsrichtung abgerückt fahren.<sup>17</sup> In Markierungszustand I fahren die Fahrzeuge in Gegenrichtung im

<sup>17</sup> Laterale Positionen von Fahrzeugen wurden nur im Zusammenhang mit Überholungen erfasst. Als Näherung für die Verteilung der lateralen Positionen aller Kfz auf der Gegenfahrbahn werden die Messungen der Fahrzeuge des Gegenverkehrs bei Überholungen „ohne Gegenverkehr“

Schnitt mit 4,66 m Abstand vom Bord der Bezugsrichtung. In Markierungszustand II ist dieser Abstand um 0,13 m, in Markierungszustand III um weitere 0,18 m größer (siehe Tabelle 4).

Der Schutzstreifen mit Kernfahrbahn in Markierungszustand II und noch deutlicher die neue Mittellinie bei 4,50 m in Markierungszustand III führen also dazu, dass der Verkehr in Gegenrichtung von der Seite der Bezugsrichtung abgerückt fährt. Wenn Kfz-Führende bei unmittelbarem Gegenverkehr überholen, können sie durch die neuen Markierungen weiter links fahren. Weil aber insbesondere die Mittellinie von Markierungszustand III auch zu deutlich mehr Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr führt (siehe Abschnitt 4.1), und bei diesen die Überholabstände niedriger sind als bei Überholungen ohne Gegenverkehr (siehe Abschnitt 4.5.2), ist die Gesamtwirkung der Mittellinie auf die beobachteten Überholabstände negativ.

#### 4.4 Positionswahl der Radfahrenden mit und ohne Schutzstreifen

Im Vorher-Nachher-Vergleich der Markierungszustände in der Pleikartsförster Straße zeigt sich, dass Radfahrende durch Schutzstreifen weiter links fahren. Am Zählquerschnitt an der Einmündung des Stettiner Wegs (vergleiche Abschnitt 3.6.3) liegt der Median der lateralen Positionen mit Schutzstreifen um ca. 0,10 m höher als ohne Schutzstreifen (siehe Abbildungen 21a–c). Derselbe Effekt zeigt sich auch bei der Betrachtung der lateralen Positionen der Radfahrenden bei Überholungen (siehe Abbildungen 21d–f). Auch das Ausmaß des Effekts ist dabei ähnlich: Radfahrende fahren auch bei Überholungen durch den Schutzstreifen ca. 0,10 m weiter links.<sup>18</sup>

Im Vergleich der lateralen Positionen aller Radfahrenden an einem festen Querschnitt und der Radfahrenden während Überholungen im gleichen Markierungszustand ergibt sich ebenfalls eine Differenz von 0,08 bis 0,12 m. Radfahrende fahren also weiter rechts, wenn sie von einem Kfz überholt werden. Alle diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen anderer Studien (siehe Abschnitt 2.3).

---

herangezogen. Diese umfassen Gegenverkehr vor der Überholung und Gegenverkehr in mindestens 5,3 s oder 61 m Abstand zum Überholereignis (siehe Abschnitte 3.6.1 und 3.7).

<sup>18</sup> Der höhere Median in Markierungszustand II erklärt sich durch ein besonderes Ereignis, bei dem zwei nebeneinander fahrende Radfahrende drei Mal in Folge überholt wurden. Nebeneinander fahrende Radfahrende sind daher in den Daten zu Markierungszustand II überrepräsentiert.

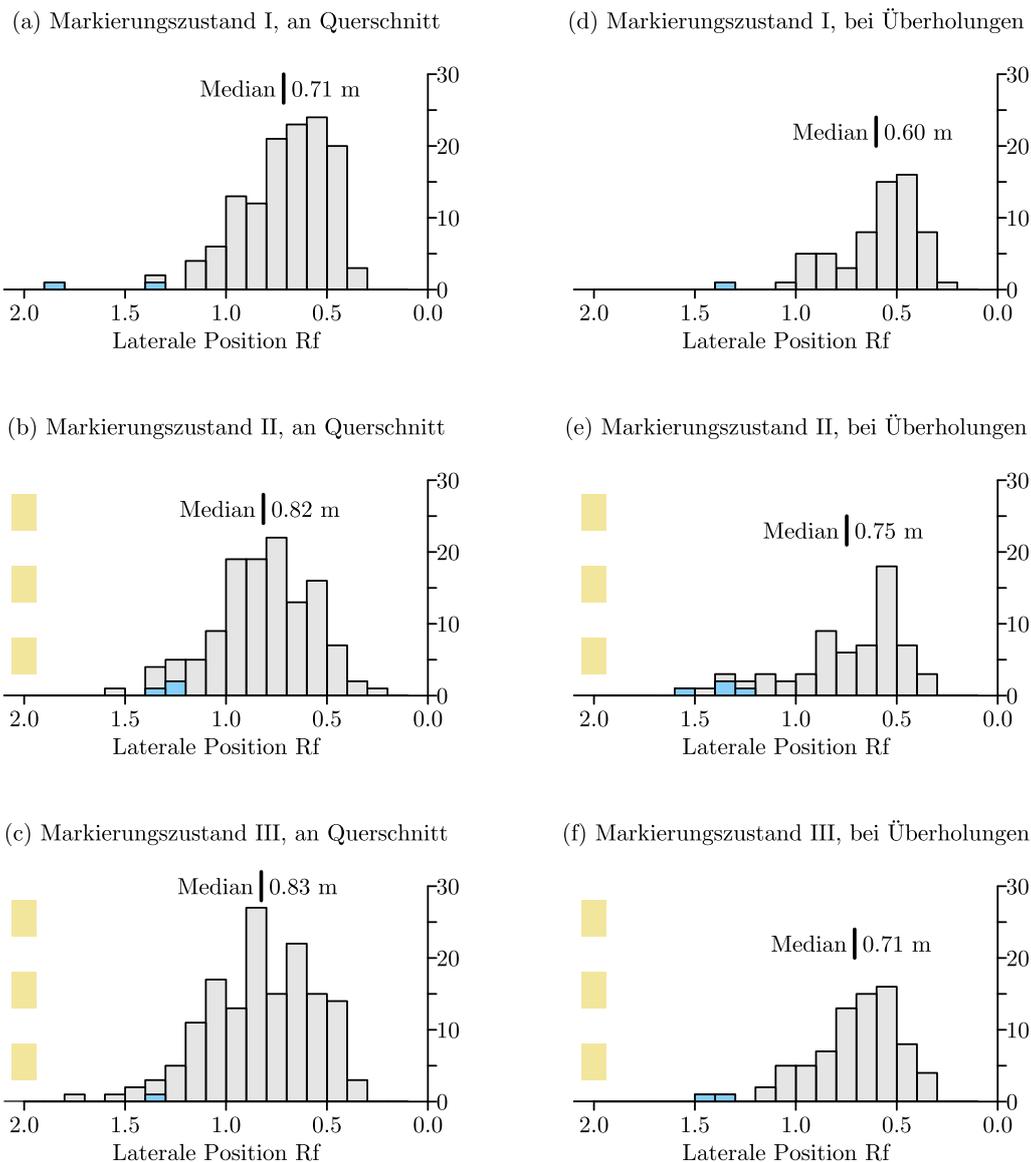


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilungen und Mediane der lateralen Positionen der Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße. Radfahrende, die links neben einem anderen Radfahrenden fahren, sind in blau hervorgehoben. Die Fahrbahnmarkierungen (gelb) sind lateral maßstabsgetreu.

Neue Erkenntnisse bringt die Betrachtung der absoluten lateralen Positionen der Radfahrenden auf dem Schutzstreifen. Die Aussage von Richter et al. (2019, S. 62) dass Radfahrende auch auf breiten Radverkehrsanlagen mittig fahren, kann in der Pleikartsförster Straße nicht bestätigt werden. Die Hypothese wäre nur dann korrekt, wenn die Radverkehrsanlage bei dem beobachteten Verhalten der Radfahrenden 1,70 m breit wäre. Tatsächlich ist der markierte Schutzstreifen allerdings 2 m breit.

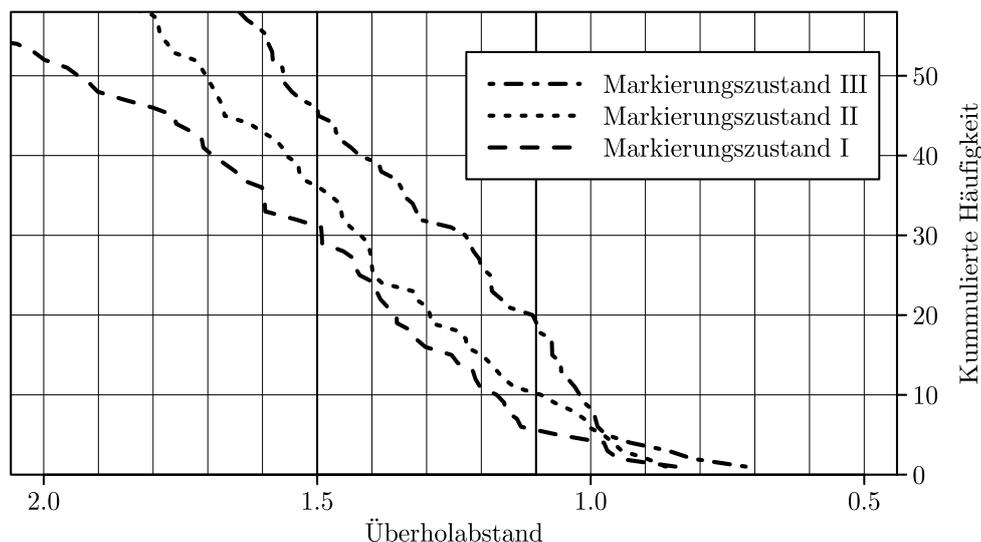


Abbildung 22: Kumulierte Häufigkeiten von Überholabständen in der Pleikartsförster Straße. Die links angetragene Zahl entspricht der Anzahl an Überholungen im jeweiligen Markierungszustand, bei denen die Überholabstände maximal den unten angetragenen Wert erreichen.

Die Untersuchung der Radpositionen im Kirchheimer Weg kommt diesbezüglich zum gleichen Ergebnis (siehe Abschnitt 5.2).

## 4.5 Überholabstände

In keinem der Markierungszustände in der Pleikartsförster Straße werden 1,50 m Überholabstand durchgehend eingehalten. Die beobachteten Überholabstände liegen aber deutlich über denen, die von anderen Studien an vergleichbaren Strecken mit schmäleren Schutzstreifen beobachtet wurden (siehe Abschnitt 4.5.2). Vor dem Vergleich mit anderen Strecken werden zunächst die Markierungszustände der Pleikartsförster Straße untereinander verglichen und dabei Ursachen für die Unterschiede herausgearbeitet.

### 4.5.1 Vergleich der Markierungszustände

Abbildung 22 stellt die Verteilung der Überholabstände dar, die in den jeweiligen Markierungszuständen gemessen wurden. Da sich die Gesamtanzahl der Überholungen in den Markierungszuständen deutlich unterscheidet (siehe Abschnitt 4.1), sind anstatt der Perzentile die kumulierten Häufigkeiten angegeben. In dieser Abbildung bedeutet eine steile Kurve anteilig viele Überholungen mit den unten angetragenen Überholabständen. Bei den Markierungszuständen der Pleikartsförster Straße liegen die maßgeblichen Unterschiede in der Anzahl der Überholungen, deren Überholabstände unter 1,10 m liegen.

Während in Markierungszustand I nur fünf Überholungen in diesen Bereich fallen, sind es zehn in II bzw. 19 in III. Im Bereich von 1,10–1,50 m hingegen liegen die Kurven in Abbildung 22 parallel. Das bedeutet, dass in allen Markierungszuständen die gleiche Anzahl an Überholungen mit diesen Überholabständen auftreten. Bei der Bewertung der Überholabstände sind insbesondere jene relevant, die deutlich unter 1,50 m liegen. Aus den genannten Unterschieden ergibt sich also, dass Markierungszustand I nach den Überholabständen am besten zu bewerten ist und Markierungszustand III am schlechtesten.

Bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz gibt es eine große Zahl an Faktoren, die die Überholabstände beeinflussen. Per Definition entsteht der Überholabstand aus der Differenz der lateralen Positionen des Radfahrenden und des überholenden Kfz (siehe Abschnitt 2.4.1). Radfahrende fahren dabei durch die Schutzstreifenmarkierung oft weiter links (siehe Abschnitt 4.4). Die laterale Position der überholenden Kfz wiederum hängt von der Situation im Gegenverkehr ab und wie sich die Kfz-Führenden in den jeweiligen Situationen verhalten (siehe Abschnitte 4.2 und 4.3). Außerdem spielt es eine Rolle wie häufig diese Situationen auftreten (siehe Abschnitt 4.1). Alle erfassten Überholungen sind mit den genannten Einflussfaktoren in Abbildung 23 dargestellt.

Die Diagramme in Abbildung 23 können jeweils wie ein Blick von oben auf die Fahrbahn gelesen werden: Für jede Überholung werden zwei Punkte auf diese „Fahrbahn“ gezeichnet: einer entsprechend der lateralen Position des rechten Reifens des überholenden Kfz und einer für die laterale Position des überholten Radfahrenden. Aus dem Abstand dieser Punkte lässt sich der Überholabstand berechnen. Da sich die zusammengehörigen Punkte oft schwer zuordnen lassen, werden beide in y-Richtung entsprechend der lateralen Positionen des Radfahrenden platziert. Die Punkte der Radfahrenden liegen infolgedessen auf einer Linie. Außerdem lassen sich so die Überholabstände auch allein aus dem Punkt für das überholende Kfz bestimmen. An welchen Stellen diese Punkte bei Überholungen mit 1,50 m bzw. 1,10 m Abstand liegen würden, ist durch zwei diagonale Linien gekennzeichnet. Links und rechts dieser Linien sind die Überholabstände entsprechend größer oder kleiner.

Die mittels Abbildung 22 bestimmten, unterschiedlichen Häufigkeiten von Überholungen mit weniger als 1,10 m Abstand lassen sich auch in Abbildung 23 erkennen. Außerdem zeigen sich folgende Gründe für diese Unterschiede:

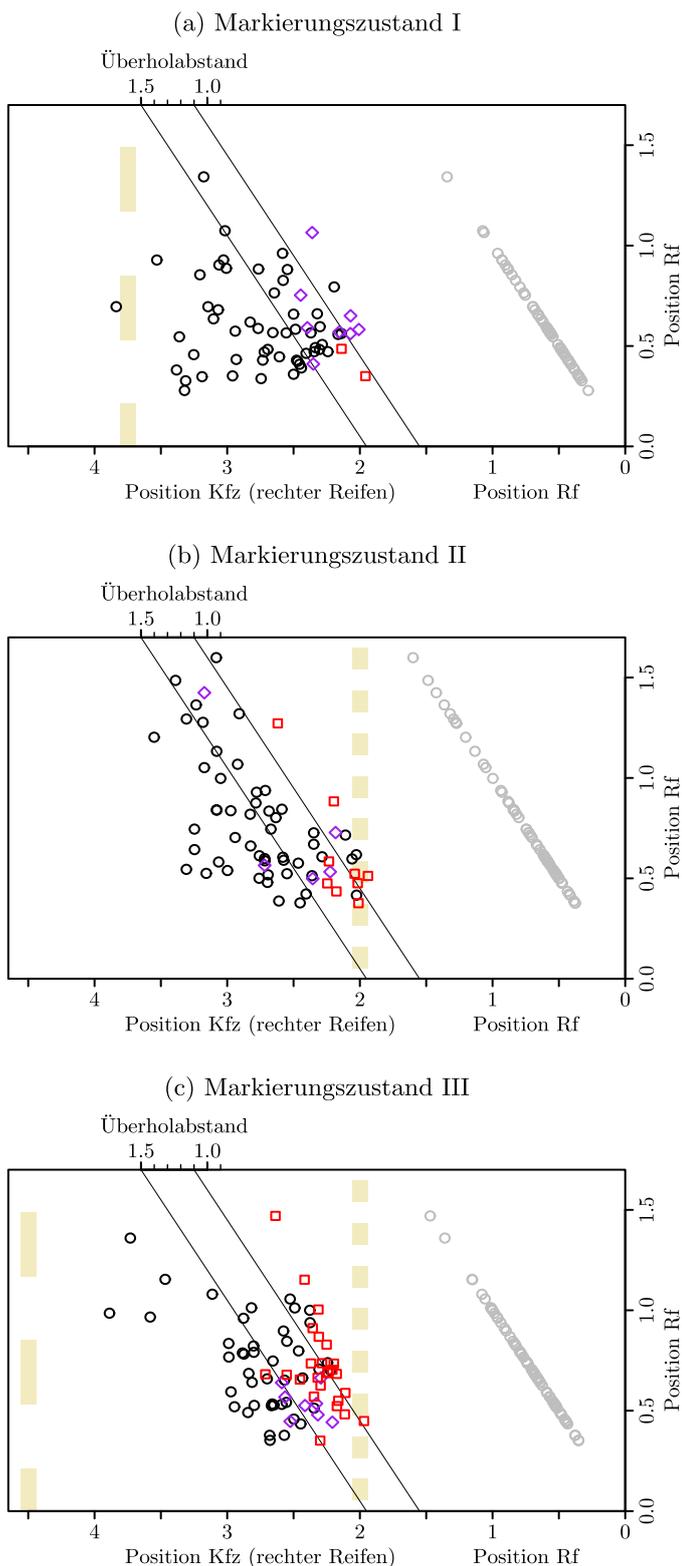


Abbildung 23: Positionen der überholenden Kfz nach Position der überholten Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße. Symbol und Farbe kennzeichnen Überholungen ohne Gegenverkehr (schwarze Kreise), Überholungen mit Gegenverkehr in Annäherung (violette Rauten) und Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr (rote Quadrate). Die Positionen der Radfahrenden sind außerdem als graue Kreise dargestellt. Bei Symbolen auf den diagonalen Linien beträgt der Überholabstand 1,50 bzw. 1,10 m. Markierungen (gelb) sind lateral maßstabsgetreu.

- In Markierungszustand III finden deutlich mehr Überholungen mit Gegenverkehr statt als in den anderen Markierungszuständen. Bei diesen wird mit geringeren Abständen überholt als bei Überholungen ohne Gegenverkehr, häufig auch mit weniger als 1,10 m Abstand.
- In Markierungszustand III gibt es bei Kfz-Führenden außerdem die allgemeine Tendenz, innerhalb des durch die beiden Leitlinien markierten Bereichs zu bleiben. Dabei reagieren überholende Kfz-Führende teilweise auch ohne Gegenverkehr zu wenig auf besonders weit links fahrende Radfahrende. Dadurch entstehen weitere Überholungen mit Abständen unter 1,10 m.
- In Markierungszustand I und II treten eine ähnliche Zahl an Überholungen mit Gegenverkehr und weniger als 1,10 m Abstand auf. Zu diesen kommt in Markierungszustand II eine höhere Anzahl von Überholungen ohne Gegenverkehr, bei denen – wahrscheinlich aufgrund des Leitlinieneffekts des Schutzstreifens – der Abstand ebenfalls unter 1,10 m liegt.

Die unterschiedliche Anzahl an Überholungen mit niedrigen Abständen lässt sich im Vergleich der Markierungszustände also vor allem auf die unterschiedliche Zahl der Überholungen mit Gegenverkehr zurückführen. Dazu kommen Leitlinieneffekte der Schutzstreifenmarkierung und der Mittellinie von Markierungszustand III, letztere insbesondere bei weit links fahrenden Radfahrenden.

#### 4.5.2 Vergleich mit anderen Studien

Für den Vergleich mit anderen Studien sind in Abbildung 24 und Tabelle 5 Verteilung und übliche Perzentile der Überholabstände in allen Markierungszuständen angegeben. In Abbildung 25 sind außerdem die Verteilungen der Abstände mit und ohne Gegenverkehr einzeln dargestellt. Die Anteile an Überholungen in bestimmten Abstandsklassen und die in Abschnitt 3.9 vorgeschlagenen kombinierten Kennwerte finden sich in Anlage A-3.3.

Ohm et al. (2015) untersuchen zwei Strecken mit 1,25–1,60 m breiten einseitigen Schutzstreifen und 5,40–5,50 m breiten Kernfahrbahnen. Das 15%-Perzentil der Überholabstände liegt auf beiden Strecken bei ca. 0,85 m (siehe Anlage A-1.2). In der Pleikartsförster Straße liegen die gleichen Perzentile in Markierungszustand II und III bei 1,13 m bzw. 1,05 m. Mit dem 2 m breiten Schutzstreifen treten also deutlich größere Überholabstände auf.

Tabelle 5: Perzentile der Überholabstände bei Überholungen in der Pleikartsförster Straße

Markierungszustand	10 %	15 %	25 %	50 %
I	1,14 m	1,18 m	1,31 m	1,54 m
II	1,02 m	1,13 m	1,23 m	1,46 m
III	1,00 m	1,05 m	1,11 m	1,39 m

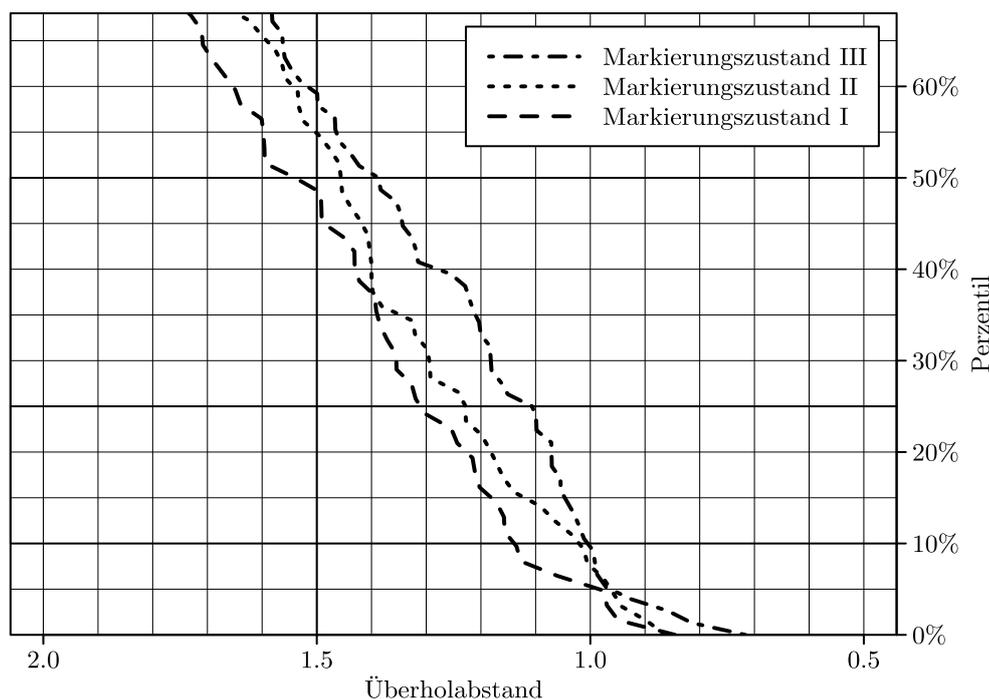


Abbildung 24: Verteilung der Überholabstände bei Überholungen in der Pleikartsförster Straße

In den Markierungszuständen II und III, also nach Anlage des Schutzstreifens, wird in der Pleikartsförster Straße mit geringeren Abständen überholt als vorher ohne Schutzstreifen (Markierungszustand I). Der Unterschied ist aber deutlich kleiner als bei anderen neu markierten Schutzstreifen: Durch einen 1,50 m breiten, einseitigen Schutzstreifen auf einer 8 m breiten Fahrbahn sinkt bei Kipke und Ullmann (2021, S. 95) das 25%-Perzentil der Überholabstände von 1,50 m auf 1,00 m. In der Pleikartsförster Straße liegt das gleiche Perzentil des Überholabstands vorher bei 1,31 m und mit Schutzstreifen bei 1,11–1,22 m (siehe Tabelle 5). Der 2 m breite Schutzstreifen hat also einen negativen Effekt auf die Überholabstände, dieser ist aber deutlich geringer als bei schmaleren Schutzstreifen.

