

Überholverhalten von Kraftfahrzeugen gegenüber Radfahrenden im urbanen Mischverkehr: Empirische Untersuchung des Interaktionsverhaltens in Bogotá, Kolumbien

Martin Bejarano, Catharina Lutz, Jochen Eckart

(M.Sc. Martin Bejarano, Karlsruhe University of applied sciences, Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe, martin.bejarano@h-ka.de)
(Prof. Dr. Jochen Eckart, Karlsruhe University of applied sciences, Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe, jochen.eckart@h-ka.de)
(M.Sc. Catharina Lutz, Karlsruhe University of applied sciences, Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe, catharina.lutz@h-ka.de)

1 ABSTRACT

Die faire Verteilung des Straßenraums für die verschiedenen Verkehrsteilnehmenden stellt insbesondere in Städten mit hoher Motorisierungsrate und begrenzten Flächenpotenzialen für aktive Mobilität eine zentrale Herausforderung der urbanen Verkehrsplanung dar. Dies trifft auch auf Bogotá, Kolumbien, zu, wo seit der COVID-19-Pandemie durch die Implementierung neuer Radverkehrsinfrastruktur eine Umverteilung des Straßenraums erfolgt. Da in vielen Straßenräumen kein ausreichender Raum für die Realisierung baulich getrennter Radverkehrsanlagen besteht wurden auf mehreren bedeutenden Verkehrsachsen Fahrspuren mit Priorität für den Radverkehr eingerichtet, die aber auch durch den Kfz-Verkehr befahren werden dürfen. Für diese „Vía ciclo-adaptada“ bilden die Überholabstände zwischen Kfz und Radfahrenden ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der objektiven und subjektiven Verkehrssicherheit der Radfahrenden.

Die vorliegende Studie analysiert das Überholverhalten auf einer der wichtigsten Hauptverkehrsstraßen Bogotás mit einem Vorrangabschnitt für Radfahrende. Der methodische Ansatz der Studie stützte sich auf Erfahrungen mit Messungen des Überholabstandes Kfz-Rad in verschiedenen deutschen Kommunen. Maßgebliche Hinweise lieferte dabei das Projekt „Gü-Rad“, das im Jahr 2022 im Bundesland Baden-Württemberg durchgeführt wurde. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Methodik wurde eine umfassende Datenerhebung in Bogotá konzipiert. Hierzu wurden über einen Zeitraum von 18 Monaten an drei Erhebungszeitpunkten die Überholabstände erhoben. Die Ergebnisse weisen auf systematische Unterschiede im Überholverhalten in Abhängigkeit von der Längsneigung der Fahrbahn, der Verkehrsdichte und dem Fahrzeugtyp hin. Die Ergebnisse leisten einen Beitrag zum Verständnis der Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Radfahrenden unter räumlich beschränkten Bedingungen in Bogotá. Zudem sind diese Hinweise bei der Planung von Radverkehrsinfrastruktur unter Einhaltung ausreichender Überholabstände zwischen Kfz und Fahrrad zu berücksichtigen.

Keywords: Überholverhalten, Radfahrende, Mischverkehr, Kfz-Rad, Interaktionsverhalten

2 HINTERGRUND: PROJEKT „GÜ-RAD“ IN DEUTSCHLAND

Überholvorgänge zwischen Kraftfahrzeugen und Radfahrenden stellen einen zentralen Einflussfaktor sowohl für die subjektive Wahrnehmung als auch für die objektive Verkehrssicherheit dar. Insbesondere bei der Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf der Fahrbahn kommt dem seitlichen Überholabstand eine wichtige Bedeutung zu, da er das individuelle Risikoexpositionsniveau, das Stressempfinden sowie die Attraktivität des Radverkehrs als alltägliche Mobilitätsform wesentlich prägt (Dozza, 2014; Useche, 2019). Bei der Führung des Radverkehrs auf Hauptverkehrsstraßen im Mischverkehr auf der Fahrbahn ist in Karlsruhe, Deutschland das Überholen durch ein Fahrzeug mit 36 % der wichtigste Stressauslöser für Radfahrende (Merk et al. 2022; Merk et al. 2021). Hauenstein et al. 2023 zeigen, dass in Deutschland der gefühlte sichere Überholabstand der Radfahrenden bei ca. 1,60m liegt. In Deutschland spielt bei den Überholvorgängen Kfz-Rad die objektive Verkehrssicherheit im Vergleich zur subjektiven Sicherheit eine untergeordnete Rolle. So machen Überholunfälle Kfz-Rad weniger als 1% aller Unfälle mit Radfahrerbeteiligung in der Stadt Freiburg aus (Heizmann 2024).

