Österreichischer
Verkehrssicherheitsfonds

GOatRED

Wissenschaftliche Begleitforschung - Rechtsabbiegen bei Rot für Radfahrer:innen (Grünpfeil für Radfahrende)

Band 106



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds (VSF)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
Inhaltsverantwortliche Autorinnen und Autoren: Ernst Tomasch, Bernd Schneider, Yunqing Jia: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit; Nadezda Kirillova, Horst Possegger: Institute of Visual Computing
Erstveröffentlichung: Monat, Jahr. Band 106
Fotonachweis Umschlag: TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit
Wien, 2026.

Rechtliche Hinweise:
Die in diesem Band enthaltenen Aussagen müssen nicht notwendigerweise mit denen des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität, und Infrastruktur (BMIMI) übereinstimmen.
Finanziert aus Mitteln des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds.

Mehr Informationen zum Thema Verkehrssicherheit finden Sie unter verkehrssicherheit.gv.at.

Kurzzusammenfassung

Seit 1. Oktober 2022 ist mit Rechtskraft der 33. StVO-Novelle die Anbringung einer Zusatztafel mit Grünpfeil für Radfahrer:innen nach Halt (§ 54 Abs. 5 lit. n Straßenverkehrsordnung [StVO]) möglich. Dadurch können Radfahrer:innen auch bei Rot an einer Kreuzung nach rechts abbiegen oder an einer T-Kreuzung geradeaus weiterfahren. Das Ziel dieser Studie ist die Bewertung der Regelung auf die Verkehrssicherheit von Verkehrsteilnehmer:innen.

Zur Beantwortung der Forschungsfrage kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. In einem ersten Schritt wurden in einer Umfrage Radfahrer:innen zum Verhalten an Kreuzungen und Kreuzungen mit Grünpfeilregelung befragt. Durch eine Analyse der Unfalldaten des UDM (Unfalldatenmanagement) wurde die Wirkung der Regelung in einer Vorher-Nachher-Betrachtung bewertet. Mit der Tiefenanalyse der Unfalldaten der CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) erfolgte eine detaillierte Analyse von unfalltechnisch rekonstruierten Verkehrsunfällen. In einem abschließenden Schritt wurde in einer videokamerabasierten Verkehrsbeobachtung das Verhalten von Radfahrer:innen an unterschiedlichen Kreuzungen erhoben und die Kritikalität der Interaktionen bewertet. Die Beobachtung erfolgte an neun Kreuzungen und drei T-Kreuzungen, wobei eine Kreuzung über einen längeren Zeitraum beobachtet wurde.

Die Regelung wird von den Teilnehmer:innen der Umfrage durchwegs als positiv gesehen und als Erleichterung empfunden. Das verpflichtende Anhalten wird ihrer Meinung nach missachtet werden und es sollte eher das Vorrang-geben Prinzip gelten. Die Unfallanalyse zeigte keine statistisch signifikanten negativen Auswirkungen der Regelung auf die Unfallhäufigkeit oder Verletzungsschwere. Aus der Tiefenanalyse geht jedoch hervor, dass nach Kundmachung der Grünpfeilregelung die Anzahl an Vorrangmissachtungen durch die Radfahrer:innen zugenommen hat. Damit einhergehend reduzierte sich der Anteil an Reaktionsverspätungen durch die motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen. Aus der Verkehrsbeobachtung geht ein deutlicher Anstieg des nicht-regelkonformen Verhaltens beim Abbiegen nach rechts bei Rot hervor. Die wenigsten Radfahrer:innen halten an und biegen anschließend nach rechts ab. Dennoch ist aus der Bewertung der Kritikalitätsmetriken keine statistisch signifikante Zunahme an kritischen Situationen festzustellen. Lediglich an der Kreuzung zur Langzeitbeobachtung war ein stärkerer Bremseingriff durch Pkw-Lenker:innen festzustellen.

Abstract

Since 1 October 2022 the 33rd amendment to the Road Traffic Regulations (StVO) has made it possible to install an additional sign bearing a green arrow to allow cyclists to turn right or go straight ahead at a junction when the lights are red (§ 54 para. 5 lit. n StVO). This enables cyclists to turn right at a junction when the lights are red, or to go straight ahead at a T-junction. This study aims to assess the impact of this regulation on the road safety of all road users.

To answer the research question, different methods were used. First, a survey was conducted to gather cyclists' views on behaviour at junctions and junctions with the right turn on red regulation. Secondly, an analysis of accident data from the UDM (Unfalldatenmanagement) was conducted to assess the effect of the regulation using a before–after comparison. A detailed analysis of crashes that had been reconstructed was conducted using in-depth accident data from CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study). Finally, traffic observations using video cameras recorded cyclists' behaviour at different junctions and evaluated the criticality of interactions. These observations were carried out at nine junctions and three T-junctions, with one junction being observed over a longer period.

Survey participants generally viewed the regulation positively, considering it to be a simplification. They believe that the mandatory stop will be disregarded and that a yield principle should apply instead. The accident analysis showed no statistically significant negative effects of the regulation on crash frequency or injury severity. However, an in-depth analysis indicates that failures to yield by cyclists have increased following the introduction of the right turn on red regulation. Conversely, the proportion of delayed reactions by motorised road users as a causation factor decreased. Traffic observations revealed a clear increase in non-compliant behaviour when turning right on red. Only a small proportion of cyclists stop and then turn right. Nevertheless, the evaluation of criticality metrics shows no statistically significant negative change.

Zusammenfassung

Problemstellung

Seit 1. Oktober 2022 ist mit Rechtskraft der 33. StVO-Novelle die Anbringung einer Zusatztafel mit Grünpfeil für Radfahrer:innen nach Halt (§ 54 Abs. 5 lit. n Straßenverkehrsordnung [StVO]) möglich. Das heißt, Radfahrer:innen dürfen, wenn diese Zusatztafel angebracht ist, bei Rot rechts abbiegen bzw. bei T-Kreuzungen, an denen kein Fahrzeugverkehr von rechts kreuzen kann, geradeaus fahren. Die Wirkung des Grünpfeils auf die Verkehrssicherheit ist für Österreich wissenschaftlich nicht erforscht.

Ziel

Das Ziel dieser Studie ist die Bewertung der Auswirkungen der 33. StVO-Novelle, durch die Anbringung einer Zusatztafel mit Grünpfeil für Radfahrer:innen, auf die Verkehrssicherheit von Verkehrsteilnehmer:innen.

Methode

Die angewandte Methodik unterteilt sich in eine empirische Datenerhebung durch Befragungen, eine Unfalldatenanalyse der nationalen Statistik und Tiefenanalyse spezifischer Verkehrsunfälle sowie eine Verkehrsbeobachtung durch eine videobasierte und automatisierte Datenerhebung.

Für die Befragung wurde ein Fragebogen an Radfahrer:innen verteilt. Relevante Faktoren und Fragestellungen wurden durch Fokusgruppeninterviews identifiziert und ein Fragebogen entwickelt. Die Befragung erfolgte Online und wurde in vier Themenblöcke unterteilt. Im ersten Block wurden Fragen zur Motivation, Zweck, Sicherheit im Straßenverkehr, etc. gestellt. Der zweite Themenblock galt dem allgemeinen Verhalten an Kreuzungen. Die Grünpfeilregelung wurde im dritten Block befragt und abschließend wurden demographische Fragen gestellt.

Die Unfalldatenanalyse erfolgte durch die Unfalldaten des UDM, welche mit Standortdaten für Grünpfeilkreuzungen verknüpft wurden. Dadurch wurde eine Vorher-Nachher-Analyse der Auswirkungen der Grünpfeilregelung ermöglicht. In die Analyse wurden Unfälle in unterschiedlichem Abstand zur Kreuzungsrelation einbezogen. Die Unfalltypenkategorisierung im UDM erlaubt es weiters potentielle Unfalltypen zu identifizieren, welche in Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung stehen könnten. Die relevanten Unfalltypen wurden in primäre, sekundäre und tertiäre Unfalltypen zusammengefasst, welche durch die Grünpfeilregelung einer Änderung der Häufigkeiten unterliegen könnten. Die Tiefenanalyse erfolgte aus Unfällen der Unfalldatenbank CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study). Die Verkehrsunfälle wurden unfalltechnisch rekonstruiert und nach unfallbegünstigenden und unfallkausalen Faktoren bewertet.

Für die Verkehrsbeobachtung wurde ein Kamerasystem an 12 unterschiedlichen Kreuzungen installiert und die Verkehrsteilnehmer:innen beobachtet. Die Beobachtung wurde in einen Vorher-Nachher-Zeitraum unterteilt, sodass das Verhalten der Radfahrer:innen vor und nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung beobachtet werden konnte. An einer Kreuzung erfolgte die Verkehrsbeobachtung über einen Zeitraum von acht Monaten, damit zeitliche Änderungen des Verhaltens durch die Regelung festgestellt werden können. An allen anderen Kreuzungen war der Erhebungszeitraum zwischen 5 und 18 Tagen. Drei der Kreuzungen waren als T-Kreuzungen ausgeführt, wobei an einer dennoch nur ein Abbiegen nach rechts, bei Rot galt. Die Bewertung erfolgt auf Grund von geändertem Verhalten, in dem unterschiedliche Verhaltensgruppen gebildet wurden, wie beispielsweise Rechtsabbiegen bei Grün, Abkürzen über den Gehsteig, Rechtsabbiegen bei Rot ohne Anzuhalten, etc. und auf Grund unterschiedlicher Metriken. Es wurden die Time To Collision (TTC), Post Encroachment Time (PET), Euclidean Distance (ED) und die Deceleration Rate (DR) ausgewertet.

Ergebnisse

Befragung

An de Befragung haben 63,59 % Männer und 32,69 % Frauen teilgenommen. Der Rest machte keine Angaben zum Geschlecht. Durchschnittlich waren die Männer 43,4 (SA=13,5) Jahre und die Frauen 42,3 (SA=12,1) Jahre alt. Der Großteil der Teilnehmer:innen legt eine täglich Distanz von bis zu 20 m km zurück und wird vorwiegend für den Weg zur Arbeit, Schule oder Ausbildungsstätte genutzt, sowie für Einkäufe und in der Freizeit. Etwa zwei Drittel der Teilnehmer:innen verwenden dabei eine Fahrradhelm. Der Anteil bei den weiblichen Teilnehmerinnen liegt bei 67,03 %. Die Helmtragequote bei den Männern ist bei 62,71 %. Junge und ältere Radfahrer:innen verwenden einen Helm deutlich seltener als die Gruppe der 30 bis 64-jährigen. Bei Vielfahrer:innen ist das Sicherheitsbewusstsein ausgeprägter. Bei den Teilnehmer:innen, die täglich zwischen 11 und 20 km mit dem Fahrrad unterwegs sind, war die Helmtragequote bei 77,53 % und bei jenen mit einer täglichen Fahrleistung von weniger als einen Kilometer bei 41,38 %.

Die Motivation für das Radfahren wird durch diverse Aspekte, wie Mängel der Infrastruktur (z.B. schmale und unterbrochene Radwege, seitlicher Bewuchs, etc.), dem rücksichtslosen Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen (z.B. knappes Überholen, Abdrängen, etc.) negativ beeinflusst. Allerdings geben manche Radfahrer:innen an, auch manchmal riskanter zu fahren und sich an Kreuzungen vorzuschlängeln. Bei Rot abzubiegen oder die Kreuzung zu queren verneinen die meisten Radfahrer:innen. Jedoch lässt sich aus der Fragestellung zum Verhalten an Kreuzungen schließen, dass andere Radfahrer:innen das schon machen würden. Daraus kann bei motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen durchaus der Eindruck entstehen, Radfahrer:innen halten sich nicht an Verkehrsregeln. Die Teilnehmer:innen sehen jedoch nicht die Radfahrer:innen für Konflikte verantwortlich, sondern sind der Meinung, dass andere Verkehrsteilnehmer:innen zu wenig Rücksicht auf Radfahrer:innen nehmen würden.

Die Grünpfeilregelung wird von den Teilnehmer:innen durchwegs als Erleichterung empfunden und positiv bewertet. Das verpflichtende Anhalten wird aus ihrer Sicht jedoch von den meisten Radfahrer:innen missachtet werden. Viele Teilnehmer:innen sind der Meinung, dass Regeln einzuhalten sind, andere sehen das verpflichtende Anhalten jedoch als nachteilig für ein flüssiges Weiterkommen. Hierin werden auch Konflikte mit anderen Radfahrer:innen angesprochen, welche an den Kreuzungen anhalten und die Grünpfeilregelung regelkonform nützen oder aber bis zur nächsten Grünphase warten.

Konflikte mit den nachfolgenden Radfahrer:innen sind so unausweichlich, vor allem, wenn diese die Regelung als „Vorrang-geben“ auslegen und in einem Zug durchfahren möchten. Viele sehen dies auch als die pragmatischere Variante. Angesprochen wird auch die Problematik des Querverkehrs, welchem die vorherrschende Grünpfeilregelung an der Kreuzung nicht bekannt ist. Wenngleich die Radfahrer:innen anhalten müssten, führt das unweigerlich zu Missverständnissen und der vorherrschenden Meinung, Radfahrer:innen halten sich nicht an Verkehrsregeln. Die Teilnehmer:innen sind der Meinung, dass sich durch die Grünpfeilregelung Konflikte mit dem motorisierten Verkehr erhöhen werden. Aus Sicht der Teilnehmer:innen wäre es sinnvoll, dass auch der Querverkehr über diese Regelung Bescheid weiß.

Unfallanalyse

Auf Grund der doch teilweise sehr großen Ausmaße von Kreuzungen sind in der folgenden Zusammenfassung nur jene Analysen dargestellt, welche sich auf Unfälle in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilkreuzungsrelation ereignet haben. Analysen der Unfälle im Umkreis von 10 m bzw. 20 m zur Grünpfeilkreuzungsrelation, zeigen ähnliche Zusammenhänge der Zu- bzw. Abnahme der Relativanteile im jeweiligen Unfalltyp. Der wesentliche Unterschied bei der Analyse der unterschiedlichen Entfernungen der Unfallstelle zur Kreuzungsrelation besteht in der Reihenfolge der Häufigkeiten der Unfalltypen.

Aus den Unfalldaten des UDM und der Verschneidung der Grünpfeilkreuzungen konnte aus der Vorher-Nachher-Betrachtung kein Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung festgestellt werden (Chi^2 (3) = 1,28, p=0,734). Tendenziell waren mehr Fußgänger:innen in Unfällen nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung beteiligt. Ebenso erhöhte sich tendenziell der Relativanteil der Elektrofahrräder (inkl. Elektro-Scooter). Die häufigsten Unfalltypen konnten nicht mit den vermeintlich potenziellen Unfalltypen, welche durch die Grünpfeilregelung ausgelöst werden, in Einklang gebracht werden. Ein Chi^2 Test ergab einen statistisch nicht signifikanten Zusammenhang zwischen den Unfalltypen und der Grünpfeilregelung im Vorher-Nachher-Vergleich (Chi^2 (24) = 32,43, p=0,117). Werden jedoch die einzelnen Unfalltypen mit den restlichen Unfalltypen verglichen, ergeben sich teilweise statistisch signifikante Zusammenhänge. Der Unfalltype 312, welcher ein Abbiegen nach Rechts und geradeaus fahrende Verkehrsteilnehmer:innen kennzeichnet (entspricht Unfällen im Toten Winkel), hat sich tendenziell im Vorher-Nachher-Vergleich verringert. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,377) zwischen dem Unfalltyp

312 und den restlichen Unfalltypen an einer Grünpfeilkreuzungsrelation im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen des Unfalltyps 312 im Nachher-Beobachtungszeitraum sind 0,68-mal so hoch als im Vorher-Beobachtungszeitraum (OR=0,68, 95% CI [0,32, 1,46]). Es wurde erwartet, dass sich die Unfälle deutlich verringern sollten, da die Radfahrer:innen nicht mehr auf das Grünlicht warten müssten und somit vorzeitig den Toten Winkel verlassen. Das hat sich nicht bestätigt. Ein weiterer Unfalltyp sollte durch die Grünpfeilregelung beeinflusst werden. Und zwar wurde erwartet, dass sich die Anteile im Unfalltyp 951, in welchen die Radfahrer:innen sich vom Straßenrand in den Fließverkehr einordnen, abnehmen. Jedoch wurde im Nachher-Zeitraum eine Zunahme dieses Unfalltyps festgestellt. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte jedoch keinen statistisch signifikanten Zusammenhang (p = 0,644). Im Nachher-Beobachtungszeitraum war der Unfalltyp 951 1,07-mal so hoch wie im Vorher-Beobachtungszeitraum (OR = 1,26, 95% CI [0,55, 2,93]). Das deutet darauf hin, dass der Unfalltyp 951 (Radfahrer:innen - Kollision mit querenden Radfahrer:innen) häufiger im Nachher-Beobachtungszeitraum aufgetreten ist als im Vorher-Beobachtungszeitraum. Eine Abnahme dieses Unfalltyps durch die Grünpfeilregelung konnte somit nicht bestätigt werden.

Die Analyse der primären, sekundären und tertiären Unfalltypen zeigte keine statistisch signifikante Änderung in den Häufigkeiten der Verletzten im Vorher-Nachher-Vergleich (Chi^2 (3) = 2,89, p=0,410). Analysiert wurden nur Unfälle, welche sich in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation ereigneten. Tendenziell stieg jedoch der Anteil bei den primären Unfalltypen von 6,5 % auf 9,5 %. Bei den sekundären Unfalltypen gab es nur geringfügige Änderungen von 0,6 % auf 0,4 %. Tertiäre Unfalltypen erhöhten sich von 3,7 % auf 4,1 %. Eine Zunahme an Unfällen in den primären Unfalltypen konnte vor allem bei den Unfalltypen 813 (Radfahrer:innen fahren geradeaus bzw. biegen nach rechts ab und Fußgänger:innen kommen von links), 811 (Radfahrer:innen fahren geradeaus bzw. biegen nach rechts ab und Fußgänger:innen kommen von rechts) und 611 (Radfahrer:innen biegen nach rechts ab und von links kommt der Querverkehr) festgestellt werden, wobei die größten Änderungen den Unfalltyp 813 betrafen. In diesem stieg der relative Anteil an Verletzten von 16,2 % auf 34,8 %. Für den Unfalltyp 812 (Radfahrer:innen fahren geradeaus und Fußgänger:innen kommen von rechts) ist der Anteil von 48,8 % auf 34,8 % gesunken. Im Unfalltyp 612 (Radfahrer:innen fahren geradeaus und der Verkehr kommt von links), welcher sich eher auf T-Kreuzungen ereignet, konnten im Vorher-Beobachtungszeitraum zwei Unfälle festgestellt werden. Im Nachher-Beobachtungszeitraum gab es in diesem Unfalltyp keinen Unfall. Ähnlich war dies im Unfalltyp 814, in welchem Radfahrer:innen geradeaus fahren und Fußgänger:innen von links kommen, wie es auf T-Kreuzungen der Fall sein kann. Hierbei wurden im Vorher-

Beobachtungszeitraum sieben Unfälle festgestellt und im Nachher-Beobachtungszeitraum gab es wiederum keinen Unfall. Tendenziell kam es eher zu Änderungen bei den Unfällen mit Fußgänger:innen. Dennoch konnte innerhalb der primären Unfalltypen keine statistisch signifikante Änderung der Verletzten im Vorher-Nachher-Vergleich der Grünpfeilregelung festgestellt werden (Chi^2 (5) = 6,77, p=0,239). Bei den sekundären und tertiären Unfalltypen gab es im Nachher-Zeitraum nur eine bzw. zehn Verletzte, sodass Rückschlüsse auf die geänderte Verletzungscharakteristik nicht sinnvoll sind.