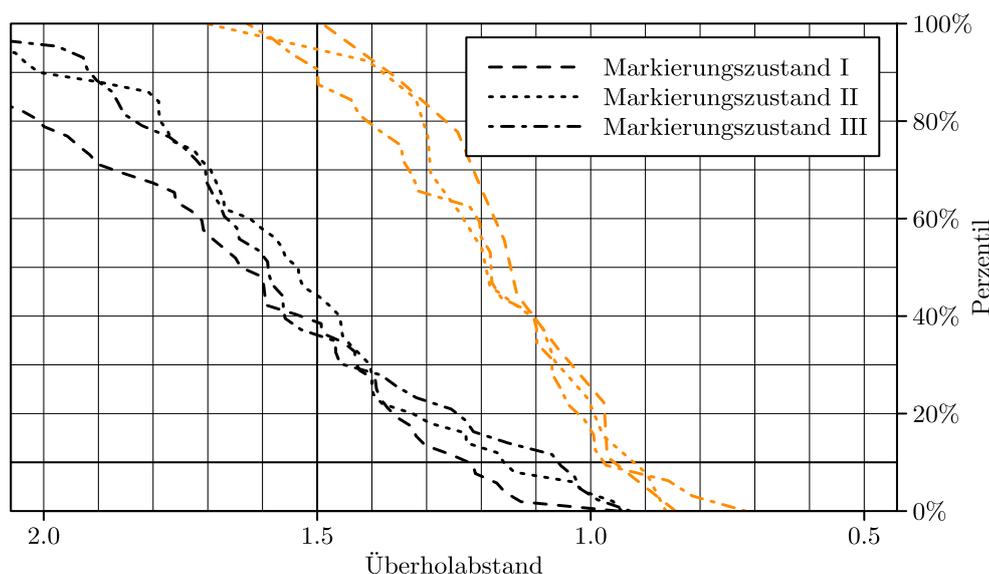


Abbildung 25: Verteilung der Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr (schwarz) und mit Gegenverkehr (orange) in der Pleikartsförster Straße

Im Vergleich der Überholabstände nach Situation im Gegenverkehr liegen die Werte in der Pleikartsförster Straße mit Schutzstreifen (Markierungszustand II und III) ebenfalls deutlich über denen vergleichbarer Strecken. Bei den zwei von Hupfer (2000) untersuchten Strecken mit 1,40 m breiten, einseitigen Schutzstreifen und 5,49–5,95 m breiten Kernfahrbahnen liegen die 10%-Perzentile der Überholabstände ohne Gegenverkehr bei 0,80–0,90 m, mit Gegenverkehr bei 0,50–0,60 m (siehe Anlage A-1.4). Die gleichen Perzentile liegen in der Pleikartsförster Straße mit Schutzstreifen bei 1,06–1,16 m bzw. 0,92–0,98 m (siehe Abbildung 25). Der breitere Schutzstreifen führt also sowohl mit als auch ohne Gegenverkehr zu deutlich größeren Überholabständen. Die um ca. 0,50 m breitere Kernfahrbahn auf einer der von Hupfer untersuchten Strecken hat keinen solchen positiven Effekt.

Kaulen et al. (2013) untersuchen eine Strecke mit schmalerem Schutzstreifen (1,25 m) und etwas schmalere Kernfahrbahn (5,25 m). An dieser liegt das 10%-Perzentil der Überholabstände ohne Gegenverkehr sogar nur bei 0,75 m. Überholungen mit Gegenverkehr wurden an dieser Strecke nicht beobachtet.

Insgesamt liegen die Überholabstände in der Pleikartsförster Straße in beiden Markierungszuständen mit Schutzstreifen deutlich über denen von vergleichbaren Querschnitten mit schmaleren Schutzstreifen.

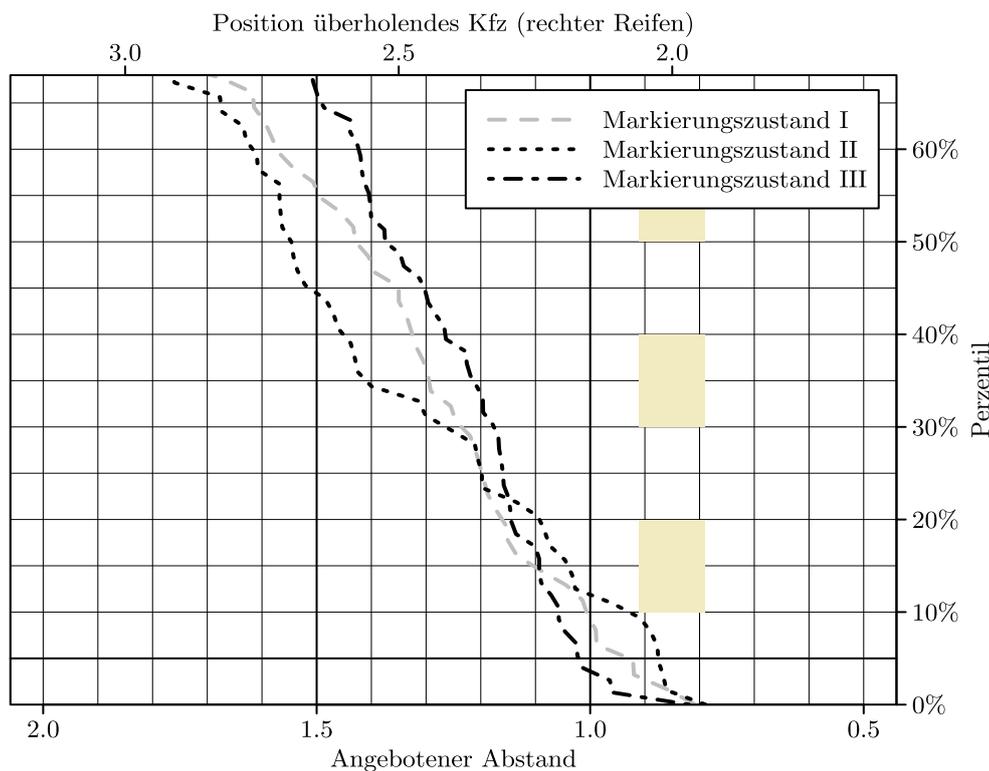


Abbildung 26: Verteilung der angebotenen Abstände bei Überholungen in der Pleikartsförster Straße. Die angebotenen Abstände berechnen sich als laterale Position Kfz minus 1,15 m. Somit kann aus dem Diagramm auch die Verteilung der lateralen Positionen überholender Kfz abgelesen werden (siehe Achsenbeschriftung oben). Die gelbe Markierung gibt an, welchen angebotenen Abstand ein überholender Kfz-Führender einhält, der mit seinem rechten Reifen an oder auf der Markierung des 2 m breiten Schutzstreifens fährt (nur Markierungszustand II und III) fährt.

#### 4.6 Laterale Positionen überholender Kfz und angebotene Abstände

Mit dem angebotenen Abstand wird erfasst, welchen Überholabstand Radfahrende durch ihr eigenes Verhalten sicherstellen können (siehe Abschnitt 3.8). Radverkehrsanlagen sollten so bemessen sein, dass der angebotene Abstand bei (fast) allen Überholungen mindestens 1,50 m beträgt. Ist das der Fall, werden Radfahrende, sofern sie sich rechts halten, (fast) immer mit mindestens 1,50 m Abstand überholt.

Der angebotene Abstand hängt nur von der Position überholender Kfz ab. Mit der in dieser Arbeit gewählten Definition bietet ein überholender Kfz-Führender genau dann 1,50 m Abstand an, wenn er mit den rechten Reifen in 2,65 m Distanz zum Fahrbahnrand fährt. Aus Abbildung 26 können also sowohl die Verteilung der angebotenen Abstände als auch die Verteilung der lateralen Positionen überholender Kfz abgelesen werden.

Mit dem 2 m breiten Schutzstreifen in den Markierungszuständen II und III wird das Ziel eines angebotenen Abstands von 1,50 m nicht annähernd erreicht (siehe Abbildung 26). Das 5%-Perzentil – als mögliche Definition für „fast alle“ – liegt in Markierungszustand II bei 0,88 m, in Markierungszustand III bei ca. 1,02 m.

Die Idee des angebotenen Abstands setzt voraus, dass Radfahrende durch die Schutzstreifenmarkierung wissen können, wo die am weitesten rechts fahrenden überholenden Kfz fahren werden. Nur dadurch können sie den Überholabstand, mit dem sie überholt werden wollen, selbst wählen. Die Kfz-Führenden müssen also die Schutzstreifenmarkierung beim Überholen respektieren. Das ist sowohl in Markierungszustand II als auch Markierungszustand III der Fall: In letzterem wird die Schutzstreifenmarkierung fast nie befahren, in ersterem fast nie überfahren (siehe Abbildung 26). Grundsätzlich wird also in beiden Markierungszuständen ein Überholabstand angeboten – wenn auch deutlich unter 1,50 m.

In Markierungszustand I gibt es nur eine Mittellinie und damit keine Markierung, die die zu erwartende Position der überholenden Kfz angibt. Daher ist der angebotene Abstand als Bewertungskriterium für den Markierungszustand nicht anwendbar. Als Vergleichsgrundlage ist die Verteilung der lateralen Positionen überholender Kfz von Markierungszustand I in Abbildung 26 dennoch angegeben. Es fällt auf, dass die Verteilungen in Markierungszustand II und III nur wenig von Markierungszustand I abweichen. Insbesondere fährt auch schon in Markierungszustand I fast kein überholender Kfz-Führender mit weniger als 2 m Abstand vom Bord. Die Leitlinie des 2 m breiten Schutzstreifens gibt dementsprechend wenig Impuls, beim Überholen weiter links zu fahren und so größere Überholabstände anzubieten.

Der Unterschied zwischen den Markierungszuständen II und III bei den niedrigen angebotenen Abständen lässt sich auf die folgenden Ursachen zurückführen (siehe Abbildung 27):

- In Markierungszustand II fahren überholende Kfz-Führende bei Gegenverkehr weiter rechts als in Markierungszustand III und bieten somit weniger Abstand an. Der Unterschied liegt in den niedrigen Perzentilen bei ca. 0,10–0,15 m. Er lässt sich mit den Unterschieden der lateralen Positionen des Gegenverkehrs erklären: Dieser fährt in Markierungszustand II – aus der Blickrichtung der überholenden Kfz-Führenden – im Schnitt ebenfalls ca. 0,15 m weiter rechts (siehe Abschnitt 4.3).

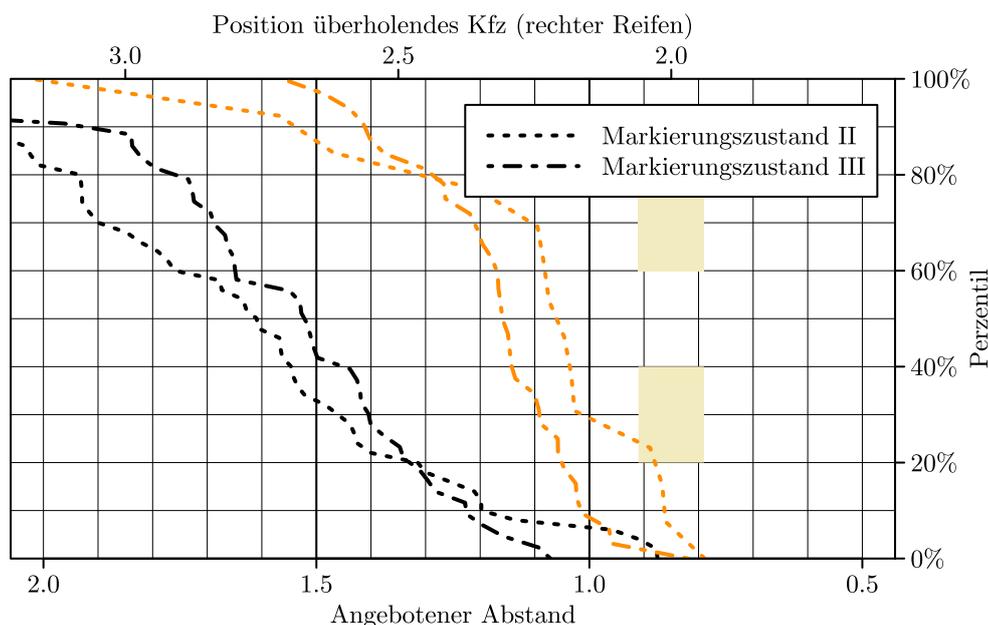


Abbildung 27: Verteilung der angebotenen Abstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr (schwarz) und Überholungen mit Gegenverkehr (orange) in der Pleikartsförster Straße. Die Darstellung entspricht ansonsten der in Abbildung 26.

- In Markierungszustand II fahren einige Kfz-Führende beim Überholen ohne Gegenverkehr ebenso weit rechts, wie dies Kfz-Führende bei Überholungen mit Gegenverkehr tun. Diese Kfz-Führenden lassen also schon Raum für weit entfernten, teilweise noch nicht einmal sichtbaren Gegenverkehr. Der Raum erscheint dabei knapp, sodass diese Kfz-Führende bis nahe an die Schutzstreifenmarkierung heranrücken.

Der Druck, dem Gegenverkehr auszuweichen, führt in Markierungszustand II also dazu, dass einige Kfz-Führende beim Überholen von Radfahrenden mit ihren rechten Reifen dicht an oder sogar auf der Schutzstreifenmarkierung fahren. In Markierungszustand III wird solches Verhalten deutlich weniger beobachtet. Hier reduziert die Mittellinie den objektiven und subjektiven Raumbedarf des Gegenverkehrs. Warum Kfz-Führende in Markierungszustand II aber vor dem Gegenverkehr nicht noch weiter nach rechts ausweichen, bleibt unklar. Entweder wird tatsächlich versucht, das Überfahren der Schutzstreifenmarkierung zu vermeiden oder es wird einfach nur ein bestimmter Mindestabstand zu den überholten Radfahrenden eingehalten. Das Abstandsverhalten allein hat in Markierungszustand I auch bewirkt, das Kfz-Führende in mindestens 2 m Entfernung vom Bord fahren (siehe Abbildung 26).

Mit dem 2 m breiten Schutzstreifen in Markierungszustand II und III liegt das 5%-Perzentil der Positionen der rechten Reifenaußenkanten der überholenden Kfz bei 2,03 m bzw. 2,17 m. Für einen angebotenen Abstand von 1,50 m müssen diese Positionen bei mindestens 2,65 m liegen. Um dies zu erreichen, müssten also Kfz-Führende beim Überholen von Radfahrenden ca. 0,50 m bis 0,60 m weiter links fahren.

#### 4.7 Geschwindigkeiten überholender Kfz

Die Fahrbahnmarkierung hat einen leichten Einfluss auf die Geschwindigkeiten, mit der Kfz-Führende Radfahrende überholen. In Markierungszustand I ohne Schutzstreifen liegt das 85%-Perzentil der Überholgeschwindigkeiten bei 50,1 km/h (siehe Tabelle 6). Mit Schutzstreifen, also in Markierungszustand II und III, liegt das gleiche Perzentil um 2,5 km/h bzw. 1,0 km/h niedriger.

Weil die kinetische Energie eines Fahrzeugs quadratisch mit der Geschwindigkeit steigt, steigt der zu erwartenden Schaden bei Unfällen vermutlich ebenfalls überproportional zu der Geschwindigkeit. Um dies in den aggregierten Kennwerten zu berücksichtigen, können Mittelwerte der Quadrate der Geschwindigkeiten gebildet werden. Dieser Wert liegt in Markierungszustand II um ca. 1,5 km/h niedriger als in den anderen Markierungszuständen (siehe Tabelle 6).

Werden gleichzeitig Überholgeschwindigkeiten und -abstände betrachtet, so sind insbesondere hohe Geschwindigkeit bei gleichzeitig niedrigen Abständen als kritisch zu bewerten. In Markierungszustand III fallen drei Fälle auf, die in dieser Hinsicht besonders extrem sind (siehe Abbildung 28). Auch von diesen Fällen abgesehen gibt es keinen ausgeprägten Trend, dass Kfz-Führende bei niedrigen Überholabständen langsamer überholen würden.

Aus Sicht der Sicherheit der Radfahrenden sind also die Überholgeschwindigkeiten in Markierungszustand II mit Schutzstreifen und Kernfahrbahn am besten zu bewerten.

Tabelle 6: Kennwerte der Geschwindigkeiten überholender Kfz in der Pleikartsförster Straße. Weitere Kennwerte finden sich in Anlage A-3.4.

	Markierungszustand		
	I	II	III
85%-Perzentil	50,1 km/h	47,6 km/h	49,1 km/h
Mittelwert der Quadrate	43,2 km/h	41,8 km/h	43,4 km/h

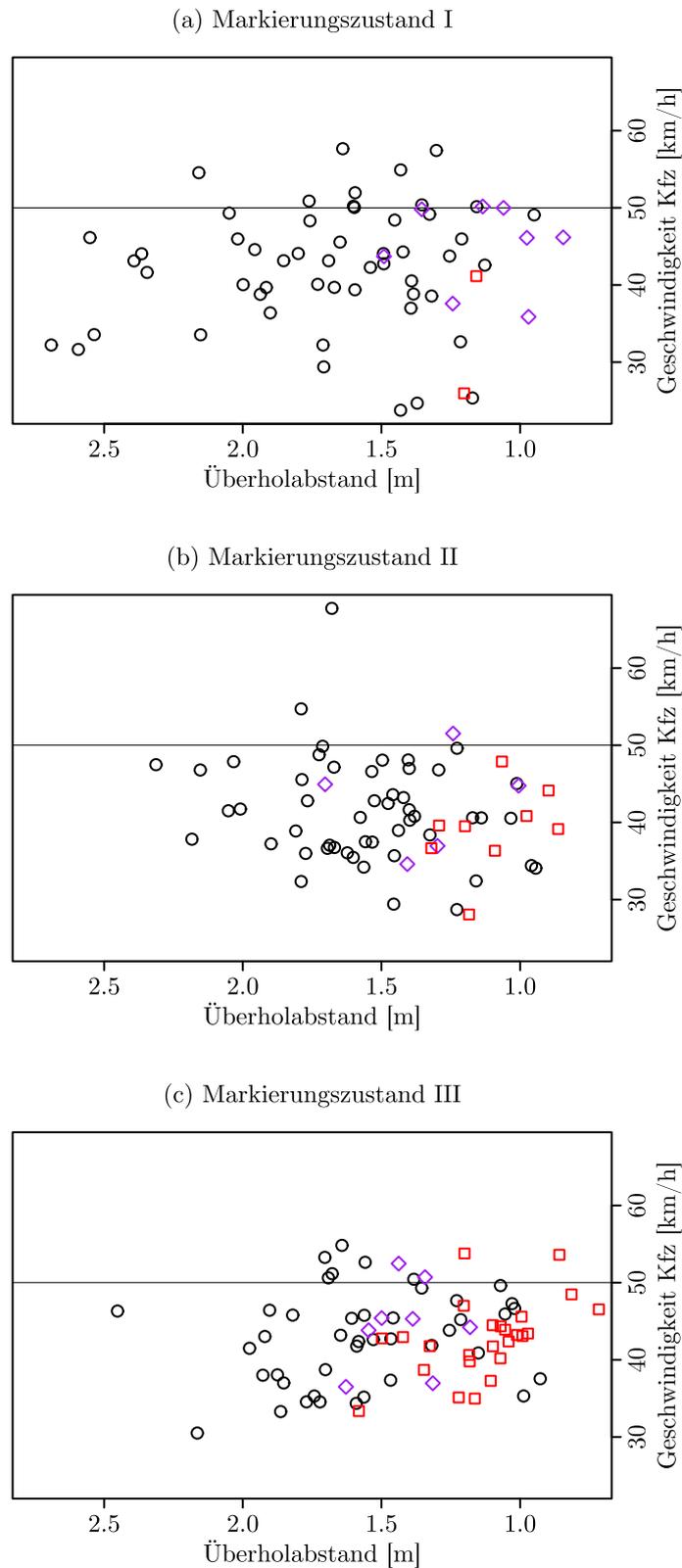


Abbildung 28: Geschwindigkeit überholender Kfz nach Abstand zu überholten Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße. Symbol und Farbe kennzeichnen Überholungen ohne Gegenverkehr (schwarze Kreise), Überholungen mit Gegenverkehr in Annäherung (violette Rauten) und Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr (rote Quadrate).

Hier spielt es wahrscheinlich eine Rolle, dass die Kernfahrbahn insbesondere für Überholungen mit Gegenverkehr schmal erscheint. Das Gegenteil ist der Fall in Markierungszustand III: Hier sind für Radfahrende und den Gegenverkehr jeweils eigene Bereiche der Fahrbahn markiert, sodass in Bezugsrichtung fahrende Kfz-Führende einfacher überholen können (siehe auch Abschnitt 4.1). Die einfachere Fahraufgabe beim Überholen führt erwartungsgemäß zu höheren Geschwindigkeiten. Da in Markierungszustand III hohe Geschwindigkeiten auch bei besonders niedrigen Überholabständen auftreten, ist dieser aus Sicht der Sicherheit der Radfahrenden am schlechtesten zu bewerten.

#### 4.8 Verkehrsraumnutzung der Radfahrenden

In der Pleikartsförster Straße wurden insgesamt 1215 Radfahrende gezählt, davon 51 % in Bezugsrichtung und 49 % in Gegenrichtung. In Gegenrichtung nutzen, wie durch das den Radweg im Seitenraum. In Bezugsrichtung ist, außer für die wenigen erfassten Kinder Verkehrszeichen 241 „Getrennter Rad- und Gehweg“ angeordnet, 97 % der Radfahrenden unter 10 Jahren und deren Begleitpersonen, die Nutzung der Fahrbahn vorgeschrieben. Gegen diese Vorschrift wird von vielen der Betroffenen verstoßen (siehe Abbildung 29).

Bei der illegalen Seitenraumnutzung gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Markierungszuständen: In Markierungszustand II und III mit Schutzstreifen ist diese bis zu zehn Prozentpunkte niedriger als in Markierungszustand I. Als Grund dafür ist das verbesserte Sicherheitsgefühl von Radfahrenden im Mischverkehr durch den Schutzstreifen anzunehmen (Hardinghaus et al., 2019, Schäfer et al., 2020, Kipke und Ullmann, 2021).