Vor diesem Hintergrund widmete sich das F+E-Vorhaben „gÜ-Rad Überholabstand zwischen Kfz und Rad“, gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Rahmen des nationalen Radverkehrsplan, der systematischen Untersuchung seitlicher Überholabstände zwischen Radfahrenden und vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen in zehn Modellkommunen in Deutschland. Ziel war es, Überholsituationen zwischen Kraftfahrzeugen und Radfahrenden im innerstädtischen Straßennetz systematisch zu identifizieren, quantitativ zu bewerten und die Wirkung von verkehrlichen Maßnahmen auf die Überholabstände zu erfassen (Eckart et al. 2024). Die nachfolgende Darstellung konzentriert sich auf die Erhebungsmethodik des Vorhabens, welche nach Bogotá übertragen wurde. Die gemessenen Überholabstände sowie die

verkehrlichen Einflussfaktoren sind aufgrund der sehr unterschiedlichen Radverkehrsinfrastruktur in Deutschland und Kolumbien nicht vergleichbar und werden daher nicht dargestellt.

Zu Beginn des Projekts wurden Straßenabschnitte identifiziert, die aus Sicht der kommunalen Planungspraxis als besonders problematisch im Hinblick auf enge Überholvorgänge wahrgenommen wurden. Auf den ausgewählten Strecken wurden die Überholabstände Kfz-Rad im Realverkehr erhoben. Die Datenerhebung erfolgte mithilfe des OpenBikeSensors (OBS), eines bürgerwissenschaftlich entwickelten Messsystems zur Erfassung seitlicher Abstände zwischen Radfahrenden und überholenden Kraftfahrzeugen (Schleinitz et. al, 2022). Der OpenBikeSensor misst während der Fahrt mittels Ultraschallsensoren kontinuierlich den Abstand zu Objekten links und rechts des Fahrrads. Überholvorgänge werden durch die Radfahrenden per Knopfdruck markiert. Die gemessenen Distanzen werden rechnerisch um die Lenkerbreite korrigiert, sodass der verbleibende seitliche Abstand zwischen Fahrrad und vorbeifahrendem Objekt bestimmt wird. Ergänzend werden GPS-Daten aufgezeichnet, die eine räumliche Zuordnung der gemessenen Überholabstände ermöglicht. Die Ergebnisse werden auf einem Portal als Karten dargestellt.