Aus der Tiefenanalyse der CEDATU hinsichtlich der unfallverursachenden Verkehrsteilnehmer:innen ging zum Großteil (55,8 %) der Unfallgegner der Radfahrer:innen als Unfallverursacher hervor. Dennoch haben auch zu 32,1 % die Radfahrer:innen den Unfall verursacht. In 13,1 % wären beide Unfallbeteiligten gleichermaßen Unfallverursacher. Unaufmerksamkeit und Ablenkung (45,5 %) wurden als häufigster Faktor festgestellt. Hierbei sind es insbesondere Wahrnehmungsfehler und eine nicht ausreichende Verkehrsbeobachtung. Weiters wurden Vorrangverletzungen (21,4 %) und andere Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung (14,3 %) als Faktoren identifiziert. Bei den „Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung“ sind dies ungenügendes Rechtsfahren und die Benutzung dem falschen Fahrstreifen bzw. falsche Fahrtrichtung sowie Bremsfehler. Bei den Radfahrer:innen ist der häufigsten unfallkausale Faktor die Vorrangverletzung (14,6 %). Hingegen ist bei den Unfallgegner:innen der häufigste unfallkausale Faktor die Unaufmerksamkeit und Ablenkung (42,9 %). Radfahrer:innen ignorieren die Verkehrsregeln und die Unfallgegner:innen nehmen Radfahrer:innen oft nicht war. Im Hinblick auf die Grünpfeilregelung konnte eine Zunahme bei den Vorrangverletzungen durch die Radfahrer:innen von 5,7 % auf 11,3 % festgestellt werden. Hingegen reduzierten sich die Häufigkeiten bei „Unaufmerksamkeit / Ablenkung“ und „Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung“ von 21,7 % auf 16,1 % bzw. 4,7 % auf 1,7 % bei den Unfallgegner:innen. Durch die unvorhergesehene Vorrangverletzung der Radfahrer:innen bleibt den Unfallgegner:innen oft keine Möglichkeit mehr rechtzeitig zu reagieren. Damit kann der höhere Anteil an Vorrangverletzungen durch die Radfahrer:innen mit einem geringeren Anteil an Reaktionsverspätungen der Unfallgegner:innen in Einklang gebracht werden.

Verkehrsbeobachtung

Während der Verkehrsbeobachtung wurden 70.626 Radfahrer:innen beobachtet. Davon waren 26.937 Beobachtungen im Vorher- und 43.689 im Nachher-Zeitraum.

Der Großteil der Radfahrer:innen verhielt sich regelkonform und ist bei Grün entweder nach rechts abgebogen oder geradeaus weitergefahren. Knapp ein Fünftel der Radfahrer:innen haben allerdings die geltenden Verkehrsregeln missachtet. Dieser Anteil hat sich in der Vorher-Nachher-Analyse nicht wesentlich verändert, doch gab es innerhalb der Verhaltensgruppen Verschiebungen. Vor allem das verpflichtende Anhalten wurde in der Nachher-Beobachtung deutlich häufiger ignoriert. Allerdings konnte auch eine deutliche Abnahme jener Radfahrer:innen festgestellt werden, welche den Gehsteig als Abkürzungsroute benutzten, um sich nach der Kreuzung wieder in den Verkehr einzuordnen. Für Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ besteht ein statistischer signifikanter Zusammenhang zwischen den Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich ($\chi^2(7, N = 14.256) = 790,2, p = 0,000$). Der Anteil der „Rule Violation At Red“ hat sich von 4,57 % auf 5,73 % erhöht. Auch bei den „Straight At Red“ konnte eine deutliche Zunahme von 7,07 % auf 10,93 % festgestellt werden (standardisierte Residuen +3,9). Hingegen hat die Benutzung des Gehsteigs nach Kundmachung der Grünpfeilregelung deutlich abgenommen. Die Relativanteile sind bei Grün von 4,39 % auf 0,82 % gesunken (standardisierte Residuen -8,01) und bei Rot von 3,03 % auf 1,24 % (standardisierte Residuen -4,2). Der Anteil an Radfahrer:innen, welche sich regelkonform verhielten („Rule Compliant At Red“) hat sich von 0,20 % auf 0,08 % verändert. An T-Kreuzungen konnte ein ähnlicher Trend festgestellt werden. Zwischen dem Verhalten und der Grünpfeilregelung besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($\chi^2(5, N = 2.650) = 131,40, p = 0,000$). Zugenommen haben die Verhaltensgruppen „Stress“ von 1,18 % auf 4,48 % (standardisierte Residuen +2,65) und „Rule Violation At Red“ von 3,97 % auf 6,81 % (standardisierte Residuen +1,72). Auch an der Kreuzung zur Beobachtung des Langzeitverhaltens war der Zusammenhang zwischen dem Verhalten und der Grünpfeilregelung statistisch signifikant ($\chi^2(5, N = 7.329) = 182,24, p = 0,000$). Den größten Zuwachs konnte man bei den „Rule Violation At Red“ verzeichnen. Der Anteil stieg von 3,04 % auf 6,57 %. Die korrekte Anwendung der Regelung („Rule Compliant At Red“) änderte sich von 0,02 % auf 0,06 %. Der Gehsteig wurde auch bei dieser Kreuzung nach Kundmachung der Grünpfeilregelung deutlich seltener benutzt. Bei der Gruppe „Pavement At Green sank der Anteil von 1,14 % auf 0,97 % und bei der „Pavement At Red“ von 1,25 % auf 1,06 %. Die Auswertung der Langzeitbeobachtung zeigte eine relativ rasche Anpassung des Verhaltens der Radfahrer:innen. Innerhalb von etwa zwei Wochen konnte bei den Radfahrer:innen, welche nicht Anhielten und nach rechts abbogen, ein deutlich höherer Anteil festgestellt werden. Im Vorher-Zeitraum lag der Anteil bei etwa 27 % und zwei Wochen nach Kundmachung der Grünpfeilregelung bei rd. 43 %. Dieses Niveau blieb in etwa konstant.

Im Hinblick auf die Kritikalitätsmetriken konnte keine statistisch signifikante Zunahme an kritischen Situationen festgestellt werden. Lediglich bei der Metrik „Deceleration Rate“ gab es eine Zunahme an kritischen Situationen zwischen Radfahrer:innen und Pkw.

Bei der Kreuzungscharakteristik sind Unterschiede im Verhalten der Radfahrer:innen festzustellen. Im Hinblick auf die zulässige Geschwindigkeit in der Zufahrt der Radfahrer:innen besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit dem Regelverhalten ($\chi^2(5, N = 1.678) = 162,62$, $p = 0,000$, $V = 0,31$). Insbesondere die „Rule Violation At Red“ waren bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h überrepräsentiert (standardisierte Residuen +4,54). Es wird auch versucht die Kreuzung bei Gelb noch schnell zu überqueren (standardisierte Residuen +3,08). Bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h waren die „Straight At Red“ überrepräsentiert (standardisierte Residuen +4,41). Die Regelmissachtung durch eine geringere Gefahreneinschätzung bei einer niedrigeren zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist nachvollziehbar. Hingegen ist das Queren der Kreuzung bei Rot und einer höheren zulässigen Höchstgeschwindigkeit nicht erklärbar. Hierbei müsste der Anteil an Radfahrer:innen eigentlich geringer sein. Wesentlicher als die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit des Querverkehrs bzw. der Ausfahrt. Auch für diese Betrachtung konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit festgestellt werden ($\chi^2(10, N = 1.678) = 195,57$, $p = 0,000$, $V = 0,24$). Insbesondere bei höherem Geschwindigkeitsniveau des Querverkehrs wird von den Radfahrer:innen die Kreuzung bei Rot nicht überquert (standardisierte Residuen -6,0). Das deutet auf ein hohes Gefahrenbewusstsein hin. Dennoch ist ein Abbiegen bei Rot ohne vorher anzuhalten überrepräsentiert (standardisierte Residuen +3,08). Hierbei scheint die höhere Geschwindigkeit von den Radfahrer:innen nicht als gefährlich wahrgenommen zu werden, da sich die beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen in der Ausfahrt in dieselbe Richtung bewegen.

Ein Radfahrstreifen beeinflusst das Regelverhalten der Radfahrer:innen ebenfalls. Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten und Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen festgestellt ($\chi^2(5, N = 1.678) = 415,09$, $p = 0,000$, $V = 0,50$). Durch einen Radfahrstreifen wird ein Queren bei Rot begünstigt (standardisierte Residuen +6,95). Fehlt dieser in der Zufahrt, so waren Rotquerungen deutlich unterrepräsentiert (standardisierte Residuen -10,89). Ohne eine Radfahrstreifen wird aber der Gehsteig deutlich häufiger befahren, unabhängig ob nun die Ampel Grün (standardisierte Residuen +9,87) oder Rot (standardisierte Residuen +8,06) ist.

Bei Radfahrstreifen in der Ausfahrt schein man es mit dem Befahren der Gehsteige auch nicht so genau zu nehmen. Hier wird oft abgekürzt, um auf schnellstem Wege den Radfahrstreifen zu erreichen.

Einen weiteren Einfluss auf das Regelverhalten hat die bestehende Sichtweite an Kreuzungen ($\chi^2(5, N = 1.678) = 74{,}22$, $p = 0{,}000$, $V = 0{,}21$). Bei geringeren Sichtweiten waren Rotquerungen deutlich unterrepräsentiert (standardisierte Residuen -5,37). Dennoch versuchen Radfahrer:innen bei Gelb die Kreuzung zu queren (standardisierte Residuen +3,52).

Fazit

Die mit 1. Oktober 2022 in Kraft getretene 33. StVO-Novelle und damit bestehende Möglichkeit für Radfahrer:innen an ausgewiesenen Kreuzungen auch bei Rot abzubiegen oder geradeaus weiterzufahren, hat keinen großen negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit.

Die Unfallanalyse zeigte keine statistisch signifikante Zunahme an Unfallzahlen oder Verletzungsschwere der Verkehrsteilnehmer:innen. Aus der Tiefenanalyse geht jedoch eine Zunahme an Vorrangverletzungen durch die Radfahrer:innen hervor.

Die deskriptive Auswertung der Unfalldaten zeigte einen positiven Effekt bei den Unfällen im Toten Winkel. Tendenziell wurde ein Rückgang festgestellt.

Nach Kundmachung der Grünpfeilregelungen an den Kreuzungen konnte eine deutliche Zunahme an nicht-regelkonformen Verhaltens der Radfahrer:innen festgestellt werden. Das verpflichtende Anhalten wird ignoriert und scheint gelebte Praxis zu sein. Dennoch zeigten sich keine ausgeprägten negativen Effekte auf die Kritikalität der untersuchten Metriken in den Verkehrssituationen.

Die derzeit gültigen Einsatzkriterien für die Grünpfeilregelung des Arbeitspapiers Nr. 36 sind für eine verkehrssichere Nutzung der Regelung ausreichend.

Inhalt

Kurzzusammenfassung 3

Abstract 4

Zusammenfassung 5

Problemstellung 5

Ziel 5

Methode 5

Ergebnisse 7

Befragung 7

Unfallanalyse 8

Verkehrsbeobachtung 10

Fazit 13

1 Problemstellung 19

2 Stand des Wissens 21

2.1 Erkenntnisse zu Rotlichtmissachtungen und deren Ursachen 21

2.1.1 Rotlichtmissachtungen durch Radfahrer:innen 22

2.1.2 Faktoren und Ursachen die eine Rotlichtmissachtung begünstigen 30

2.2 Regelungen und Studien zu rechtsabbiegen bei Rot 36

2.2.1 Belgien 36

2.2.2 Dänemark 37

2.2.3 Deutschland 38

2.2.4 Frankreich 39

2.2.5 Niederlande 41

2.2.6 Schweiz 41

2.2.7 Österreich 43

2.2.8 USA 43

2.3 Zusammenfassung Rechtsabbiegen bei Rot 44

3 Methodik 46

3.1 Empirische Datenerhebung durch Befragung 46

3.1.1 Fokusgruppeninterviews 46

3.1.2 Online-Befragung 48

3.2 Unfalldatenanalyse 50

3.2.1 Explorative makroskopische Datenanalyse des UDM 50

3.2.2 Potenzielle Hauptunfalltypen im Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung 51

3.2.3 Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen 55

3.3 Verkehrsbeobachtung 58
3.3.1 Auswahl relevanter Grünpfeilkreuzungen 58
3.3.2 Erhebungszeitraum 61
3.3.3 Automatisierte Datenerhebung 62
3.3.4 Bildbasierte Erkennung des Ampelstatus 65
3.3.5 Extraktion der Trajektoriendaten 67
3.4 Fahrverhalten und Konflikte 70
3.4.1 Definition von Bereichen zur Bewertung des Verkehrsverhaltens 70
3.4.2 Bewertung des Verkehrsverhaltens 71
3.5 Kritikalitätsmetriken 75
3.5.1 Metriken der Time to Collision 76
3.5.2 Metriken der Encroachment Time 80
3.5.3 Metriken der Verzögerungsmanöver 83
3.5.4 Metriken der Begegnungsbereiche 85
3.5.5 Weitere Metriken 88
3.5.6 Zusammenfassung 88
3.6 Hypothesen 90

4 Ergebnisse 92

4.1 Befragung 92
4.1.1 Stichprobenbeschreibung 92
4.1.2 Motivation und Zweck 99
4.1.3 Einschätzung der persönlichen Sicherheit 102
4.1.4 Verhalten der Radfahrer:innen an Kreuzungen 108
4.1.5 Grünpfeilregelung 114
4.2 Unfallanalyse 124
4.2.1 Makroskopische Unfallanalyse 124
4.2.2 Tiefenanalyse 154
4.3 Verkehrsbeobachtung 171
4.3.1 Beobachtungsdaten 171
4.3.2 Einfluss Infrastrukturmerkmale auf das Regelverhalten von Radfahrer:innen 176
4.3.3 Regelverhalten und Verhaltensänderung 188
4.3.4 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw 210
4.3.5 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen 228

5 Zusammenfassung und Diskussion 249

5.1 Befragung 249
5.1.1 Allgemeine Erkenntnisse 249

5.1.2 Hypothese 1: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird das verpflichtende Anhalten vor dem Abbiegen nach rechts von Radfahrer:innen missachtet. 253
5.1.3 Hypothese 2: Bei geringem Verkehrsaufkommen werden viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten. 253
5.1.4 Hypothese 3: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird sich die Anzahl an Konflikten mit Fußgänger:innen erhöhen. 254
5.1.5 Hypothese 4: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird sich die Anzahl an Konflikten mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen. 254
5.2 Unfallanalyse 255
5.2.1 Allgemeine Erkenntnisse 255
5.2.2 Hypothese 5: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Verletzungshäufigkeit von Verkehrsteilnehmer:innen und der Grünpfeilregelung. 257
5.2.3 Hypothese 6: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung. 258
5.2.4 Hypothese 7: Es besteht kein Zusammenhang zwischen Unfalltypen und der Grünpfeilregelung. 259
5.2.5 Hypothese 8: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl an Unfällen, in welchen sich Radfahrer:innen im Toten Winkel befinden und Kreuzungen mit Grünpfeilregelung. 260
5.2.6 Hypothese 9: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl an Unfällen und Nutzung der Infrastruktur (Gehsteig) als vermeintliche Abkürzung. 261
5.2.7 Hypothese 10: Es besteht kein Zusammenhang zwischen den unfallkausalen Faktoren und der Grünpfeilregelung. 261
5.3 Verkehrsbeobachtung 261
5.3.1 Allgemeine Erkenntnisse 262
5.3.2 Hypothese 11: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen in der Zufahrt der Radfahrer:innen. 269
5.3.3 Hypothese 12: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen des Querverkehrs 270
5.3.4 Hypothese 13: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und Kreuzungen mit und ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen. 270
5.3.5 Hypothese 14: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Sichtweiten. 271

5.3.6 Hypothese 15: Das Regelverhalten der Radfahrer:innen ändert sich nicht durch die Grünpfeilregelung. 271
5.3.7 Hypothese 16: Der Anteil der Radfahrer:innen, die bei Rot geradeaus fahren, ist vor und nach der Einführung der Grünpfeilregelung gleich. 273
5.3.8 Hypothese 17: Es besteht kein Unterschied im Anteil nicht-regelkonformen Verhaltens zwischen Wochenenden und Wochentagen 273
5.3.9 Hypothese 18: Bei Radfahrer:innen und Pkw besteht kein Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Situationen einzelner Metriken und der Grünpfeilregelung. 274
5.3.10 Hypothese 19: Bei Radfahrer:innen und Fußgänger:innen besteht kein Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Situationen einzelner Metriken und der Grünpfeilregelung. 279
5.4 Einsatzkriterien für die Grünpfeilregelung - Arbeitspapier Nr. 36 284
5.4.1 Kreuzungen 284
5.4.2 T-Kreuzungen 286
6 Fazit 288
7 Ausblick und resultierende Forschungsfragen 294
8 Danksagung 296
Anhang 298
Anhang A: Factsheet Kreuzungen 298
Kreuzung 1: Graz 1 298
Kreuzung 2: Graz 2 299
Kreuzung 3: Hohenems 301
Kreuzung 4: Innsbruck 302
Kreuzung 5: Linz 1 304
Kreuzung 6: Linz 2 305
Kreuzung 7: Wien 1 307
Kreuzung 8: Wien 2 309
Kreuzung 9: Mödling 1 310
Kreuzung 10: Mödling 2 312
Kreuzung 11: Mödling 3 313
Kreuzung 12: Mödling 4 315
Anhang B: Unfallanalyse 317
Verkehrsart gruppiert 317
Verkehrsunfälle im Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 319
Verkehrsunfälle im Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 321

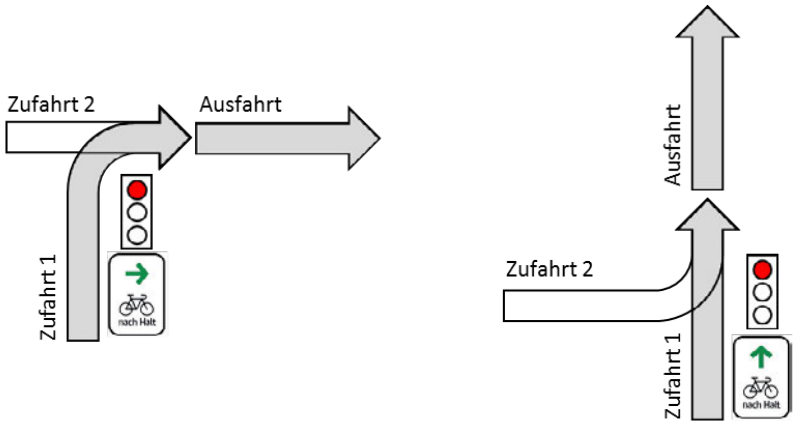
Verkehrsunfälle im Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 323
Anhang C: Unfallbegünstigende und unfallkausale Faktoren 325
Tabellenverzeichnis 327
Abbildungsverzeichnis 334
Literaturverzeichnis 341
Abkürzungen 356

1 Problemstellung

Seit 1. Oktober 2022 ist mit Rechtskraft der 33. StVO-Novelle die Anbringung einer Zusatztafel mit Grünpfeil für Radfahrende nach Halt (§ 54 Abs. 5 lit. n Straßenverkehrsordnung [StVO]) möglich. Das heißt, Radfahrer:innen dürfen, wenn diese Zusatztafel angebracht ist, bei Rot rechts abbiegen bzw. bei T-Kreuzungen, an denen kein Fahrzeugverkehr von rechts kreuzen kann, geradeaus fahren. Die Voraussetzung dafür ist, dass die Radfahrenden zuvor angehalten haben und eine Behinderung oder Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer:innen nicht zu erwarten ist. Die Zusatztafel darf nur verordnet werden, wenn hinsichtlich der Verkehrssicherheit an der jeweiligen Kreuzung keine Bedenken bestehen (§ 38 Abs. 5b StVO). Im FSV-Arbeitspapier Nr. 36 [1] wurden demgemäß Einsatzkriterien für die Anbringung des Grünpfeils für Radfahrer:innen an Kreuzungen als Basis für eine Verordnung durch die zuständige Behörde (in aller Regel die Bezirksverwaltungsbehörde) erarbeitet.

In Abbildung 1 sind die Kreuzungsrelationen für in Zusammenhang mit dem Grünpfeil beim Rechtsabbiegen an Kreuzungen und Geradeausfahren an T-Kreuzungen dargestellt.

Abbildung 1: Symbolische Darstellung der Kreuzungsrelationen in Zusammenhang mit dem Grünpfeil an Kreuzungen und T-Kreuzungen [1]



Die Wirkung des Grünpfeils auf die Verkehrssicherheit ist für Österreich wissenschaftlich nicht erforscht. Die Forschungsfrage lautet daher:

> Welche Auswirkung hat die 33. StVO-Novelle, durch die Anbringung einer Zusatztafel mit Grünpfeil für Radfahrer:innen, auf die Verkehrssicherheit von Verkehrsteilnehmer:innen.