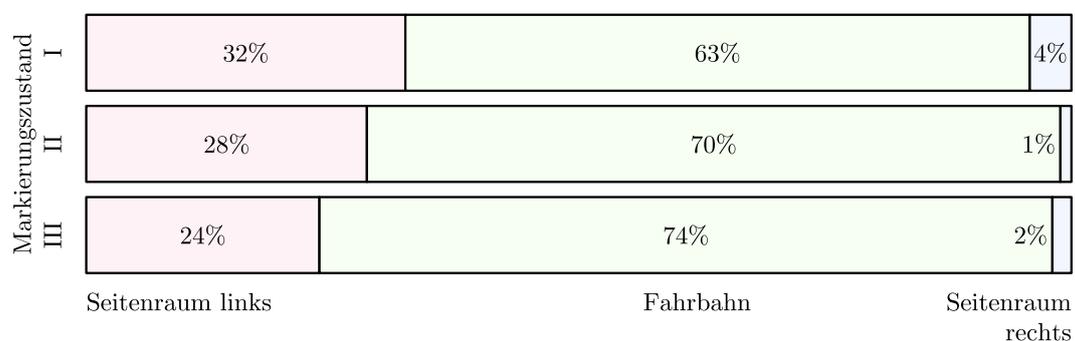


Abbildung 29: Verteilung der tatsächlichen Verkehrsraumnutzung von Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße, die zur Nutzung der Fahrbahn verpflichtet sind. Radfahrende im Seitenraum links fahren auf dem Geh- und Radweg entgegen der vorgeschriebenen Richtung.

Der Grund für den Unterschied in der Seitenraumnutzung zwischen Markierungszustand II und III ist unklar. Ein denkbarer Grund ist, dass der Schutzstreifen in der Messphase von Markierungszustand III mehr Radfahrenden bekannt war, da er schon für Markierungszustand II angelegt worden war. Die Messungen für II fanden drei Wochen nach der Anlage des Schutzstreifens statt, die Messungen für III weitere sechs Wochen später.

Die Reduzierung des Anteils der Radfahrenden, die im Seitenraum links fahren, hat einen positiven Effekt auf die Sicherheit. Jene Radfahrenden fahren entgegen der erwarteten Richtung und sind daher besonders gefährdet, in Unfälle mit einbiegenden und abbiegenden Kfz verwickelt zu werden (Alrutz et al., 2009, S. 117). Im Auswertungszeitraum wurde ein Beinahe-Unfall zwischen einem solchen Radfahren und einem abbiegenden Kfz beobachtet. Neben der Verbesserung der subjektiven Sicherheit von Radfahrenden auf der Fahrbahn führt die Schutzstreifenmarkierung in der Pleikartsförster Straße also auch zu einer Verbesserung der objektiven Sicherheit der Radfahrenden.

## 5 Ergebnisse aus den Beobachtungen im Kirchheimer Weg

Im Kirchheimer Weg wird eine neue Radverkehrsanlage auf einer Einrichtungsfahrbahn untersucht (siehe Abschnitt 3.4). Diese besteht aus einem 47 m langen Radfahrstreifen, der in einen 71 m langen Schutzstreifen übergeht. Der Fahrstreifen neben dem Radfahrstreifen ist 3,10 m breit, die Restfahrbahn neben dem Schutzstreifen 2,50 m. Radfahrstreifen und Schutzstreifen nehmen jeweils die verbleibende Fahrbahn ein. Weil diese stetig schmaler wird, variiert die Breite der Radverkehrsanlage ebenfalls.

In diesem Kapitel werden zunächst die lateralen Positionen überholender Kfz einzeln betrachtet (Abschnitt 5.1), gefolgt von den lateralen Positionen der überholten Radfahrenden und den resultierenden Überholabständen (Abschnitt 5.2). Außerdem werden Überholungen durch breite Kfz gesondert untersucht (Abschnitt 5.3). In Abschnitt 5.4 folgen schließlich die Ergebnisse der Erhebung der von Radfahrenden genutzten Verkehrs-räume.

### 5.1 Laterale Positionen überholender Kfz

Im Kirchheimer Weg wird die laterale Positionswahl überholender Kfz-Führender maßgeblich durch die Fahrbahnmarkierungen beeinflusst: Zwischen den beiden Markierungsabschnitten, in denen für Kfz 3,10 m bzw. 2,50 m breite Bereiche markiert sind, bestehen deutliche Unterschiede. Innerhalb der Markierungsabschnitte sind außerhalb der Übergangsbereiche keine Trends erkennbar (siehe Abbildung 30). In der folgenden quantitativen Untersuchung werden nur die homogenen Bereiche außerhalb der Übergangsbereiche am Anfang und Ende der Markierungsabschnitte betrachtet.

Im homogenen Bereich des 3,10 m breiten Fahrstreifens neben dem Radfahrstreifen fahren Kfz-Führende beim Überholen von Radfahrenden tendenziell links der Mitte (siehe Abbildung 31): Der mittlere Abstand zum Bord links beträgt 0,63 m, der mittlere Abstand zum linken Rand der Markierung des Radfahrstreifens 0,70 m. Durch den Übergang des 3,10 m breiten Fahrstreifens in die 2,50 m breite Restfahrbahn neben dem Schutzstreifen fahren Kfz-Führende beim Überholen weiter links: Für den rechten Reifen beträgt der Unterschied 0,19 m. Kfz-Führende passen also durch den Versatz der Markierung ihre Positionen beim Überholen von Radfahrenden an. Die Anpassung ist dabei geringer als durch die Markierung vorgegebenen: Die Hälfte des Versatzes der Markierung sind 0,30-

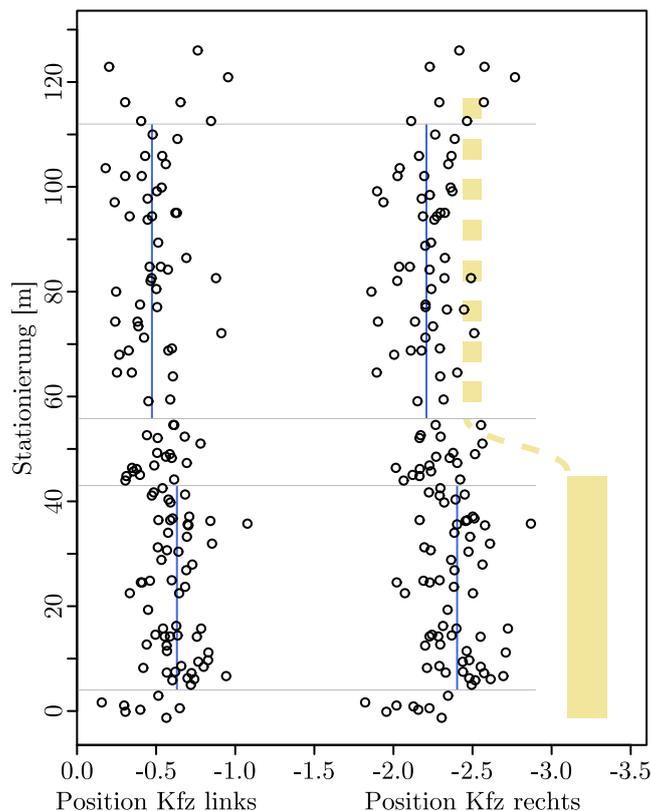


Abbildung 30: Laterale Positionen der linken und rechten Reifenaußenkanten überholender Kfz im Kirchheimer Weg. Die Positionen sind vom linken Bord der Einrichtungsfahrbahn gemessen. Die horizontalen grauen Linien kennzeichnen homogene Einflussbereiche der Markierungsabschnitte, die vertikalen blauen Linien den Mittelwert der Positionen bei Überholungen in dem jeweiligen Bereich. Markierungen (gelb) sind abgesehen von den Strichlängen maßstabsgetreu. In der Verschwenkung ist nur der linke Rand der Markierung dargestellt.

$0,33 \text{ m}^{19}$ . Somit fahren überholende Kfz im Bereich der Restfahrbahn tendenziell rechts der Mitte: Zum Bord wird hier im Mittel  $0,47 \text{ m}$  Abstand gehalten, zur Mitte der Schutzstreifenmarkierung  $0,29 \text{ m}$ .

Der Bord links hat erwartungsgemäß eine stärkere abweisende Wirkung auf die überholenden Kfz-Führenden als die Schutzstreifenmarkierung rechts. Die  $2,50 \text{ m}$  breite Restfahrbahn scheint den Kfz-Führenden bei Überholungen von Radfahrenden aber dennoch auszureichen. Wäre das nicht der Fall, so wären mehr Befahrungen oder Überfahrungen der Markierung zu beobachten. Ist der Bereich für die Kfz-Führenden breit genug, spielt die Breite der angrenzenden Radverkehrsanlage bei der Positionswahl der Kfz-Führenden

<sup>19</sup> Die Werte unterscheiden sich, je nachdem ob bei der Leitlinie des Schutzstreifens die Mitte oder der linke Rand betrachtet wird.

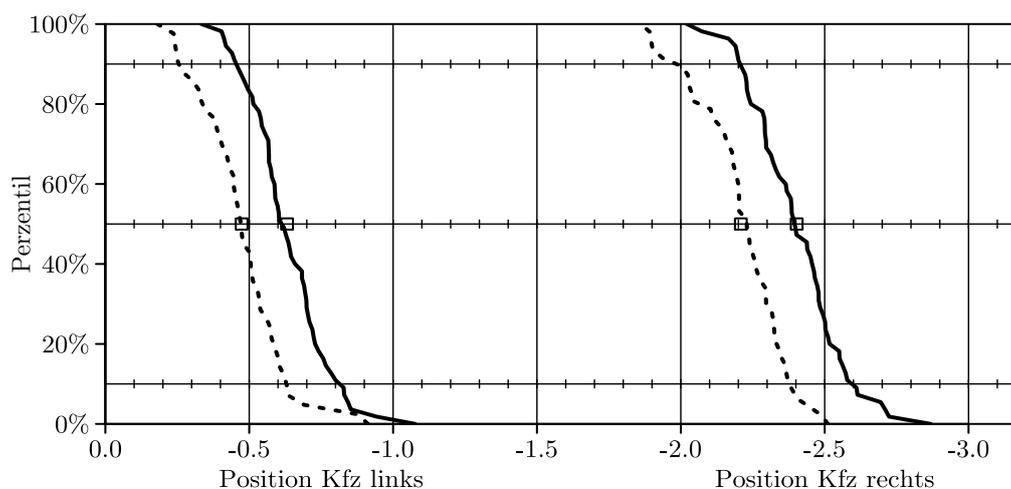


Abbildung 31: Verteilung der lateralen Positionen der linken und rechten Reifenaußenkanten überholender Kfz im Kirchheimer Weg. Die durchgezogene Linie beschreibt die Überholungen im homogenen Bereich des Radfahrstreifens (siehe Abbildung 30), die gestrichelte Linie die Überholungen im homogenen Bereich des Schutzstreifens. Die Mittelwerte der jeweiligen Verteilung sind durch Quadrate angegeben.

keine Rolle mehr. Dies scheint hier der Fall zu sein. Aufgrund der im Kirchheimer Weg erhobenen Daten besteht also eine Erwartung, welche Positionen überholende Kfz auf 2,50 m breiten Restfahrbahnen bzw. 3,10 m breiten Fahrstreifen neben Radfahrstreifen – unabhängig von der Breite der angrenzenden Radverkehrsanlage – einnehmen werden. Damit kann einfach berechnet werden, welche Breiten der Radverkehrsanlagen notwendig wären, um 1,50 m angebotenen Abstand zu erreichen. Bei 1,50 m angebotenen Abstand können Radfahrende durch ihr eigenes Verhalten sicherstellen, dass der tatsächliche Überholabstand ebenfalls mindestens 1,50 m beträgt (siehe Abschnitt 3.8).

Nach den Beobachtungen im Kirchheimer Weg halten überholende Kfz-Führende fast immer noch einen Abstand zu den Markierungen der Radverkehrsanlagen. Im 5%-Perzentil sind dies auf der 2,50 m breiten Restfahrbahn ca. 0,05 m zur Mitte der Schutzstreifenmarkierung, auf der 3,10 m breiten Fahrbahn ca. 0,40 m zum linken Rand der Radfahrstreifenmarkierung. Für 1,50 m angebotenen Abstand müssen Kfz-Führende in mindestens 2,65 m Abstand zum Bord überholen. Bei den genannten angrenzenden Breiten würden also auf einem 2,60 m breiten Schutzstreifen bzw. einem 2,25 m breiten Radfahrstreifen Radfahrende bei 95 % aller Überholungen mit mindestens 1,50 m angebotenen Abstand überholt.

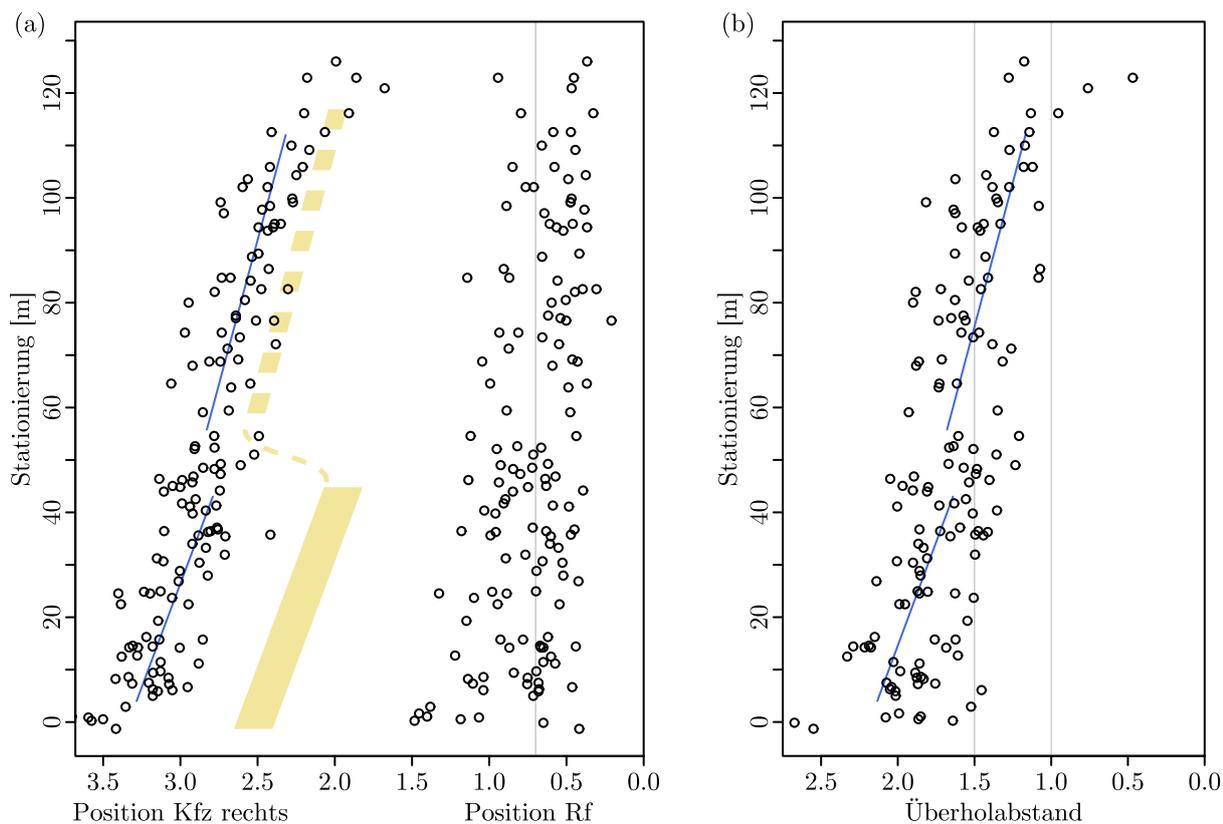


Abbildung 32: Laterale Positionen überholender Kfz und überholter Radfahrer (a) und daraus entstehende Überholabstände (b) im Kirchheimer Weg. Die blauen Linien kennzeichnen den Mittelwert der lateralen Positionen der überholenden Kfz (a) und die diesen Positionen entsprechenden angebotenen Abstände (b). Bei Radfahrern, die mit maximal 0,70 m Abstand vom Bord fahren, ist der Überholabstand mindestens so groß wie der angebotene Abstand. Markierungen (gelb) sind abgesehen von den Strichlängen und der Verschwenkung maßstabsgetreu.

## 5.2 Laterale Positionen überholter Radfahrer und Überholabstände

Durch die abnehmende Fahrbahnbreite im Untersuchungsabschnitt des Kirchheimer Wegs (siehe Abschnitt 3.4) nehmen die Überholabstände mit der Stationierung ebenfalls ab. Letztere nehmen allerdings langsamer ab als die Fahrbahnbreite. Dafür gibt es zwei Gründe:

- Überholende Kfz-Führende fahren im Bereich des Schutzstreifens im Schnitt 0,19 m weiter links als im Bereich des Radfahrstreifens (siehe Abschnitt 5.1).
- Radfahrende fahren im Bereich des Schutzstreifens tendenziell weiter rechts als im Bereich des Radfahrstreifens (siehe Abbildung 32).

Weil die Markierungen des Radfahrstreifens und des Schutzstreifens parallel zum linken Bord verlaufen, überholen Kfz-Führende innerhalb der jeweiligen Bereiche mit ähnlichen

Abständen zum linken Bord (siehe Abschnitt 5.1). Die mittleren Positionen der rechten Reifen überholender Kfz liegen also auf einer Linie parallel zum linken Bord (siehe blaue Linien in Abbildung 30). Da der linke Bord auf den rechten Bord zuläuft, liegt diese Linie schräg zum rechten Bord (siehe blaue Linien in Abbildung 32a). Die Positionen der rechten Reifen überholender Kfz bestimmen die resultierenden angebotenen Abstände (siehe Abschnitt 3.8). Somit ergeben sich im Verlauf der Strecke abnehmende mittlere angebotene Abstände – siehe blaue Linien in Abbildung 32b. Die tatsächlichen Abstände – dargestellt als schwarzen Kreise in Abbildung 32b – liegen im Bereich des Schutzstreifens aber meist über den angebotenen Abständen: Viele Radfahrenden fahren dort mit weniger als 0,70 m Abstand vom rechten Bord und kompensieren somit teilweise die Änderung der Positionen der überholenden Kfz.

Erwartungsgemäß sind die Überholabstände am Ende der Untersuchungstrecke nichtsdestotrotz am niedrigsten. Dabei liegen die Abstandswerte, die bei Überholungen bis zum Ende des Schutzstreifens auftreten, bei mindestens 1,07 m, und somit besser als auf den meisten anderen Strecken mit Schutzstreifen (vergleiche Abschnitt 2.4.3). Nach dem Ende des Schutzstreifens wird allerdings auch mit kritischen Abständen überholt. Hier überholen einige Kfz-Führende – möglicherweise in Erwartung der Aufweitung der Fahrbahn nach rechts (siehe Abbildung 9 in Abschnitt 3.4) – mit erhöhtem Abstand zum linken Bord. Dadurch entstehen Überholabstände bis minimal 0,76 m. Außerdem wurden in diesem Bereich zwei nebeneinander fahrende Radfahrende durch einen Lkw-Führenden mit nur 0,47 m Abstand überholt (siehe auch Abschnitt 5.3).

Betrachtet man die Positionen der überholten Radfahrenden über den gesamten Verlauf der Untersuchungstrecke, so scheinen diese kontinuierlich näher am rechten Bord zu liegen. Dieser Trend lässt sich auch statistisch nachweisen: Die Rangkorrelation nach Spearman zwischen der Stationierung und der Position der überholten Radfahrenden ist mit Konfidenzniveau 99,9 % signifikant.<sup>20</sup> Untersucht man allerdings die Bereiche des Radfahrstreifens und des Schutzstreifens (ohne Verschwenkung) einzeln, so lässt sich dieser Trend nicht mehr nachweisen. Die Ursache für den deutlichen Trend über die Gesamtstrecke kann daher nicht zweifelsfrei ermittelt werden: Möglicherweise fahren überholte Radfahrende nur wegen des Wechsels der Art der Radverkehrsanlage weiter rechts.

---

<sup>20</sup> Für diesen Test wurden Radfahrende, die vor der Station 4 m überholt wurden, ausgeschlossen. Von diesen fahren einige besonders weit links, da sie vom vorangehenden Streckenabschnitt erst auf den Radfahrstreifen einschwenken.

Wahrscheinlicher ist allerdings, dass sich Radfahrende in ihrer Positionswahl an den überholenden Kfz orientieren. Dies ist insofern plausibel, als dass Radfahrende durch die Fahrbahngeometrie und -markierungen gut abschätzen können, welche laterale Position überholende Kfz einnehmen werden.

Die Breite der Radverkehrsanlagen allein scheint deutlich weniger Einfluss auf die Positionswahl der überholten Radfahrenden zu haben: Abgesehen vom Bereich der Verschwenkung selbst fahren überholte Radfahrende durch den wieder breiteren Schutzstreifen nicht erkennbar weiter links. Auch von einer mittigen Fahrweise innerhalb der Radverkehrsanlagen kann während Überholungen keine Rede sein (vergleiche Abschnitt 2.3): Jeweils die Hälfte der überholten Radfahrenden befährt nur das rechte Drittel des Radfahrstreifens bzw. das rechte Viertel des Schutzstreifens.

Die Überholabstände im Kirchheimer Weg sind überdurchschnittlich groß. Die Ursache dafür liegt vor allem an den breiten Radverkehrsanlagen. Dazu kommt, dass Radfahrende sich in ihrer Positionswahl an den überholenden Kfz orientieren und so am schmalen Ende der Untersuchungsstrecke zu größeren Überholabständen beitragen. Jeweils innerhalb der Abschnitte des Radfahrstreifens und des Schutzstreifens lässt sich kein Einfluss der variierenden Breite auf die Positionen der Radfahrenden nachweisen.

### 5.3 Überholverhalten breiter Kfz

Die Restfahrbahn im Bereich des Schutzstreifens im Kirchheimer Weg ist mit 2,50 m für Lkw mit maximal zulässiger Breite<sup>21</sup> nicht breit genug. Diese Lkw dürfen bis zu 2,55 m breit sein (§ 32 StVZO) und ragen somit selbst ohne Spiegel immer in den Schutzstreifen hinein. Die zu schmale Restfahrbahn ist insofern beabsichtigt, da 2,55 m breite Fahrzeuge im Bereich des Schutzstreifens sowieso nicht mehr überholen dürfen (siehe Abschnitt 3.4).

Die Notwendigkeit, den Schutzstreifen zu befahren, soll auf das geltende Überholverbot hinweisen. Dieser Hinweis ist aber nicht ausreichend, um entsprechendes Handeln zu bewirken: Von den neun beobachteten Fällen, in denen Führende eines 2,55 m breiten Fahrzeugs einen Radfahrenden so erreicht haben, dass sie diesen nur unter Mitnutzung des Schutzstreifens überholen konnten, wurde in sieben Fällen tatsächlich überholt.