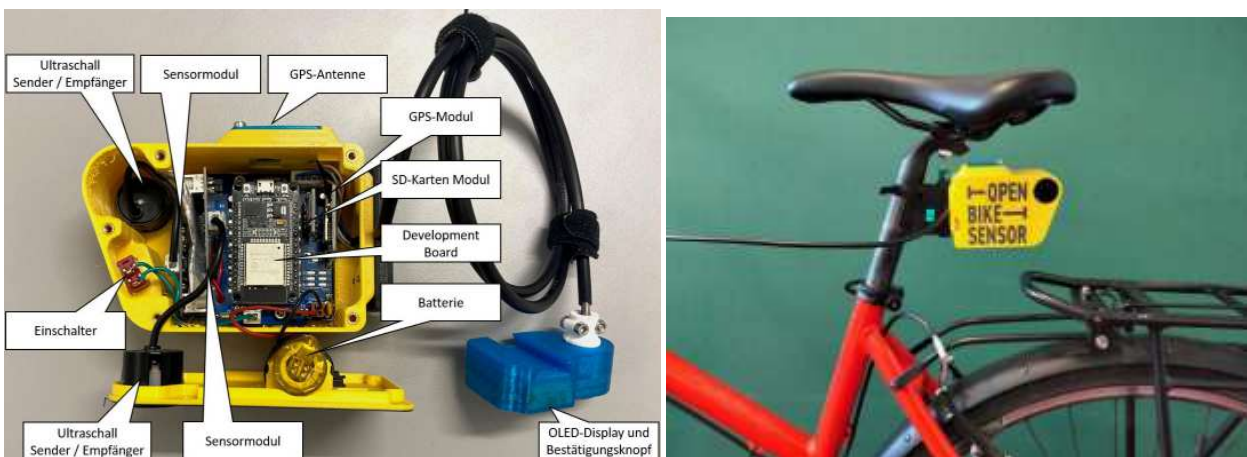


Abb. 1: Innenansicht OpenBikeSensor mit bezeichneten Komponenten und Befestigung OBS.

In den 10 Kommunen nahmen geschulte Radfahrende an der Messung teil, die die entsprechenden Straßenabschnitte über mehrere Wochen hinweg wiederholt befuhren. Jeder Überholvorgang eines Kraftfahrzeugs gegenüber einem Radfahrenden wurde als Ereignis erfasst und mit dem Abstandswert sowie der räumlichen Position gespeichert (Abbildung 2). In einem ersten Schritt wurden die erfassten Überholvorgänge auf Ebene der einzelnen Straßen aggregiert und statistisch ausgewertet. Diese Gesamtbetrachtung umfasste unter anderem die Berechnung von Lage- und Streuungsmaßen wie Mittelwert und Median sowie die Analyse der Verteilung der Überholabstände, um grundlegende Aussagen zur Überholsituation auf den jeweiligen Straßen treffen zu können.

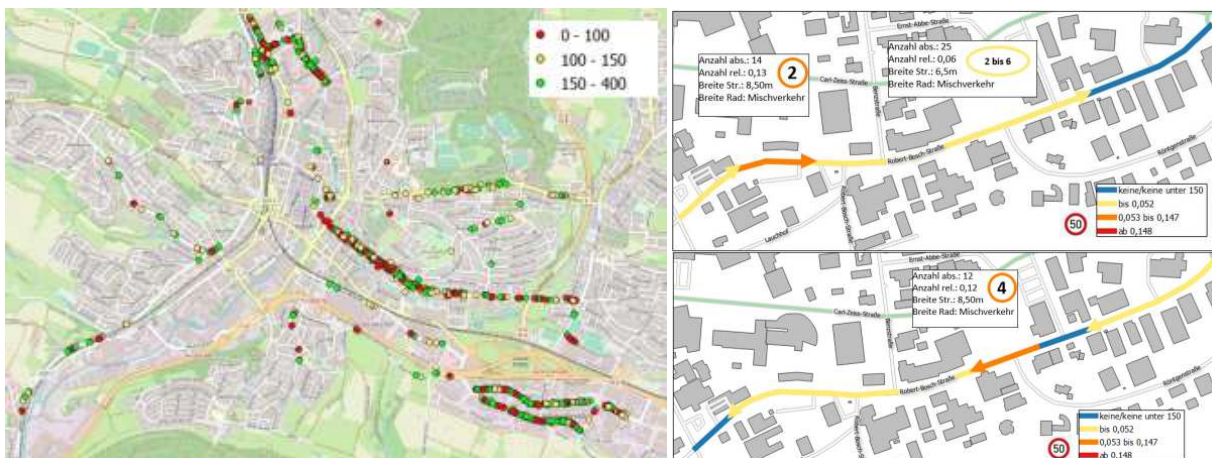


Abb. 2: Beispiel der Übersicht von Überholvorgänge (links) Aalen und Eingruppierung der Abschnitte (rechts) Robert-Bosch-Straße Aalen