2 Stand des Wissens

Die Diskussion hinsichtlich des Abbiegen nach Rechts bei Rot für Kraftfahrzeuge startete in den USA bereits in den 30iger Jahren des vorigen Jahrhunderts [2]. Mitte der 40iger Jahre konnten in Kalifornien Kraftfahrzeuge an allen Kreuzungen (außer diese waren speziell gekennzeichnet) auch bei Rot nach rechts abbiegen und Anfang der 70iger Jahre empfahl die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) dies für alle Bundesstaaten. Ebenso war in der DDR Ende der 70iger Jahre ein Rechtsabbiegen bei Rot mit spezieller Beschilderung möglich [3]. Nach Einführung der Regelung wurde in mehreren Studien eine Zunahme an Unfällen mit rechtsabbiegenden Fahrzeugen festgestellt [4], [5] zitiert in [6]. Insbesondere sind dabei Fußgänger:innen und Radfahrer:innen betroffen [7] [3].

Das Abbiegen bei Rot für Radfahrer:innen ist mittlerweile in mehreren Ländern erlaubt. In einigen Bundesstaaten der USA wird durch das sogenannte „Idaho Stop Law“ [8] Radfahrer:innen ermöglicht an Stoppschilder ohne Anzuhalten weiterzufahren. In den Niederlanden gilt das Abbiegen bei Rot bereits seit 1990 [9] und in anderen Ländern wurde die Regelung später eingeführt [10], [11], [12], [13] [14].

2.1 Erkenntnisse zu Rotlichtmissachtungen und deren Ursachen

Die Rotlichtmissachtung ist eine typische Regelmissachtung von Radfahrer:innen [15] und wurde bereits in Studien mehrfach erhoben. Dabei kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz - Verkehrsbeobachtungen (z.B. [16], [15]), Umfragen (z.B. [17], [18]), Naturalistische Fahrstudien (z.B. [19]) oder Verkehrsunfallanalysen (z.B. [20]). Untersuchungen zur allgemeinen Rotlichtmissachtung von Radfahrer:innen wurden bereits umfassend publiziert. Das Abbiegen bei Rot ist jedoch noch unzureichend untersucht (z.B. [10], [19], [21]), obwohl es häufiger zu Rotlichtmissachtung beim Abbiegen kommt als beim Queren [22].

2.1.1 Rotlichtmissachtungen durch Radfahrer:innen

In London (Vereinigtes Königreich) wurden an 14 Kreuzungen mit einem Videosystem das Verhalten von Radfahrer:innen beobachtet (2005) [23]. Die Datensammlung erfolgte an jeweils zwei Tagen zwischen 7:00 Uhr und 18:00 Uhr. Der Anteil an Männern betrug 71 % bei 6.041 Beobachtungen. Rotlichtmissachtungen wurden zwischen 13 % und 17 % festgestellt, wobei diese vorwiegend durch Männer erfolgte (80 %). Bezogen auf die Gesamtanzahl an beobachteten Radfahrer:innen konnte bei 20 % der Radfahrer und bei 12 % der Radfahrerinnen eine Rotlichtmissachtung festgestellt werden. Gemäß einer weiteren Studie für London (2007), [24] liegt die Rotlichtmissachtung bei durchschnittlich 15,7 %. Männer missachten das Rotlicht etwas häufiger (17 %) als Frauen (13 %), das OR (Odds Ratio) für Männer liegt bei 1,32. Beim Links-Abbiegen (korrespondierend zu den Rechts-Abbiegern) ist die durchschnittliche Rotlichtmissachtung jedoch bei Frauen in etwa gleich häufig wie bei Männern und liegt bei ca. 25 % aller Rotlichtmissachtungen.

Johnson et al. (2005) [25] beobachteten in einer Pilotstudie an zwei Kreuzungen (Melbourne, Australien) das Verhalten von Radfahrer:innen. Die Studie erfolgte drei Wochen im März zwischen 7:00 Uhr und 10:00 vormittags und 16:00 Uhr und 19:00 nachmittags. Der Anteil der Männer betrug 79 % und jener der Frauen 21 %. Durchschnittlich 11 % der Radfahrer:innen missachteten die Rotlichtregelung. Jedoch ist der Anteil bei Männern mit 12 % doppelt so hoch als bei Frauen mit 6 %. Das OR von Männern im Vergleich zu Frauen liegt bei 2,18 (p=0,011). Unterschieden wurde in der Studie ob die Radfahrer:innen ohne Anzuhalten die Kreuzung querten (als „runner“ bezeichnet), Radfahrer:innen, die noch beim Umschalten auf Rot die Kreuzung überquerten (als „racer“ bezeichnet) und jene, welche anhielten, jedoch ungeduldig wurden (als „impatient“ bezeichnet). 25 % versuchten noch in der Orange-Phase die Kreuzung zu queren und 42 % haben die Kreuzung in einem Zug überquert. 33 % waren Ungeduldige, welche zwar stehen blieben, doch die Rotphase nicht abwarten konnten und losgefahren sind. Bei der Missachtung der Orange-Phase gab es nahezu keinen Unterschied zwischen Männern (25 %) und Frauen (24 %). Doch sind anscheinend Frauen ungeduldiger (38 %) als Männer (32 %). Der Anteil der Männer in der ohne Anzuhalten Gruppe lag bei 43 %, jener der Frauen hingegen war niedriger (38 %).

Bacchieri et al. (2010) [17] berichten von einem Anteil von 38,4 % an Rotlichtübertretungen. Es wurden hierzu in Pelotas (Brasilien) 1.200 Radfahrer:innen zum Verhalten an Kreuzungen befragt. Es liegen keine Angaben zu zum Abbiegeverhalten, der Anhaltebereitschaft oder Männer und Frauen vor.

Johnson et al. (2011) [16] untersuchten das Verhalten von 4.225 Radfahrer:Innen an zehn Kreuzungen (Melbourne, Australien), insbesondere galt das Interesse den Rotlichtübertretungen. Für die Beobachtung wurde ein Videokamerasystem verwendet, welches an zehn Stellen installiert wurde. Zu diesem Zeitpunkt war ein Linksabbiegen bei Rot (entspricht dem Rechtsabbiegen bei Rot für Länder mit Rechtsverkehr) gesetzlich verboten. Als nicht regelkonform wurden alle Radfahrer:innen codiert, welche bei Rot die Kreuzung querten oder nach links abbogen. Je nach untersuchtem Straßenabschnitt war der Anteil an Rotlichtübertretungen zwischen 3,9 % und 13,0 % (durchschnittlich 6,9 %). Ein Abbiegen nach links erfolgte im Vergleich zum geradeaus Queren deutlich häufiger (OR=24,8) und ist statistisch signifikant (p=0,000). Ebenso beeinflusst die Anwesenheit von anderen Radfahrer:innen oder auch das Verkehrsaufkommen das Verhalten. Sind keine anderen Radfahrer:innen anwesend, so erfolgt 5,5-mal häufiger (p=0,000). Mit zunehmendem Verkehr sinkt die Anzahl der Regelübertretungen und liegt bei 49,4 % sofern keine Fahrzeuge die Kreuzung von links oder rechts queren. Der Anteil der Männer bei den Rotlichtübertretungen war durchschnittlich 7,7 % während Frauen in 4,8 % der Beobachtungen das Rotlicht missachteten. Das OR für Männer lag bei 1,67 und unterscheidet sich signifikant (p=0,001) von den Frauen. Die Verwendung von Fahrradhelmen war hoch und obwohl es einige Hinweise darauf gibt, dass die Verwendung von Helmen mit der Wahrscheinlichkeit einer Regelmissachtung zusammenhängen könnte, konnte das statistisch nicht belegt werden. Während des Beobachtungszeitraums von sieben Monaten (Oktober bis April, von 7:00 Uhr bis 10:00 Uhr und 16:00 Uhr bis 17:00 Uhr) wurde kein Verkehrsunfall festgestellt.

Eine weitere Studie aus Australien (Sydney) von Zeibots et al. (2012) [26] widmete sich ebenfalls dem Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen. An drei Stellen wurde mit videounterstützter Verkehrsbeobachtung die Rotlichtmissachtung von Radfahrer:innen untersucht. Die Beobachtung fand zwischen 7:00 Uhr und 8:00 Uhr, 11:00 Uhr und 12:00 Uhr sowie 17:00 und 18:00 Uhr statt, ohne Angaben zum Erhebungsmonat oder des Beobachtungszeitraums. Der Anteil an Radfahrer:innen, die an den Kreuzungen nicht anhielten und bei Rot die Kreuzung befuhren, obwohl die anderen Verkehrsteilnehmer:innen grün hatten, lag zwischen 31,5 % und 57,1 %. Der Anteil an Radfahrer:innen, die zumindest anhielten lag zwischen 11,8 % und 14,8 %.

Gemäß einer Studie von Wu et al. (2012) [15] in Peking (China) wurde durch eine Verkehrsbeobachtung ein Anteil von durchschnittlich 55,9 % an Rotlichtübertretungen festgestellt. Die Spannweite reichte von 46 % bis 61 %, je nach Kreuzung. E-Bike-Lenker:innen hatten hierbei einen höheren Anteil (62 %) als mit Muskelkraft betriebene

Räder (50 %). Männer haben einen höheren Anteil (59 %) als Frauen (48 %), das OR liegt bei 1,45. 35 % der E-Bike-Lenker:innen (vs. 28 % der konventionellen Radfahrer:innen) haben nicht angehalten und 28 % (vs. 23 % der konventionellen Radfahrer:innen) konnten die Rotphase nicht abwarten. Die Regelmissachtung erfolgt eher zu Beginn und Ende der Rotlichtphase. 59 % der Männer und 48 % der Frauen haben das Rotlicht missachtet. Auch hier wurden tendenziell E-Bike-Lenker:innen häufiger beobachtet - 63 % bei den Männern und 59 % bei den Frauen. Der Anteil bei den Frauen, die ohne Anzuhalten die Kreuzung bei Rot queren ist mit 22 % deutlich geringer als bei Männern (35 %). Frauen scheinen allerdings ungeduldiger zu sein als Männer. 29 % der Frauen konnten nicht abwarten bis sie wieder Grün haben. Hingegen waren es bei den Männern 24 %. Ebenso hat das Verkehrsaufkommen einen Einfluss auf das Regelverhalten. Bei geringerem Verkehr wird um das 3,6-fache häufiger das Rotlicht missachtet als bei hohem Verkehrsaufkommen. Mit zunehmender Gruppengröße nimmt auch die Rotlichtmissachtung ab, das heißt, warten Radfahrer:innen alleine an einer Kreuzung, nimmt die Wahrscheinlichkeit einer Rotlichtmissachtung zu. Es nimmt aber auch die Wahrscheinlichkeit einer Rotlichtmissachtung zu, wenn bereits mehrere Radfahrer:innen das Rotlicht ignorieren. Abbiegesituationen wurden nicht ausgewertet, da das Sichtfeld der Kameras nicht ausreichend war. Es wurden drei Kreuzungen mit insgesamt sieben Stunden Videomaterial ausgewertet, welches in einem Zeitraum von 8:00 Uhr bis 17:00 erhoben wurde.

Von Monsere et al. (2013) [27] wurde an neun Kreuzungen das Verhalten von Radfahrer:innen mittels einer Verkehrsbeobachtung erhoben. 22,9 % der Radfahrer:innen sind an Kreuzungen ohne anzuhalten bei Rot abgebogen. Insgesamt befolgten 69,1 % der Radfahrer:innen die Verkehrsregeln an den untersuchten Kreuzungen. Regelmissachtungen sind von Männern (74,5 %) dominiert. Befinden sich Radfahrer:innen alleine an der Kreuzung, so wurde bei 86,3 % eine Regelmissachtung festgestellt. In der Gruppe lag diese bei lediglich 13,7 %. Radfahrer:innen ohne Helm (19,3 %) haben eher die Regeln missachtet als jene, die einen Helm getragen hatten (8,5 %). Ein höheres Verkehrsaufkommen reduziert den Anteil an Regelmissachtungen.

In Johnson et al. (2013) [18] gaben 37,3 % der Befragten an, das Rotlicht zu missachten (Australien). An der Studie nahmen 2.061 Radfahrer:innen teil. 39,8 % der Männer und 31,9 % der Frauen missachten das Rotlicht (OR der Männer: 1,54, p=0,00). Ältere Radfahrer:innen (29,9 %) befolgen eher die Regeln als jüngere (43,9 %). Die Rotlichtübertretungen erfolgten zu fast einem Drittel (32,0 %) beim Linksabbiegen.

Zhang und Wu (2013) [28] untersuchten die Rotlichtmissachtung an zwei unterschiedlichen Kreuzungen in Hangzhou (China) mittels einer Videoverkehrsbeobachtung in einem Zeitraum von Ende Juli bis Ende September zwischen 11:30 Uhr und 12:30. Es wurde das Verhalten an Kreuzungen mit und ohne Sonnenschutz untersucht. Durchschnittlich 43,0 % Rotlichtmissachtungen konnten festgestellt werden. Männer missachten das Rotlicht deutlich häufiger als Frauen (OR=1,27). Das Alter spielte keine so große Rolle. Jedoch trägt der Fahrradtyp wesentlich zur Regelmissachtung bei. Elektrofahrräder waren mit einer Rotlichtmissachtung von 44,8 % deutlich häufiger involviert als muskelbetriebene Fahrräder (37,0 %). Das OR betrug 1,83. Ebenso ist das Verkehrsaufkommen im Querverkehr ein maßgeblicher Faktor.

Von Pai und Jou (2014) [29] wurde an acht Kreuzungen (Toayuan County, Taiwan) mit einem videobasierten Beobachtungssystem das Verhalten von Radfahrerer:innen beobachtet. Die Datenerhebung erfolgte bei Tageslicht zwischen 7:00 Uhr und 19:00 Uhr über einen Zeitraum von einem Jahr. Radfahrer:innen von mit Muskelkraft betriebenen Fahrrädern missachteten das Rotlicht in durchschnittlich 14,2 % (4,7 % ohne Anzuhalten und 9,5 % mit Anhalten). 1,9 % der Frauen aber 4,9 % der Männer querten ohne Anzuhalten. Als ungeduldiger stellten sich Frauen heraus. 11,2 % der Frauen und 7,9 % der Männer konnten nicht warten, bis es für ihre Fahrtrichtung wieder grün wurde. Radfahrer:innen ohne Helm missachten das Rotlicht häufiger (11,3 %) als Radfahrer:innen mit Helm (4,8 %). Bei Nutzer:innen von Elektrofahrrädern ist der Anteil deutlich höher und beträgt durchschnittlich 20,5 % (9,0 % ohne Anhalten und 11,5 % mit Anhalten). An T-Kreuzungen konnte eine Rotlichtmissachtung von 34,9 % (21,0 % ohne Anhalten und 13,9 % mit Anhalten) festgestellt werden, wobei an vierarmigen Kreuzungen dieser Anteil mit 16,3 % (4,8 % ohne Anhalten und 11,5 % mit Anhalten) deutlich geringer war. Bei höheren Geschwindigkeitsbeschränkungen war der Anteil an Missachtungen mit 9,8 % (60 km/h) höher als bei 50 km/h (4,7 %).

Richardson und Caulfield (2015) [30] untersuchten an vier Kreuzungen in Dublin (Irland) das Regelverhalten von Radfahrer:innen. Die Verkehrsbeobachtung erfolgte mit dem Verkehrsüberwachungssystem an acht Tagen im Zeitraum von Ende Oktober bis Mitte Dezember zwischen 8:00 Uhr und 10:00 Uhr. Die Rotlichtmissachtung reichte von 18,6 % auf „cycle lanes“, wenn der motorisierte Verkehr grün hatte, bis 97,8 % auf „cycle tracks“, während die Fußgänger:innen grün hatten. Durchschnittlich wurde eine Rotlichtmissachtung von 61,9 % festgestellt. Männer missachten das Rotlicht deutlich häufiger als Frauen. Das Linksabbiegen bei Rot wurde sechsmal so häufig bei Männern beobachtet als bei Frauen.

Yang et al. (2016) [31] untersuchten die Rotlichtmissachtungen an vier Kreuzungen in Peking (China). Dabei wurden Videodaten aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Die Untersuchung erfolgte im April in der Zeit von 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr. Damit der Effekt von Verkehrspolizisten auf das Verhalten von Radfahrer:innen beurteilt werden konnte, wurde das im Studiendesign entsprechend berücksichtigt. Durchschnittlich wurden bei 46,3 % der Radfahrer:innen Rotlichtmissachtungen festgestellt, wobei es einen deutlich geringeren Anteil an Rotlichtmissachtungen gab, wenn ein Verkehrspolizist anwesend war (33,0 % vs. 58,8 %). Der Anteil an Männer ist etwas höher (46,1 %) als jener bei Frauen (43,5 %). Kein eindeutiger Trend kann beim Alter festgestellt werden. Radfahrer:innen mit Elektroantrieb missachten tendenziell häufiger das Rotlicht (48,9 %) als Radfahrerer:innen mit muskelbetriebenen Fahrrädern (42,5 %).

Eine Untersuchung zum Rotlichtmissachtung in Österreich wurden von Brezina und Hildebrandt (2016) durchgeführt [32]. An 23 Stellen erfolgte eine Verkehrsbeobachtung mit einer Dauer von zwei Stunden. Durchschnittlich wurden 35,8 % Rotlichtmissachtungen festgestellt. Je nach Beobachtungsstandort war der Anteil zwischen 11 % bis 80 %. 19,2 % der Radfahrer:innen fuhren ohne Anzuhalten in die Kreuzung ein und 11,5 % blieben vorher stehen, bevor sie bei Rot die Kreuzung querten. Einer aus 1.124 rotlichtmissachtenden Radfahrer:innen hatte eine Konfliktsituation mit einem Fahrzeug.

Eine Studie aus Bologna (Italien) von Fraboni et al. (2018) [33] an vier Kreuzungen untersuchte das Verhalten von Radfahrer:innen zu Rotlichtmissachtungen, Benutzung des Telefons, Verhalten und mögliche demografische Charakteristiken. Die Verkehrsbeobachtung erfolgte durch speziell geschultes Personal. Von jeweils zwei Personen wurden die entsprechenden Kreuzungen in den Morgen- (8:30 bis 9:00) und Abendstunden (17:00 bis 18:30) beobachtet. Die Erhebungsphase war im April für eine Dauer von 24 Tagen. 37,2 % der Radfahrer:innen haben sich an die geltenden Regelungen gehalten. 29,6 % der Radfahrer:innen blieben an der Haltelinie stehen und haben danach das Rotlicht missachtet, 33,3 % missachteten das Rotlicht ohne Anzuhalten. 41,3 % der Männer aber nur 25 % der Frauen haben nicht an der Kreuzung bei Rot angehalten und sind in einem Zug durchgefahren. Jedoch haben 32,8 % der Frauen und 26,4 % der Männer nach einem Anhalten trotzdem die Kreuzung bei Rot überquert. Bei der Benutzung von Kopfhörern ist der Anteil an Rotlichtmissachtungen annähernd gleich. 32,7 % der Radfahrer:innen mit Kopfhörern und 33,2 % ohne Kopfhörer haben das Rotlicht missachtet. Bei jenen, die ihr Fahrrad angehalten haben und danach bei Rot die Kreuzung überquerten, war der Anteil 32,3 % zu 29,2 %. Deutlichere Unterschiede gab es bei der Benutzung von Smartphones. Hierbei wurde ein Anteil von 23,8 % festgestellt (vs. 33,4 %

ohne Smartphone). Sind die Radfahrer:innen vorher stehen geblieben, so war der Anteil jener Radfahrer:innen, welche ein Smartphone nutzten, bei 16,7 %, jedoch bei 30,1 % ohne Smartphone.

Schleinitz et al. (2019) [19] sammelten in einer Naturalistischen Fahrstudie (NDS: Naturalistic Driving Study) Daten von 88 Radfahrer:innen über einen Zeitraum von vier Wochen in Chemnitz (Deutschland). Die Fahrräder wurden mit einem Datenaufzeichnungssystem, zwei Kameras und einem Geschwindigkeitssensor ausgerüstet. Insgesamt wurden 7.969 Situationen aufgezeichnet, in welchen die VLSA rot anzeigte. In 155 Situationen gab es eine Zusatztafel, welche es Radfahrer:innen erlaubt auch bei Rot nach rechts abzubiegen, nachdem die Radfahrer:innen angehalten haben. Allerdings haben in 125 Situationen die Radfahrer:innen nicht vollständig angehalten, was einer Rotlichtmissachtung von 80,6 % entspricht. Bei weiteren 391 Situationen hatten die Radfahrer:innen auf den Gehsteig gewechselt (4,9 %), um die Rotphase zu umgehen. Der Anteil an Rotlichtmissachtungen lag mit 1.210 bei 16,8 %. Diese Radfahrer:innen hatten das verpflichtende Anhalten missachtet. Allerdings wurde es in keinem dieser Fälle verkehrssicherheitskritisch.