Auch wenn die Führenden breiter Kfz bei diesen Überholungen nahe am linken Bord fahren – im Mittel mit nur 0,19 m Abstand – so befinden sich die rechten Reifen der Kfz

---

<sup>21</sup> ohne Sonderfahrzeuge und Ausnahmen

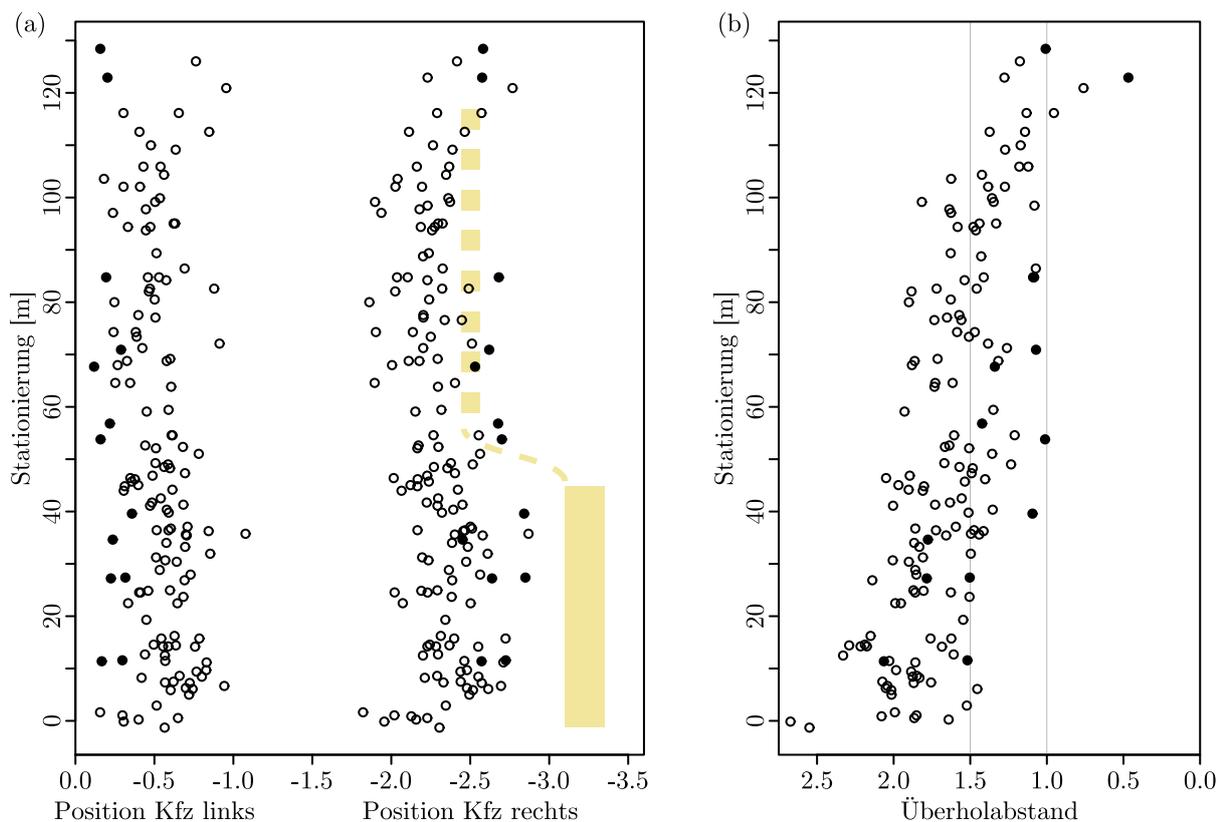


Abbildung 33: Überholungen 2,55 m breiter Kfz im Vergleich zu Überholungen anderer Kfz im Kirchheimer Weg. Die Überholungen breiter Kfz wurden in 19 h, die anderer Kfz in 2 h Beobachtungszeit erfasst. Die lateralen Positionen breiter Kfz (a) und Abstände bei Überholungen mit solchen Fahrzeugen (b) sind als gefüllte Punkte angegeben.

doch weiter rechts als bei anderen Überholungen (siehe Abbildung 33a). Dadurch entstehen Überholabstände, die meist geringer sind als diejenigen bei anderen Überholungen an der gleichen Station (siehe Abbildung 33b).

Auch ohne die Beachtung des effektiven Überholverbots im Bereich des Schutzstreifens für 2,55 m breite Kfz ist die Verteilung der beobachteten Überholabstände im Kirchheimer Weg besser als bei Strecken mit den heute üblichen schmalen Schutzstreifen (siehe Abschnitt 2.4.3). Dies liegt insbesondere daran, dass Überholungen durch breite Kfz nur 1 % der Überholungen ausmachen.

#### 5.4 Verkehrsraumnutzung der Radfahrenden

Die neu markierte Radverkehrsanlage im Kirchheimer Weg wird gut angenommen: Von den 213 Radfahrenden in Bezugsrichtung, gezählt in der zwei Stunden umfassenden

Hauptauswertung, fuhren 193 auf der Fahrbahn und 20 auf den Gehweg. In Gegenrichtung wurden drei Radfahrende auf dem Gehweg gezählt.

Einige der Radfahrenden nutzen den Gehweg vermutlich aus Gewohnheit: Vor der Markierung der Radverkehrsanlage war der Gehweg für Radfahrende freigegeben und wurde von den meisten Radfahrenden auch genutzt. Einen expliziten Hinweis in diese Richtung haben zwei Radfahrende gegeben, die durch einen anderen Radfahrenden auf die markierte Radverkehrsanlage aufmerksam wurden und infolgedessen vom Gehweg auf die Fahrbahn wechselten.

Gehwegfahrten im Kirchheimer Weg sind problematisch, da der Gehweg mit seinen 2 m Breite für eine gemeinsame Nutzung durch zu Fuß Gehende und Radfahrende zu schmal ist (ERA:2010, S. 27). Die neue Radverkehrsanlage entschärft dieses Problem deutlich: Die Zahl der Radfahrenden auf dem Gehweg wird um ca. 90 % auf ca. zehn Radfahrende pro Stunde reduziert.

## 6 Ergebnisse der Analyse von Unfalldaten

Für die Analyse der Sicherheit von Überholungen von Radfahrenden durch Kfz standen Unfalldaten aus Heidelberg für die Jahre 2017 bis 2020 zur Verfügung. Diese wurden räumlich eingeschränkt<sup>22</sup> auf ein Kollektiv an Streckenabschnitten, über die bedeutender Kfz- und Radverkehr im Mischverkehr abgewickelt wird (siehe Abschnitt 3.2 und Anlage A-2). Auf diesen Strecken sind Überholungen von Radfahrenden durch Kfz regelmäßig zu erwarten.

Auf den genannten Strecken traten in vier Jahren insgesamt 235 Unfälle mit Radfahrerteilnahme auf, darunter 36 Alleinunfälle. Unter den Unfällen mit mehreren Beteiligten sind meistens Pkw der Unfallgegner der Radfahrenden (149 Unfälle). Andere Unfallgegner sind deutlich seltener: Die nächsthäufigen zweiten Beteiligten sind andere Radfahrende (22 Unfälle), zu Fuß Gehende (10 Unfälle) und Linienbusse (7 Unfälle).

### 6.1 Merkmale von Überholunfällen mit Radfahrerteilnahme

Für die Untersuchung der Sicherheit bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz wurden alle Unfalltexte der Unfälle mit Typ 6 (Unfälle im Längsverkehr, Anzahl: 51) und Unfälle mit Typ 7 (Sonstige Unfälle, Anzahl: 11) analysiert. Als vorbereitender Schritt wurden die – in den Unfallberichten nicht angegebenen – dreistelligen Unfallkategorien ergänzt. Dabei wurden Fehler in der Klassifizierung gefunden: Sechs der angeblichen Typ-6-Unfälle waren anderen Typen zuzuordnen, zwei angebliche Typ-7-Unfälle waren tatsächlich vom Typ 651. Die Verteilung der dreistelligen Unfalltypen unter den tatsächlichen Typ-6-Unfällen, aufgliedert nach Unfallgegner, ist in Tabelle 7 angegeben.

Aus den Unfalltexten ergibt sich, dass von den insgesamt 27 Längsverkehr-Unfällen zwischen Radfahrenden und Kfz elf auf einen Konflikt zwischen überholendem Kfz und überholtem Radfahrenden zurückzuführen sind. Darunter fallen die meisten der Unfälle des Typs 651, 9 von 11, und beide Unfälle des Typs 645. Bei einem der Unfälle des Typs 601 entstand der Konflikt im Vorfeld einer Überholung. Dieser soll hier auch als Überholunfall betrachtet werden.

---

<sup>22</sup> Die räumliche Einschränkung erfolgte über die Geokoordinaten des Unfallorts. Dadurch wurden zum Teil Unfälle in einmündenden oder kreuzenden Straßen mit einbezogen.

Tabelle 7: Verteilung der dreistelligen Unfalltypen bei Unfällen im Längsverkehr mit Radfahrerteilnahme auf den untersuchten Streckenabschnitten in Heidelberg, aufgeschlüsselt nach anderem Unfallbeteiligten.

<b>Konflikt</b>	<b>Unfalltyp</b>	<b>U<sub>Rf vs. Kfz</sub></b>	<b>U<sub>Rf vs. Rf</sub></b>	<b>U<sub>Rf vs. Fg</sub></b>
Auffahren auf Vorfahrenden	601	2	0	0
Auffahren auf Stau	611	2	0	0
Auffahren auf Wartepflichtigen	629	5	0	0
Auffahren auf Spurwechsler nach links	639	1	1	0
Auffahren auf Spurwechsler nach rechts	645	2	1	0
Nebeneinanderfahren	651	11	1	0
Überholer – Gegenverkehr	661	2	3	0
Fußgänger – Fahrzeug	67x	0	0	2
Begegnende	68x	2	12	0
Gesamt		27	18	2

Versuchte man, die so gefundenen Überholunfälle allein durch die Unfallmerkmale zu identifizieren, wäre insbesondere das Merkmal „Unfallart“ nützlich: Alle Unfälle sind mit Unfallart 3 „Zusammenstoß mit seitlich in gleicher Richtung fahrendem Fahrzeug“ gekennzeichnet. Mit Unfalltyp und Unfallart als Filter werden nur zwei „falsche“ Unfälle gefunden. Bei diesen handelt es sich um Grenzfälle, die hier nicht als Überholunfälle gewertet werden: In einem Fall wurde eine seitliche Kollision vorsätzlich herbeigeführt, im anderen Fall haben sich ein Radfahrer und ein Krad-Führer beim gleichzeitigen Anfahren an einem Zebrastreifen seitlich berührt. Die Unfallursachen sind als Filter deutlich weniger brauchbar: Das Hauptproblem dabei ist, dass bei Überholungen mit geringem Seitenabstand häufig die unspezifische Ursache 14 „Ungenügender Sicherheitsabstand“ vermerkt wird anstatt der eigentlich vorgesehene Ursache 22 „Sonstiger Fehler beim Überholen (z. B. ohne genügenden Seitenabstand)“.

## 6.2 Zusammenhänge zwischen Überholunfällen und Straßenraumgestaltung

Im nächsten Schritt wurden die Abläufe und Orte der zwölf Überholunfälle auf Zusammenhänge mit Aspekten der Straßenraumgestaltung, wie z. B. Vorhandensein und Ausgestaltung von Schutzstreifen untersucht. „Überholunfälle“ bezeichnet hier Unfälle, bei denen es zu einem Konflikt zwischen überholenden Kfz und überholten Radfahrern gekommen ist (siehe Abschnitt 6.1).



Abbildung 34: Straßenräumliche Situation in der Bergheimer Straße

Unter den neun Überholunfällen des Typs 651 – also den Längsverkehr-Unfällen mit Konflikten beim Nebeneinanderfahren – kam es bei acht zu einer seitlichen Berührung zwischen überholendem Kfz und überholtem Radfahrenden. Diese führte jeweils zu einem Sturz der Radfahrenden und meist leichten, in einem Fall schweren Verletzungen.

Von diesen Unfällen sind allein vier in der Bergheimer Straße aufgetreten. Die Bergheimer Straße ist eine Hauptgeschäftstraße mit einer ÖV-Spur in Mittellage (siehe Abbildung 34). Auf den Richtungsfahrbahnen darf am jeweils rechten Rand geparkt werden. Die Breite der Richtungsfahrbahnen liegt größtenteils zwischen 5,50 m und 6,25 m. Dadurch können Radfahrende über längere Abschnitte nicht mit dem vorgeschriebenen Mindestabstand überholt werden. Die Überholunfälle zeigen, dass dies trotzdem geschieht – auch mit völlig unzureichenden Abständen. Bei einem der Unfälle wurde die verfügbare Fahrbahnbreite am Unfallort dokumentiert: An jener Stelle ragte ein parkendes Kfz etwas weiter in die Fahrbahn hinein als üblich, sodass die restliche Fahrbahnbreite nur noch 3,26 m betrug.

Zwei weitere der Überholunfälle des Typs 651 mit seitlichen Berührungen ereigneten sich in der Rohrbacher Straße, einer Hauptgeschäftstraße mit beidseitigem Schutzstreifen (siehe Abbildung 35). Die Schutzstreifen sind jeweils 1,30 m breit, die Sicherheitstrennstreifen 0,50 m und die Restfahrbahnen 3,15 m. Laut der Unfallbeschreibung wurden die Unfälle durch plötzliche seitliche Bewegungen der Radfahrenden ausgelöst. Dementspre-



Abbildung 35: Straßenräumliche Situation in der Rohrbacher Straße

chend wurden die Radfahrenden jeweils als Hauptverursacher eingestuft. Die Frage, ob auch ein unzureichender Überholabstand die eigentliche Ursache der Unfälle gewesen sein könnte, wird in den Unfallberichten nicht thematisiert. Dabei sind unzureichende Überholabstände aufgrund der Breiten der Fahrbahnteile wahrscheinlich: Fährt ein Pkw und ein Radfahrender jeweils mittig in der Restfahrbahn bzw. dem Schutzstreifen, entsteht dabei ein Abstand von 0,90 m.<sup>23</sup> Der Schutzstreifen führt also möglicherweise zu Fehlwahrnehmungen bezüglich der Anforderungen an den überholenden Kfz-Führenden. Bei zwei anderen lateralen Kollisionen auf Strecken ohne Schutzstreifen wurden trotz ähnlicher seitlicher Bewegungen der Radfahrenden jeweils die Kfz-Führenden als Hauptverursacher benannt.

Die drei anderen Unfälle des Typs 651 ereigneten sich auf jeweils anderen Streckenabschnitten ohne Schutzstreifen: Einer auf der 4,20 m breiten Fahrbahn der Karl-Theodor-Brücke, einer an einer 3,60 m breiten Engstelle neben einer Verkehrsinsel in der Mannheimer Straße (ohne seitliche Berührung) und einer an einem Knotenpunkt des Kirchheimer Wegs.

---

<sup>23</sup> Von diesem Abstand liegen 0,35 m im Schutzstreifen und 0,55 m in der Restfahrbahn. Die Breite des Pkw wird hierbei mit 1,75 m plus 0,30 m für die Außenspiegel angesetzt.



Abbildung 36: Ort des Überholunfalls im Kirchheimer Weg

Die Unfallstelle im Kirchheimer Weg liegt in einem ca. 300 m langen Abschnitt, der nördlich an den Untersuchungsabschnitt mit der neu markierten Radverkehrsanlage anschließt (siehe Abschnitt 3.4). Er ist ebenfalls durch einen besonderen Bahnkörper in zwei Richtungsfahrstreifen geteilt. Die Richtungsfahrstreifen sind jeweils 3,25 m breit. Nach ca. 145 m Strecke in Fahrtrichtung der Unfallbeteiligten ist der Bahnkörper für eine Einmündung von links für ca. 20 m überfahrbar (siehe Abbildung 36). An dieser Stelle hat ein Pkw-Führender zwei Radfahrende überholt und dabei den zweiten gestreift. Vermutlich aufgrund der Länge der vorausgehenden und nachfolgenden Engstelle wurde also eine unzureichende Überholmöglichkeit genutzt.

Aus dem Unfall an der Engstelle in der Mannheimer Straße lässt sich schließen, dass manche Kfz-Führende eine Fahrbahn mit 3,60 m Breite noch als ausreichend für Überholungen von Radfahrenden einschätzen. Selbst wenn beide Beteiligte nahe ihres Fahrbahnrandes fahren, können auf dieser Breite aber nur ca. 0,90 m Überholabstand entstehen.<sup>24</sup>

Bei den Unfällen des Typ 645 kam es zu einem Konflikt zwischen wiedereinscherenden Kfz und überholten Radfahrenden. In einem Fall kam es dabei zu einer seitlichen

---

<sup>24</sup> Dieser Abstand entsteht zum Beispiel, wenn die Abstände Reifen–Fahrbahnrand beim Radfahrenden 0,30 m und beim Pkw 0,20 m betragen.

Tabelle 8: Dichte von Überholunfällen zwischen überholenden Kfz und überholten Radfahrenden von auffälligen Streckenabschnitten in Heidelberg für die Jahre 2017–2020

<b>Streckenabschnitt</b>	<b>Fahrbahncharakteristik</b>	<b>Unfalldichte</b>
Bergheimer Straße <sup>1</sup>	Richtungsfahrbahnen	0,93 U/km*a
Rohrbacher Straße <sup>2</sup>	Zweirichtungsfahrbahn mit beidseitigen Schutzstreifen	0,76 U/km*a
Kirchheimer Weg <sup>3</sup>	Richtungsfahrbahnen	0,83 U/km*a

<sup>1</sup> Abschnitt Bismarckstraße bis Mittermaierstraße

<sup>2</sup> Abschnitt Hans-Böckler-Straße bis Dantestraße

<sup>3</sup> Abschnitt Rudolf-Diesel-Straße bis Margot-Becke-Ring (südliche Einmündung)

Berührung aber keinem Sturz. Dieser Unfall ereignete sich in der Mönchhofstraße im Abschnitt mit Schutzstreifen. Der Unfallverursacher war hier der Führer eines Linienbusses. Der Unfallort des zweiten Unfalls des Typ 645 liegt in der Neuenheimer Landstraße, einer 6 m breiten Straße ohne Schutzstreifen. Inwiefern Schutzstreifen solche Unfälle begünstigen oder verhindern, ist unklar. Größer als der Einfluss der Fahrbahngestaltung ist hier vermutlich die Fahrbahnbreite, weil diese beeinflusst, inwieweit ein Kfz-Führender nach dem Überholen wiedereinscheren muss.

Bei dem Überholunfall des Typs 601 fuhr der Führende eines Linienbusses dicht auf eine Radfahrende auf. Diese fuhr auf dem 1,25 m breiten Schutzstreifen der Straße Neckarstaden. In Erwartung einer Überholung mit geringem Abstand ließ sich die Radfahrende gegen den Bord drängen und stürzte. Da sich dieser Unfall im Zusammenhang mit einer erwarteten Überholung ereignet hat, wurde er hier als Überholunfall aufgeführt. Ein breiter Schutzstreifen, sofern er von Kfz-Führenden beim Überholen respektiert wird, hätte hier möglicherweise den Unfall verhindern können.

Insgesamt vier Überholunfälle ereigneten sich auf Streckenabschnitten mit Schutzstreifen, die anderen acht auf Strecken ohne Schutzstreifen. Auffällig sind dabei die Rohrbacher Straße mit ihren schmalen Schutzstreifen und die Bergheimer Straße, auf deren Richtungsfahrbahnen Überholungen von Radfahrenden in der Regel nur mit unzureichenden Überholabständen möglich ist. Des Weiteren zeigt sich ein potenziell systematisches Problem in einem Abschnitt des Kirchheimer Wegs, auf dem aufgrund sonst fehlender Überholmöglichkeiten eine Einmündung zum Überholen genutzt wurde. Die Unfalldichten der genannten Strecken sind in Tabelle 9 angegeben. Aufgrund der stark variierenden Radverkehrsstärken der untersuchten Streckenabschnitte wurde auf die Berechnung von

Unfalldichten aller Strecken mit und ohne Schutzstreifen verzichtet. Absolute Werte der Radverkehrsstärken lagen nicht vor, sodass die Berechnung von Unfallraten nicht möglich war.

Auf den ummarkierten Streckenabschnitten der Pleikartsförster Straße und des Kirchheimer Wegs (siehe Abschnitte 3.3 und 3.4) sind in den Jahren 2017–2020 keine Überholunfälle mit Radfahrbeteiligung aufgetreten.

## 7 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Radverkehrsführungen der untersuchten Strecken diskutiert (Abschnitte 7.1 bis 7.3) und allgemeine Empfehlungen zum Straßenentwurf und zum Straßenverkehrsrecht aus den Untersuchungsergebnissen abgeleitet (Abschnitt 7.4). Weitere Fragen der Ausgestaltung von Straßen mit Schutzstreifen, für die diese Studie keine ausreichenden Antworten liefern konnte, sind in Abschnitt 7.5 aufgeführt.

### 7.1 Bewertung der Markierungszustände in der Pleikartsförster Straße

Auch wenn Kfz-Führende beim Überholen von Radfahrenden in keinem der Markierungszustände der Pleikartsförster Straße den vorgeschriebenen Mindestabstand von 1,50 m durchgehend einhalten, so können beide Markierungszustände mit Schutzstreifen (II und III) dennoch empfohlen werden. Am besten zu bewerten ist Markierungszustand II mit 2 m breitem, einseitigen Schutzstreifen und 5,50 m Kernfahrbahn. In die Bewertung gehen, neben den Überholabständen, die Geschwindigkeit überholender Kfz und die Verkehrsraumnutzung der Radfahrenden ein.

In der Pleikartsförster Straße nehmen die Überholabstände durch den neu markierten Schutzstreifen ab (siehe Abschnitt 4.5.1). Dieser Effekt von neuen Schutzstreifen ist aus anderen Studien bekannt (siehe Abschnitt 2.4.4). Die Überholabstände liegen aber trotzdem in allen Markierungszuständen deutlich über denen, die auf vergleichbaren Strecken mit Schutzstreifen beobachtet wurden (siehe Abschnitt 4.5.2). Auch wenn das Ziel, 1,50 m Überholabstand sicherzustellen, nicht erreicht wird,<sup>25</sup> stellen die tatsächlich beobachteten Überholabstände für keinen der Markierungszustände ein Ausschlusskriterium dar.

In der Sicherheitsbewertung schneiden die Markierungszustände II und III mit Schutzstreifen trotz geringerer Überholabstände besser ab als Markierungszustand I ohne Schutzstreifen. Ausschlaggebend dafür ist, dass in II und III weniger Radfahrende links, entgegen der vorgeschriebenen Richtung auf dem Radweg fahren (siehe Abschnitt 4.8). Links fahrende Radfahrende sind besonders stark gefährdet, in Unfälle verwickelt zu werden (Alrutz et al., 2009). Auch wenn durch den markierten Schutzstreifen nur 4–8 % der Radfahrenden vom Radweg auf die Fahrbahn wechseln, so kann dennoch erwartet werden,

---

<sup>25</sup> Das alternative Ziel, 1,50 m angebotenen Abstand sicherzustellen, wird ebenfalls nicht erreicht (siehe Abschnitt 4.6).

dass der dadurch erreichte Sicherheitsgewinn die leicht erhöhte Gefährdung durch die niedrigeren Überholabstände übersteigt. Die Markierungszustände II und III führen also zu insgesamt sichererem Verhalten der Verkehrsteilnehmenden in der Pleikartsförster Straße.

Mehr Radfahrende auf der Fahrbahn anstatt im Seitenraum ist außerdem ein Indiz dafür, dass sich Radfahrende durch den Schutzstreifen sicherer fühlen. Für das Sicherheitsgefühl der Radfahrenden ergibt sich also ebenfalls eine Verbesserung in Markierungszustand II und III. Die Tatsache, dass Radfahrende durch den Schutzstreifen weiter links fahren (siehe Abschnitt 4.4), deutet in die gleiche Richtung.