Für eine differenziertere Analyse wurden die untersuchten Straßen anschließend in Abschnitte von jeweils 100 Metern Länge unterteilt. Diese räumliche Segmentierung diente dazu, lokale Unterschiede innerhalb

eines Straßenzuges sichtbar zu machen und insbesondere räumliche Häufungen enger Überholvorgänge zu identifizieren (Abbildung 2). Ausgewertet werden die absolute Anzahl der registrierten Überholvorgänge, der Anteil der Überholvorgänge unterhalb definierter Abstandsschwellen – insbesondere unterhalb des innerorts geltenden Mindestüberholabstands von 1,50 Metern – sowie Mittelwert und Median der gemessenen Überholabstände. Ergänzend wurden Streuungsmaße herangezogen, um die Variabilität der Abstände innerhalb eines Abschnitts zu beschreiben. Um Verzerrungen durch unterschiedlich häufig befahrene Abschnitte zu vermeiden, wurde die Bedeutung einzelner Segmente zusätzlich in Relation zur Anzahl der durchgeführten Befahrungen bewertet. Dadurch kann berücksichtigt werden, dass eine hohe Anzahl an Überholvorgängen nicht ausschließlich auf problematische Verkehrsverhältnisse, sondern auch auf eine hohe Nutzungshäufigkeit durch Radfahrende zurückzuführen sein kann.

3 ANALYSE DES ÜBERHOLVERHALTENS KFZ-RAD IN BOGOTÁ KOLUMBIEN

Das im deutschen Projekt gÜ-Rad entwickelten Verfahren zur Erfassung und Bewertung ermöglicht die Überholvorgängen Kfz-Rad zu erheben. Die Methodik wurde nach Bogotá übertragen.

Bogotá in Kolumbien verfügt mit mehr als 677 km über eines der größten Radwegenetze Lateinamerikas (SDM, 2024), sieht sich aufgrund der historischen Priorisierung des motorisierten Verkehrs jedoch mit anhaltenden Platzbeschränkungen auf wichtigen Verkehrsadern konfrontiert. Im Jahr 2021 setzte die örtliche Verkehrsbehörde eine kostengünstige Maßnahme in einem der Hauptkorridore im Nordosten der Stadt um: Auf einem 2,1 Kilometer langen Abschnitt ohne eigenständige Radverkehrsinfrastruktur wurden die rechte Fahrspur mit Piktogramme markiert, die eine Vorrangstellung der Radfahrenden anzeigen „Vía ciclo-adaptada“. Die Fahrspur darf jedoch weiterhin auf durch den Kfz-Verkehr befahren werden, wodurch die Kapazität der zweispurigen Straße für Kraftfahrzeuge unverändert bleibt. (SDM, 2020).



Abb. 3: Querschnittsansicht der untersuchten Strecke in Nord-Süd-Richtung

Die untersuchte Hauptstraße ist für die Erschließung des Nordostens der Stadt von hoher Bedeutung. Auf der Relation werden pro Tag mehr als zwei Millionen Wege über alle Verkehrsmittel hinweg erhoben (SDM, 2023). Wie in Abbildung 03 zu sehen, verfügt die Straße pro Richtung über einen Gehweg, zwei Fahrspuren für den Mischverkehr und eine exklusive Fahrspur für das BRT-System „TransMilenio“. Somit müssen Radfahrende entweder die Mischverkehrsfahrbahn oder den Gehweg nutzen. Bei Überholvorgängen Kfz-Rad sollen Fahrzeugführende einen Mindestabstand von 1,5 m einhalten (Congreso de la República de Colombia, 2016). Die Überholvorgänge Kfz-Rad werden für diesen Straßenabschnitt erhoben.

3.1 Methodik Erhebung Überholabstände Kfz-Rad

Das Erhebungsdesign der deutschen Studie wird nach Kolumbien übertragen. Folgende Parameter wurden berücksichtigt:

- Erfassung der seitlichen Überholabstände Kfz-Rad mithilfe von OpenBikeSensoren. Zusätzlich erfolgt eine Videoaufnahmen der Befahrung. Dies ermöglicht eine Videoanalysen zur Identifizierung des überholenden Fahrzeugtyps und seiner Position entlang des Straßenabschnitts.