Bai und Sze (2020) [34] konnten in ihrer Untersuchung eine durchschnittliche Rotlichtmissachtung von 21,1 % feststellen. Dabei waren Rotlichtmissachtungen durch Lenker:innen von Elektrofahrrädern deutlich häufiger (26,5 %) als bei konventionellen Fahrrädern (11,7 %). Das Geschlecht hat ebenfalls einen Einfluss auf das Regelverhalten. Männer neigen zu 66 % häufiger zu Regelverletzung als Frauen. Zu Beginn und am Ende der Signalphase waren die häufigsten Regelmissachtungen, wobei auch ein vorhandener Countdown die Regelmissachtung negativ beeinflusst. Es wurden in der Studie acht Kreuzungen jeweils am Morgen zwischen 7:00 Uhr und 9:00 Uhr und am Nachmittag zwischen 17:00 Uhr und 19:00 Uhr in den Monaten Mai und Juni mit einem Videosystem beobachtet.

Die Auswirkungen der Regelung „Rechtsabbiegen bei Rot“ auf das Verhalten der Radfahrer:innen wurde von Schröter et al. (2024) [21] in einer Vorher-Nachher-Studie mit Hilfe eines Videokamerasystems in Deutschland (Bamberg, Darmstadt, Düsseldorf, Cologne, Leipzig, München, Münster, Reutlingen und Stuttgart) untersucht. Die Vorher-Erhebung fand im September und Oktober statt und die Nachher-Erhebung im darauffolgenden Jahr von Mai bis August. Die Autoren achteten dabei darauf, dass die Grünpfeilregelung zumindest drei Monate kundgemacht wurde und somit bei der radfahrenden Bevölkerung bekannt war. Unterstützt wurde dies mit Presseaussendungen.

Die Datenaufzeichnung erfolgte zumindest einen ganzen Tag an 43 Kreuzungsrelationen (34 Kreuzungen). Ausgewertet wurden allerdings nur jeweils drei Stunden der Nachmittagsaufzeichnungen. Durchschnittlich lag die Rotlichtmissachtung bei 23,2 % vor Umsetzung der Regelung und bei 24,8 % nach Umsetzung der Regelung. Der Anteil an Rotlichtübertretungen beim Queren lag vor der Umsetzung der Regelung bei 12,3 % und reduzierte sich danach auf 10,5 %. Der Anteil an rechts abbiegenden Radfahrer:innen bei Rot, welche nicht anhielten, war vor Umsetzung der Regelung bei 76,1 %. Nach Umsetzung der Regelung stieg der Anteil auf 87,3 %. Eine regelkonforme Verkehrsteilnahme (anhalten bei Rot) wurde vor der Umsetzung bei 3,7 % und nach der Umsetzung bei 5,3 % der Radfahrer:innen festgestellt. Die meisten Konflikte wurden zwischen rechts abbiegenden Radfahrer:innen und anderen Radfahrer:innen sowie mit Fußgänger:innen festgestellt. Die Konflikte nahmen jedenfalls zu, jedoch nahm die Konfliktschwere ab. Der Anteil an Radfahrer:innen, welche den Gehsteig als Ausweichroute zum Abbiegen benutzten reduzierte sich von 40 % auf 30 %. Vor der Kreuzung haben nur 5 % bzw. 6 % der Radfahrer:innen vor bzw. nach Umsetzung der Regelung angehalten, bevor sie nach rechts abbogen.

In Tabelle 1 sind die Studien zur Rotlichtmissachtung, geordnet nach Jahr der Veröffentlichung, zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Studien zur Rotlichtmissachtung

Studie / Jahr	Land / Stadt	Studiendesign	Rotlichtmissachtung
Allen et al. 2005 [23]	• Vereinigtes Königreich • London	• Videobeobachtung • 14 Kreuzungen • März bis August • jeweils zwei Tage • 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr • 6.041 Beobachtungen	• 13 % - 17 %
Tarrier et al. 2005 [24]	• Vereinigtes Königreich • London	• Verkehrsbeobachtung • 5 Kreuzungen • Mai bis Juni • 7:00 Uhr bis 10:00 Uhr • 16:00 Uhr bis 19:00 Uhr • 7.502 Beobachtungen	• durchschnittlich 15,7 %
Johnson et al. 2007 [25]	• Australien • Melbourne	• Verkehrsbeobachtung • 2 Kreuzungen • März • 7:00 Uhr bis 10:00 Uhr • 16:00 Uhr bis 19:00 Uhr • 6.420 Beobachtungen	• durchschnittlich 11 %

Studie / Jahr	Land / Stadt	Studiendesign	Rotlichtmissachtung
Bacchieri et al. 2010 [17]	• Brasilien • Pelotas	• Befragung • 1.200 Teilnehmer:innen	• durchschnittlich 38,4 %
Johnson et al. 2011, [16]	• Australien • Melbourne	• Videobeobachtung • 10 Kreuzungen • Oktober bis April • 7:00 Uhr bis 10:00 Uhr • 16:00 Uhr bis 19:00 Uhr • 4.225 Beobachtungen	• durchschnittlich 6,9 % • Spannweite: 3,9 % bis 13 %
Zeibots et al. 2012 [26]	• Australien • Sydney	• Videobeobachtung • 3 Kreuzungen • 7:00 Uhr bis 8:00 Uhr • 11:00 Uhr bis 12:00 Uhr • 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr • 1.115 Beobachtungen	• ohne Anhalten: 31,5 % - 57,1 % • mit Anhalten : 11,8 % - 14,8 %
Wu et al. 2012 [15]	• China • Peking	• Videobeobachtung • 3 Kreuzungen • 7:00 Uhr bis 17:00 Uhr • 451 Beobachtungen	• durchschnittlich 55,9 % • Spannweite 46 % - 61 % je nach Kreuzung
Monsere et al. 2013 [27]	• USA • Eugene • Corvallis • Beaverton • Clackamas County • Portland	• Verkehrsbeobachtung • 3 Kreuzungen • 159 Stunden Aufnahmen • 2.617 Beobachtungen	• durchschnittlich 10,3 %
Johnson et al. 2013 [18]	• Australien	• Befragung • 2.061 Teilnehmer:innen	• durchschnittlich 37,3 %
Zhan und Wu 2013 [28]	• China • Hangzhou	• Videobeobachtung • 2 Kreuzungen • Juli bis September • 11:30 Uhr bis 12:30 Uhr • 2.477 Beobachtungen	• durchschnittlich 43,0 %
Pai und Jou 2014 [29]	• Taiwan • Toayuan County	• Videobeobachtung • 8 Kreuzungen • ein Jahr • 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr • 12.447 Beobachtungen	• durchschnittlich 14,2 % (4,7 % ohne Anzuhalten und 9,5 % mit Anhalten)
Richardson und Caulfield 2015 [30]	• Irland • Dublin	• Verkehrsbeobachtung mit Verkehrsüberwachungssystem • 4 Kreuzungen • Oktober bis Dezember • 8:30 Uhr bis 10:00 Uhr • 4.656 Beobachtungen	• durchschnittlich 61,9 % • Spannweite 18,6 % - 97,8 % je nach Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen
Yang at al. 2016 [31]	• China • Peking	• Videobeobachtung • 4 Kreuzungen • April • 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr	• durchschnittlich 46,3 % • Spannweite 31,3 % - 54,1 %

Studie / Jahr	Land / Stadt	Studiendesign	Rotlichtmissachtung
		• 1.568 Beobachtungen	
Brezina und Hildebrandt 2016 [32]	• Österreich	• Verkehrsbeobachtung • 23 Kreuzungen • 1.124 Beobachtungen	• durchschnittlich 35,8 % • Spannweite 11 % - 80 %
Fraboni et al. 2018 [33]	• Italien • Bologna	• Verkehrsbeobachtung • 4 Kreuzungen • April • 8:30 Uhr bis 9:00 Uhr • 17:00 Uhr bis 18:30 Uhr • 1.381 Beobachtungen	• zwischen 11,9 % und 66,0 % je nach Kreuzung • 29,6 % mit Anhalten • 33,3 % ohne Anhalten
Schleinitz et al. 2019 [19]	• Deutschland • Chemnitz	• Fahrstudie • 4 Wochen • 88 Radfahrer:innen • 7.969 Beobachtungen	• durchschnittlich 16,8 % • 80,6 % Rechtsabbiegen ohne Anzuhalten
Bai und Sze 2020 [34]	• China • Nanjing	• Videobeobachtung • 8 Kreuzungen • 7:00 Uhr bis 9:00 Uhr • 17:00 Uhr bis 19:00 Uhr • 6.930 Beobachtungen	• durchschnittlich 21,1 %
Schröter et al. 2024 [21]	• Deutschland • Bamberg • Darmstadt • Düsseldorf • Cologne • Leipzig • München • Münster • Reutlingen • Stuttgart	• Videobeobachtung • 34 Kreuzungen • ganztägig • September - Oktober • Mai - August • 21.746 Beobachtungen	• durchschnittlich 24,1 % • queren: 11,3 % • rechts abbiegen: 82,6 %

2.1.2 Faktoren und Ursachen die eine Rotlichtmissachtung begünstigen

Die Rotlichtmissachtung ist eine typische Regelmissachtung von Radfahrer:innen [15] und wird bei einer mehr oder weniger großen Anzahl an Radfahrer:innen beobachtet. Der Anteil an Rotlichtmissachtungen liegt, je nach Studie, zwischen 6,9 % und 87,5 % [16], [30]. Hierbei ist ein Unterschied zwischen geradeaus fahrenden und nach rechts abbiegenden Radfahrer:innen zu unterscheiden. Das Abbiegen nach rechts wird deutlich häufiger missachtet [16], [19]. Die Gefährdung durch den Querverkehr wird vermutlich als geringer empfunden, da sich schlussendlich die beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen in die gleiche Richtung bewegen. Im Zuge dessen ist an T-Kreuzungen ein geradeaus-fahren und dementsprechendes missachten des Rotlichts ebenso häufiger festzustellen [29], [19], [18].

Rotlichtübertretung erfolgen meist, wenn es keinen bzw. wenig Verkehr gibt ([16], [15], [28], [31]). Ist das Verkehrsaufkommen hoch, so reduziert sich die Häufigkeit von Rotlichtmissachtungen. Ganz deutlich ist der Unterschied zwischen geringem und hohen Verkehrsaufkommen. Die Wahrscheinlichkeit, dass Radfahrer:innen das Rotlicht missachten ist bei Ausbleiben eines Querverkehrs bis zu 70mal höher als bei hohem Verkehrsaufkommen. Sind keine Fußgänger:innen am Zebrastreifen, so wird auch häufiger das Rotlicht missachtet [18]. Teilnehmer:innen einer Befragung gaben auch an, dass die Kreuzung bei Rotlicht überquert wird, wenn es für sie sicher ist [18].

Neben dem Verkehrsaufkommen spielt es auch eine Rolle, ob noch andere Verkehrsteilnehmer:innen anwesend sind. So ist die Wahrscheinlichkeit einer Rotlichtmissachtung deutlich höher, wenn sich keine weitere Radfahrer:in an der Kreuzung befindet [16] oder Radfahrer:innen an der Kreuzung sind und das Rotlicht missachten [27], [15], [33].

Von den Übertretungen kann man prinzipiell die sehr heterogenen Gruppen in drei Kategorien unterteilen [25], [29], [33]. Die erste Kategorie wären Radfahrer:innen, welche noch rasch vor dem Umschalten auf Rot (Orange-Phase) die Kreuzung überqueren. Als zweite Kategorie könnte man die „Ungeduldigen“ zusammenfassen, welche Anhalten, die Rotphase jedoch nicht abwarten können und letztlich diejenigen, die grundsätzlich bei Rot die Kreuzung queren. Während bei den Radfahrer:innen, welche nicht bei Rot anhalten, durchwegs Männer deutlich häufiger gegen die Regeln verstoßen (z.B.: [25], [16], [33]), sind Frauen scheinbar ungeduldiger und fahren noch bei Rot in die Kreuzung ein, obwohl sie zunächst regelkonform angehalten haben [25], [15], [29]. Wird die Wartezeit als Countdown angezeigt, so steigt auch die Regelmissachtung [34] und mit zunehmender Wartezeit erhöht sich ebenfalls die Wahrscheinlichkeit einer Rotlichtmissachtung [29], [22]. Das geschieht häufiger zu Beginn oder gegen Ende der Rotlichtphase [15], [34]. Brezina und Hildebrandt [32] empfehlen daher eine Wartezeit von weniger als 40s, andernfalls die Wahrscheinlichkeit einer Rotlichtmissachtung steigt. Neben einer gewissen Ungeduld ist auch ein Zeitdruck (wenn man es eilig hat) mitentscheidend für eine Regelübertretung. In Johnson et al. [18] wurde dies als Begründung genannt.

Ganz wesentlich hängt eine Rotlichtübertretung vom Geschlecht ab. Männer missachten deutlich häufiger die Rotlichtregelungen als Frauen (z.B. [24], [25], [18], [30]). Hierbei ist ein Abbiegen bei Rot bei Männern nochmals häufiger als bei Frauen [30].

Jüngere Radfahrer:innen tendieren eher das Rotlicht zu missachten als ältere [16], [15], [18]. Zhang et al. [28] konnten jedoch keinen derart großen Effekt feststellen. Hier kann es aber auch wegen des spezifischen Studiendesigns zu diesem etwas gegenteiligen Ergebnis kommen.

Die zulässige Geschwindigkeitsbeschränkung beeinflusst ebenfalls das Verhalten der Radfahrer:innen [29]. Allerdings missachteten bei einer höheren Geschwindigkeitsbeschränkung mehr Radfahrer:innen das Rotlicht, was unverständlich ist, da eine höhere Geschwindigkeit auch mit einem höheren Risiko an schweren Verletzungen verbunden ist [35]. Johnson et al. [18] stellten einen höheren Anteil an Rotlichtmissachtungen fest, bei jenen Radfahrer:innen, welche bereits einen Unfall hatten. Von Bacchieri et al. [17] wurde kein signifikanter Zusammenhang (p=0,819) mit Verkehrsunfällen festgestellt. Im Gegensatz dazu wurden von Robert und Clayton [36] bei einer Rotlichtmissachtung von 2,4 % der Radfahrer:innen, ein Anteil an Verkehrsunfällen mit Rotlichtmissachtung von 11 % in Zusammenhang gebracht. Von Lawson ([37] zitiert in [16]) wurde für das Vereinigte Königreich ein Anteil von 1,8 % an Fahrradunfällen in Folge von Rotlichtübertretungen ermittelt. In Australien wiederum wurden 6,5 % der Verkehrsunfälle mit Rotlichtübertretungen in Zusammenhang gebracht [20]. Lutschounig und Robatsch ([38] zitiert in [32]) berichten von 18 % getöteter Radfahrer:innen bei Unfällen mit Rotlichtmissachtung. Von Pai und Jou [29] wird für Taiwan ein Anteil von 22 % an Unfällen mit Radfahrer:innen und Rotlichtmissachtung angegeben, wobei 34 % tödlich enden. Nach Yang et al. [39] sind 60 % der Verkehrsunfälle auf Regelmissachtungen durch Radfahrer:innen zurückzuführen, insbesondere die Rotlichtmissachtung. Die Autoren berufen sich auf die Zahlen der chinesischen Verkehrsunfallstatistik (China Road Traffic Accidents Statistics Report).

Radfahrer:innen die einen Helm tragen und somit sorgsamer erscheinen, befolgen auch eher die Verkehrsregeln [16], [27], [29].

Werden Radfahrer:innen als die Unfallverursacher identifiziert, so wurden von 21,0 % die Verkehrsregeln missachtet und 35,3 % der Radfahrer:innen waren unaufmerksam [20]. Ebenso wurde von den Autoren die fehlende Erfahrung als häufige Unfallursache festgestellt (18,6 %). Eine Regelmissachtung durch Kopfhörer oder Smartphone als ablenkende Faktoren, wurden von Fraboni et al. [33] untersucht. Es konnte kein Unterschied zwischen den Gruppen mit und ohne Kopfhörer festgestellt werden. Der Anteil an Regelmissachtungen war in beiden Gruppen nahezu gleich. Jedoch wurde ein signifikanter Unterschied in den Gruppen mit und ohne Smartphones festgestellt.

Widererwarten war der Anteil an Radfahrer:innen, die ein Smartphone benutzten, bei der Rotlichtmissachtung deutlich geringer (23,8 %) als die Radfahrer:innen, die keines benutzten (33,4 %). Ebenfalls war der Anteil der Radfahrer:innen und Smartphone-Nutzung, die zunächst anhielten und anschließend bei Rot in die Kreuzung einfuhren, etwa halb so groß. Schlüsse aus dieser Feststellung wurden von den Autoren keine gezogen. Durch die Benutzung des Smartphones wurde von de Waard et al. [40] eine geringere Kopfbewegung beobachtet, was unter Umständen auch eine geringere Aufmerksamkeit bedeuten könnte. Die Auswertung von Fraboni et al. [33] zeigte allerdings, dass sich Radfahrer:innen, welche das Rotlicht missachteten, deutlich häufiger auf den Querverkehr konzentrierten. Jene, die nur auf die Grünphase warteten, achteten eher auf die Ampel und beobachteten nicht den Querverkehr. Auch hier wurde die Kopfbewegung als Metrik zur Beurteilung verwendet.

Die Rotlichtmissachtung ist auch vom Fahrradtyp abhängig. Radfahrer:innen auf Elektrofahrrädern missachten das Rotlicht häufiger als Radfahrer:innen, die mit einem mit Muskelkraft betriebenen Fahrrad unterwegs sind [28], [29], [34].

Am Wochenende neigen Radfahrer:innen das Rotlicht eher zu missachten als unter der Woche [29]. Es findet sich keine konkrete Begründung dafür in der Studie. Jedoch wurde ein Zusammenhang zwischen der Rotlichtmissachtung und dem Verkehrsaufkommen festgestellt. Das Verkehrsaufkommen ist an Wochenenden möglicherweise geringer und würde den höheren Anteil an Rotlichtmissachtungen an Wochenenden erklären. Während des Tages ist zu den Stoßzeiten eine niedrigere Regelmissachtung festzustellen [29].

In Tabelle 2 sind die Faktoren, welche eine Rotlichtmissachtung begünstigen, zusammengefasst.