Sowohl Markierungszustand II als auch Markierungszustand III führen in der Pleikartsförster Straße zu einer Verbesserung der objektiven und subjektiven Sicherheit und können daher empfohlen werden. Im Vergleich der beiden empfohlenen Markierungszustände liegt Markierungszustand II mit etwas höheren Überholabständen und geringeren Überholgeschwindigkeiten (siehe Abschnitt 4.7) vorne.

Es ist zu erwarten, dass sich die Empfehlungen für die Pleikartsförster Straße auch auf andere Straßen übertragen lassen, in denen bei mindestens 7,50 m Fahrbahnbreite ein einseitiger Schutzstreifen angelegt werden soll. Insbesondere Markierungszustand III sollte dabei auch für Straßen geeignet sein, auf denen die Verkehrsstärken deutlich über den 8000 Kfz/Tag der Pleikartsförster Straße liegen. In diesem Markierungszustand werden Radfahrende auch bei Gegenverkehr frei überholt (siehe Abschnitt 4.1), sodass auch bei höheren Verkehrsstärken keine zusätzlichen unsicheren Überholungen von Radfahrenden zu erwarten sind. Ob dabei auch mehr als die bisher empfohlenen 1000 breite Fahrzeuge pro Tag verträglich sind (RASt:2006, S. 83), lässt sich aus den Ergebnissen dieser Arbeit aber nicht vorhersagen.

## 7.2 Bewertung der neuen Radverkehrsführung im Kirchheimer Weg

Auch wenn die Umsetzung der Idee, durch die 2,50 m breite Restfahrbahn auf der Einrichtungsfahrbahn des Kirchheimer Wegs auf ein implizites Überholverbot für breite Fahrzeuge hinzuweisen, nicht den gewünschten Erfolg hatte (siehe Abschnitt 5.3), so ist die gewählte Markierungslösung insgesamt trotzdem zu empfehlen.

Mit der Radverkehrsanlage auf der Fahrbahn wurde die Freigabe des Gehwegs für den Radverkehr zurückgenommen werden. Diese Änderung der Radverkehrsführung war

erfolgreich: In der Zählung drei Wochen nach Markieren der Radverkehrsanlagen und Änderung der Beschilderung nutzten 90 % auch tatsächlich die Fahrbahn (siehe Abschnitt 5.4). Die Gehwegfreigabe war unbefriedigend, da der Gehweg mit 2 m Breite dafür deutlich zu schmal war. Für die gezählten Radverkehrsstärke hätte der Gehweg über 3 m breit sein müssen (ERA:2010, S. 27).

Die langsam und stetig abnehmenden Breite der Einrichtungsfahrbahn ist beim Befahren der Strecke schwer wahrnehmbar. Um diese Veränderung sichtbar zu machen, wurde der Fahrbahnbereich der Kfz in der Breite nur einmalig deutlich reduziert und ansonsten gleichbleibend breit gehalten (siehe Abschnitt 3.4). Die Änderung der Breite wird gleichzeitig durch einen Wechsel des Typs der angrenzenden Radverkehrsanlage hervorgehoben. Durch Wechsel von einem Radfahrstreifen zu einem Schutzstreifen ändert sich die Markierung von einem durchgehenden Breitstrich zu einem unterbrochenen Schmalstrich. Diese Markierungslösung kann als Erfolg bezeichnet werden: Kfz-Führende orientieren sich deutlich an den Markierungen der Radverkehrsanlagen. Auch im schmaleren Abschnitt mit 2,50 m breiter Restfahrbahn wird die Markierung von Kfz-Führenden bei Überholungen von Radfahrenden in der Regel nicht überfahren. In diesem Abschnitt fahren Kfz-Führende im Schnitt 0,19 m weiter links als im breiteren Abschnitt davor und lassen damit – im Rahmen des Möglichen – den überholten Radfahrenden mehr Raum (siehe Abschnitt 5.1).

Als Gegenstücke zu den gleichbleibend breiten Bereichen der Kfz sind die Radverkehrsanlagen variabel 2,00–2,65 m breit. Radfahrende fahren auf diesen bei Überholungen nicht mittig, sondern nutzen unabhängig von der Breite der Radverkehrsanlage einen annähernd gleichbleibenden Bereich am rechten Rand der Fahrbahn (siehe Abschnitt 5.2). Dieser Bereich wird durch die Position der überholenden Kfz beeinflusst: Da die Kfz durch die Reduzierung der Fahrbahnbreite mit abnehmendem Abstand zum rechten Bord überholen, reduzieren Radfahrende ihren Abstand zum rechten Bord tendenziell ebenfalls. Dies hat einen positiven Effekt auf die Überholabstände.

Durch die breiten Radverkehrsanlagen sind die Überholabstände im Kirchheimer Weg überdurchschnittlich (siehe Abschnitt 5.2). Dies ist der Fall, obwohl der Großteil der Führenden von breiten Kfz auch unter Mitnutzung des Schutzstreifens Radfahrende überholen (siehe Abschnitt 5.3). Diese Überholungen machen nur 1 % der Überholungen insgesamt aus und fallen somit in der Sicherheitsbewertung kaum ins Gewicht. Um allerdings das Befahrungsverbot von Schutzstreifen bei Überholungen von Radfahrenden grundsätz-

lich zu etablieren, sollten dennoch Maßnahmen ergriffen werden. Als erster Schritt erscheint es sinnvoll, Betriebe mit entsprechenden Fahrzeugen in der näheren Umgebung über das Befahrungsverbot zu informieren.

Kritisch bezüglich der Überholabstände ist nur der Bereich um das Ende des Schutzstreifens. Der Schutzstreifen endet unvermittelt 10 m vor dem Beginn der Fahrbahnaufweitung für den Rechtsabbiegestreifen des anschließenden Knotenpunkts. Diese Lücke sollte geschlossen werden, indem der Schutzstreifen weitergeführt wird und schließlich in den Rechtabbiegestreifen übergeht. Vom bisherigen Ende des Schutzstreifens bis zum Beginn der Aufweitung wird die Fahrbahn nochmal um 0,10 m schmaler. Um dem Trend überholender Kfz nach rechts entgegenzuwirken (siehe Abbildung 30 in Abschnitt 5.1), sollten diese 0,10 m von der Restfahrbahn weggenommen werden, sodass diese am Ende 2,40 m breit und der ergänzte Schutzstreifen gleichbleibend 2 m breit ist.

Mit der genannten Ergänzung kann die Markierungslösung im Kirchheimer Weg insgesamt empfohlen werden.

### 7.3 Empfehlung für die untersuchten unfallauffälligen Strecken

Bei der Analyse von Überholunfällen zwischen Radfahrenden und Kfz (siehe Abschnitt 6.2) sind systematische Probleme in der Bergheimer Straße, der Rohrbacher Straße und einem anderen Abschnitt des Kirchheimer Wegs aufgefallen. Diese sollten durch Markierungsmaßnahmen und bauliche Maßnahmen behoben werden.

Die unfallauffällige Stelle im Kirchheimer Weg sollte dadurch entschärft werden, dass die Überfahrbarkeit des besonderen Bahnkörpers im Einmündungsbereich des nördlichen Margot-Becke-Ring (ehemalige Kaserneneinfahrt) zurückgenommen wird. Dadurch entfallen die Fahrtbeziehungen der östlichen Richtungsfahrbahn des Kirchheimer Wegs mit der genannten Einmündung. Diese Einschränkung erscheint nach Realisierung der geplanten Anbindung des Gebiets über den südlichen Margot-Becke-Ring vertretbar.

In der Bergheimer Straße sollten die Richtungsfahrbahnen so gestaltet werden, dass Überholungen von Radfahrenden durch Kfz entweder sicher möglich sind oder eindeutig nicht möglich sind. Für ersteres muss die nutzbare Fahrbahnbreite erhöht werden, zum Beispiel indem Parken und Halten am Fahrbahnrand unterbunden werden. Dies wäre möglich, indem ein Schutzstreifen oder Radfahrstreifen markiert wird und das so entstehende Halteverbot durch den kommunalen Ordnungsdienst überwacht wird. Die Fahrbahnaufwei-

lung kann – je nach verfügbarer Breite – analog der Markierungslösung im Kirchheimer Weg gewählt werden (siehe Abschnitt 3.4). Für Abschnitte, in denen das Parken und Halten nicht unterbunden werden soll, wird empfohlen, die Parkstände durch Markierungen zu kennzeichnen und die Fahrbahn daneben auf 3 m Breite einzuschränken. Diese Einschränkung sollte durch physische Barrieren erfolgen, sodass Kfz-Führende Radfahrende tatsächlich nicht mehr überholen. Dabei ist zu beachten, dass an Knotenpunkten möglicherweise Lücken in diesen Barrieren entstehen, die eventuell für gefährliche Überholungen genutzt werden (siehe oben). Hier gilt es entweder die Lücken zu vermeiden oder sichere Überholmöglichkeiten zu schaffen. Auf den 3 m breiten Fahrstreifen neben Parkständen sollten außerdem Radpiktogramme mittig markiert werden, um Radfahrende dazu zu bringen, einen ausreichenden Seitenabstand zum ruhenden Verkehr zu halten.

Die 1,30 m breiten Schutzstreifen in der Rohrbacher Straße verleiten zu Überholungen mit unzureichenden Überholabständen. Diese sind möglicherweise die Ursache für zwei seitliche Kollisionen zwischen überholenden Kfz und überholten Radfahrenden. Die Aufteilung der insgesamt 9,90 m breite Fahrbahn sollte daher überarbeitet werden. Möglich sind beidseitige breite Schutzstreifen oder ein einseitiger Radfahrstreifen.

In der Lösung mit beidseitigem Schutzstreifen sollte die neue empfohlene Mindestbreite für Schutzstreifen von 2 m eingehalten werden (siehe Abschnitt 7.4.1). Unter der Annahme, dass je 0,50 m für die Sicherheitstrennstreifen zu den angrenzenden Parkständen ausreichend sind, entsteht eine 4,90 m breite Kernfahrbahn. Der Querschnitt sähe dann also wie folgt aus:

- 0,50 m Sicherheitstrennstreifen zu den Längsparkständen im Seitenraum,
- 2,00 m Schutzstreifen
- 4,90 m Kernfahrbahn
- 2,00 m Schutzstreifen
- 0,50 m Sicherheitstrennstreifen

Des Weiteren ist auch eine einseitige Radverkehrsanlage auf der Westseite der Rohrbacher Straße denkbar, weil der untersuchte Abschnitt für den Radverkehr in Fahrtrichtung Süd eine deutlich größere Bedeutung hat als in Fahrtrichtung Nord. Dies liegt insbesondere daran, wie die Rohrbacher Straße und die parallel verlaufende Fahrradstraße in das restliche Radverkehrsnetz eingebunden sind. Bei dieser Lösung wäre ein breiter einseitiger Radfahrstreifen möglich, der 1,50 m Überholabstand zu rechts fahrenden Radfahrende

sicherstellen würde. Nach Abzug von 6,50 m für zwei Fahrstreifen verblieben 3,40 m für den Radfahrstreifen und Sicherheitstrennstreifen. Der Querschnitt könnte dann, von West nach Ost, wie folgt aussehen:

- 1,00 m Sicherheitstrennstreifen (inklusive Breitstrich)
- 2,40 m Radfahrstreifen (inklusive fahrbahnseitigem Breitstreich)
- 3,25 m Fahrstreifen
- 3,25 m Fahrstreifen

Im östlichen Fahrstreifen sollten bei dieser Aufteilung Fahrradpiktogramme so markiert werden, dass Radfahrende, die diesen folgen, ausreichend Abstand zu parkenden Kfz einhalten.

#### 7.4 Allgemeine Empfehlungen

Neue Schutzstreifen mit Mindest- oder Regelmaß nach RAS<sub>t</sub> und ERA reduzieren die Abstände, mit denen Kfz-Führende Radfahrende überholen. In der Folge liegen die Überholabstände oft weit unter dem gesetzlich vorgeschriebenen Mindestmaß von 1,50 m. Um dieses Problem zu entschärfen, wird vorgeschlagen, die Mindestbreite von Schutzstreifen auf 2 m festzulegen (siehe Abschnitt 7.4.1).

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit folgen außerdem Empfehlungen für den Entwurf von Einrichtungsfahrbahnen (Abschnitt 7.4.2). Bei einer Fahrbahnbreite von 5,10 m kann dabei auch ein Überholabstand von mindestens 1,50 m zu rechts fahrenden Radfahrenden garantiert werden. Auf Zweirichtungsfahrbahnen kann das gleiche mit 8 m bzw. 10 m Fahrbahnbreite bei einseitigem bzw. zweiseitigem Schutzstreifen erreicht werden (siehe Abschnitt 7.4.3). Die großen Fahrbahnbreiten ergeben sich durch die Bemessung auf die Begegnungsfälle Rad-Pkw-Pkw bzw. Rad-Pkw-Pkw-Rad. Wird der Querschnitt nur für Überholungen Rad-Kfz und Begegnungen Kfz-Kfz ausgelegt, so sind deutlich geringere Breiten möglich. Für deren genaue Ausgestaltung sind aber weitere Untersuchungen notwendig (siehe Abschnitt 7.5).

Des Weiteren wird empfohlen, das Befahren des Schutzstreifens bei Überholungen von Radfahrenden in der StVO explizit zu untersagen (siehe Abschnitt 7.4.4).

#### 7.4.1 Neue Mindestbreite für Schutzstreifen

Bei Untersuchungen neu markierter Schutzstreifen auf Bestandsstrecken wurde wiederholt beobachtet, dass Schutzstreifen dazu führen, dass Kfz-Führende Radfahrende mit tendenziell niedrigeren Abständen überholen (siehe Abschnitt 2.4.4). Dieser negative Effekt von Schutzstreifen wird in dieser Arbeit durch die Vorher-Nachher-Untersuchung der Pleikartsförster Straße ebenfalls bestätigt.

Als Ursache für die geringeren Überholabstände werden Leitlinieneffekte von Schutzstreifenmarkierung und Fahrstreifenbegrenzungen bei Überholungen ohne Gegenverkehr benannt (Ohm et al., 2015, S. 63, Richter et al., 2019, S. 67–68): Kfz-Führende orientieren sich beim Überholen an Leitlinien und halten dadurch weniger Abstand zu den überholten Radfahrenden, als sie es ohne die Markierung getan hätten. Mit den Analysen dieser Arbeit (siehe Abschnitte 4.2 und 4.5) können Leitlinieneffekte als Ursache für geringe Überholabstände bestätigt werden. Dazu kommt die Erkenntnis, dass ein Schutzstreifen zu mehr Überholungen mit Gegenverkehr führen kann (siehe Abschnitt 4.1), bei welchen auch tendenziell niedrigere Überholabstände auftreten.

Auch wenn die Überholabstände in der Pleikartsförster Straße durch den Schutzstreifen leicht sinken, so liegen die beobachteten Werte absolut gesehen immer noch deutlich über denen, die andere Studien an 1,25–1,65 m breiten Schutzstreifen beobachten (siehe Abschnitte 2.4.3 und 4.5.2). Selbst wenn geringere Überholabstände in der Abwägung für einen Schutzstreifen in Kauf genommen werden (vergleiche Abschnitt 7.2), so bleibt es dennoch ein Ziel, auch mit Schutzstreifen möglichst große Überholabstände zu bewirken. Die Ergebnisse dieser Arbeit implizieren, dass dies mit 2 m breiten Schutzstreifen deutlich besser gelingt als mit schmaleren Schutzstreifen.

Die Untersuchung des Vorher-Zustands ohne Schutzstreifen in der Pleikartsförster Straße zeigt außerdem, dass Kfz-Führende beim Überholen von Radfahrenden – allein aus der Motivation, Abstand zum Radfahrenden zu halten – in mindestens 2 m Entfernung zum Fahrbahnrand fahren (siehe Abschnitt 4.6). Ein 2 m breiter Schutzstreifen lässt also keine Änderung der minimalen lateralen Position überholender Kfz erwarten. Dies ist aber deutlich besser als die Verschiebung nach rechts, die durch den Leitlinieneffekt eines schmaleren Schutzstreifens erwartet werden kann.

Die einzige potenzielle Einschränkung von 2 m breiten Schutzstreifen im Vergleich zu schmaleren Schutzstreifen kann sich bei Überholungen mit Gegenverkehr ergeben. Die

Beobachtungen in der Pleikartsförster Straße implizieren, dass hierbei die laterale Position des Gegenverkehrs eine Rolle spielt. Fährt dieser aufgrund eines breiteren Schutzstreifens für die Gegenrichtung mittiger, entscheiden sich Kfz-Führende in Bezugsrichtung wahrscheinlich häufiger gegen die Überholung eines Radfahrenden bei Gegenverkehr. Einzig hohe Verkehrsstärken oder hohe Anforderungen an die Verkehrsqualität des Kfz-Verkehrs könnten also gegen 2 m breite Schutzstreifen sprechen.

In allen anderen Fällen sollten Schutzstreifen – ohne die eventuell zusätzlich notwendigen Sicherheitstrennstreifen zu Parkständen – mindestens 2 m breit markiert werden. Diese Forderung geht davon aus, dass die Mindestbreite für die Restfahrbahn eingehalten werden können (siehe Abschnitt 2.2.1). Breite Schutzstreifen in Kombination mit schmalen Restfahrbahnen sind möglicherweise auch zu empfehlen, dies muss aber zunächst in weiteren Studien verifiziert werden (siehe Abschnitt 7.5).

#### 7.4.2 Empfehlungen für Einrichtungsfahrbahnen

Die Untersuchung von Überholunfällen in Heidelberg (siehe Abschnitt 6.2) zeigt, dass bestimmte Breiten von Einrichtungsfahrbahnen zu Sicherheitsproblemen führen können, wenn über diese Radverkehr geführt wird. Um diese Probleme zu vermeiden, sollten Einrichtungsfahrbahnen nur mit Breiten angelegt werden, in denen das Überholen von Radfahrenden durch Kfz entweder sicher möglich oder eindeutig nicht möglich ist. Die Erkenntnisse dieser Studie führen zu Empfehlungen, die deutlich von den gültigen Empfehlungen der RAST:2006 (S. 71) abweichen.

Soll das Überholen von Radfahrenden durch Kfz auf einer Einrichtungsfahrbahn unterbunden werden, so sollte diese mit den zulässigen Mindestmaßen für Fahrbahnen neben Fahrbahnanteilen (RASt:2006, S. 70), maximal aber 3,25 m breit angelegt werden. Die Fahrbahnränder sollten dabei so ausgestaltet sein, dass sie bei normaler Fahrt nicht überfahren werden können. Bei Bestandsstrecken sind der Einbau physikalischer Barrieren oder größere Umbauten zu empfehlen. Da auch Unfälle bei 3,26 m und 3,60 m physikalischer Fahrbahnbreite dokumentiert sind, sollten zusätzlich Radfahrende durch Radpiktogramme zu mittiger Fahrweise auf den schmalen Richtungsfahrbahnen ermutigt werden.

Insbesondere nach einem längeren schmalen Abschnitt sind viele Überholungen von Radfahrenden durch Kfz zu erwarten. Dort sollte durch explizite Radverkehrsanlagen dafür gesorgt werden, dass diese Überholungen sicher stattfinden können. Außerdem sollte untersucht werden, ob innerhalb des schmalen Abschnitts an Einmündungen und Kreuzun-

gen die Möglichkeit von unsicheren Überholungen besteht. Diese sollten ganz unterbunden oder sicher ermöglicht werden.

Auf Einrichtungsfahrbahnen ab 4,50 m Breite ohne angrenzende Parkstände kann akzeptiert werden, dass Radfahrenden durch Kfz überholt werden. Zwischen dieser Mindestbreite und 5,10 m Fahrbahnbreite wird ein Schutzstreifen in Kombination mit einer 2,50 m breiten Restfahrbahn empfohlen. Der Schutzstreifen wird dann entsprechend der verfügbaren Breite, d.h. minimal 2 m breit markiert. Mit diesem Mindestmaß können Überholabstände erreicht werden, die über denen bei heute üblichen Schutzstreifen liegen (siehe Abschnitt 5.2). Sollen angebotene Abstände von mindestens 1,50 m sichergestellt werden – und dadurch auch 1,50 m Überholabstand zu rechts fahrenden Radfahrenden – ist ein 2,60 m breiter Schutzstreifen notwendig (siehe Abschnitt 5.1).

Um die genannten Überholabstände zu erreichen, darf das Aufkommen an Fahrzeugen mit 2,55 m Breite nicht zu groß sein. Diese überholen in der Regel Radfahrende, obwohl sie dabei den Schutzstreifen befahren müssen. Die Überholabstände sind dabei geringer als bei schmaleren Fahrzeugen (siehe Abschnitt 5.3). Zu prüfen bleibt, ob eine Beschilderung des Überholverbots für breite Fahrzeuge diese Überholungen reduzieren kann.

Schutzstreifen lassen in Fahrbahnbreiten, in denen das Überholen von Radfahrenden durch Kfz erlaubt werden soll, größere Überholabstände erwarten als andere Markierungslösungen. Bei einem Radfahrstreifen müsste der angrenzende Fahrstreifen breiter sein als 2,50 m. Dadurch ist zu erwarten, dass Kfz-Führende beim Überholen weiter rechts fahren und somit die entstehenden Überholabstände geringer sind (siehe Abschnitt 5.1).

Die genannten Empfehlungen für zu vermeidende Breiten bei Einrichtungsfahrbahnen basieren auf einer Unfalluntersuchung mit geringem Umfang und Verkehrsbeobachtungen an einer Strecke mit variabler Breite. Sie sollten insbesondere durch zusätzliche Beobachtungen von Einrichtungsfahrbahnen mit gleichbleibenden Breiten verifiziert werden.

#### 7.4.3 Empfehlungen für Zweirichtungsfahrbahnen mit Schutzstreifen, die auf Überholungen von Radfahrenden bei Gegenverkehr ausgelegt sind

In der ursprünglichen Konzeption von Schutzstreifen soll die Restfahrbahn für die Begegnung zweier Pkw ausreichen (Hupfer, 2000, S. 41). Ist das der Fall und sind gleichzeitig die hier konzipierten breiten Schutzstreifen markiert (siehe Abschnitt 3.1), so kann die Begegnung der Pkw auch gleichzeitig zu Überholungen von Radfahrenden stattfinden. Dies ist möglich, da sich bei breiten Schutzstreifen der Großteil des Abstands zu überhol-

ten Radfahrenden innerhalb des Schutzstreifens befindet. Solche Querschnitte sind grundsätzlich zu empfehlen.

Markierungszustand III der Pleikartsförster Straße ist ein solcher Querschnitt, der auf den Begegnungsfall Rad-Pkw-Pkw ausgelegt ist. Dieser Querschnitt ist 7,50 m breit und besteht aus einem 2 m breiten Schutzstreifen, einer 2,50 m breiten Restfahrbahn und einer 3 m breiten Fahrbahn für die Gegenrichtung. Die Abstände bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz liegen in diesem Querschnitt zwar teilweise unter 1,50 m, insgesamt aber deutlich über denen von Strecken mit schmaleren Schutzstreifen (siehe Abschnitt 4.5.2).