- Die Datenerhebung erfolgte durch Befahrungen über einen Zeitraum von 18 Monaten (für die Jahre 2024, 2025 und 2026). Dadurch können mögliche Verhaltensänderungen in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und von der konsequenten Einhaltung der Vorschriften ermittelt werden.
- Die Untersuchungsstrecke von 1,3 km wurde nach infrastrukturellen Rahmenbedingungen in homogene Teilstücke unterteilt.

3.2 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Die Erhebung, die sich auf drei Tage verteilte, wurde über einen Zeitraum von 18 Monaten durchgeführt mit Erhebungstag 1 im Juni 2024, Erhebungstag 2 im April 2025 (zehn Monate später), und Erhebungstag 3 im Januar 2026 (acht Monate später).



Abb. 5: Ausgestattetes Fahrrad (links), Piktogramm in schlechtem Zustand (Mitte) und hohes Verkehrsaufkommen (rechts).

Die Überholvorgänge Kfz-Rad werden je Fahrtrichtung in Karten dargestellt (Abbildung 6). Als Überholvorgang wurde die Interaktionen definiert, in dem ein Kraftfahrzeug einen Radfahrer in derselben Fahrtrichtung überholte. Bei der Erhebung im Jahr 2026 gab es auf Teilabschnitten Stau, wodurch die Radfahrenden in den Seitenraum ausweichen mussten und es keine Überholvorgänge gab. Für die Klassifizierung der Überholabstände wurden die Bereiche <100 cm, 100 cm bis 150 cm und >150 cm verwendet. Zusätzlich wurden für jede Richtung Heatmaps entsprechend der Überholpunktdichte erstellt, und diese mit den Unfällen mit Radverkehrsbeteiligung im Längsverkehr überlagert.

Die erfassten Überholvorgänge wurden nach den Analysevariablen aggregiert und statistisch ausgewertet. Diese Analyse umfasste unter anderem die Berechnung von Lage- und Streuungsmaßen wie Mittelwert und Median sowie die Analyse der Verteilung der Überholabstände, um grundlegende Aussagen zur Überholsituation auf den jeweiligen Untersuchungsabschnitten treffen zu können (Tabelle 1).

Variabel	n	Media	Median	Std.	P25	P75	Überholvorgänge Kfz-rad < 150 cm
Gesamte Daten	1406	122.67	105	71.63	67	173	69%
Bergab <3%	141	127.5	106	74.2	75	165	7%
Bergauf >3%	824	116.17	99	66.15	66	154.25	43%
Flach (Von -3% bis 3%)	437	132.41	112	78.52	67	198	19%
2024	483	108.3	83	71.09	57	147.5	26%
2025	557	107.19	97	63.47	61	137	32%
2026	366	165	165	66.98	111	216	11%

Tabelle 1: Statistische Daten je Analysevariable

Die Überholabstände Kfz-Rad sind von der Längsneigung der Fahrbahn abhängig. Die Abschnitte die flach sind, weisen die höchsten Mittelwerte ($\approx 132,4$) und die größte Streuung bei den Überholabständen auf. Auch bei Bergab-Abschnitten sind die Überholabstände groß ($\approx 127,5$), jedoch mit geringerer Varianz. Bergauf kommt es zu deutlich niedrigeren Überholabständen ($\approx 116,2$). Diese Muster deuten darauf hin, dass die Überholabstände in Abschnitten mit flacher oder abfallender Längsneigung tendenziell höher ausfallen. Dies könnte auf die höhere Fahrtgeschwindigkeit der Radfahrenden und den damit einhergehenden niedrigeren Geschwindigkeitsunterschied zu den Kfz zurückzuführen sein.