Tabelle 2: Faktoren, die eine Rotlichtmissachtung begünstigen

Faktoren	Parameter	Anteil	OR	Studie
		12 % vs. 6 %	2,18	[25]
		7,7 % vs. 4,8 %	1,67	[16]
		39,8 % vs. 31,9 %	1,54	[18]
		58,7 % vs. 48,4 %	1,45	[15]
		74,5 % vs. 25,5 %	-	[27]
		44,7 % vs. 38,6 %	1,27	[28]
		46,1 % vs. 43,5 %	1,05	[31]
		41,3 % vs. 25,0 %	-	[33]
Geschlecht	Männer vs. Frauen	-	1,11	[19]
	30-49-Jährige vs. 18-29-Jährige	38,5 % vs. 43,9 %	0,71	[18]
	18-29-Jährige vs. 30-49-Jährige	-	7,63	[15]
		-	0,88	[28]
	50+ vs. 18-29-Jährige	29,9 % vs. 43,9 %	0,51	[18]
	18-29-Jährige vs. 50+	-	0,85	[31]
		32,5 % vs. 28,3 %	-	[33]
		-	7,92	[15]
		-	0,75	[28]
		-	0,89	[31]
Alter	30-49-Jährige vs. 50+	36,9 % vs. 28,3 %	-	[33]
	Andere Radfahrer:innen anwesend ja vs. nein	4,3 % vs. 20,0 %	0,26	[16]
	Alleine vs. Gruppe	86,3 % vs. 13,7 %	-	[27]
		-	0,57	[15]
Radfahrer:innen	Alleine vs. 1 bzw. 2-4 bzw. 5+	46,8 % vs. 32,1 % bzw. 23,0 % bzw. 5,9 %	-	[33]
Unfall	Unfall vs. kein Unfall	42,9 %	1,35	[18]
		-	0,21	[16]
		19,3 % vs. 8,5 %	-	[27]
Helm	Kein Helm vs. Helm	11,3 % vs. 4,8 %	-	[29]

Faktoren	Parameter	Anteil	OR	Studie
Ablenkung	Kopfhörer ja vs. nein	32,7 % vs. 33,2 %	-	[33]
	Smartphone ja vs. nein	23,8 % vs. 33,4 %	-	[33]
Anzahl	Anzahl die die Regelung missachten	-	2,41	[15]
Verkehrsaufkommen	1-10 vs. 0		0,085	[16]
	11-20 vs. 0		0,035	[16]
	21+ vs. 0	-	0,014	[16]
	Gering vs. hoch	-	3,65	[15]
		-	1,41	[28]
		-	1,74	[31]
	Mittel vs. hoch	-	1,95	[15]
		-	1,56	[28]
		-	1,40	[31]
Wartezeit	-	-	-	[32]
	Countdown	-	-	[34]
Aufmerksamkeit	Links rechts schauen	-	-	[33]
Fahrtrichtung	Rechtsabbiegen vs. Geradeaus	57,3 % vs. 5,1 %	28,4	[16]
		47,8 % vs. 14,7 %	2,99	[19]
	Linksabbiegen vs. Geradeaus	13,2 % vs. 14,7 %	0,18	[19]
Fahrradtyp	E-Bike vs. muskelbetriebenes Fahrrad	44,8 % vs. 37,0 %	1,83	[28]
		9,0 % vs. 4,7 %	-	[29]
Kreuzungstyp	Kreuzung vs. T-Kreuzung	4,8 % vs. 21,0 %	-	[29]
	T-Kreuzung vs. Kreuzung	-	1,14	[19]
Geschwindigkeitslimit	50 km/h vs. 60 km/h	4,8 % vs. 9,8 %	-	[29]
Wochentag	Wochentag vs. Wochenende	3,4 % vs. 5,2 %	-	[29]
Tageszeit	Stoßzeit vs. Nicht-Stoßzeit	3,7 % vs. 6,9 %	-	[29]

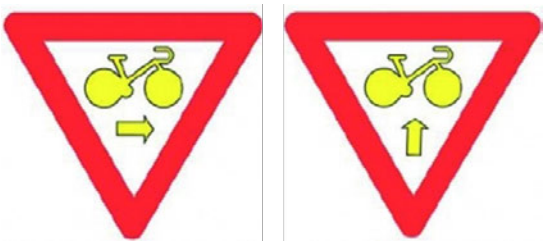
2.2 Regelungen und Studien zu rechtsabbiegen bei Rot

Das Abbiegen bei Rot für Radfahrer:innen ist mittlerweile in mehreren Ländern erlaubt. In einigen Bundesstaaten der USA wird durch das sogenannte „Idaho Stop Law“ [8] Radfahrer:innen ermöglicht an Stoppschilder ohne Anzuhalten weiterzufahren. In den Niederlanden gilt das Abbiegen bei Rot bereits seit 1990 [9] und in anderen Ländern wurde die Regelung später eingeführt [10], [11], [12], [13] [14]. In Deutschland und Österreich ist ein Anhalten vor dem Abbiegen bei Rot verpflichtend [21].

2.2.1 Belgien

In einem Pilotversuch in Brüssel wurden an acht Knotenpunkten für elf Fahrbeziehungen das Rechtsabbiegen und das Geradeausfahren von Radfahrer:innen ohne Anhalten bei Rot getestet [41]. Seit 2012 ist es für Radfahrer:innen gesetzlich erlaubt an Kreuzungen auch bei Rot abzubiegen [10]. Es wurden dazu Verkehrszeichen an den Lichtsignalanlagen angebracht (Abbildung 2). Es gab für keine der beobachteten Fahrradbewegungen ein Verkehrssicherheitsproblem, und zwar weder in der Vor- noch in der Nacherhebungssituation. Die Aufstellung entsprechenden Verkehrsschildern (Abbildung 2) ist keine spezifische Verkehrssicherheitsmaßnahme, aber hat sich auch nicht negativ auf das Unfallgeschehen ausgewirkt.

Abbildung 2: Verkehrsschilder für rechtsabbiegende und geradeaus fahrende Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Rotlicht [41].



Der Zweck der Verkehrsschilder besteht hauptsächlich im Folgenden [41]:

- die Negierung des Rotlichts für Radfahrer zu legalisieren, und zwar für Bewegungen, bei denen das Rotlicht nur geringe Auswirkungen hat und folglich kein zusätzliches Risiko entsteht.

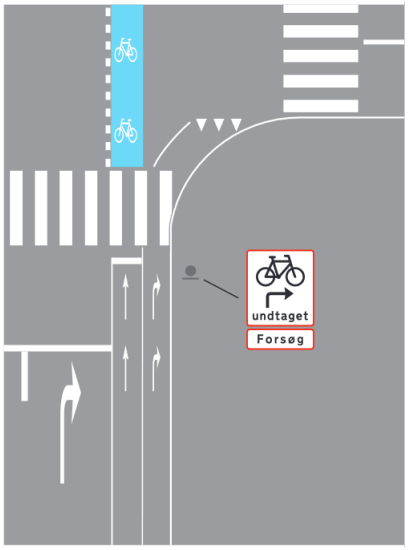
- ausdrücklich auf die Stellen hinzuweisen, an denen die Straßenverkehrsbehörde bestimmte Formen der Rotlichtüberschreitung akzeptiert.
- Ermöglichung eines Zeit- und Komfortgewinns für Radfahrer an Ampeln, die nicht direkt für die Regelung ihrer Bewegung vorgesehen sind.

2.2.2 Dänemark

Seit 2016 ist es in Dänemark legal bei Rot ohne anzuhalten nach rechts abzubiegen [11]. Zuvor wurde von 2014 bis 2016 an 33 Kreuzungen diese Regelung evaluiert [42]. Das Rechtsabbiegen ist von etwa 63-78 % (Vorher-Untersuchung) auf etwa 90 % (Nachher-Untersuchung) angestiegen. Radfahrer:innen, die bei Rot rechtsabbiegen, achten vor dem Abbiegen nicht immer auf den Querverkehr [43]. Gerade in der Hauptverkehrszeit blockieren geradeaus fahrende Radfahrer:innen oft die rechtsabbiegenden - dies kann rechtsabbiegende Radfahrer:innen ermutigen, den Bürgersteig zu benutzen. Rechtsabbiegende Radfahrer:innen bei Rot können bei Kindern und älteren Fußgänger:innen zu Verunsicherungen führen. Ebenso kann es für querende Fußgänger:innen problematisch sein. Damit so wenig Verkehrskonflikte wie möglich entstehen, ist die Regelung an folgende Bedingungen geknüpft:

- Es muss einen separaten Radfahrstreifen geben, sowohl bis zur Kreuzung als auch auf die Straße, auf den die Radfahrer:innen abbiegen.
- Der Radfahrstreifen in der Zufahrt zur Kreuzung muss mindestens 1,85 m breit sein. Der Radfahrstreifen an der Kreuzung muss zu gleichen Teilen in eine Rechtsabbiegespur und eine Geradeausspur aufgeteilt sein (Abbildung 3).
- Es muss ein hindernisfreier Seitenraum von mindestens 30 cm eingehalten werden.
- Die Kreuzung sollte so einfach sein, dass es nicht zu viele potenzielle Konflikte gibt, und es sollte ein niedriges Geschwindigkeitsniveau herrschen.
- Rechtsabbiegen für Radfahrer:innen ist nicht geeignet, wenn es zu viele Fußgänger:innen an der Kreuzung gibt.

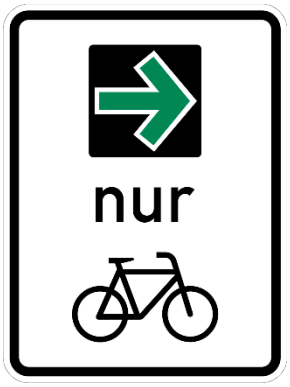
Abbildung 3: Gestaltung einer Kreuzung mit Rechtsabbiegemöglichkeit für Radfahrer:innen in Dänemark (Quelle: [43])



2.2.3 Deutschland

In der ehemaligen DDR wurde der Grünpfeil bereits 1978 eingeführt [3]. Im Jahr 2020 wurde mit dem Verkehrszeichen 721 (Abbildung 4) und dem Zusatz „Grünpfeilschild mit Beschränkung auf den Radverkehr“ das Rechtsabbiegen bei Rot für Radfahrer:innen bundesweit eingeführt [44]. In der StVO [14] sind Bedingungen für die Verordnung eines Grünpfeils definiert. So haben beispielsweise Radfahrer:innen verpflichtend Anzuhalten [13].

Abbildung 4: Verkehrszeichen „Grünpfeilschild mit Beschränkung auf den Radverkehr“ [14]



Von Niestegge at al. (2022) [13] und Schröter et al. (2024) [21] wurden 34 Kreuzungen mit insgesamt 43 Relationen in neun Städten untersucht. Dabei wurden sowohl Stellen mit Mischverkehr als auch Stellen mit Radfahrstreifen oder Radwegen in der Zu- und/oder der Ausfahrt im Studiendesign berücksichtigt. Bei der Auswahl der Pilotstellen wurden die Ausschlusskriterien aus bisher geltenden gesetzlichen Regelungen zur Anordnung des Grünpfeils berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigten vor Anbringung der Verkehrszeichen einen hohen Anteil an Rotlicht-Missachtungen rechtsabbiegender Radfahrer:innen. Nach Anbringung der Zeichen blieb dies dahingehend unverändert, dass ein Großteil der Radfahrer:innen ohne vorheriges Anhalten bei Rot nach rechts abbog. Systematische zusätzliche Behinderungen bzw. Gefährdungen der insgesamt betroffenen Verkehrsteilnehmer:innen konnten nach Anbringung der Zeichen jedoch nicht nachgewiesen werden. Es lässt sich somit schlussfolgern, dass eine Anordnung des Rechtsabbiegens bei Rot für Radfahrer:innen an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten ohne eine Gefährdung der Verkehrssicherheit grundsätzlich möglich ist. Hierbei ist jedoch in hohem Maße eine Missachtung des Gebots des Anhaltens vor dem Abbiegevorgang bei Rot zu erwarten.

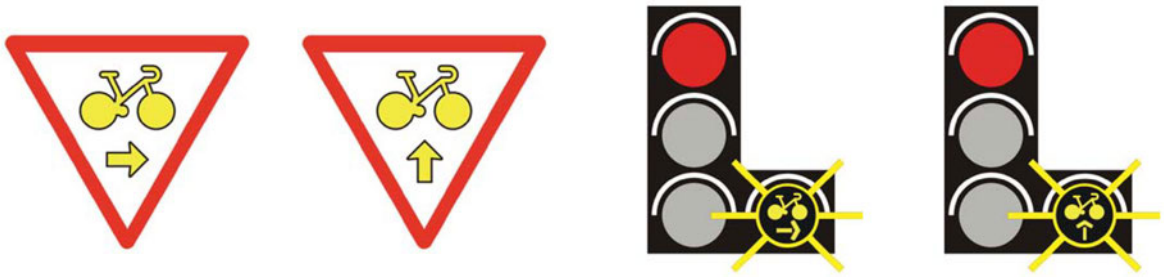
2.2.4 Frankreich

Die in den Städten Straßburg, Nantes und Bordeaux im Rahmen eines Pilotprojekts durchgeführte Studie (2012) zur Verkehrssicherheit an Kreuzungen mit der Möglichkeit auch bei Rot nach rechts abzubiegen haben gezeigt, dass mit keinen schwerwiegenden Problemen zu rechnen ist [12]. Die Auswertung haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

- Keine Unfälle im Zusammenhang mit der Regelung.
- Keine negativen Auswirkungen auf das Verhalten der Radfahrer:innen.
- Bisher erratische Radfahrpraktiken werden besser kanalisiert.
- Radfahrer:innen bleiben auf der Fahrbahn und benützen nicht mehr den Gehweg, um die Ampel zu umgehen.

Die in Abbildung 5 dargestellten Verkehrszeichen signalisieren die Möglichkeit für Radfahrer:innen auch bei Rot nach rechts abzubiegen bzw. geradeaus zu fahren.

Abbildung 5: Signalisierung des Rechtsabbiegens bei Rot für Radfahrer:innen in Frankreich [12]



Seit 2010 wurde das Abbiegen bei Rot für Radfahrer:innen landesweit eingeführt [12]. Es müssen jedoch folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Die gegenseitige Sichtbarkeit der Verkehrsteilnehmer ist gegeben. Manchmal wird die Kreuzung durch eine Lichtsignalanlage geregelt, wenn die Sichtbeziehungen nicht ausreichen. Derartige Situationen sind für das Abbiegen bei Rot nicht geeignet.
- An der Kreuzung (Knotenpunkt) sind konfliktfreie Verkehrsströme zu erwarten bzw. die Fahrlinien sind sozusagen „erwartbar".
- Es soll die Menge, das Verhalten und die Zusammensetzung des Verkehrs (Schwerverkehr, etc.) berücksichtigt werden.
- Vorhandene Radwege soll die Nutzung erleichtern.
- Querverbindungen für Fußgänger:innen oder verkehrsberuhigte Zonen sind zu berücksichtigen.

Unter folgenden Beispielen sind keine Probleme zu erwarten [12]:

- Einfahrt in einen separaten und baulich getrennten Radweg.
- Einfahrt in eine Fußgänger:innenzone, Begegnungszone oder verkehrsberuhigte Zone.
- Einfahrt in eine Busspur, welche für Radfahrer:innen geöffnet ist.
- Einfahrt in eine Einbahnstraße.
- Geradeausfahren an einer T-Kreuzung.

2.2.5 Niederlande

In den Niederlanden ist bereits seit 1990 ein rechtsabbiegen bei Rot ohne Anhalten möglich. Für Radfahrer:innen gelten die roten und gelben Lichtzeichen an einer lichtsignalgeregelten Kreuzung nicht, sofern an dieser Verkehrszeichen oder ein zusätzliches Signal „Rechtsaf voor (brom)fietsers vrij“ oder „Rechtsaf voor fietsers vrij“ angebracht ist (Abbildung 6) [9].

Abbildung 6: Zusätzliches Verkehrsschild für Radfahrer:innen an lichtsignalgeregelten Kreuzungen (Quelle: [45])



2.2.6 Schweiz

In Basel wurde innerhalb eines Forschungsprojektes zu langsamverkehrsfreundlichen Lichtsignalanlagen das Rechtsabbiegen bei Rot getestet (2015) [46]. An den 13 Standorten des Pilotversuchs entstanden nur wenige Konflikte und es ereigneten sich während der Versuchslaufzeit keine polizeilich registrierten Unfälle [47]. Das zur Anwendung gekommene Verkehrszeichen ist in Abbildung 7 dokumentiert. Es wurde bewusst ein gelbes Fahrradsymbol und ein gelber Pfeil auf schwarzem Grund gewählt, um den rechtsabbiegenden Radfahrenden die einzuhaltende Rücksicht gegenüber dem vortrittsberechtigten Verkehr zu verdeutlichen. Grüne Symbole würden laut den Autoren eher eine freie Fahrt suggerieren.

Abbildung 7: Signalisierung freies Rechtsabbiegen bei Rot für Radfahrer [48]



Damit eine Freigabe des Rechtsabbiegens für Radfahrer:innen auch bei Rot möglich ist, wurden entsprechende sicherheitstechnische Einsatzkriterien definiert [47, 48]:

- Die Fahrbahn auf welcher sich die Radfahrer:innen zum Rechtsabbiegen einordnen muss einen Radstreifen mit einer Breite von mindestens 1,5 m aufweisen.
- Der Radstreifen muss um mindestens 4 m gegenüber der MIV-Haltelinie (MIV: Motorisierter Individualverkehr) vorgezogen werden, sodass die Sicht auf die von links kommenden Verkehrsteilnehmer:innen gewährleistet ist.
- Es müssen Mindestsichtweiten zwischen den rechtsabbiegenden Radfahrer:innen und dem Fußgängerstreifen (Schutzweg) der Straße, in die eingebogen wird eingehalten werden. Diese ergeben sich als Funktion des Kreuzungsradius, der zugrunde gelegten Geschwindigkeit, möglicher Bremsverzögerung und einer Reaktionszeit von 1,5 s.
- Sind Straßenbahnschienen in der Straße, in die eingebogen wird, dann soll das Rechtsabbiegen bei Rot nicht erlaubt werden.
- Ein Radstreifen ist dann vorzusehen, wenn der MIV eine Frequenz von mehr als 3.000 Fahrzeugen pro Tag aufweist.
- Das Gefälle der beiden Straßen darf nicht größer als 4 % betragen.

Wenn die Einsatzkriterien erfüllt sind, kann das freie Rechtsabbiegen bei Rot (RABR) aus sicherheitstechnischer Sicht für Radfahrer:innen signalisiert werden. Trotzdem verlieren die Radfahrer:innen bei der Haltelinie den Vorrang gegenüber den in Konflikt (grün) stehenden Verkehrsteilnehmer:innen. In Zürich wurden in Vorbereitung auf diese Anpassung im Jahr 2020 alle Knoten mit Lichtsignalanlagen evaluiert und auf ihre RABR-Tauglichkeit geprüft [49]. Ein Monitoring 2021 ergab, dass es weder zu mehr Konflikten

noch zu mehr Trottoirfahrten kam, dafür jedoch der Verkehrsfluss verbessert wurde [50]. Folgende Erkenntnisse konnten noch gewonnen werden:

- Die Zahl der Konflikte blieb konstant tief. Es wurden insgesamt 34 Konflikte beobachtet (bei insgesamt 4.331 Abbiegevorgängen). 20 in der Vorerhebung, 2 in der ersten und 12 in der zweiten Erhebung nach Einführung der RABR Regelung. Bei vier Konflikten handelte es sich um schwere Konflikte, gemäß der in der Untersuchung festgelegten Definition. Die Definition von Konflikten wurde in der Studie nicht beschrieben.
- Rund ein Viertel der Radfahrer:innen hielt trotz RABR bei Rot an. Zwei Gründe dürften dafür verantwortlich gewesen sein: RABR war noch zu wenig bekannt und Radfahrer:innen stecken im Stau hinter Radfahrer:innen fest, die geradeaus die Kreuzung queren wollen. In einer zweiten Nachher Erhebung, knapp ein Jahr nach der Einführung von RABR, hielten nur noch 16 % trotz der RABR bei Rot an.
- Es konnte kein eindeutiger Spill-Over-Effekt festgestellt werden. (Spill-Over-Effekt: häufig auch Übertragungseffekt genannt, bezeichnen den Vorgang, bei dem ein Zustand einen anderen Zustand beeinflusst – es wird auch bei Kreuzungen ohne RABR bei Rot nach rechts abgebogen). Es konnte jedoch eine leichte Erhöhung von rechtsabbiegenden Radfahrer:innen an Kreuzungen ohne RABR im Vergleich zur Vorher-Erhebung festgestellt werden.
- RABR hat keinen Einfluss auf das Befahren des Trottoirs. Das Umfahren von Rotlichtern auf dem Trottoir steht vor allem in Zusammenhang mit den örtlichen Begebenheiten.

2.2.7 Österreich

Von Frey et al. [51] sollten in einer Pilotstudie an drei Kreuzungen in Linz in einer Vorher-Nachher-Erhebung Knotenströme, Wartezeiten und Konflikte evaluiert werden. Die Studie wurde jedoch abgebrochen, sodass keine Aussagen zur Wirkung des RABR vorliegen.

2.2.8 USA

Die Debatte darüber, ob das Anhalten für Radfahrer:innen gesetzlich verankert werden sollte, wird seit den frühen 1980er Jahren geführt, als Idaho das freie Rechtsabbiegen erstmals legalisierte. Bicycle Rolling Stop (BRS)-Gesetze beziehen sich auf Gesetze, die es Radfahrer:innen erlauben, Stoppschilder wie Vorfahrtsschilder zu behandeln. Viele Staaten haben Gesetze verabschiedet oder versucht, ähnliche Gesetze zu verabschieden,

die Radfahrer:innen unterschiedliche Handlungen als Reaktion auf Stoppschilder gestatten. Die Bundesstaaten Delaware, Arkansas und Teile von Colorado haben verschiedene Versionen des Idaho Stop eingeführt. Als Delaware den „Idaho Stop“ einführte, nannten sie ihn „Delaware Yield“. Idaho war 1982 der erste Staat, der ein solches Gesetz verabschiedete, das gemeinhin als „Idaho Stop Law“ [8] bekannt ist. Das Gesetz erlaubt es Radfahrer:innen, bei Stoppschildern Vorfahrt zu gewähren und weiterzufahren, wenn es sicher ist, anstatt zum vollständigen Stillstand zu kommen. Nachdem Idaho das Gesetz verabschiedet hatte, gingen die Verletzungen von Radfahrern bei Verkehrsunfällen im folgenden Jahr um 14,5 % zurück [52]. Im Jahr 2017 verabschiedete Delaware ein ähnliches, begrenztes Gesetz zum Anhalten und Ausweichen, das als „Delaware Yield“ bekannt ist. Die Verkehrsunfälle mit Radfahrern an Stoppschildkreuzungen gingen in den 30 Monaten nach Verabschiedung des Gesetzes um 23 % zurück, verglichen mit den 30 Monaten davor.