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit kann aber auch ein Querschnitt mit einseitigem Schutzstreifen abgeleitet werden, bei dem 1,50 m angebotener Abstand sichergestellt wird. Dies ist möglich, weil der 2,50 m breite Restfahrstreifen überholenden Kfz-Führenden ausreicht: Kfz-Führende überholen Radfahrende auch bei Gegenverkehr (siehe Abschnitt 4.1) und respektieren dabei die Schutzstreifenmarkierung (siehe Abschnitt 4.6). Somit kann der angrenzende Schutzstreifen verbreitert werden, ohne dass eine signifikant andere Positionswahl der Kfz-Führenden beim Überholen zu erwarten ist. Für durchgehend 1,50 m angebotenen Abstand – und somit auch mindestens 1,50 m Überholabstand zu rechts fahrenden Radfahrenden (siehe Abschnitt 3.8) – müsste der Schutzstreifen 2,50 m breit sein (siehe Abschnitt 4.6). Der Querschnitt wäre also insgesamt 8 m breit.

Außerdem lassen sich aus den Beobachtungen in der Pleikartsförster Straße in Markierungszustand III auch Vorhersagen für Querschnitte mit zweiseitigen Schutzstreifen treffen. Weil überholende Kfz in etwa den gleichen Abstand zur Mittellinie halten wie entgegenkommende Kfz auf ihrer 3 m breiten Fahrbahn (siehe Abschnitt 4.3), könnte auf der Gegenseite ebenso ein 2,50 m breiter Restfahrstreifen mit angrenzendem Schutzstreifen markiert sein. Im symmetrischen Querschnitt mit jeweils 2 m Schutzstreifen und 2,50 m Restfahrstreifen für beide Fahrtrichtung sind also Überholabstände zu erwarten, die mindestens so groß sind wie diejenigen, die in Markierungszustand III beobachtet wurden.<sup>26</sup> 1,50 m angebotener Abstand könnte wiederum durch 2,50 m breite Schutzstreifen sichergestellt werden.

---

<sup>26</sup> Bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz auf Straßen mit zweiseitigen Schutzstreifen weichen Fahrzeuge des Gegenverkehrs in der Regel auf den freien Schutzstreifen auf ihrer Seite aus (Hupfer, 2000, S. 52).

Die beiden Querschnitte, die durchgehend mindestens 1,50 m angebotenen Abstand auf Zweirichtungsfahrbahnen erwarten lassen, sind mit 8 bzw. 10 m sehr breit. Der Grund dafür ist, dass diese Querschnitte jederzeit, also auch bei Gegenverkehr, Überholungen von Radfahrenden durch Pkw erlauben. Ist dies tatsächlich ein Ziel beim Entwurf einer Zweirichtungsfahrbahn, ist aber fraglich, ob die genannten Querschnitte mit Schutzstreifen zum Einsatz kommen oder ob nicht stattdessen Radfahrstreifen, Protected Bike Lanes oder bauliche Radwege im Seitenraum gewählt werden.<sup>27</sup>

Einen bedeutsamen Vorteil im Raumbedarf haben breite Schutzstreifen nur dann, wenn Querschnitte nicht mehr auf Überholungen von Radfahrenden bei Gegenverkehr ausgelegt werden. Die verbleibende Fahrbahn – ohne die breiten Schutzstreifen – reicht dann aber nicht mehr für bei Begegnungen zweier Pkw aus. Inwiefern sich solche Querschnitte in der Praxis bewähren, muss in weiteren Studien untersucht werden (siehe Abschnitt 7.5).

#### 7.4.4 Explizites Befahrungsverbot von Schutzstreifen bei Überholungen von Radfahrenden

Wird ein Schutzstreifen so markiert, dass die Breite des Schutzstreifens dem physikalischen Raumbedarf eines Radfahrenden plus 1,50 m Sicherheitsabstands entspricht, so folgt aus dem Abstandsgebot nach § 5 StVO, dass Kfz-Führende den Schutzstreifen bei Überholungen von Radfahrenden nicht befahren dürfen. Die Beobachtungen im schmalen Abschnitt der Einrichtungsfahrbahn des Kirchheimer Wegs zeigen, dass diese Regel nicht befolgt wird: Breite Fahrzeuge überholen unter Mitnutzung des Schutzstreifens, anstatt wie vorgeschrieben den Radfahrende bis zum Ende des schmalen Abschnitts zu folgen (siehe Abschnitt 5.3).

Dass Kfz-Führende Schutzstreifen bei Überholungen nicht befahren, ist eine wichtige Zusicherung an Radfahrende: Dadurch wird das Verhalten von Kfz-Führenden bei Überholungen vorhersagbar. Diese Vorhersagbarkeit ist die Voraussetzung dafür, dass Radverkehrsanlagen für 1,50 m angebotenen Abstand bemessen werden dürfen – und somit geringfügige Unterschreitungen des gesetzlich vorgeschriebenen Überholabstands bei weit links fahrenden Radfahrenden aus Sicht des Straßenentwurfs toleriert werden können (siehe Abschnitt 3.8).

---

<sup>27</sup> Um die vorgeschriebenen Mindestabstände bei Überholungen von Radfahrenden durch Kfz auch bei Radfahrstreifen zu erreichen, müssen diese allerdings ebenfalls breiter als heute üblich markiert werden (Richter et al., 2019).

Das Befahrungsverbot von Schutzstreifen bei Überholungen von Radfahrenden sollte Kfz-Führenden daher bekannt oder stärker bewusst gemacht werden. Neben Informationskampagnen könnte eine explizitere Formulierung in Anlage 3, lfd. Nr. 22 StVO helfen. Nr. 2 in diesem Abschnitt sollte um den folgenden oder einen äquivalenten Satz ergänzt werden: „Schutzstreifen dürfen von Kfz-Führenden bei Überholungen von Fahrzeugen auf dem Schutzstreifen nicht befahren werden.“ Eventuell ist es auch hilfreich, die Konsequenz daraus in der StVO explizit zu formulieren: „Kann ein Fahrzeug auf einem Schutzstreifen nicht ohne Befahren desselben überholt werden, so darf dieses Fahrzeug nicht überholt werden.“

## 7.5 Weiterer Forschungsbedarf

Weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere zu breiten Schutzstreifen auf schmalen Zweirichtungsfahrbahnen. Für 1,50 m angebotenen Abstand müssen Schutzstreifen 2,50–2,60 m breit sein, also deutlich breiter, als der hier untersuchte 2 m breite Schutzstreifen. Die Frage ist, ob solche Schutzstreifen von Kfz-Führenden bei Überholungen von Radfahrenden auch dann noch respektiert werden, wenn die verbleibende Fahrbahnbreite nur knapp oder gar nicht mehr für eine Begegnung mit Gegenverkehr ausreicht. Ist in einem Querschnitt die Kernfahrbahn nicht mehr deutlich breiter als ein Schutzstreifen, ist außerdem fraglich, ob Kfz-Führende noch verstehen, wie sie sich in Situationen ohne Radfahrende, also insbesondere im Begegnungsfall Kfz-Kfz, verhalten sollen.

Diese Fragen werden im Kontext der Pleikartsförster Straße (Abschnitt 7.5.1) und allgemein (Abschnitt 7.5.2) erörtert.

### 7.5.1 Fahrbahnmarkierungen für 1,50 m angebotenen Abstand im 7,50 m-Querschnitt mit einseitigem Schutzstreifen

Aus den Ergebnissen der Beobachtungen in der 7,50 m breiten Pleikartsförster Straße können Querschnitte entwickelt werden, bei denen 1,50 m angebotener Abstand bei Überholungen wahrscheinlich ist. Diese Querschnitte sind allerdings breiter als 7,50 m (siehe Abschnitt 7.4.3). Die Frage ist, ob es auch möglich ist, durchgehend 1,50 m angebotenen Abstand in der vorhandenen Fahrbahnbreite zu erreichen.

Ein naheliegender Ansatz ist es, den untersuchten Markierungszustand II mit Kernfahrbahn und einseitigem Schutzstreifen weiterzuentwickeln: Bei dem 2 m breiten Schutzstreifen fahren überholende Kfz-Führende bis dicht an die Markierung heran oder auf der

Markierung. Die niedrigen Perzentile der lateralen Positionen der rechten Reifen liegen bei ca. 2,05 m (siehe Abschnitt 4.6). Es könnte versucht werden, diesen Wert durch einen 2,60 m breiten Schutzstreifen auf 2,65 m anzuheben, was genau 1,50 m angebotenen Abstand entspräche (siehe Abschnitt 3.8). Ob dies gelingt, ist allerdings unklar: Bereits eine 5,50 m breite Kernfahrbahn mit nur einseitig angrenzendem Schutzstreifen wird von Kfz-Führenden für eine Begegnung Pkw-Pkw während der Überholung eines Radfahrenden als knapp bemessen eingeschätzt – daher die abgelehnten Überholungen bei Gegenverkehr in Markierungszustand II der Pleikartsförster Straße (siehe Abschnitt 4.1). Mit der auf 4,90 m reduzierten Breite der Kernfahrbahn neben einseitigem Schutzstreifen müssten also Kfz-Führende noch häufiger bei Gegenverkehr auf das Überholen von Radfahrenden verzichten. Die Frage ist, ob sie dies tun, oder ob nicht ein Teil der Kfz-Führenden trotzdem überholt und dabei den Schutzstreifen befährt. Radfahrenden sollte zugesichert werden, dass der Schutzstreifen von überholenden Kfz nicht befahren wird. Daher ist dieser Fall unbedingt zu vermeiden.

Soll 4,90 m Restfahrbahnbreite mit einseitig angrenzendem Bord für die Begegnung zweier Pkw ausreichen, muss das Fahrzeug auf der Seite des Bords nahe an diesem fahren. Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass dies durch Markierungen erreicht werden kann. Der größte Effekt auf die Position der Kfz auf der Seite des Bords wurde in der Pleikartsförster Straße mit der Mittellinie in Markierungszustand III erreicht (siehe Abschnitt 4.3). Diese Linie kann aber nicht weiter versetzt werden, da eine Mindestfahrbahnbreite eingehalten werden muss (siehe Abschnitt 3.3.2).

Da der Raum für Überholungen von Radfahrenden durch Kfz mit dem vorgeschriebenen Mindestabstand bei unmittelbarem Gegenverkehr nicht ausreicht, sollte dies durch die Markierungen verdeutlicht werden. Folgende Fahrbahnaufteilung betont den Raumbedarf des Radfahrenden und des Gegenverkehrs, und stellt klar, dass eine Überholung ohne Mitnutzung der Gegenfahrbahn nicht möglich ist:

- 2,50 m Schutzstreifen
- Schutzstreifenmarkierung mit 1m/1m-Strich-Lücke-Verhältnis
- 1,25 m Restfahrstreifen
- Mittellinie als Leitlinie mit 3m/6m- oder 3m/3m-Strich-Lücke-Verhältnis
- 3,75 m Fahrstreifen für die Gegenrichtung.

Bei dieser Aufteilung können sich Kfz-Führende sich nicht gleichzeitig an der Mittellinie und der Schutzstreifenmarkierung ausrichten. Durch die Gestaltung des Anfangs des

Schutzstreifens ohne Verschwenkung müsste erreicht werden, dass Kfz-Führende sich zunächst an der Mittellinie orientieren und den freien Schutzstreifen befahren. Treffen sie dann auf einen Radfahrenden, ist nicht zu befürchten, dass sie versuchen werden, ohne Überfahren der Mittellinie bei 3,75 m zu überholen. Dies ist in Markierungszustand I, bei dem die gleiche Mittellinie markiert war, nur bei einer von 63 Überholungen vorgekommen (siehe Anlage A-3.2). Sollte der Kfz-Führende den Radfahrenden bei Gegenverkehr erreichen, signalisiert die deutlich zu schmale Restfahrbahn, dass dieser abgewartet werden muss, bevor überholt werden kann. Überholt der Kfz-Führende schließlich, so schert er idealerweise weit genug aus, um den Schutzstreifen zu verlassen und so 1,50 m angebotenen Abstand einzuhalten.

Inwiefern das Abstandsziel mit den beschriebenen Querschnitten mit breiten einseitigen Schutzstreifen und schmaler Kernfahrbahn bzw. Restfahrbahn erreicht wird, müsste in weiteren Verkehrsversuchen mit wissenschaftlicher Begleitung untersucht werden.

#### 7.5.2 Breite Schutzstreifen mit schmalen Restfahrbahnen

Durch den Ansatz von breiten Schutzstreifen, den vorgeschriebenen Sicherheitsabstand bei der Überholung von Radfahrenden durch Kfz in den Schutzstreifen zu legen, müssen diese deutlich breiter sein als heute übliche Schutzstreifen. Wird die restliche Fahrbahn für den Begegnungsfall Pkw-Pkw ausgelegt, so entstehen insgesamt sehr breite Querschnitte (siehe Abschnitt 7.4.3). Um dieses Problem zu adressieren, muss neu diskutiert werden, wie ein Schutzstreifen Radfahrende schützen soll.

Bisher wird versucht, diesen Schutz dadurch zu gewähren, dass die Schutzstreifen meistens nicht befahren werden (siehe Abschnitt 2.2.1). Zulässige Ausnahmen sind nur Begegnungsfälle mit breiten Kfz. Für den Schutz der Radfahrenden ist aber vor allem wichtig, dass Schutzstreifen von Kfz-Führenden dann nicht befahren werden, wenn sie Radfahrende überholen. Freie Schutzstreifen können gefahrlos befahren werden. Mit diesem Ansatz muss die Restfahrbahn nicht mehr für Begegnungen zweier Kfz ausreichen. Dadurch sind auch breite Schutzstreifen auf schmaleren Fahrbahnen möglich.

Solche Querschnitte sollten allerdings zuerst in weiteren Studien untersucht werden. Insbesondere stellt sich die Frage, ob es in diesen Querschnitten zu kritischen Situationen bei der Begegnung zweier Kfz kommt. Wird beispielsweise ein 2,50 m breiter, einseitiger Schutzstreifen mit einer 4 m-Kernfahrbahn markiert oder zwei 2,50 m breite Schutzstreifen mit einer 3 m breiten Kernfahrbahn, so wird einigen Kfz-Führenden wahrscheinlich

nicht klar sein, wie sie sich bei Begegnungen mit anderen Kfz verhalten sollen. Als nahe-  
liegende Maßnahme könnten Informationstafeln angebracht werden, die das erwartete  
Verhalten darstellen. Als weitere Option könnte versucht werden, mit einer Mittellinie  
klarzustellen, dass Gegenverkehr zu erwarten ist und daher freie Schutzstreifen befahren  
werden dürfen und sollen (vergleiche Abschnitt 7.5.1). Weil Mittellinien auf Restfahrbah-  
nen unter 5,50 m Breite nach der allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-  
Ordnung (VwV-StVO, „Zu Zeichen 340 Leitlinie“, Rn 3) nicht zulässig sind, sind möglich-  
erweise Markierungen notwendig, die rechtlich nicht als Fahrbahnmarkierung zählen.

Wird ein breiter Schutzstreifen mit einem schmalen Restfahrstreifen und angrenzender  
Mittellinie kombiniert, so ist dabei darauf zu achten, dass diese Mittellinie nicht weiter  
als 3,75 m vom Fahrbahnrand entfernt liegt. Bei diesem Maß ist nicht davon auszugehen,  
dass Kfz-Führende versuchen werden, Radfahrende ohne Überfahren der Mittellinie zu  
überholen (siehe Abschnitt 4.3). Bei 2,50 m Schutzstreifenbreite wäre der Restfahrstreifen  
also maximal 1,25 m breit.

Der Ansatz, breite Schutzstreifen mit schmalen Restfahrbahnen zu kombinieren, erscheint  
notwendig, um 1,50 m angebotenen Abstand bei Überholungen zu erreichen. Vor einem  
Einsatz der beschriebenen Querschnitte müssen diese aber noch in der Praxis unter wis-  
senschaftlicher Begleitung validiert werden.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Schutzstreifen mit den heute üblichen Breiten von 1,25–1,50 m stehen in der Kritik, Überholungen mit Abständen deutlich unter dem gesetzlich vorgeschriebenen Mindestabstand von 1,50 m zu begünstigen. Dies ist angesichts der Prämissen, mit denen die Maße von Schutzstreifen bestimmt wurden, nicht überraschend: Die Studie von Christoph Hupfer (2000) zu Schutzstreifen definiert Überholabstände von mindestens 0,60–0,80 m im Geschwindigkeitsbereich von 30–50 km/h als ausreichend. Die so bestimmten Maße für Fahrbahnen mit Schutzstreifen wurden in die Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt:2006) und die Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA:2010) übernommen und sind bis heute gültig.

Um größere Überholabstände zu erreichen, wird in dieser Arbeit vorgeschlagen, Schutzstreifen nicht mehr nur nach dem physikalisch benutzten Raum der Radfahrenden zu bemessen, sondern auch den vorgeschriebenen Mindestabstand beim Überholen von Radfahrenden mit in den Schutzstreifen zu legen (siehe Abschnitt 3.1). Mit diesem Ansatz wird der bekannte Leitlinieneffekt unproblematisch: Orientieren sich Kfz-Führende beim Überholen an der Leitlinie eines solchen Schutzstreifen, so führt dies in der Regel zum vorgeschriebenen Überholabstand.

Der Ansatz, nur Schutzstreifen und nicht auch angrenzende Restfahrstreifen breiter zu markieren, wird von Richter et al. (2019) kritisiert: Er führe nicht zwangsläufig zu größeren Überholabständen, da Radfahrende Schutzstreifen tendenziell mittig und mit verschiedenen Abständen zum Fahrbahnrand befahren. Die Beobachtung mittiger Fahrweise von Radfahrenden kann auf den untersuchten breiten Schutzstreifen nicht bestätigt werden (siehe Abschnitt 4.4). Es ergibt sich stattdessen eine klare Präferenz nach rechts. Des Weiteren ist der Trend, dass Radfahrende mit steigender Schutzstreifenbreite weiter links fahren, bei Breiten ab 2 m nicht mehr nachweisbar (siehe Abschnitte 2.3 und 5.2).

Die variierende Positionswahl von Radfahrenden hat aber in der Tat Einfluss auf Überholabstände. Ist ein breiter Schutzstreifen wie oben beschrieben markiert, können Radfahrende sich rechts halten und dadurch sicherstellen, dass Überholabstände von mindestens 1,50 m entstehen. Weil aber nicht zu erwarten ist, dass dies alle Radfahrenden tun, kann es auch mit breiten Schutzstreifen zu Unterschreitungen des vorgeschriebenen Mindestabstands kommen. Es wird vorgeschlagen, dies im Rahmen des Straßenentwurfs zu

tolerieren. Das Ziel der Bemessung von Schutzstreifen wäre also auch dann erfüllt, wenn alle Kfz-Führenden einen „angebotenen Abstand“ von 1,50 m einhalten (siehe Abschnitt 3.8).

Der angebotene Abstand bezeichnet den Seitenabstand zwischen überholenden Kfz und einem Bereich, der einem rechts fahrenden Radfahrenden ausreicht. Für die hier betrachteten Straßen ohne angrenzende Parkstände wird angenommen, dass dieser Bereich 1 m breit ist, entsprechend des Verkehrsraums eines Radfahrenden (RASt:2006, S. 28). Damit ergeben sich für den angebotenen Abstand folgende Zusammenhänge:

- Für Radfahrende, die mit ihren Reifen mit maximal 0,70 m Abstand vom Fahrbahnrand fahren, ist der tatsächliche Überholabstand mindestens so groß wie der angebotene Abstand.
- 1,50 m angebotener Abstand ergibt sich, wenn Kfz-Führende beim Überholen von Radfahrenden mit den Reifen in 2,65 m Entfernung vom Fahrbahnrand fahren.

Als erster Schritt zur Validierung der Idee von breiten Schutzstreifen wurden auf zwei Strecken in Heidelberg 2,00–2,50 m breite Schutzstreifen markiert. Umfangreiche Erkenntnisse lieferte dabei die Untersuchung der Pleikartsförster Straße, einer 7,50 m breiten Zweirichtungsfahrbahn. In dieser wurden drei Markierungszustände untersucht:

- 3,75 m Fahrstreifen + 3,75 m Fahrstreifen (Markierungszustand I)
- 2,00 m Schutzstreifen + 5,50 m Kernfahrbahn (Markierungszustand II)
- 2,00 m Schutzstreifen + 2,50 m Restfahrstreifen + 3,00 m Fahrstreifen (Markierungszustand III)

Mit dem Schutzstreifen wird eine Radverkehrsanlage für die Bezugsrichtung ergänzt; für die Gegenrichtung existiert ein Einrichtungsradweg im Seitenraum.

Trotz der Breite deutlich über dem Regemaß zeigt sich der oft beobachtete negative Effekt von Schutzstreifen auf Überholabstände: Diese sind nach der Markierung des Schutzstreifens geringer als vorher im Mischverkehr ohne Schutzstreifen. Das Ziel von mindestens 1,50 m Überholabstand oder angebotenen Abstand wird verfehlt (siehe Abschnitte 4.5 und 4.6). Dennoch liegen die beobachteten Überholabstände deutlich über denen, die in anderen Studien an schmaleren Schutzstreifen gemessen wurden.

Auch schon vor der Anlage des 2 m breiten Schutzstreifens, wurde in der Pleikartsförster Straße von überholenden Kfz-Führenden beim Überholen von Radfahrenden ein 2 m breiter Bereich am rechten Rand der Fahrbahn nicht benutzt (siehe Abschnitt 4.6). Die

Markierung eines schmalen Schutzstreifen setzt also falsche Anreize für die Positionswahl von Kfz-Führenden. Um diese zu vermeiden, und aufgrund der deutlich besseren Überholabstände, sollten Schutzstreifen unter 2 m Breite nicht mehr markiert werden (siehe auch Abschnitt 7.4.1).

Die Untersuchung der umfangreichen und präzisen Daten aus der Pleikartsförster Straße (siehe Abschnitte 3.5 und 3.6) zeigt weitere, interessante Zusammenhänge auf:

- Überholungen von Radfahrenden werden erleichtert, wenn die Verkehrsräume der beteiligten Fahrzeuge durch Markierungen gekennzeichnet sind. Markierungszustand III weist jeweils Radfahrenden, überholenden Kfz-Führenden und dem Gegenverkehr einen eigenen Bereich der Fahrbahn zu. Dies führt dazu, dass ohne Einschränkungen überholt wird (siehe Abschnitt 4.1), deutlich häufiger als es die Fahrbahnbreite von 7,50 m erwarten lässt.
- Der Effekt von Mittellinien auf die laterale Position von überholenden Kfz variiert je nach Lage der Mittellinie (siehe Abschnitt 4.2). Eine Mittellinie mit 3,75 m Abstand vom Fahrbahnrand lässt deutlich zu wenig Raum für Überholungen von Radfahrenden und wird daher von den überholenden Kfz-Führenden frei überfahren. Das Überfahren einer Mittellinie bei 4,50 m wird hingegen vermieden. Dies beeinflusst vor allem die Abstände bei Überholungen, bei denen Radfahrende weit links fahren (siehe Abschnitt 4.5).