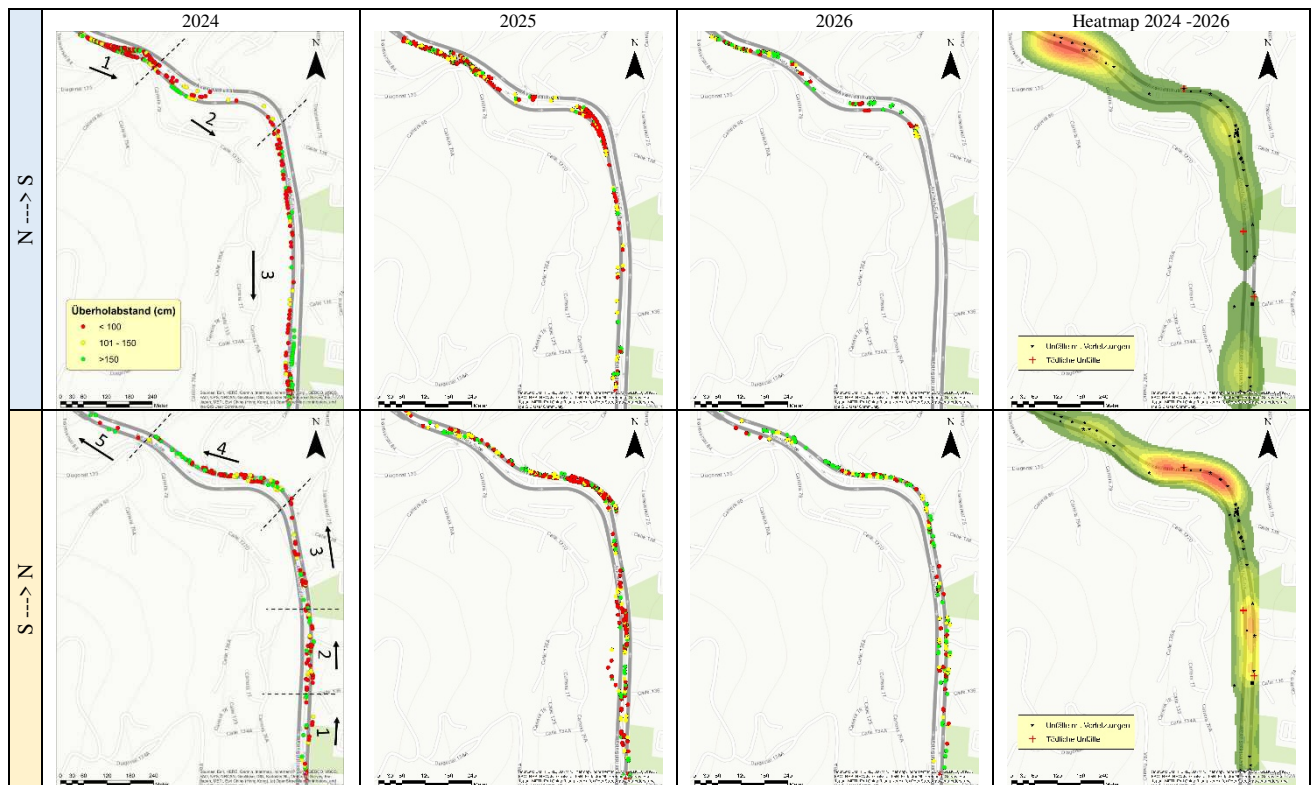


Abb. 6: Überholvorgänge je nach Fahrtrichtung und Erhebungsjahr + Darstellung der Unfallorte von 2007 bis 2024 auf Heatmap.
Richtung N-S: 1-Bergauf, 2-Bergab, 3-Flach. Richtung S-N: 1-Flach, 2-Bergauf, 3- Flach, 4-Bergauf, 5-Bergab

Im Jahr 2024 weisen die Überholabstände die niedrigsten Mittel- und Medianwerte in der Zeitreihe auf. Im Jahr 2025 steigen die Überholabstände moderat an, und gleichzeitig nimmt die Variabilität zu. Im Jahr 2026 steigen die Überholabstände bei den Mittel- und Medianwerte deutlich an, begleitet von einer großen Streuung. Im Zeitraum von 2025 bis 2026 ist die Kfz-Verkehrsmenge auf dem untersuchten Abschnitt aufgrund der Eröffnung einer alternativen Verbindung deutlich zurückgegangen. Der Anstieg der Überholabstände Kfz-Rad lässt sich damit durch die zurückgehende Kfz-Verkehrsmenge erklären. Die Entwicklung im Zeitverlauf kann zudem als leichter Hinweis darauf interpretieren, dass die Verkehrsteilnehmenden im Laufe der Zeit bewusster und rücksichtsvoller gegenüber Radfahrenden agieren.