In vielen Bundesstaaten der USA ist mittlerweile ein Abbiegen nach rechts bei Rot erlaubt [53].

2.3 Zusammenfassung Rechtsabbiegen bei Rot

Die bisherigen Studien bezogen sich meist auf die Rotlichtmissachtung an Kreuzungen, ohne spezifisch auf die Rechtsabbiegeregelung näher einzugehen. Dementsprechend finden sich zu Rechtsabbiegen bei Rot auch deutlich weniger Studien. Die Bandbreite an Rotlichtmissachtungen liegt zwischen 6,9% [16] und 97,8 % [30], wobei hier auch die Infrastruktur eine wesentliche Rolle spielt. Jedenfalls sind Rotlichtmissachtungen deutlich männlich geprägt und Regelverstöße erfolgen häufiger von jüngeren Radfahrer:innen. Alleine ist man auch eher geneigt Regeln zu brechen als wenn mehrere Verkehrsteilnehmer:innen anwesend sind. Liegt ein hohes Verkehrsaufkommen vor, so ist die Rotlichtmissachtung unwahrscheinlicher. Die Studien haben gezeigt, dass ein Rotlichtmissachten beim Rechtsabbiegen deutlich häufiger erfolgt, als ein Queren einer Kreuzung. Ein Abbiegen nach rechts wird von den Radfahrer:innen vermutlich als weniger gefährlich erachtet, da man sich in weiterer Folge in dieselbe Richtung bewegt wie der Querverkehr.

Untersuchungen zur Rechtsabbiegen bei Rot Regelung konnten keine unmittelbare höhere Gefährdung der Verkehrsteilnehmer:innen feststellen [49]. Der Anteil an Konflikten blieb durch die Regelung nahezu unverändert. Es änderte sich jedoch das Verhalten der

Radfahrer:innen durch die Regelung „Rechtsabbiegen bei Rot“ [21]. Obwohl in Vorher-Nachher-Betrachtung bei den Rotlichtmissachtungen insgesamt keine wesentlichen Änderungen festgestellt wurden, konnte eine Änderung des Verhaltens beim Rechtsabbiegen beobachtet werden. Hier nahm der Anteil an Radfahrer:innen, welche nicht regelkonform abbogen (das heißt ohne anzuhalten) deutlich zu. Aber auch das regelkonforme Verhalten konnte durch die Regelung erhöht werden.

Der Anteil an Radfahrer:innen, der den Gehsteig als Ausweichroute benutzte und somit Fußgänger:innen gefährdete, wurde durch die Regelung deutlich reduziert. Einen unmittelbaren Zusammenhang mit der Rechtsabbiegen bei Rot Regelung und Befahren des Gehsteigs konnte von Hirzel et al. [49] nicht festgestellt werden. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Benutzung von Ausweichrouten mehr mit den örtlichen Gegebenheiten zusammenhängt.

Von Ceunycnk et al. [10] wurde ein sogenannter „Spill-over“ Effekt durch die Regelung festgestellt. Die Autoren fanden eine Zunahme an Regelverstößen an Kreuzungen, an welchen die Abbiegeregelung nicht galt. Dies konnte von Hirzel et al. [49] in ihrer Studie nicht bestätigt werden. In der Nachher Erhebung wurde eine geringfügige Zunahme an Rotlichtmissachtungen an Kreuzungen ohne diese Regelung beobachtet, jedoch war in einer zweiten Nachher Erhebung der Anteil deutlich unter den Wert der Vorher Erhebung gesunken [49].

3 Methodik

Die angewandte Methodik unterteilt sich in eine empirische Datenerhebung durch Befragungen, Unfalldatenanalyse der nationalen Statistik und Tiefenanalyse spezifischer Verkehrsunfälle sowie eine Verkehrsbeobachtung durch eine videobasierte und automatisierte Datenerhebung. Die abschließende Bewertung erfolgt auf Grund unterschiedlicher Metriken.

3.1 Empirische Datenerhebung durch Befragung

In der empirischen Forschung ist die Beobachtung eine zentrale Methode zur Datenerhebung. Diese erfolgte durch Fokusgruppeninterviews und einer auf den Ergebnissen der Interviews aufbauenden standardisierten Online-Befragung.

3.1.1 Fokusgruppeninterviews

Ein FGI (Fokusgruppeninterview) [54–57] ist eine Form der Gruppendiskussion, bei der in einem strukturierten Prozess vorgegebene Inhalte in moderierter Weise diskutiert werden. Die Anzahl der Teilnehmer:innen variiert dabei üblicherweise zwischen 5 bis 8 Personen [58], die auf Grund themenrelevanter Eigenschaften als Teilnehmer:innen in Frage kommen. Auf Grundlage eines Leitfadens führen Diskussionsleiter:innen die Teilnehmer:innen durch die zu erörternden Themen. Um ein möglichst breites Feld im Hinblick auf unterschiedliche Zielgruppen und entsprechend verschiedene Standpunkte abzudecken, werden häufig mehrere Fokusgruppeninterviews zu einem Themengebiet durchgeführt. Als Teil des qualitativen Instrumentariums dienen Fokusgruppeninterviews dazu verschiedene Aspekte, Bedürfnisse und Meinungen zu einem Themenbereich offen zu legen.

Ziel der Fokusgruppeninterviews im Projekt ist es, relevante Faktoren zu identifizieren, die das individuelle Fahrverhalten an Kreuzungen mit/ohne Möglichkeit des Abbiegens bei Rot für Radfahrende und damit die Verkehrssicherheit abbilden und beeinflussen.

Die Auswahl der Teilnehmer:innen erfolgt anhand der Zweckmäßigkeit für das Thema und folgt dem Prinzip des theoretischen Samplings, statistische Repräsentativität ist dabei kein

gültiges Kriterium in diesem qualitativen Datenerhebungsprozess, sondern eine Repräsentation verschiedener Ansichten und Meinungen [54]. In Fokusgruppen sollten sich die Teilnehmer:innen vorher möglichst nicht kennen, um auf Grund möglicherweise bestehender Gruppenstrukturen die Bereitschaft der freien Meinungsäußerung nicht zu beeinflussen [59]. Die Anzahl der Fokusgruppeninterviews richtet sich nach dem Prinzip der Sättigung [57, 60–62], d.h. nach einer gewissen Anzahl an Fokusgruppen werden keine neuen Erkenntnisse gewonnen. Die Ergebnisse, die in den Fokusgruppeninterviews zusammengefasst werden, dienen der Exploration des Themas. Anhand der Ergebnisse werden in weiterer Folge die Items für die standardisierten Befragungen entwickelt und Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit erarbeitet. Die Fokusgruppen wurden mit Tonband aufgezeichnet, transkribiert und anhand der Themenanalyse nach Froschauer & Lueger [63] ausgewertet. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Entwicklung eines anschließenden Online-Fragebogens.

Für die Fokusgruppeninterviews wurde ein Leitfaden erarbeitet, welcher sich in vier Abschnitte gliederte:

- Fragenblock 1: Motivation Radfahren
  - Hauptgründe für das Radfahren
  - Häufigkeit, Kilometerleistung, Fahrradtyp
  - Nutzung anderer Verkehrsmittel
- Fragenblock 2: Verkehrssicherheit
  - Spezifische Gefahrensituationen (z.B. Kreuzungen, Schienen, Sichtproblematik, Geschwindigkeit, Lkw, Dooring)
  - Verkehrsunfall
- Fragenblock 3: Kreuzungen/Infrastrukturbedingungen
  - spontane Assoziationen zu Kreuzungen
  - kritische Situationen an Kreuzungen
  - Sichtbedingungen (z.B. Zäune, Hecken, parkende Autos)
  - Verhalten an Kreuzungen von Radfahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen
- Fragenblock 4: Grünpfeilregelung
  - spontanen Assoziationen zum Begriff „Grünpfeil“
  - Kenntnis der Verkehrsregeln
  - Verhalten der Radfahrer:innen und Einhaltung der Verkehrsregeln
  - Schwierigkeiten und Gefahren durch die Grünpfeilregelung

Die Fragestellungen wurden in zwei Fokusgruppen erörtert. An der Diskussion nahmen jeweils sechs weibliche und männliche Teilnehmer:innen teil. Das durchschnittliche Alter der weiblichen Teilnehmerinnen war 33,4 Jahre (SA: 12,03; Spannweite von 24 bis 54) und der männlichen Teilnehmer 45,5 Jahre (SA: 14,5; Spannweite von 29 bis 66). Die meisten würden sich als Alltagsradfahrer:innen und als Freizeitradfahrer:innen bezeichnen. Die Fahrleistung beträgt bei den weiblichen Teilnehmerinnen zwischen 11 und 20 km und bei den männlichen Teilnehmern zwischen 21 und 50 km. Dabei benutzten fast alle Teilnehmer:innen das Fahrrad täglich bzw. mehrmals pro Woche.

Die Fokusgruppen dienten primär der Entwicklung des Fragebogens.

3.1.2 Online-Befragung

Die Online Befragung [64, 65] zielte darauf ab, die in den FGIs identifizierten Faktoren zur Grünpfeilregelung hinsichtlich ihrer Verteilung abzufragen und ein Meinungsbild der radfahrenden Bevölkerung zu bekommen. Die Grundlage der Online Befragung bildeten die Ergebnisse der FGIs. Es wurde ein standardisierter Fragebogen zur Befragung von Radfahrer:innen entwickelt, welcher Aufschluss über die Akzeptanz „Rechtsabbiegen bei Rot für Radfahrer:innen“ - „Grünpfeil für Radfahrer:innen“, Verkehrssicherheit, Problematiken, etc. geben soll. Die Fragebögen wurden ausführlichen Pre-Tests unterzogen und mehrmals überarbeitet. Sie standen über die LimeSurvey Umfrageplattform der TU Graz zur Verfügung.

Der Fragebogen wurde in die folgenden vier Themenblöcke gegliedert:

- Allgemeine Fragen
  - Was motiviert Sie zum Radfahren?
  - Zu welchem Zweck und wie häufig benutzen Sie das Fahrrad?
  - Wie viele km pro Tag fahren Sie im Durchschnitt mit dem Rad?
  - Wie sicher bzw. unsicher fühlen Sie sich im Großen und Ganzen beim Radfahren im Straßenverkehr?
  - In wie weit stimmen Sie persönlich folgenden Aussagen zu: Es ist für mich unangenehm, wenn.
  - Hatten Sie in den letzten fünf Jahren einen Unfall/Sturz mit dem Fahrrad? Mehrfachnennungen möglich
  - Wurden Sie bei einem der Unfälle verletzt? Bitte den, Ihrer Meinung nach, schwersten Verletzungsgrad angeben.

  - Welche persönliche Schutzausrüstung benutzen Sie beim Fahrradfahren?
- Fragen zu Verhalten an Kreuzungen
  - In wie weit stimmen Sie persönlich folgenden Aussagen zu?
  - Unter welchen Umständen ignorieren Sie rote Ampeln, wenn Sie mit dem Fahrrad unterwegs sind?
  - Wie häufig beobachten Sie, dass andere Radfahrer:innen eine rote Ampel an einer Kreuzung missachten?
  - Wenn ich mit meinem Fahrrad eine rote Ampel missachte, dann führt das …
- Fragen zur Grünpfeilregelung
  - Wie informieren Sie sich über Neuerungen in der Straßenverkehrsordnung?
  - Mit der 33. StVO-Novelle wurde die sogenannte Grünpfeilregelung in Österreich eingeführt. Sind Sie darüber informiert?
  - Welche der folgenden Aussagen treffen Ihrer Meinung nach, auf Kreuzungen mit einer Grünpfeilregelung, zu?
  - Wie sicher fühlen Sie sich/würden Sie sich fühlen, beim Rechtsabbiegen bei Rot, durch die Grünpfeilregelung?
  - Was kann man sich von der Grünpfeilregelung erwarten? Welche der folgenden Aussagen treffen Ihrer Meinung nach zu?
  - Einige Regelvorschläge: Wie ist Ihre Meinung zu folgenden Aussagen?
  - Erklärung Grünpfeilregelung.
- Demographische Fragen
  - Mit welcher Art von Fahrrad sind Sie vorwiegend unterwegs?
  - Welchen Fahrradtyp fahren Sie?
  - Geschlecht
  - Bitte geben Sie Ihr Alter an.
  - Was beschreibt die Gegend, in der Sie leben, am besten?
  - Welche Verkehrsmittel verwenden Sie im Alltag und wie häufig?
  - Bitte geben Sie uns noch Ihre Postleitzahl bekannt.

3.2 Unfalldatenanalyse

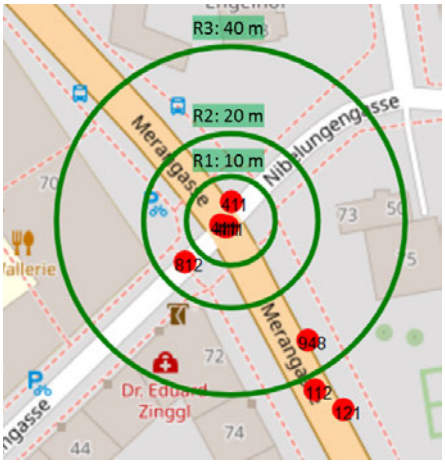
Die Unfallanalyse erfolgt auf Grund von zwei Arten. Einerseits werden die Verkehrsunfälle aus dem UDM (Unfalldatenmanagement) [66] explorativ auf einem makroskopischen Level ausgewertet. Andererseits erfolgt eine Tiefenanalyse von Fahrradunfällen an Kreuzungen. Eine Tiefenanalyse liefert eine weitaus größere Datentiefe als es bei makroskopischen Daten des UDM der Fall ist. Die Tiefenanalyse berücksichtigt eine Unfallrekonstruktion und Vermeidbarkeitsanalyse. Für die Tiefenanalyse wurden Verkehrsunfälle der Unfalldatenbank CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) [67] ausgewertet.

3.2.1 Explorative makroskopische Datenanalyse des UDM

Die makroskopische Unfalldatenauswertung erfolgt auf Grund der Unfalldaten im UDM. Ab dem Unfalljahr 2024 wurde das Kennzeichen „Erlaubtes Abbiegen bei Rotlicht“ in die Unfalldatensammlung aufgenommen. Eine Auswertung ergab, dass nur bei drei Verkehrsunfällen dieses Merkmal aufgezeichnet wurde. Eine Auswertung liefert daher keine Erkenntnisse zu Unfällen von Radfahrer:innen beim Abbiegen bei Rot. Demzufolge wurden Kreuzungsrelationen, an welchen bereits das Abbiegen bei Rot ermöglicht wurde, bei Städten mit einer Einwohnerzahl von mehr als 20.000, erhoben. Die Daten wurden mit den Kreuzungsstandorten abgeglichen, welche von der Radlobby Österreich zur Verfügung gestellt wurden.

Da jeder einzelne Verkehrsunfall im UDM verortet ist, können die UDM Daten mit den Kreuzungsrelationen, an welchen ein Grünpfeil verordnet wurde, verschnitten werden. Dadurch lassen sich Unfälle, welche sich in unmittelbarer Nähe von Grünpfeilkreuzungen ereigneten, identifizieren. Insgesamt konnten 696 Kreuzungsrelationen mit den Unfalldaten des UDM verschnitten werden, wobei ein maximaler Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation berücksichtigt wurde. Weiters wurden die Unfälle in einem Umkreis von 10 m und 20 m identifiziert um dadurch Unfälle in mehr oder weniger unmittelbarer Nähe um die Grünpfeilrelation auswerten zu können. In Abbildung 8 ist dazu ein exemplarisches Beispiel dargestellt. Darin sind die an dieser Kreuzung polizeilich erhobene Unfälle gekennzeichnet und die zuvor genannten Radien eingezeichnet.

Abbildung 8: Exemplarisches Beispiel einer Kreuzung mit Grünpfeilregelung und gekennzeichnete Unfälle unter Berücksichtigung unterschiedlicher Entfernungen der Verkehrsunfälle zur Kreuzung.



Für den Vergleich der Unfallsystematiken zwischen Grünpfeilkreuzungen und Kreuzungen ohne Grünpfeil, werden die Unfälle vor und nach Verordnung eines Grünpfeils herangezogen. Der Vorher-Vergleichszeitraum betrifft den Zeitraum bis zur Verordnung bzw. Kundmachung. Der Nachher-Vergleichszeitraum mit dem Tag nach der Verordnung bzw. Kundmachung.

Als weiteres Filterkriterium zur Bewertung der Auswirkungen des Grünpfeils auf die Unfallsystematik wurde der Ampelstatus berücksichtigt, d.h. es wurden nur jene Unfälle in die Auswertung miteinbezogen, in welchen im UDM die Ampel als „im Vollbetrieb“ codiert wurde.

3.2.2 Potenzielle Hauptunfalltypen im Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung

Auf Grund der Unfalltypenkategorisierung im UDM wurden potentielle Unfalltypen identifiziert, welche mit der Grünpfeilregelung in Zusammenhang gebracht werden könnten (Tabelle 3). Diese sind als primäre, sekundäre und tertiäre Unfalltypen zusammengefasst.

Als primärer Unfalltyp wäre der Unfalltyp 611 zu sehen, in welchem die Radfahrer:innen nach rechts abbiegen und es mit dem Querverkehr zu Konflikten kommen kann. Ein weiterer Unfalltyp wäre der Unfalltyp 612. Dieser würde bei T-Kreuzungen auftreten, an welchen die Radfahrer:innen geradeaus fahren und der Verkehr von links kommt und

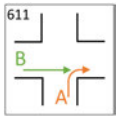
anschließend in die gleiche Richtung wie die Radfahrer:innen fahren. Bei Fußgänger:innen wären die Unfalltypen 811, 812, 813 und 814 mit dem höchsten Potential an Konflikten und Unfällen. Im Unfalltyp 811 queren, aus Sicht der Radfahrer:innen, die Fußgänger:innen vor der Kreuzung von rechts nach links die Fahrbahn. Das kann sowohl beim Rechtsabbiegen der Radfahrer:innen der Fall sein, als auch auf T-Kreuzungen, wo die Radfahrer:innen geradeaus fahren. Der Unfalltyp 812 würde sich auf T-Kreuzungen ereignen, wo die Radfahrer:innen geradeaus fahren und die Fußgänger:innen nach der Kreuzung von rechts nach links die Fahrbahn queren. Der Unfalltyp 813 entspricht der gleichen Logik wie der Unfalltyp 811, jedoch queren die Fußgänger:innen von links nach rechts die Fahrbahn. Das gleiche gilt für den Unfalltyp 814, welcher dem Unfalltyp 812 entspricht. Auch hier queren die Fußgänger:innen von links nach rechts die Fahrbahn.

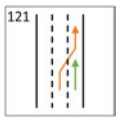
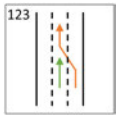
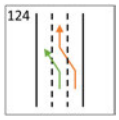
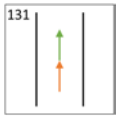
Die sekundären Unfalltypen umfassen die Unfalltypen 621, 631 und 633. Diese könnten theoretisch auch in Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung gebracht werden. Beim Unfalltyp 621 würden die Radfahrer:innen nach rechts abbiegen und soweit in den Gegenverkehrsbereich eindringen, dass es zu einer Kollision mit dem von rechts kommenden Verkehr kommt. Im Unfalltyp 631 würden die Radfahrer:innen ebenfalls nach rechts abbiegen. Der aus ihrer Sicht von rechts kommende Verkehr würde auch nach rechts abbiegen. Für diesen Unfalltyp wäre auch ein deutliches Eindringen der Radfahrer:innen in den Gegenverkehrsbereich notwendig, um eine Kollision herbeizuführen. Abschließend wäre im Unfalltyp 633 eine Kollision möglich, in dem die Radfahrer:innen nach rechts abbiegen und der von rechts kommende Verkehr nach links abbiegt. Jedoch müssten beide eine Fahrlinie wählen welche eine Kollision ermöglichen. Entweder die Radfahrer:innen dringen in den Gegenverkehrsbereich ein, oder aber die anderen Verkehrsteilnehmer:innen wählen eine sehr schneidende Fahrlinie.