Die zweite untersuchte Strecke in Heidelberg, ein Abschnitt des Kirchheimer Wegs, ist eine Einrichtungsfahrbahn mit stetig abnehmender Breite. Hier wird der Radfahrstreifen in einen breiten Schutzstreifen überführt, sobald die Fahrbahnbreite 5,10 m unterschreitet. Ab dieser Stelle besteht ein faktisches Überholverbot von Radfahrenden für 2,55 m breite Fahrzeuge, weil der vorgeschriebene Mindestabstand von 1,50 m nicht mehr eingehalten werden kann. Als Hinweis darauf ist die Restfahrbahn mit 2,50 m nicht breit genug für diese Fahrzeuge. Dieser Hinweis reicht nicht aus: Radfahrende werden, trotz der Notwendigkeit den Schutzstreifen zu befahren, überholt (siehe Abschnitt 5.3). Dies ist problematisch: Radfahrenden sollte zugesichert werden, dass auch ein breiter Schutzstreifen von überholenden Kfz nicht befahren wird. Um dieses Ziel zu erreichen, könnte eine explizite Vorschrift in der StVO helfen (siehe Abschnitt 7.4.4).

In der Gesamtbewertung können die Markierungslösungen mit Schutzstreifen auf beiden untersuchten Strecken empfohlen werden, auch wenn dabei weder tatsächliche noch angebotene Mindestabstände von 1,50 m sichergestellt werden (siehe Abschnitte 7.1 und

7.2). Ausschlaggebend dafür ist jeweils, dass die Schutzstreifen zu einer Verlagerung von Radverkehr aus dem Seitenraum auf die Fahrbahn führen. Dies senkt die Unfallgefahr für zu Fuß Gehende bzw. für die Radfahrenden selbst.

Die Erkenntnisse zu den untersuchten einseitigen Schutzstreifen lassen sich zum Teil auch auf Straßen mit zweiseitige Schutzstreifen übertragen (siehe Abschnitt 7.4.3). Auf einer 9 m breiten Fahrbahn mit jeweils einem 2 m breiten Schutzstreifen und einem 2,50 m breiten Restfahrstreifen pro Richtung sind Überholabstände ähnlich denen der Pleikartsförster Straße zu erwarten. Durchgehend mindestens 1,50 m angebotener Abstand kann erwartet werden, wenn die Schutzstreifen auf 2,50 m verbreitert werden. Die so entstehenden Querschnitte sind mit 9–10 m Gesamtbreite zwar schmaler als Querschnitte mit anderen Typen von Radverkehrsanlagen, es wird aber deutlich mehr Raum benötigt als nach den gültigen Regelwerken heute. Eine Lösung könnte es sein, breite Schutzstreifen mit Kern- oder Restfahrbahnen zu kombinieren, die nicht mehr für die Begegnung zweier Pkw ausreichen. Solche Querschnitte müssen allerdings erst in weiteren Studien untersucht werden (siehe Abschnitt 7.5.2).

In der Analyse von Unfalltexten wurden Fahrbahnquerschnitte identifiziert, die Unfälle zwischen überholenden Kfz und überholten Radfahrenden begünstigt. Insbesondere auf Einrichtungsfahrbahnen gilt es Breiten zu vermeiden, die zu unsicheren Überholungen führen (siehe Abschnitt 7.2).

## Literaturverzeichnis

24. StVRÄndV. *Vierundzwanzigste Verordnung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften*. In: *Bundesgesetzblatt Teil I*. Nr. 57 vom 14. August 1997, S. 2028-2030.

Verfügbar unter: [http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBL&jumpTo=bgbl197s2028.pdf](http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl197s2028.pdf)

54. StVRÄndV. *Vierundfünfzigste Verordnung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften*. In: *Bundesgesetzblatt Teil I*. Nr. 19 vom 27. April 2020, S. 814-837.

Verfügbar unter: [http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBL&jumpTo=bgbl120s0814.pdf](http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl120s0814.pdf)

ALRUTZ, D., W. BOHLE, H. MÜLLER und H. PRAHLOW, 2009. *Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Heft V 184. ISBN 978-3-86509-920-4. Verfügbar unter: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/191/file/V184.pdf>

BGH, 30. Juni 1959. *Versicherungsrecht*, 10, S. 947-957.

CRIMINISI, A., I. REID und A. ZISSERMAN, 1999. A plane measuring device. *Image and Vision Computing*, 17(8), 625-634. ISSN 02628856. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0262-8856(98)00183-8

DIETIKER, J., I. SOMMER, J.-L. FROSSARD und R. STEINER, 2012. *Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?* Bundesamt für Strassen, Schweiz. Forschungsbericht Nr. 1378. Verfügbar unter: [https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/21413\\_1378\\_Inhalt.pdf](https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/21413_1378_Inhalt.pdf)

DOMASCHKE, S., 13. Oktober 2014. *Auto und Fahrrad von oben* [Zugriff am: 11. März 2022]. Verfügbar unter: <http://abc-katze.blogspot.com/2014/10/auto-und-fahrrad-von-oben.html>

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, EAHV:1993, *Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen*. Köln: FGSV Verlag.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, ERA:2010, *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen*. Köln: FGSV Verlag.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, RASSt:2006, *Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen*. Köln: FGSV Verlag.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, RBSV:2020, *Richtlinien für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen*. Köln: FGSV Verlag.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, RIN:2000, *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung*. Köln: FGSV Verlag.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, RMS-1:1993, *Richtlinien für die Markierung von Straßen. Teil 1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen*. Köln: FGSV Verlag.

GRAF, T., 2020. *Handbuch: Radverkehr in der Kommune. Nutzertypen, Infrastruktur, Stadtplanung, Marketing; Das Hygge-Modell; Ergänzungen zur ERA*. 2. erweiterte Auflage. Röthenbach an der Pegnitz: Thiemo Graf Verlag. ISBN 978-3-940217-30-1.

HARDINGHAUS, M., R. CYGANOSKI und W. BOHLE, 2019. *Attraktive Radinfrastruktur*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt [Zugriff am: 11. März 2022]. Verfügbar unter: [https://elib.dlr.de/129462/1/190527\\_DLR\\_Broschuere\\_DINA4\\_Online.pdf](https://elib.dlr.de/129462/1/190527_DLR_Broschuere_DINA4_Online.pdf)

HUPFER, C., 2000. *Einsatzbereiche von Angebotsstreifen*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Heft V 74. ISBN 3-89701-501-3.

KAULEN, R., M. REINTJES und C. DUDDE, 2013. *Gutachten zum Einsatz und zur Wirkung von einseitigen, alternierenden und beidseitigen Schutzstreifen auf schmalen Fahrbahnen innerorts*. Arbeitsgemeinschaft Fahrradfreundlicher Kommunen in Baden-Württemberg e.V. [Zugriff am: 11. März 2022]. Verfügbar unter: [https://www.agfk-bw.de/uploads/tx\\_news/SVK-AGFK-BW\\_Gutachten-Schutzstreifen\\_Langfassung\\_20131014.pdf](https://www.agfk-bw.de/uploads/tx_news/SVK-AGFK-BW_Gutachten-Schutzstreifen_Langfassung_20131014.pdf)

KIPKE, H. und D. ULLMANN, 2021. *Modellprojekte für den Radverkehr in Bayern*. Arbeitsgemeinschaft fahrradfreundliche Kommunen in Bayern e.V. [Zugriff am: 11. März 2022]. Verfügbar unter: [https://agfk-bayern.de/dateienupload/dokumente/Dokumente\\_zu\\_Veranstaltungen/2021\\_Modellprojekte/Endbericht%20AGFK%20Modellprojekte\\_final.pdf](https://agfk-bayern.de/dateienupload/dokumente/Dokumente_zu_Veranstaltungen/2021_Modellprojekte/Endbericht%20AGFK%20Modellprojekte_final.pdf)

- LANGER, R., 2016. *Seitlicher Überholabstand von Radfahrern durch den motorisierten Verkehr – Empirische Analyse mit Hilfe von Kameradaten*. Diplomarbeit. TU Dresden. Verkehrsökologische Schriftenreihe. Heft 6/2016. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-201073>
- MÜLLER, D., 2019. *Rechtsgutachten zu markierten Radverkehrsführungen*. Unfallforschung der Versicherer. Unfallforschung kompakt Nr. 86. Verfügbar unter: <https://www.udv.de/resource/blob/79404/b72b1b4bac76afabacecb6a3c647084a/86-rechtsgutachten-zu-markierten-radverkehrsfuehrung-data.pdf>
- OHM, D., F. FIEDLER, F. ZIMMERMANN, T. KRAXENBERGER, R. MAIER, S. HANTSCHHEL und M. OTTO, 2015. *Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen*. Bremen: Fachverlag NW. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Heft V 257. ISBN 978-3-95606-169-4.
- OLG HAMM 9. ZIVILSENAT, 10. November 1992. Sicherheitsabstand beim Überholen von Radfahrern. *Schaden-Praxis*, 1993, S. 339-340.
- REICHENBACH, M. und R. AFFOLTER, 2003. *Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer*. Bundesamt für Strassen, Schweiz. Forschungsbericht Nr. 1046. Verfügbar unter: [https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/21046\\_1046\\_Inhalt.PDF](https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/21046_1046_Inhalt.PDF)
- RICHTER, T., O. BEYER, J. ORTLEPP und M. SCHREIBER, 2019. *Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen*. Unfallforschung der Versicherer. Forschungsbericht. Nr. 59. ISBN 978-3-939163-89-3. Verfügbar unter: <https://udv.de/download/file/fid/11903>
- SCHÄFER, P.K., L. FREYER, D. STOLTE, M. BOHL und Z. WINKLER, 2020. *Forschungsprojekt „Duale Radlösung“*. Frankfurt University of Applied Sciences [Zugriff am: 11. März 2020]. Verfügbar unter: [https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich\\_1/FFin/Neue\\_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Duale\\_Radloesungen\\_Abschlussbericht.pdf](https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich_1/FFin/Neue_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Duale_Radloesungen_Abschlussbericht.pdf)
- SCHÄFER, P.K., L. FREYER, M. BOHL und Z. WINKLER, 2021. *Forschungsprojekt duale Radlösung 2.0. Nutzungsverhalten der Radfahrenden bei dualer Radinfrastruktur durch Befragung*. Frankfurt University of Applied Sciences [Zugriff am: 11. März 2022]. Verfügbar unter: [https://fhffm.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/6238/file/Abschlussbericht\\_dualer\\_Radloesung\\_2.0.pdf](https://fhffm.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/6238/file/Abschlussbericht_dualer_Radloesung_2.0.pdf)

- SCHELL, J., 2007. *Möglichkeiten der Radverkehrsführung auf Zweistreifigen Richtungsfahrbahnen*. Masterthesis. Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft. Verfügbar unter: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/186010/1/DS0056.pdf>
- Stadt Heidelberg, 2020. *Verkehrsentwicklungsplan Heidelberg 2035 Situationsanalyse*. Informationsvorlage 0032/2020/IV [Zugriff am: 11. März 2022]. Verfügbar unter: <https://ww1.heidelberg.de/buergerinfo/getfile.asp?id=304370&type=do>
- StVO. *Straßenverkehrs-Ordnung* i.d.F. der Bekanntmachung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367), zuletzt geändert durch § 13 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3091). Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvo\\_2013/](https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/)
- StVZO. *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung* i.d.F. vom 26. April 2012 (BGBl. I S. 679), zuletzt geändert durch § 11 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3091). Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\_2012/](https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/)
- VwV-StVO. *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung* i.d.F. vom 8. November 2021 (BAnz AT 15.11.2021 B1). Verfügbar unter: [http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_26012001\\_S3236420014.htm](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm)
- ZWEIBRÜCKEN, K., 2000. *Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenabschnitten (Kernfahrbahnen)*. Bundesamt für Strassenbau, Schweiz. Forschungsauftrag 44/97. Verfügbar unter: [https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/20452\\_446\\_Inhalt.pdf](https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/20452_446_Inhalt.pdf)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verkehrssituationen mit verschiedenen breiten Schutzstreifen .....	19
Abbildung 2: Radverkehrsanlagen in der Pleikartsförster Straße, Umgebungskarte, Untersuchungsabschnitt .....	21
Abbildung 3: Markierungszustand I der Pleikartsförster Straße: zwei 3,75 m breiten Fahrstreifen.....	23
Abbildung 4: Markierungszustand II der Pleikartsförster Straße: 2 m Schutzstreifen und 5,50 m Kernfahrbahn.....	23
Abbildung 5: Markierungszustand III der Pleikartsförster Straße: 2 m Schutzstreifen plus 2,50 m Restfahrstreifen und 3 m Fahrstreifen für den Gegenverkehr.....	24
Abbildung 6: Umgebungskarte des Kirchheimer Wegs.....	25
Abbildung 7: Luftbild des Untersuchungsabschnitts im Kirchheimer Weg .....	26
Abbildung 8: Verschwenkung der Markierung der Radverkehrsanlagen im Kirchheimer Weg .....	27
Abbildung 9: Ende des Schutzstreifens im Kirchheimer Weg .....	28
Abbildung 10: Montage der Camcorder für die Verkehrsbeobachtungen an Straßen mit breiten Schutzstreifen.....	29
Abbildung 11: Kalibrierung der projektiven Transformation für eine der Kameras in der Pleikartsförster Straße .....	30
Abbildung 12: Anzeige des Videos der ersten Kamera der Pleikartsförster Straße nach abgeschlossener Kalibrierung .....	33
Abbildung 13: Anzeige des Videos der zweiten Kamera der Pleikartsförster Straße im Messwerkzeug nach abgeschlossener Kalibrierung .....	33
Abbildung 14: Anzeige des Videos des Kirchheimer Wegs im Messwerkzeug nach abgeschlossener Kalibrierung .....	34
Abbildung 15: Positionen, die bei Überholungen erfasst werden.....	36
Abbildung 16: Laterale Positionen der überholenden Kfz nach Restzeitlücke bzw. Restentfernung zum Gegenverkehr .....	44
Abbildung 17: Anzahl Überholungen von Radfahrenden durch Kfz nach Markierungszustand in der Pleikartsförster Straße.....	50
Abbildung 18: Anzahl abgelehnter Überholungen nach Markierungszustand in der Pleikartsförster Straße .....	50

Abbildung 19: Laterale Positionen der überholenden Kfz bei Überholungen ohne Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße .....	53
Abbildung 20: Laterale Positionen des überholenden Kfz und des jeweiligen Kfz des Gegenverkehrs bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße .....	55
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilungen und Mediane der lateralen Positionen der Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße.....	57
Abbildung 22: Kumulierte Häufigkeiten von Überholabständen in der Pleikartsförster Straße.....	58
Abbildung 23: Positionen der überholenden Kfz nach Position der überholten Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße.....	60
Abbildung 24: Verteilung der Überholabstände bei Überholungen in der Pleikartsförster Straße .....	62
Abbildung 25: Verteilung der Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr und mit Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße.....	63
Abbildung 26: Verteilung der angebotenen Abstände bei Überholungen in der Pleikartsförster Straße .....	64
Abbildung 27: Verteilung der angebotenen Abstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr und Überholungen mit Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße	66
Abbildung 28: Geschwindigkeit überholender Kfz nach Abstand zu überholten Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße.....	68
Abbildung 29: Verteilung der tatsächlichen Verkehrsraumnutzung von Radfahrenden in der Pleikartsförster Straße, die zur Nutzung der Fahrbahn verpflichtet sind .....	69
Abbildung 30: Laterale Positionen der linken und rechten Reifenaußenkanten überholender Kfz im Kirchheimer Weg .....	72
Abbildung 31: Verteilung der lateralen Positionen der linken und rechten Reifenaußenkanten überholender Kfz im Kirchheimer Weg .....	73
Abbildung 32: Laterale Positionen überholender Kfz und überholter Radfahrender und daraus entstehende Überholabstände im Kirchheimer Weg .....	74
Abbildung 33: Überholungen 2,55 m breiter Kfz im Vergleich zu Überholungen anderer Kfz im Kirchheimer Weg.....	77
Abbildung 34: Straßenräumliche Situation in der Bergheimer Straße .....	81
Abbildung 35: Straßenräumliche Situation in der Rohrbacher Straße .....	82
Abbildung 36: Ort des Überholunfalls im Kirchheimer Weg .....	83

---

Abbildung 37: Anzahl angenommener Überholungen in der Pleikartsförster Straße, die im Zeitraum stattgefunden haben, in dem auch abgelehnte Überholungen erfasst wurden.....	121
Abbildung 38: Laterale Positionen aller überholenden Kfz in der Pleikartsförster Straße .....	122
Abbildung 39: Überholungen breiter und anderer Kfz in der Pleikartsförster Straße ..	126

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maße, die in den jeweiligen Publikationen als seitliche Abstände bei Überholungen angegeben werden .....	10
Tabelle 2: Bewertungen von Überholabständen in Publikationen aus dem Bereich Verkehrswesen.....	11
Tabelle 3: Auflösung der Messungen in laterale Richtung und Stationierungsrichtung.	35
Tabelle 4: Mittelwerte der lateralen Positionen der linken Reifen der Kfz in der Pleikartsförster Straße .....	55
Tabelle 5: Perzentile der Überholabstände bei Überholungen in der Pleikartsförster Straße .....	62
Tabelle 6: Kennwerte der Geschwindigkeiten überholender Kfz in der Pleikartsförster Straße .....	67
Tabelle 7: Verteilung der dreistelligen Unfalltypen bei Unfällen im Längsverkehr mit Radfahrbeteiligung auf den untersuchten Streckenabschnitten in Heidelberg .....	80
Tabelle 8: Dichte von Überholunfällen zwischen überholenden Kfz und überholten Radfahrenden von auffälligen Streckenabschnitten in Heidelberg .....	84
Tabelle 9: Auswertung der Seitenabstandsmessungen auf Schutzstreifen von Richter et al. (2019) .....	115
Tabelle 10: Aus Tabelle 9 berechnete Häufigkeiten und Gesamtanteile von Überholungen mit bestimmten Seitenabständen .....	115
Tabelle 11: Gesamtanzahl der erfassten Überholungen auf Strecken mit Schutzstreifen von Ohm et al. (2015).....	116
Tabelle 12: Überholabstände bei allen Überholungen auf Strecken mit einseitigen Schutzstreifen von Ohm et al. (2015).....	116
Tabelle 13: Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr auf Straßen mit einseitigen und zweiseitigen Schutzstreifen aus Kaulen et al. (2013) .....	117
Tabelle 14: Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr auf Strecken vor der Anlage der Schutzstreifen aus Kaulen et al. (2013) .....	117
Tabelle 15: Überholabstände bei Überholungen ohne und mit Gegenverkehr bei Zweirichtungsfahrbahnen mit einseitigen Schutzstreifen aus Hupfer (2000) .....	118
Tabelle 16: Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr auf Strecken mit schmalen Restfahrstreifen aus Hupfer (2000) .....	118

---

Tabelle 17: Eigenschaften der im Rahmen der Unfallanalyse untersuchten Streckenabschnitte .....	120
Tabelle 18: Kennwerte der lateralen Positionen der linken Reifen von erfassten Kfz im Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße .....	123
Tabelle 19: Kennwerte der lateralen Positionen der linken Reifen der Kfz im Gegenverkehr zum Überholzeitpunkt bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr .....	123
Tabelle 20: Kennwerte der lateralen Positionen der linken Reifen der überholenden Kfz zum Überholzeitpunkt bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr .....	123
Tabelle 21: Kennwerte der lateralen Abstände zwischen den linken Reifen der überholenden Kfz und des jeweiligen Kfz im unmittelbaren Gegenverkehr .....	124
Tabelle 22: Weitere Kennwerte der Geschwindigkeiten überholender Kfz in der Pleikartsförster Straße .....	124
Tabelle 23: Anzahl und Anteile der Überholungen in der Pleikartsförster Straße mit Überholabständen in den in den genannten Klassen .....	125
Tabelle 24: Kombinierte Kennwerte für die Überholabstände in der Pleikartsförster Straße .....	125

## Anlagenverzeichnis

A-1 Aus Publikationen abgelesene und verrechnete Werte .....	115
A-1.1 Richter, Beyer, Ortlepp und Schreiber, 2019 – „Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen“ .....	115
A-1.2 Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier, Hantschel und Otto, 2015 – „Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen“ .....	116
A-1.3 Kaulen, Reintjes, und Dudde, 2013 – „Gutachten zum Einsatz und zur Wirkung von einseitigen, alternierenden und beidseitigen Schutzstreifen auf schmalen Fahrbahnen innerorts“ .....	117
A-1.4 Hupfer, 2000 – „Einsatzbereiche von Angebotsstreifen“ .....	118
A-2 Untersuchungsstrecken der Unfallanalyse.....	119
A-3 Weitere Ergebnisse aus den Beobachtungen in der Pleikartsförster Straße.....	121
A-3.1 Überholungen im Erhebungszeitraum der abgelehnten Überholungen.....	121
A-3.2 Laterale Positionen aller überholender Kfz .....	122
A-3.3 Weitere Kennwerte der lateralen Positionen von Kfz bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr .....	123
A-3.4 Weitere Kennwerte der Geschwindigkeiten überholender Kfz.....	124
A-3.5 Weitere Kennwerte der Überholabstände .....	125
A-3.6 Überholungen von Radfahrenden durch breite Kfz .....	126

## Anlagen

### A-1 Aus Publikationen abgelesene und verrechnete Werte

#### A-1.1 Richter, Beyer, Ortlepp und Schreiber, 2019 – „Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen“

Diese Publikation enthält eine Tabelle mit den Anteilen der Überholungen, die einen bestimmten Seitenabstand unterschreiten, aufgeschlüsselt nach Fahrzeugart (siehe Tabelle 9). Daraus lassen sich die jeweiligen Häufigkeiten dieser Überholungen und deren Anteil über alle Kfz berechnen (siehe Tabelle 10).

Tabelle 9: Auswertung der Seitenabstandsmessungen auf Schutzstreifen von Richter et al. (2019). Diese Tabelle entspricht Tabelle 9 von Richter et al. (2019, S. 67) ohne die Spalte für Überholungen „Fahrrad-Fahrrad“.

	<b>Pkw</b>	<b>Lkw</b>	<b>Bus</b>	<b>Krad</b>
Anzahl Messungen	4835	95	27	194
Unter 150 cm	47,9%	69,5%	88,9%	30,4%
Unter 100 cm	14,0%	20,0%	44,4%	6,7%
Unter 50 cm	0,8%	4,2%	7,4%	0,5%
Minimum	13,7 cm	12,3 cm	34,7 cm	29,6 cm

Tabelle 10: Aus Tabelle 9 berechnete Häufigkeiten und Gesamtanteile von Überholungen mit bestimmten Seitenabständen

	<b>Pkw</b>	<b>Lkw</b>	<b>Bus</b>	<b>Krad</b>	<b>Alle Kfz</b>
Anzahl Messungen	4835	95	27	194	5151
Unter 150 cm	2316	66	24	59	2465 (47,9%)
Unter 100 cm	677	19	12	13	721 (14,0%)
Unter 50 cm	39	4	2	1	46 (0,9%)

A-1.2 Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier, Hantschel und Otto,  
2015 – „Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen  
Hauptverkehrsstraßen“

Tabelle 11: Gesamtanzahl der erfassten Überholungen auf Strecken mit Schutzstreifen von Ohm et al. (2015). Die Werte sind aus der Tabelle „Überholabstände Kfz-Rad nach Querschnitten“ in Anlage 32 (S. A-93) abgelesen.

	<b>Streckentyp A2 (mit Schutzstreifen)</b>	<b>Streckentyp A3 (mit Schutzstreifen)</b>	<b>Streckentyp A6 (mit einseitigen Schutzstreifen)</b>
Anzahl Überholvorgänge	112	118	86

Tabelle 12: Überholabstände bei allen Überholungen auf Strecken mit einseitigen Schutzstreifen von Ohm et al. (2015). Die Werte sind aus der Tabelle „Überholabstände Kfz-Rad nach Querschnitten“ in Anlage 32 (S. A-93) abgemessen und in Seitenabstände umgerechnet (siehe Abschnitt 2.4.1).