Zusätzlich zur Analyse des Überholverhaltens wurden die aufgezeichneten Videos ausgewertet. Ermittelt wurden der Fahrzeugtyp (Pkw, Motorräder, Busse, Lkw und Radfahrer), und die Spurposition. Wie in der Abbildung 07 erkennbar, entspricht die relative Position in Bezug auf das OBS-Gerät der seitlichen Position beim Überholen innerhalb der analysierten Fahrspuren. Die beobachtete Verteilung zeigt, dass 76 % der Lkw und 63 % der Pkw die linke Spur benutzen, um vorbeizufahren. Busse hingegen verteilen sich hingegen ähnlich häufig auf den inneren Bereich der linken Spur (eher rechts) und die gesamte rechte Spur. Motorräder tendieren dazu, sich sowohl auf der linken Spur (35 %) als auch im inneren Bereich (eher links) der rechten Spur vorbeizufahren.

Der Vergleich zwischen den Jahren 2025 und 2026 zeigt, dass der Nutzungsanteil der linken Spur von 43 % auf 55 % steigt, während der Nutzungsanteil der rechten Spur von 17 % auf 6 % sinkt. Die Werte der übrigen Positionen verteilen sich gleichmäßig. Diese veränderte Fahrspurwahl ist voraussichtlich auf die abnehmende Kfz-Verkehrsmenge zurückzuführen. Sobald die Verkehrsqualität (LOS) eine freie Fahrspurwahl durch die Kfz zulässt, wird mit der Wahl der linken Fahrspur ein höherer Abstand zum Kfz-Verkehr hergestellt. Dies kann als rücksichtsvolles Verhalten der Kfz-Fahrenden gegenüber den Radfahrenden interpretiert werden.

Die räumliche Verteilung der Überholpunkte wurden mit den Radverkehrsunfällen im Längsverkehr überlagert. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Lage der Unfälle mit zwei der drei Überholhotspots übereinstimmen. Anders als in Deutschland, wo Radverkehrsunfälle im Längsverkehr und speziell Überholunfälle sehr selten sind, zeigt sich in Bogotá ein Zusammenhang zwischen den Überholvorgängen und den Radverkehrsunfällen.

	LF	LF-R	M	RF-L	RF	Anzahl
Bus	37%	11%	12%	21%	19%	57
Lkw	76%	3%	3%	7%	10%	29
Motorrad	35%	11%	16%	26%	12%	636
Pkw	63%	3%	9%	17%	9%	599
Radfahrende	0%	0%	0%	14%	86%	21