<b>Strecke</b>	<b>Schutzstreifenbreite</b>	<b>Restfahrbahnbreite</b>	<b>15%-Perzentil Überholabstände</b>
Glacisstraße, Dresden (A6-1)	1,60 m <sup>1</sup>	5,40 m	0,85 m
Vogteistraße, Bielefeld (A6-2)	1,25 m	5,50 m	0,85 m
Wasserstraße, Offenburg (A6-3)	1,25 m	4,50 m	0,75 m
Gartenstraße, Rottenburg (A6-4)	1,25 m	4,75 m	1,00 m

<sup>1</sup> Inklusive eines gepflasterten Trennstreifens zu Längsparken

### A-1.3 Kaulen, Reintjes, und Dudde, 2013 – „Gutachten zum Einsatz und zur Wirkung von einseitigen, alternierenden und beidseitigen Schutzstreifen auf schmalen Fahrbahnen innerorts“

In Tabelle 13 sind Überholabstände auf den untersuchten Strecken mit beidseitigen und einseitigen Schutzstreifen – ohne die von den Studienautoren nicht empfohlenen alternierenden Schutzstreifen – aufgelistet. Tabelle 14 führt zusätzlich Überholabstände der Strecken auf, die für den Vorher-Nachher-Vergleich geeignet sind. Dafür wird eine Mindestanzahl von jeweils zehn erfassten Überholungen vor und nach der Markierung der Schutzstreifen vorausgesetzt. Insbesondere vorher wurden oft weniger Überholungen erfasst, da der Radverkehr vor Anlage der Schutzstreifen vermehrt den Seitenraum genutzt hat.

Tabelle 13: Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr auf Straßen mit einseitigen und zweiseitigen Schutzstreifen aus Kaulen et al. (2013). Bei den einseitigen Schutzstreifen sind nur Überholungen auf der Seite des Schutzstreifens berücksichtigt. Die 10%-Perzentile der Überholabstände sind aus den Graphen auf S. 84-85 abgemessen.

<b>Strecke</b>	<b>Schutzstreifen</b>	<b>Kernfahrbahnbreite</b>	<b>10%-Perzentil Überholabstände</b>
Hohenheimer Straße, Filderstadt	2 × 1,40 m	4,18 m	0,85 m
Wollhausstraße, Heilbronn	2 × 1,25 m	4,10 m	0,70 m
Zöpplitzstraße, Heidenheim	2 × 1,45 m	4,10 m	0,70 m
Kehler Straße, Offenburg	1 × 1,25 m	5,25 m	0,75 m
Röttler Straße, Lörrach	1 × 1,25 m	4,75 m	0,70 m
Bürgerstraße, Heidelberg <sup>1</sup>	1 × 1,50 m	4,50 m	0,50 m

<sup>1</sup> In der Bürgerstraße gilt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h.

Tabelle 14: Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr auf Strecken vor der Anlage der Schutzstreifen aus Kaulen et al. (2013). Die 10%-Perzentile der Überholabstände sind aus den Graphen auf S. 84-85 abgemessen.

<b>Strecke</b>	<b>Schutzstreifen</b>	<b>Fahrbahnbreite</b>	<b>10%-Perzentil Überholabstände</b>
Zöpplitzstraße, Heidenheim	–	7 m	0,70 m
Röttler Straße, Lörrach	–	6 m	0,95 m

## A-1.4 Hupfer, 2000 – „Einsatzbereiche von Angebotsstreifen“

Tabelle 15: Überholabstände bei Überholungen ohne und mit Gegenverkehr bei Zweirichtungsfahrbahnen mit einseitigen Schutzstreifen aus Hupfer (2000). Die Restfahrbahnbreiten sind abgelesen (Bild 49 und 51 auf S. 42–43), die Schutzstreifenbreiten und 10%-Perzentile der Überholabstände abgemessen (Bild 33–36 auf S. 35–36 bzw. Bild 59, 61, 67 und 70 auf S. 47–53).

Strecke	Schutzstreifenbreite	Restfahrbahnbreite	10%-Perzentil Überholabstand	
			ohne Gv	mit Gv
Hauptstraße, Schwelm	1,40 m	5,49 m	0,80 m	0,50 m
Gebbertstraße, Erlangen	1,40 m	5,95 m	0,90 m	0,60 m

Tabelle 16: Überholabstände bei Überholungen ohne Gegenverkehr auf Strecken mit schmalen Restfahrstreifen aus Hupfer (2000). Die Werte sind aus Diagrammen abgelesen (siehe oben). Die Restfahrstreifenbreite ist dabei als halbe Restfahrbahnbreite berechnet.

Strecke	Schutzstreifenbreite	Restfahrstreifenbreite	10%-Perzentil
			Überholabstände
Pützchens Chaussee, Bonn	1,10 m	2,36 m	0,40 m
Jägerallee, Potsdam	1,10 m	2,83 m	0,75 m <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bild 62 auf S. 48 ergibt zweigt abweichend ca. 0,50 m.

## A-2 Untersuchungsstrecken der Unfallanalyse

Die folgenden Strecken wurden für die Unfallanalyse ausgewählt (vergleiche Abschnitt 3.2):

- Kirchheimer Weg von Rudolf-Diesel-Straße bis Harbigweg
- Pleikartsförster Straße von ‚Im Bieth‘ bis ‚Im Hüttenbühl‘
- Hegenichstraße von Pleikartsförster Straße bis Wolfgangstraße
- Bürgerstraße von Hagellachstraße bis Max-Joseph-Straße/Heinrich-Fuchs-Straße
- Max-Joseph-Straße von Bürgerstraße/Heinrich-Fuchs-Straße bis Kolbenzeil
- Kolbenzeil von Max-Joseph-Straße bis Freiburger Straße
- Heinrich-Fuchs-Straße von Bürgerstraße/Max-Joseph-Straße bis Fabrikstraße
- Fabrikstraße von Heinrich-Fuchs-Straße bis Sickingenstraße
- Sickingenstraße von ‚Im Bosseldorn‘ bis Römerstraße
- Rohrbacher Straße von Franz-Knauff-Straße bis Bahnhofstraße
- ‚Am Hackteufel‘ von ‚Am Karlstor‘ bis Karl-Theodor-Brücke
- Neckarstaden von Karl-Theodor-Brücke bis Sofienstraße
- Bergheimer Straße von Bismarckstraße bis Mittermaierstraße
- Mannheimer Straße von Kloostergasse bis Vangerowstraße
- Henkel-Teroson-Straße von Hans-Bunte-Straße bis Kurpfalzring
- Ziegelhäuser Landstraße von Hirschgasse bis Karl-Theodor-Brücke
- Neuenheimer Landstraße von Karl-Theodor-Brücke bis Uferstraße
- Uferstraße von Neuenheimer Landstraße bis Posseltstraße
- Mönchhofstraße von Brückenstraße bis Berliner Straße

Falls sich der Querschnitt im Verlauf einer Untersuchungsstrecken signifikant ändert, z. B. wenn ein Schutzstreifen beginnt oder endet, wird die Untersuchungsstrecke in mehrere Abschnitte unterteilt. Die Eigenschaften der Abschnitte sind in Tabelle 17 aufgelistet.

Tabelle 17: Eigenschaften der im Rahmen der Unfallanalyse untersuchten Streckenabschnitte

<b>Abschnitt</b>	<b>Fahrbahn</b>	<b>Schutzstreifen</b>	<b>Parken auf der Fahrbahn</b>	<b>Zulässige Geschw.</b>
Kirchheimer 1	2×3,25 m	–	–	30 km/h
Kirchheimer 2	4,90–5,75 m	–	–	50 km/h
Pleikartsförster	7,50 m	–	–	50 km/h
Hegenich 1	6,50 m	–	–	Zone 30
Hegenich 2	6,20–6,50 m	–	–	Zone 30
Bürger	6,00 m	1×1,40–1,50 m	–	Zone 30
Max-Joseph	8,50 m	–	2,00 m+1,50 m	Zone 30
Kolbenzeil	8,50 m	–	1×unmarkiert	Zone 30
Heinrich-Fuchs	8,50 m	–	2×unmarkiert	Zone 30
Fabrik	6,00 m	–	–	Zone 30
Sickingen	7,50 m	2×1,25 m	–	Zone 30
Rohrbacher	9,90 m	2×1,30 m	–	50 km/h
Hackteufel 1	8,90 m	1×1,25 m	–	50 km/h
Hackteufel 2	8,90 m	–	2,20 m	50 km/h
Neckarstaden 1	6,20–6,80 m	–	–	50 km/h
Neckarstaden 2	7,20–7,40 m	2×1,25 m	–	50 km/h
Bergheimer	2×5,50–6,25 m	–	je 1×unmarkiert	30 km/h
Mannheimer 1	7,60 m	1×1,60 m	–	50 km/h
Mannheimer 2	6,50 m	1×1,40 m	–	50 km/h
Mannheimer 3	7,50 m	–	–	50 km/h
Mannheimer 4	7,50 m	–	1,50 m	Zone 30
Mannheimer 5	6,00 m	–	–	Zone 30
Henkel-Teroson	7,50–8,10 m	–	–	50 km/h
Ziegelhäuser	8,00 m	–	1×unmarkiert	30 km/h
Neuenheimer	6,00 m	–	–	30 km/h
Ufer	6,00 m	–	–	30 km/h
Mönchhof 1	6,00 m	–	–	Zone 30
Mönchhof 2	7,40 m	–	–	Zone 30
Mönchhof 3	12,00 m	2×1,25 m	2×2,25 m	Zone 30

### A-3 Weitere Ergebnisse aus den Beobachtungen in der Pleikartsförster Straße

#### A-3.1 Überholungen im Erhebungszeitraum der abgelehnten Überholungen

Abgelehnte Überholungen in der Pleikartsförster Straße wurden nur in einem Teil des Erhebungszeitraums erfasst (siehe Abschnitt 3.6.2). Zum Vergleich der Zahlen von abgelehnten und angenommenen Überholungen, sind in Abbildung 37 nur angenommene Überholungen dargestellt, die im Zeitraum erfasst wurden, in dem auch abgelehnte Überholungen erfasst wurden. Diese Werte können mit denen von Abbildung 18 in Abschnitt 4.1 ins Verhältnis gesetzt werden.

In Markierungszustand III ergibt sich also – aus einer abgelehnten Überholung und 24 angenommenen Überholungen mit Gegenverkehr – ein Anteil angenommener Überholungen von 96 %.

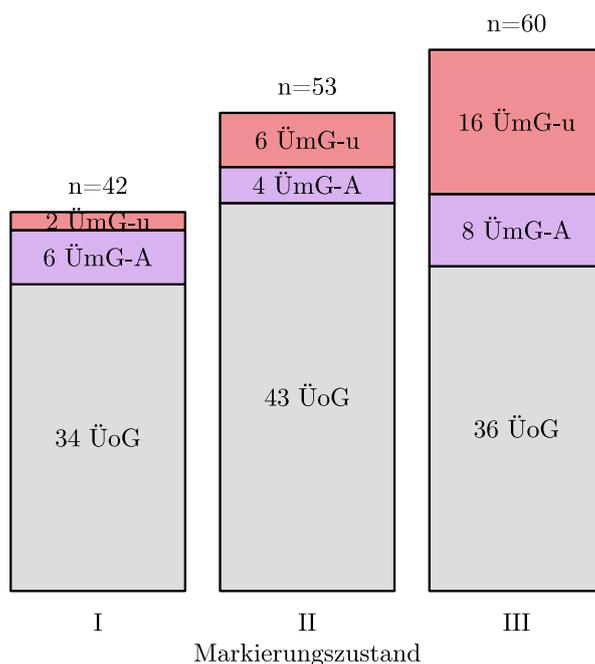


Abbildung 37: Anzahl angenommener Überholungen in der Pleikartsförster Straße, die im Zeitraum stattgefunden haben, in dem auch abgelehnte Überholungen erfasst wurden. Die Darstellung entspricht der in Abbildung 17.

## A-3.2 Laterale Positionen aller überholender Kfz

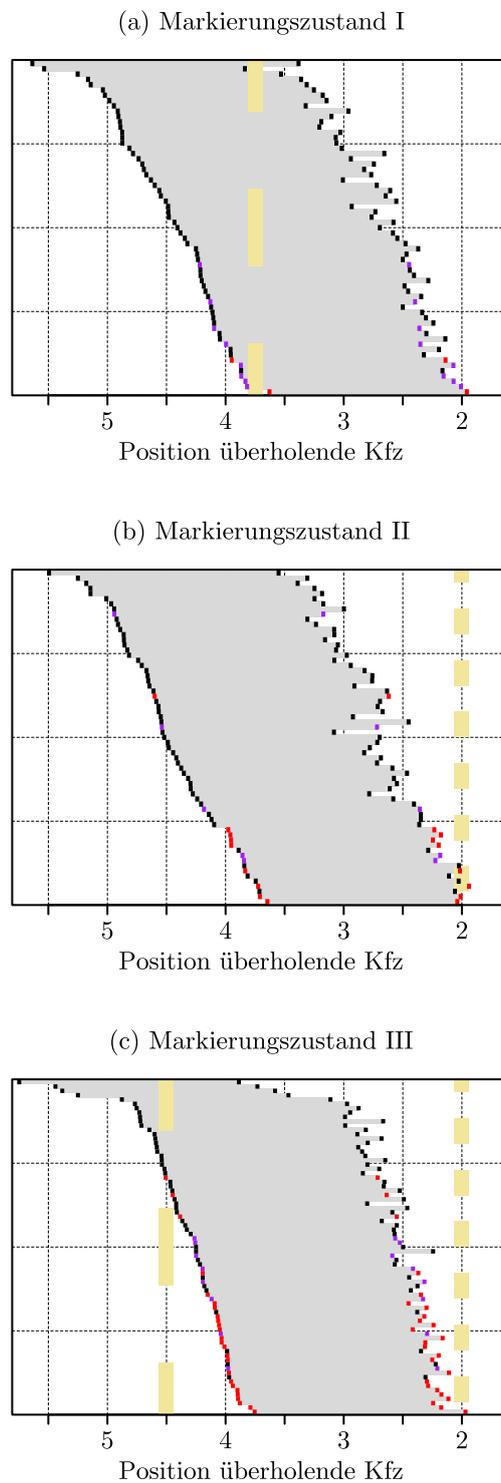


Abbildung 38: Laterale Positionen aller überholenden Kfz in der Pleikartsförster Straße. Die Außenkanten der erfassten Fahrzeuge sind nach Situation im Gegenverkehr farblich gekennzeichnet: Schwarz für Überholungen ohne Gegenverkehr, Violett für Überholungen mit Gegenverkehr in Annäherung und Rot für Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr.

### A-3.3 Weitere Kennwerte der lateralen Positionen von Kfz bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr

Die Tabellen in diesem Abschnitt enthalten neben dem in Abschnitt 4.3 aufgeführten Mittelwerten auch die Mediane der Positionen der Kfz bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr.

Tabelle 18: Kennwerte der lateralen Positionen der linken Reifen von erfassten Kfz im Gegenverkehr in der Pleikartsförster Straße. Damit die Werte die durchschnittlichen Positionen des Gegenverkehrs approximieren, sind Messpunkte aus Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr hier ausgeschlossen.

	Markierungszustand		
	I	II	III
Anzahl	63	57	53
Mittelwert	4,66 m	4,79 m	4,97 m
Median	4,61 m	4,79 m	4,99 m

Tabelle 19: Kennwerte der lateralen Positionen der linken Reifen der Kfz im Gegenverkehr zum Überholzeitpunkt bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr

	Markierungszustand		
	I	II	III
Anzahl	2	8	22
Mittelwert	4,99 m	4,89 m	5,07 m
Median	4,99 m	4,90 m	5,08 m

Tabelle 20: Kennwerte der lateralen Positionen der linken Reifen der überholenden Kfz zum Überholzeitpunkt bei Überholungen mit unmittelbarem Gegenverkehr

	Markierungszustand		
	I	II	III
Anzahl	2	9	25
Mittelwert	3,79 m	3,93 m	4,05 m
Median	3,79 m	3,95 m	4,03 m

Tabelle 21: Kennwerte der lateralen Abstände zwischen den linken Reifen der überholenden Kfz und des jeweiligen Kfz im unmittelbaren Gegenverkehr

	<b>Markierungszustand</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Anzahl	2	8	22
Mittelwert	1,20 m	0,97 m	1,02 m
Median	1,20 m	0,99 m	1,07 m

#### A-3.4 Weitere Kennwerte der Geschwindigkeiten überholender Kfz

Tabelle 22: Weitere Kennwerte der Geschwindigkeiten überholender Kfz in der Pleikartsförster Straße

	<b>Markierungszustand</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
85%-Perzentil	50,1 km/h	47,6 km/h	49,1 km/h
Median	43,1 km/h	40,6 km/h	43,1 km/h
Mittelwert	42,4 km/h	41,2 km/h	43,0 km/h
Mittelwert der Quadrate	43,2 km/h	41,8 km/h	43,4 km/h

### A-3.5 Weitere Kennwerte der Überholabstände

Zusätzlich zu den in Abschnitt 4.5 angegebenen Perzentilen der Überholabstände, wird hier der Anteil der Überholungen in bestimmten Abstandsklassen angegeben (siehe Tabelle 19).

Außerdem sind in Tabelle 24 die kombinierten Kennwerte aus niedrigem Perzentil und Mittelwerte der kleineren Abstände angegeben (siehe Abschnitt 3.9). Weil unklar ist, welches Perzentil sich dabei am besten eignet, sind alle üblichen niedrigen Perzentile angegeben. Lesebeispiel: In Markierungszustand II und III wird bei 90 % der Überholungen mit mindestens 1,02 m bzw. 1,00 m Abstand überholt. Die kleineren Abstände liegen in Markierungszustand II im Schnitt 0,07 m darunter, in Markierungszustand III sogar 0,10 m.

Tabelle 23: Anzahl und Anteile der Überholungen in der Pleikartsförster Straße mit Überholabständen in den in den genannten Klassen

	Markierungszustand		
	I	II	III
Unter 0,50 m	0	0	0
Unter 1,00 m	4 (6 %)	5 (8 %)	8 (10 %)
Unter 1,50 m	27 (43 %)	31 (47 %)	38 (49 %)
Ab 1,50 m	32 (51 %)	30 (45 %)	31 (42 %)

Tabelle 24: Kombinierte Kennwerte für die Überholabstände in der Pleikartsförster Straße. Der „Mittelwert darunter“ bezeichnet den Durchschnitt aller Überholabstände an, die niedriger sind als das angegebene Perzentil. Die Mittelwerte sind relativ zum Wert des zugehörigen Perzentils angegeben.

	Markierungszustand		
	I	II	III
25%-Perzentil	1,31 m	1,23 m	1,11 m
Mittelwert darunter	-0,19 m	-0,16 m	-0,11 m
15%-Perzentil	1,18 m	1,13 m	1,05 m
Mittelwert darunter	-0,13 m	-0,14 m	-0,10 m
10%-Perzentil	1,14 m	1,02 m	1,00 m
Mittelwert darunter	-0,13 m	-0,07 m	-0,10 m

## A-3.6 Überholungen von Radfahrenden durch breite Kfz

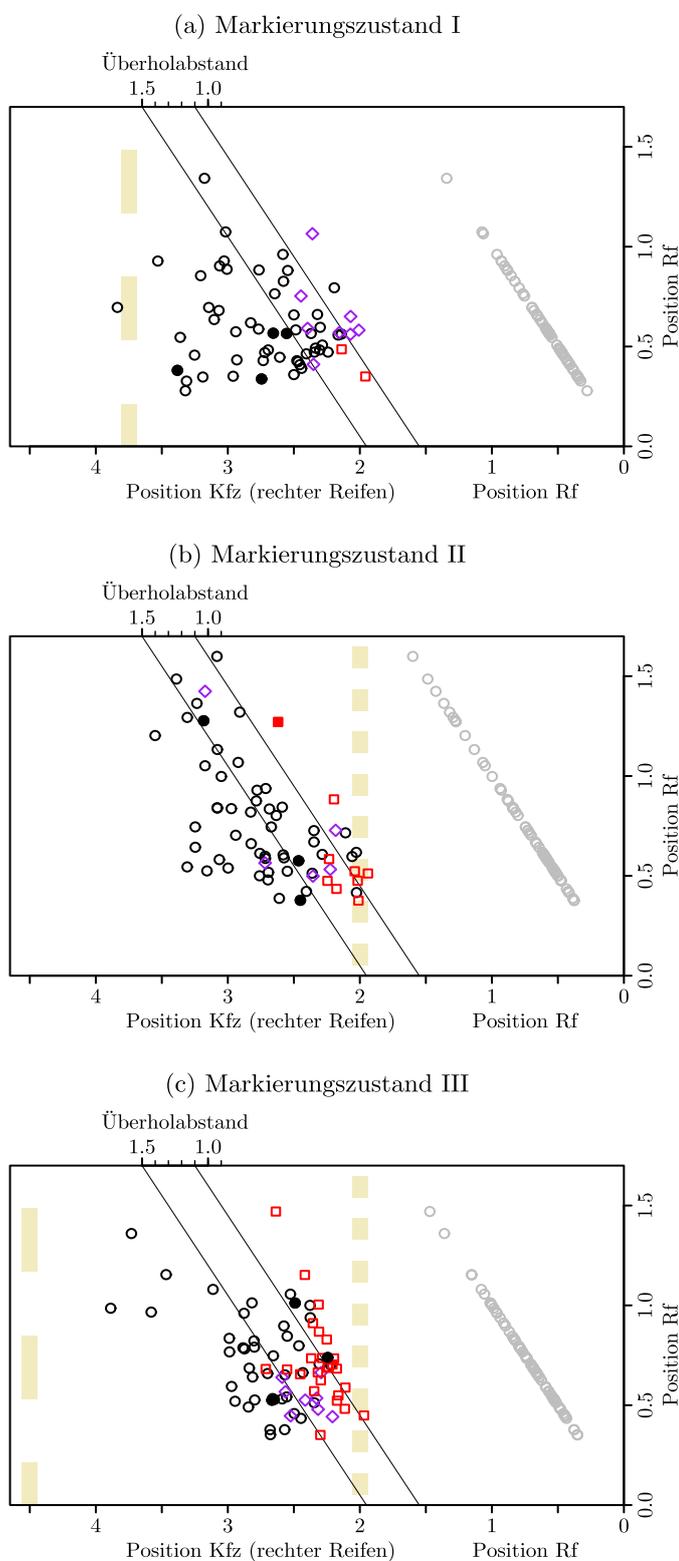


Abbildung 39: Überholungen breiter und anderer Kfz in der Pleikartsförster Straße. Die Darstellung entspricht der in Abbildung 23. Davon abweichend sind die Positionen von überholenden Lieferwagen und Lkw als ausgefüllte Symbole dargestellt.

## Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die wörtlich und inhaltlich übernommenen Stellen habe ich in meiner vorliegenden Arbeit gekennzeichnet und die Satzung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis in der jeweils gültigen Fassung eingehalten.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Masterarbeit in die ISE-Bibliothek eingestellt und/oder kopiert wird, sowie Dritten zugänglich gemacht wird.

Lübeck, den 11. März 2022