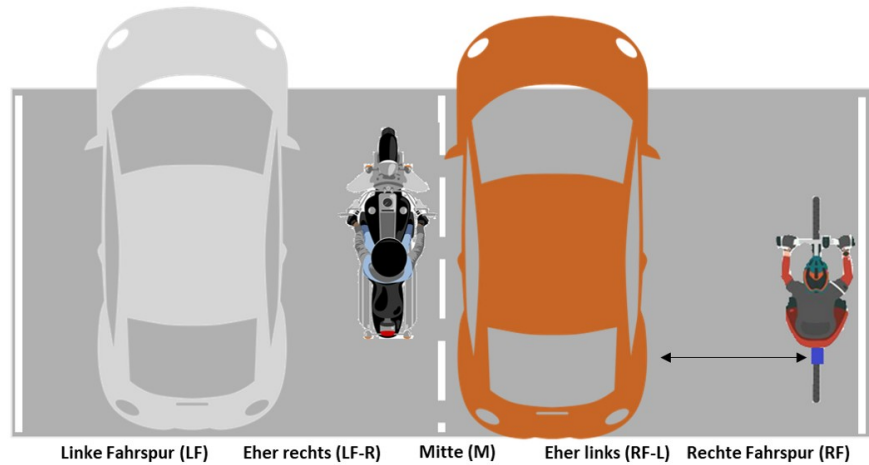


Abb. 7: Verteilung der vorbeifahrenden Fahrzeuge während der Erhebung

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Untersuchung der seitlichen Überholabstände Kfz-Rad über einen Zeitraum von 18 Monaten in Bogotá zeigt deutliche Veränderungen im Interaktionsverhalten zwischen Kraftfahrzeugen und Radfahrenden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sowohl die Längsneigung der Fahrbahn als auch die Verkehrsmenge und damit einhergehend der LOS einen systematischen Einfluss auf die Überholabstände ausüben. Insbesondere auf flachen und bergab verlaufenden Abschnitten werden größere Überholabstände eingehalten, was auf höhere Geschwindigkeiten der Radfahrenden zurückzuführen sein könnte. Zudem steigen die Überholabstände mit abnehmender Kfz-Verkehrsmenge und verbesserten LOS. Die Videoanalyse bestätigt diese Tendenzen und zeigt, dass insbesondere größere Fahrzeuge bei geringeren Verkehrsmengen häufiger Spurwechsel nutzen, um ausreichende Abstände zu gewährleisten. Die räumlichen Muster der Überholvorgänge weisen auf potenzielle Konfliktzonen hin, die mit der Häufungen von Radverkehrsunfällen im Längsverkehr korrespondieren. Die Ergebnisse leisten einen Beitrag zum Verständnis der Interaktionen zwischen Kfz-Verkehr und Radverkehr in Bogotá. Zudem liefert die Untersuchung Hinweise, welche Rahmenbedingungen in Bogotá bei der Planung von Radverkehrsinfrastruktur für die Einhaltung ausreichender Überholabstände zwischen Kfz und Fahrrad zu berücksichtigen sind.

5 REFERENCES

- Congreso de la República de Colombia. (2016). Ley 1811 de 2016: Por la cual se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional. Diario Oficial 50.102.
- Dozza, M. &. (2014). Drivers overtaking bicyclists: Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender."
- Eckart, J., Lutz, C., Layer, J., Theuerkauf, M. (2024). Abschlussbericht; gÜ-Rad – Überholabstand zwischen Kfz und Rad Zeitraum Januar 2022 – Dezember 2024; Projektkürzel VB2106A+B
- Hauenstein J, Eckart J, Zeile P, Merk J (2023) The Effect of Overtaking Distances on the Stress Occurrence of Cyclists in Urban Areas. In: Proceedings REAL CORP 2023 Ljubljana, Slovenia, 18.-20.09.2023;
- Heizmann Stefanie (2024) Untersuchung verkehrsinfrastruktureller Einflussfaktoren auf Seitenabstände zwischen Radfahrern und überholenden Kraftfahrzeugen auf Grundlage von Crowdsourcing-Daten am Beispiel der Stadt Freiburg im Breisgau, Masterarbeit Hochschule Karlsruhe
- Merk, Jule; Eckart, Jochen; Annika Röder (2022): Der Einfluss der Infrastruktur auf den Überholabstand von Kraftfahrzeugen zu Radfahrenden, in Straßenverkehrstechnik,
- Merk Jule, Eckart Jochen, Zeile Peter (2021) Subjektiven Verkehrsstress objektiv messen – Ein EmoCycling Mixed Methods Ansatz, in REAL CORP 2021 Proceedings/Tagungsband
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., & Gehlert, T. (2022). Citizen-science approaches to measuring overtaking distances: The OpenBikeSensor initiative. TU Dresden.
- Secretaría Distrital de Movilidad, SDM. (2020). Manual de señalización vial para Bogotá: Cicloinfraestructura y vías compartidas. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Secretaría Distrital de Movilidad, SDM. (2023). Encuesta de Movilidad de Bogotá 2023. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Secretaría Distrital de Movilidad, SDM. (2024). Informe de infraestructura ciclista 2024. Alcaldía Mayor de Bogotá. <https://www.movilidadbogota.gov.co>
- Useche, S. A. (2019). Healthy but risky: A descriptive study on cyclists' encouraging and discouraging factors for using bicycles, habits and safety outcomes.