Die tertiären Unfalltypen ereignen sich nicht unmittelbar im Kreuzungsbereich, sondern würden bereits im Auslauf der Kreuzung auftreten. Im Unfalltyp 121 würde sich der Verkehr auf dem zweiten Fahrstreifen befinden und einen Spurwechsel auf den ersten Fahrstreifen vollziehen. Da nicht unmittelbar hervorgeht, dass Radfahrer:innen auch bei Rot abbiegen dürfen, würde sich eine potentielle Kollisionsstelle erst nach der Kreuzung befinden. Dasselbe gilt für den Unfalltyp 122. Hier würde es durch einen verursachten Spurwechsel zu einem Abkommen von der Fahrbahn kommen. Im Unfalltyp 123 ist angenommen, dass die Radfahrer:innen nach dem Abbiegen bei Rot einen Spurwechsel von der ersten auf die zweite Spur vollführen. Der Querverkehr rechnet nicht notwendigerweise damit, da das Lichtsignal für die Radfahrer:innen auf „rot“ steht. Es kommt zu einer Auffahrsituation. Eine ähnliche Situation wird für den Unfalltyp 124

überlegt. Wobei es zu einem Abkommen nach rechts durch den Querverkehrt kommt. Bei den Unfalltypen 131, 132 und 133 würde es zu Auffahrunfällen auf der Geraden, in einer Rechtskurve oder Linkskurve kommen. Weitere potenzielle Unfalltypen, welche durch die Grünpfeilregelung in Zusammenhang stehen könnten, wäre der Unfalltyp 181 und 951. Im Unfalltyp 181 kommt es zu Kollisionen beim Einordnen in den Verkehr von rechts und beim Unfalltyp 951 fahren Radfahrer:innen von der rechten Fahrbahnseite auf den erster Fahrstreifen . Diese beiden Unfalltypen könnten durch das Abkürzen über den Gehsteig auftreten. Diese Unfalltypen sollten durch die Grünpfeilregelung zurückgehen. Der Unfalltyp 312 sollte durch die Grünpfeilregelung ebenfalls eine geringere Häufigkeit aufweisen, da die Radfahrer:innen bei Rot nach rechts abbiegen und der geradeaus Verkehr stehen bleiben muss. Dadurch würde sich die Anzahl an Radfahrer:innen im Toten Winkel reduzieren und somit sollten sich auch weniger Unfälle in diesem Unfalltyp ereignen.

Tabelle 3: Potenzielle Unfalltypen bei Kreuzungsrelationen mit Grünpfeilregelung

Unfalltypen	Unfalltyp - Piktogramm	Unfalltyp Nummer	Beschreibung des Unfalltyps	Kreuzungstyp
primär		611	Kollision beim Fahren in gleiche Zielrichtung - mit Rechtsabbieger	+
		612	Kollision beim Fahren in gleiche Zielrichtung - mit Linksabbieger	T
		811	Fahrzeug biegt nicht ab - vor Querstraße, Fußgänger: innen von rechts	+, T
		812	Fahrzeug biegt nicht ab - nach Querstraße, Fußgänger: innen von rechts	T
		813	Fahrzeug biegt nicht ab - vor Querstraße, Fußgänger: innen von links	+, T
		814	Fahrzeug biegt nicht ab - nach Querstraße, Fußgänger:innen von links	T

Unfalltypen	Unfalltyp - Piktogramm	Unfalltyp Nummer	Beschreibung des Unfalltyps	Kreuzungstyp
sekundär		621	Kollision beim Entgegenkommen - Rechtsabbieger mit entgegenkommendem Fahrzeug	T
		631	Kollision beim Abbiegen - rechtsabbiegende Fahrzeuge	+
		633	Kollision beim Abbiegen - Rechtsabbieger mit Linksabbieger	+
tertiär		121	Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision - nach rechts	+, T
		122	Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision - nach rechts mit Abkommen rechts	+, T
		123	Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision - nach links	+, T
		124	Wechseln des Fahrstreifens mit und ohne Kollision - nach links mit Abkommen links	+, T
		131	Auffahren auf fahrendes Fahrzeug - auf der Geraden	+, T
		132	Auffahren auf fahrendes Fahrzeug - in Rechtskurve	+, T
		133	Auffahren auf fahrendes Fahrzeug - in Linkskurve	+, T
		181	Kollision durch Einordnen - von rechts	+
		312	Unfälle beim Abbiegen oder Umkehren - Rechtsabbieger mit Geradeausfahrendem	+

Unfalltypen	Unfalltyp - Piktogramm	Unfalltyp Nummer	Beschreibung des Unfalltyps	Kreuzungstyp
		951	Radfahrer:innen - Kollision mit querenden Radfahrer:innen	+

3.2.3 Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen

3.2.3.1 Unfallrekonstruktion und Vermeidbarkeitsanalyse

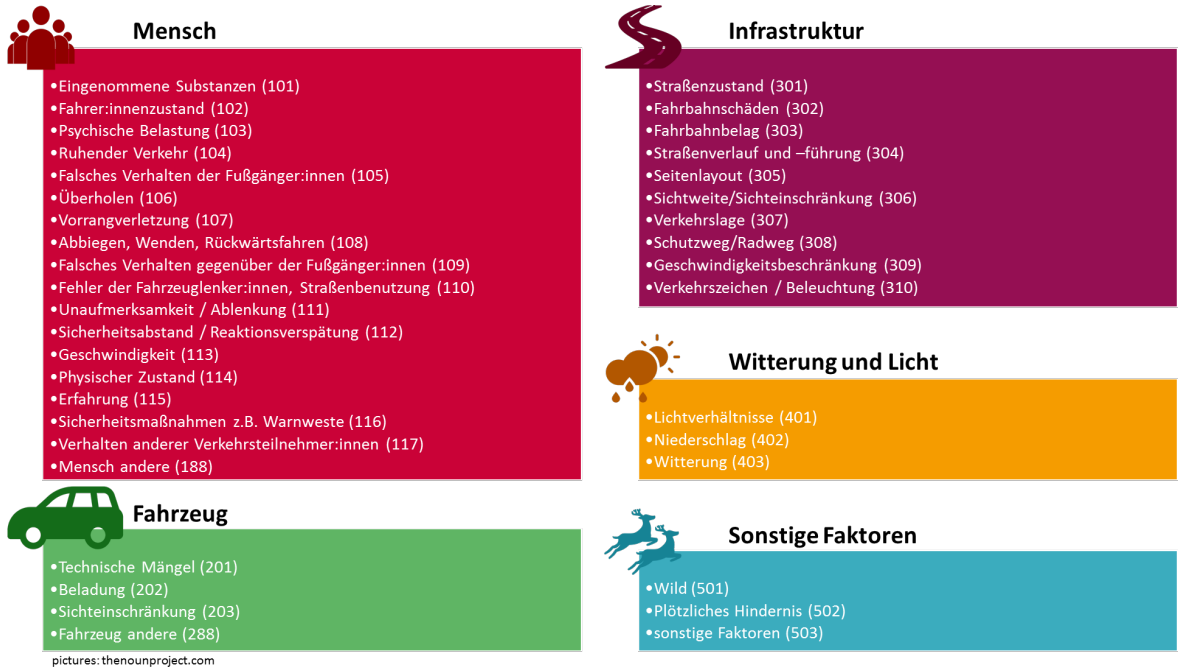
Eine detaillierte Analyse von Verkehrsunfällen mit Bewertung von unfallbegünstigender und unfallkausaler Ursachen erfolgt in der Unfallrekonstruktion. Hierzu werden die Verkehrsunfälle unfalltechnisch rekonstruiert, sodass z.B. Ausgangsgeschwindigkeit, Reaktionszeit, Kollisionsgeschwindigkeit, Fahrlinien etc. bewertet werden können. Hinzu kommen alle Faktoren, die einen Unfall begünstigen können (z.B. Straßenzustand, Witterungsverhältnisse, Sichtbedingungen etc.). Es werden die Phasen des Unfallablaufs räumlich und zeitlich berechnet [68, 69]. Grundlagen einer Rekonstruktion bilden Unterlagen zu Beschädigungsmuster der Fahrzeuge, Fahr- bzw. Bremsspuren, Straßenverhältnisse, Infrastrukturdaten, Zeugenaussagen etc. [70]. Rekonstruiert werden die Verkehrsunfälle mit der Simulationssoftware PC-Crash [71], welche von Unfallsachverständigen und in der Unfallforschung verwendet wird. PC-Crash wurde in unterschiedlichen Untersuchungen validiert [72–74].

3.2.3.2 Bewertung unfallbegünstigender und unfallkausaler Faktoren

Im Allgemeinen löst nicht ein einzelner Faktor einen Unfall aus, sondern es ist eine Verkettung von mehreren Faktoren, welche schließlich zu einer Kollision führen [75]. Es werden jedem Beteiligten unfallbegünstigende Faktoren (auch als unfallbeitragende Faktoren bezeichnet [76]) zugeordnet und aus diesen wird der unfallkausale Faktor (in der Literatur auch als kritisches Ereignis bezeichnet [75]) ermittelt. In der CEDATU können rd. 190 Faktoren klassifiziert und nach Mensch, Fahrzeug, Infrastruktur sowie Licht- und Wetterbedingungen unterschieden werden (Abbildung 9). Die Unfallfaktoren sind in Haupt- und Untergruppen gegliedert, welche noch in eine weitere Ebene unterteilt sind. In Abbildung 9 sind die Haupt- und Untergruppen dargestellt. Ähnliche Unterteilungen finden sich auch in der Literatur z.B. [77], [78]. Die vollständige Liste mit den

Untergruppen (Untergruppen ID: UGID) ist im Anhang C: Unfallbegünstigende und unfallkausale Faktoren zusammengefasst.

Abbildung 9: Struktur der Unfallfaktoren in der CEDATU



3.2.3.3 Stichprobe Fahrradunfälle an Kreuzungen

Zur vertiefenden Bewertung von Unfallfaktoren wurden die Verkehrsunfälle in der CEDATU ausgewertet. Die CEDATU wurde an der TU Graz am Institut für Fahrzeugsicherheit entwickelt [67, 79]. Derzeit sind etwa 5.900 Verkehrsunfälle zur Analyse vorliegend. Der Datensatz wird jährlich vergrößert. Der wesentliche Unterschied der CEDATU zum UDM besteht in der vollständigen Unfallrekonstruktion der Verkehrsunfälle. Dadurch stehen Unfallparameter wie beispielsweise Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit der Beteiligten, Fahrlinie, Reaktionspunkt, Zeit-Weg-Geschwindigkeitszusammenhänge etc. für die weitere Auswertung zur Verfügung. Es sind Daten zu den Beteiligten, Fahrzeugen und der Infrastruktur vorliegend, sowie die Bewertung von unfallbegünstigenden und unfallkausalen Faktoren.

Für die Tiefenanalyse wurden folgende Filterkriterien angewandt:

- Unfälle an Kreuzungen mit maximal zwei Verkehrsteilnehmer:innen, d.h. ein Radfahrer oder Radfahrerin und ein Unfallgegner (Pkw, Lkw, Fußgänger:in, Radfahrer:in etc.) (Tabelle 4).
- Die Auswahl der Kreuzungen mit einem verordneten Grünpfeil erfolgte aus dem Datensatz der Radlobby Österreich.

Tabelle 4: Stichprobe zur Tiefenanalyse von Unfällen mit Radfahrer:innen auf Kreuzungen (inkl. Unfällen mit Fußgänger:innen) im Ortsgebiet und zwei Verkehrsteilnehmer:innen

Verletzungsgrad	Kreuzung mit Grünpfeil		Kreuzungsunfall ohne Grünpfeil	Gesamt
	Entfernung der Unfallstelle 20 m	Entfernung der Unfallstelle 20-40 m		
Leicht verletzt	17	38	29	85
Schwer verletzt	4	9	47	60
Getötet	0	0	32	32
Gesamt	21	47	108	177

In Tabelle 5 ist die Anzahl der jeweiligen Verkehrsteilnehmer:innen in Unfällen mit Radfahrer:innen der verfügbaren Stichprobe zusammengefasst. Insgesamt waren es 125 Unfälle und 250 Verkehrsteilnehmer:innen. In einem Unfall kam es zu einer Kollision zwischen zwei Radfahrer:innen. 97 Unfälle waren mit Pkw. Dieser stellt die häufigste Unfallgegner:in dar. Weiters waren 11 Unfälle mit Lkw bis 3,5t bzw. sieben Unfälle mit Lkw über 3,5t und sieben Unfälle Fußgänger:innen in der Stichprobe.

Tabelle 5: Verkehrsteilnehmer:innen in Unfällen mit Radfahrer:innen auf Kreuzungen (inkl. Unfällen mit Fußgänger:innen) im Ortsgebiet

Verkehrsteilnehmer:innen	Kreuzung mit Grünpfeil		Kreuzungsunfall ohne Grünpfeil	Gesamt
	Entfernung der Unfallstelle 20 m	Entfernung der Unfallstelle 20-40 m		
Fahrrad	15	35	76	126
Fußgänger:innen	2	5	0	7
Lkw bis 3,5t	0	4	7	11
Lkw über 3,5t	0	2	5	7
Moped	0	0	1	1
Motorrad	0	1	0	1
Pkw	13	23	61	97
Gesamt	30	70	150	250

3.3 Verkehrsbeobachtung

Traditionell wird die Straßenverkehrssicherheit anhand der Zahl der Unfälle oder Verletzungen im Straßenverkehr beschrieben. Solche Indikatoren haben zwar den direktesten Bezug zu dem untersuchten Thema, weisen aber eine Reihe von Einschränkungen auf. Daher besteht ein Interesse daran, andere, indirekte Maße (Kritikalitätsmetriken) zur Bewertung der Verkehrssicherheit zu verwenden. Durch die Automatisierung der Datenerhebung gewann die Verkehrsbeobachtung in den letzten Jahren wieder zunehmend an Bedeutung.

3.3.1 Auswahl relevanter Grünpfeilkreuzungen

Die Auswahl relevanter Grünpfeilkreuzungen erfolgte auf Vorschlag der teilnehmenden Gemeinden gemäß den Einsatzkriterien des RVS-Arbeitspapiers Nr. 36 [1] und auf Grund der folgender Charakteristiken:

- Kreuzungstyp und Regelung
- Fahrtrichtung von/nach
- Geschwindigkeitsbeschränkung
- Winkel der Kreuzungsarme

- Unfalldaten
- Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen
- Sichtbehinderungen

In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die Charakteristiken der 12 untersuchten Kreuzungen mit Grünpfeil-Regelung zusammengefasst und in Anhang A sind weitere Informationen zu den Kreuzungen angegeben. Drei der Kreuzungen waren als T-Kreuzungen ausgeführt. An einer davon galt allerdings trotzdem nur das Abbiegen nach rechts. Eine Kreuzung wurde als Langzeiterhebung konzipiert.

Tabelle 6: Untersuchte Kreuzungen

Nr.	Ort	Von (Zufahrt)	Nach (Ausfahrt)	GPS Lat	GPS Lon
1	Graz	Merangasse	Nibelungengasse	47,0705871	15,4581524
2	Graz	St. Peter Hauptstraße	Hubertusstraße	47,0506184	15,4791479
3	Hohenems	Bahnhofstraße	Kaiser Franz Josef Straße	47,3613043	9,6873285
4	Innsbruck	Andechsstraße	Gumppstraße	47,2675862	11,4219122
5	Linz	Lissagasse	Makartstraße	48,2883056	14,3021133
6	Linz	Droutstraße	Gürtelstraße	48,2869914	14,3039438
7	Wien	Margaretenstraße	Schleifmühlgasse	48,1969648	16,3656304
8	Wien	Simmeringer Hauptstraße	Simmeringer Hauptstraße	48,173003	16,4176975
9	Mödling	Enzersdorfer Straße	Enzersdorfer Straße	48,0867008	16,2840476
10	Mödling	Fürstenstraße	Enzersdorfer Straße	48,0890364	16,2834889
11	Mödling	B11 Hauptstr.	B11 Hauptstr	48,0858676	16,2859641
12	Mödling	Jakob Thoma-Str.	B11 Hauptstraße	48,0863737	16,2910335

Tabelle 7: Charakteristik der untersuchten Kreuzungen mit Grünpfeil-Regelung

Nr.	Kreuzungstyp und Regelung	Fahrtrichtung und Geschwindigkeit		Konflikte	Sichtbeeinträchtigung
		Von (Zufahrt)	Nach (Ausfahrt)		
1	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 50 km/h	• Fahrbahn • 30 km/h	• Motorisierter Verkehr • Radfahrer:innen • Fußgänger:innen	• Gebäude • parkende Fahrzeuge • Baum
2	• T-Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 50 km/h	• Fahrbahn • 30 km/h	• Fußgänger:innen	• keine
3	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Fahrbahn • 50 km/h	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 50 km/h	• Radfahrer:innen • Fußgänger:innen	• Gebäude
4	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 50 km/h	• Radfahrstreifen (baulich getrennt)	• Radfahrer:innen • Fußgänger:innen	• keine
5	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Fahrbahn • 30 km/h	• Radfahrstreifen (baulich getrennt) • 50 km/h	• Fußgänger:innen • Radfahrer:innen	• Baum • Gebüsch • parkende Fahrzeuge
6	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Fahrbahn30 km/h	• Radfahrstreifen (baulich getrennt) • 50 km/h	• Fußgänger:innen • Radfahrer:innen	• Baum • Hecke • Gebüsch • Gebäude
7	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Radweg (baulich getrennt) • 50 km/h	• Fahrbahn • 30 km/h	• Fußgänger:innen	• Gebäude • parkende Fahrzeuge
8	• T-Kreuzung • geradeaus fahren	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 50 km/h	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 50 km/h	• Fußgänger:innen	• Gebäude • parkende Fahrzeuge
9	• T-Kreuzung • geradeaus fahren	• Fahrbahn • 40 km/h	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 40 km/h	• Radfahrer:innen • Fußgänger:innen	• keine
10	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Fahrbahn • 30 km/h	• Fahrbahn • 40 km/h	• Motorisierter Verkehr • Radfahrer:innen • Fußgänger:innen	• Hecke • Baum

Nr.	Kreuzungstyp und Regelung	Fahrtrichtung und Geschwindigkeit		Konflikte	Sichtbeeinträchtigung
		Von (Zufahrt)	Nach (Ausfahrt)		
11	• T-Kreuzung • geradeaus fahren	• Fahrbahn • 40 km/h	• Fahrbahn • 40 km/h	• Motorisierter Verkehr	• Gebäude
12	• Kreuzung • abbiegen nach rechts	• Fahrbahn • 30 km/h	• Radfahrstreifen (Bodenmarkierung) • 40 km/h	• Fußgänger:innen • Radfahrer:innen	• Gebäude • parkende Fahrzeuge • Baum

3.3.2 Erhebungszeitraum

Eine Kreuzung wurde als Langzeitstudie konzipiert, sodass in der Vorher-Erhebung an 69 Tagen Daten erhoben wurden und in der Nachher-Erhebung 154 Tage (Abbildung 10 und Zahlenwerte in Tabelle 8). An den anderen Kreuzungen (außer Wien) wurde in der Vorher-Erhebung durchschnittlich an neun Tagen der Verkehr beobachtet und in der Nachher-Erhebung (inklusive Wien) an etwa achteinhalb Tagen. In Wien konnte allerdings keine Vorher-Erhebung stattfinden, sodass die Beobachtungen zweimal als Nachher-Erhebung vorliegen. Hierbei ermöglichen jedoch die unterschiedlichen Erhebungszeiträume eine zeitliche Entwicklung des Verhaltens der Radfahrer:innen. In Hohenems stellte sich im Nachhinein heraus, dass sich die vorgeschlagene Kreuzung nicht als Grünpfeil-Kreuzung eignet, sodass hier keine Nachher-Untersuchung erfolgte. Der gesamte Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Mai bis Jänner des darauffolgenden Jahres. Die Kameras zeichneten den ganzen Tag von 06:30 bis 20:30 auf.

Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Datenerhebung unterteilt in die Vorher- und Nachher-Erhebungsphasen mit Kennzeichnung der Kundmachung der neuen „Rechtsabbiegen bei Rot“ Verordnung

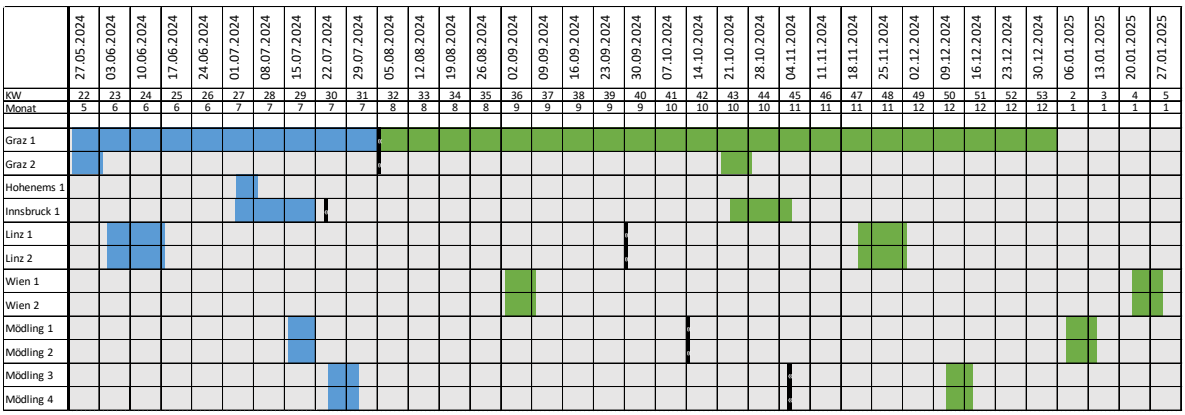


Tabelle 8: Erhebungszeiträume an den untersuchten Kreuzungen mit Grünpfeil-Regelung

Nr.	Standort	Vorher Erhebung	Nachher Erhebung	Zeitpunkt der Kundmachung vor der Nachher Erhebung
1	Graz 1	• 69 Tage • Mai-August	• 154 Tage • August-Jänner	0 Tage
2	Graz 2	• 7 Tage • Mai	• 7 Tage • Oktober	77 Tage
3	Hohenems	• 5 Tage • Juli	• keine	Keine Nachher-Erhebung
4	Innsbruck	• 18 Tage • Juli	• 14 Tage • Oktober	91 Tage
5	Linz 1	• 13 Tage • Juni	• 11 Tage • November	52 Tage
6	Linz 2	• 13 Tage • Juni	• 11 Tage • November	52 Tage
7	Wien 1	• keine	• 7 Tage • September und Jänner	unbekannt
8	Wien 2	• keine	• 7 Tage • September und Jänner	unbekannt
9	Mödling 1	• 6 Tage • Juli	• 7 Tage • Jänner	86 Tage
10	Mödling 2	• 6 Tage • Juli	• 7 Tage • Jänner	86 Tage
11	Mödling 3	• 7 Tage • Juli	• 7 Tage • Dezember	36 Tage
12	Mödling 4	• 7 Tage • Juli	• 7 Tage • Dezember	36 Tage

3.3.3 Automatisierte Datenerhebung

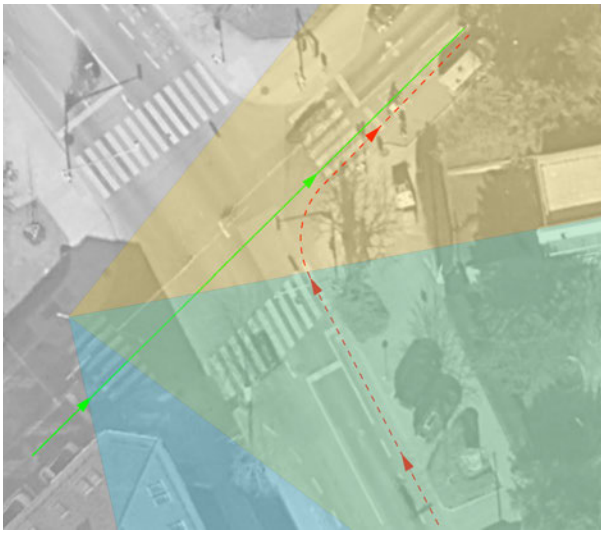
Um das Verhalten der Verkehrsteilnehmer:innen (Fußgänger:innen, Radfahrer:innen und Fahrzeuglenker:innen) objektiv beurteilen zu können, wurde eine automatisierte Lösung zur Datenerhebung umgesetzt. Dabei wurden Kamerasysteme an den ausgewählten Kreuzungen vorübergehend installiert, um aus deren Videodaten die Bewegungsmuster der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer:innen zu extrahieren. Diese Datenerhebung bildet die Datenbasis für die Vorher-Nachher-Analyse.

Das Kamerasystem für die gegenständliche Studie wurde analog zur Analyse von Bewegungsmustern im Kreuzungsbereich positioniert [80–82]. Die Kernkomponenten des Kamerasystems sind eine wetterfeste (Schutzklasse IP66) Dual-Objektiv-Kamera mit einer Auflösung von 1280x960 Bildpunkten, sowie eine Edge Computing Plattform zur Kamerasteuerung und Datenaufzeichnung. Um die Daten an mehreren Standorten im selben Zeitraum erheben zu können, wurden insgesamt drei Kamerasysteme umgesetzt. Ein System wurde für die Langzeit-Erhebung und zwei Systeme für die Erhebung an den weiteren Standorten eingesetzt.

Bei der Umsetzung der Kamerasysteme mussten die unterschiedlichen Standortvoraussetzungen berücksichtigt werden. Manuell verstellbare dreiachsige Dome-Halterungen für die Objektive erlauben die Anpassung der Sichtfelder an den jeweiligen Montageort, um eine möglichst gute Abdeckung des relevanten Kreuzungsbereichs zu erzielen. Zur Energieversorgung wurden zwei Varianten eingebaut, die sowohl den Betrieb mit 230V Wechselspannung (bei einer Frequenz von 50Hz) als auch mit 12V Gleichspannung ermöglichen. Für Standorte, an denen keine Anbindung an die lokale Stromversorgung möglich war, wurde eine Stromversorgungslösung mit Hilfe von prismatischen Zellen der als besonders sicher bekannten Lithium-Eisenphosphat (LiFePO4) Chemie umgesetzt. LiFePO4-Batterien zeichnen sich gegenüber den aktuell weit verbreiteten Lithium-Ionen-Batterien durch höhere Sicherheit, längere Lebensdauer und größere Zyklenfestigkeit aus. Die Batterielösung wurde in einem separaten wetterfesten Gehäuse integriert, das analog zu den Kamerasystemen an Masten der Lichtsignalanlagen befestigt werden kann. Basierend auf dem durchschnittlichen Energieverbrauch des Kamerasystems ist mit der Batterielösung eine Datenerhebung von mehreren Tagen möglich. Dadurch konnten sämtliche Integrationsvarianten an den Standorten abgedeckt werden.

In Abbildung 11 ist eine exemplarische Kreuzung dargestellt. Der gelbe und blaue Bereich kennzeichnet den Sichtbereich der Kameras, wobei es im grünen Bereich zu einer Überlappung der Sichtbereiche der beiden Kameras kommt. Gekennzeichnet sind für diese Kreuzung der Trajektorienverlauf der Radfahrer:innen (rot, strichlierte Linie) und des Querverkehrs (grün, durchgezogene Linie). Die rote Linie soll den Fall symbolisieren, dass für die Radfahrer:innen die Verkehrslichtsignalanlage vom Prinzip her rot anzeigen würde und der Querverkehr somit Vorrang hat.

Abbildung 11: Exemplarische Kameraausrichtung und Fahrtrajektorien an einer ausgewählten Kreuzung.



Um eine möglichst hohe Genauigkeit der extrahierten und anonymisierten Trajektorien zu ermöglichen, wurde die automatisierte Bildverarbeitung auf einem separaten Hochleistungsrechner der TU Graz durchgeführt. Eine lokale Verarbeitung in Echtzeit hätte im Gegensatz dazu, wegen der notwendigen Rechenkapazitäten, deutlich höhere Hardwarekosten und einen drastisch höheren Energieverbrauch verursacht, um dasselbe Genauigkeitslevel zu erreichen. Die Datenübertragung erfolgte bei den mobil eingesetzten Kamerasystemen durch Transfer des physischen Speichermediums nach der jeweiligen Demontage, während bei dem System zur Langzeit-Beobachtung eine gesicherte Übertragung (Ende-zu-Ende Verschlüsselung) innerhalb eines separaten Virtuellen Privaten Netzwerks (VPN) sichergestellt wurde.

Je nach zeitlicher Verfügbarkeit und Montagemöglichkeiten konnte der Verkehrsfluss an allen Standorten unterschiedlich lang beobachtet werden und erfolgte teilweise bis zu zwei Wochen. In Tabelle 9 ist die Anzahl an erhobenen Bilddaten an den einzelnen Standorten in der pre- und post-Erhebung zusammengefasst. Insgesamt wurden 231 Millionen Bildpaardaten gesammelt.

Tabelle 9: Übersicht über die zur Analyse erhobenen Bilddaten an den unterschiedlichen Standorten

Nr.	Standort	Anzahl Bildpaare	
		Pre-Erhebung	Post-Erhebung
1	**Graz 1**	36 987 030	85 567 011
2	**Graz 2**	4 166 056	4 143 176
3	**Hohenems**	2 304 215	0
4	**Innsbruck**	11 743 152	7 965 767
5	**Linz 1**	7 416 478	7 715 107
6	**Linz 2**	7 360 566	7 951 152
7	**Wien 1**	0	4 189 102
		0	4 135 981
8	**Wien 2**	0	4 254 210
		0	4 167 080
9	**Mödling 1**	3 481 895	4 152 794
10	**Mödling 2**	3 534 731	4 140 266
11	**Mödling 3**	4 215 524	3 756 914
12	**Mödling 4**	4 158 108	3 694 998
Gesamt		85 367 755	145 833 558

3.3.4 Bildbasierte Erkennung des Ampelstatus

Zur bildbasierten Extraktion des Ampelstatus wurde ein Algorithmus umgesetzt. Aufgrund der unterschiedlichen Sichtfelder und variierenden Lichtverhältnisse ist eine einfache farbbasierte Zuordnung nicht möglich, wie auch aus den unterschiedlichen Bilddaten in Abbildung 12 ersichtlich ist. Daher wurde ein Klassifikationsnetzwerk gelernt, um den Ampelstatus aus den jeweiligen Bilddaten zu bestimmen.

Für diesen Ansatz wurde zunächst die Position aller sichtbaren Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) in den Kamerasichtfeldern annotiert. Da es aufgrund der Montagemöglichkeiten an manchen Standorten zu kurzzeitigen Verdeckungen kommen kann, z.B. durch Lastkraftwagen oder Busse, wurde zunächst mittels Kreuzkorrelation zwischen dem jeweiligen Beispielbild der VLSA (dem Template) und dem aktuellen Kamerabild festgestellt, ob die VLSA im Bild sichtbar ist. Anschließend wurde der Bildbereich um das

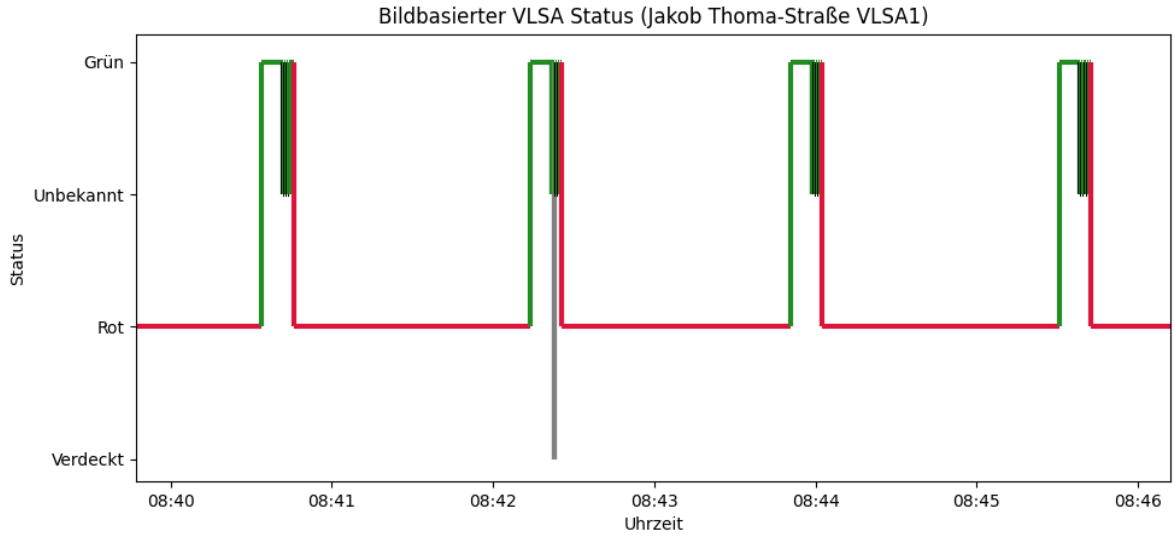
Lichtsignal ausgeschnitten und mit Hilfe eines neuronalen Netzwerks in die Zustände rot, grün und unbekannt klassifiziert.

Abbildung 12: Beispielbilder aus dem annotierten Datensatz zur Erkennung des Ampelstatus.



Als Klassifikationsnetzwerk wurde ein 5-schichtiges CNN (Convolutional Neural Network) verwendet, wobei das Eingabefeld zunächst durch 2 Convolutional Layer mit anschließendem Maximum Pooling und anschließend durch 3 Fully Connected Layer verarbeitet wird. Als nichtlineare Aktivierungsfunktion wurde, wie bei CNNs üblich, die Rectified Linear Unit (ReLU) [83] verwendet. Während des Trainings wurde zusätzlich zu geometrischen und radiometrischen Augmentierungen auch Dropout [84] verwendet, um die Generalisierungsfähigkeit des Modells zu verbessern. Um das Klassifikationsnetzwerk zu trainieren, wurde zunächst ein Datensatz von 29.300 Beispielbildern manuell annotiert und ein initialer Klassifikator trainiert. Anschließend wurden dieser Klassifikator auf weitere Bilddaten angewendet und die Ergebnisse manuell verifiziert. Der resultierende Datensatz, bestehend aus insgesamt 97.200 Beispielbildern, wurde anschließend zur endgültigen Anpassung des Klassifikationsnetzwerks verwendet. Dieser Klassifikator erreicht einen Präzisionswert von 0,997 auf einem separaten Testdatensatz über 16.000 manuell verifizierten Beispielen. Der Status der restlichen (nicht sichtbaren) Verkehrslichtsignale wurde nach Anwendung der bildbasierten Klassifikation anschließend über die Schaltpläne der jeweiligen Kreuzung abgeleitet.

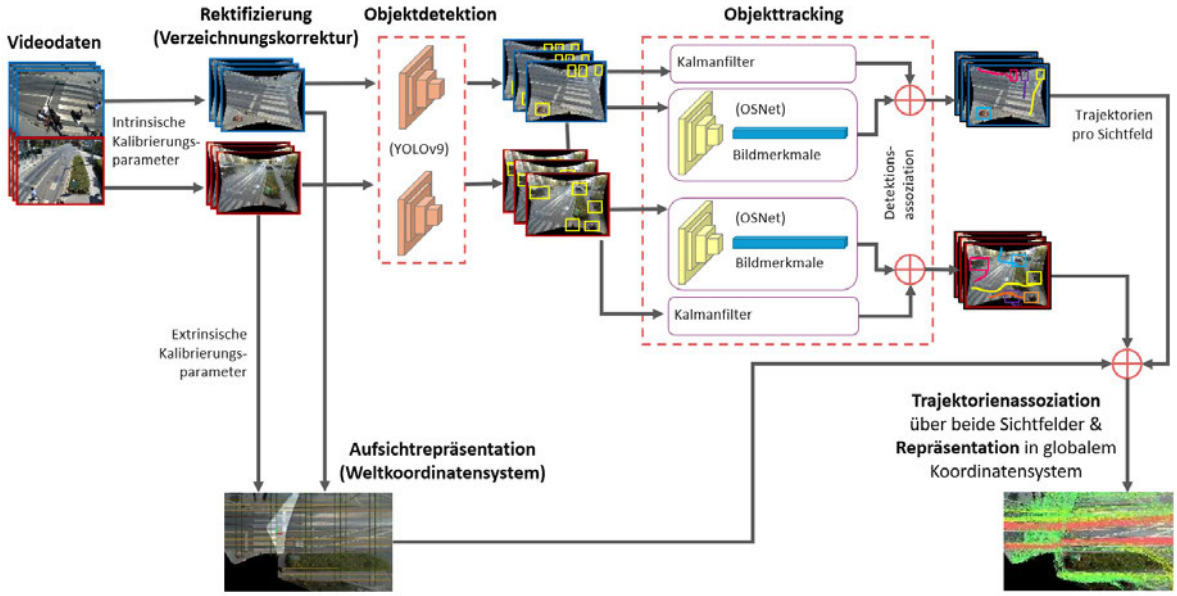
Abbildung 13: Beispielhafte Ausgabe der bildbasierten VLSA Statuserkennung. Der Verlauf zeigt die erkannten Ampelphasen einer VLSA für Fußgänger:innen.



3.3.5 Extraktion der Trajektoriendaten

Zur Extraktion der Trajektorien der Verkehrsteilnehmer:innen wurde ein sogenannter Multi-Object Tracking-by-Detection Ansatz verwendet. Dieser basiert auf Kirillova et al. [80] und Wojke et al. [85] und ist in Abbildung 14 schematisch dargestellt. Im Speziellen besteht dieser Ansatz aus einem mehrstufigen Prozess, wobei in einem ersten Schritt alle Instanzen der relevanten Objektkategorien (z.B. Fußgänger:innen, Radfahrer:innen, Fahrzeuge) in jedem Einzelbild separat detektiert werden. Anschließend werden alle Detektionsergebnisse aufeinanderfolgender Bildsequenzen miteinander verlinkt, um konsistente Objekttrajektorien zu erhalten.

Abbildung 14: Übersicht des eingesetzten Multi-Object Tracking-by-Detection Ansatzes zur bildbasierten Extraktion der im Weltkoordinatensystem verorteten Trajektorien.



Die Detektion der Objekte erfolgt mit einem Objektdetektionsmodell, konkret YOLOv9 [86]. Dieses Modell ist ein Convolutional Neural Network (CNN), welches auf die bildbasierte Detektion spezialisiert ist. Um die relevanten Objektklassen mit diesem Detektionsmodell in den Bilddaten lokalisieren zu können, wurde ein Datensatz mit Trainingsbeispielen erstellt. Dabei wurden Beispielbilder mit relevanten Objektklassen aus dem öffentlich verfügbaren MS-COCO Detektionsdatensatz [87], ergänzt mit bereits an der TU Graz erhobenen Datenbeständen [88, 89], verwendet. Der Datensatz der TU Graz beinhaltet Bildaufnahmen (über 17400 manuell annotierte Einzelbilder) mit ähnlichen Bildeigenschaften (ähnliche Montagehöhen, Kameraausrichtungen und Fokus auf Verkehrsteilnehmer:innen) und sind deshalb zum Training des Detektionsmodells gut geeignet. Die Validierung des Detektionsmodells wurde mit Hilfe eines separaten Testdatensatzes durchgeführt. Tabelle 10 zeigt die erzielten Detektionsergebnisse anhand der üblicherweise verwendeten Metriken, nämlich Precision (zu dt. Präzision), Recall (zu dt. Sensitivität oder Trefferquote) und den aggregierten mean Average Precision (mAP)-Metriken. Letztere werden mit unterschiedlichen Überlappungsgraden zwischen der vom Modell vorhergesagten Detektion und der manuell annotierten Objektinstanz berechnet, wobei mAP@50 die am weitesten verbreitete Metrik darstellt, die zweite mAP@50-95 allerdings besser geeignet ist, um die Güte der Lokalisierung zu bewerten (da diese Metrik Auswertungen unter höheren Überlappungsgraden verwendet).

Tabelle 10: Detektionsergebnisse auf separatem Testdatensatz, bestehend aus 1.021 manuell annotierten Einzelbildern, zur Validierung des eingesetzten Detektionsmodells.

Objektklasse	Objektanzahl	Precision	Recall	mAP@50	mAP@50-95
Fußgänger:in	1.845	0,979	0,959	0,982	0,865
Person mit Mobilitätshilfe	236	0,986	0,963	0,991	0,893
Radfahrer:in	288	0,984	0,971	0,985	0,806
Scooterfahrer:in	109	0,981	0,966	0,994	0,867
Motorradfahrer:in	42	0,945	1,000	0,991	0,843
Personenkraftwagen	3.130	0,988	0,977	0,994	0,961
Kastenwagen	363	0,983	0,972	0,990	0,948
Lastkraftwagen	102	0,990	0,971	0,993	0,921
Straßenbahn	79	0,940	0,987	0,993	0,934
Bus	265	0,987	1,000	0,994	0,978

Die Verlinkung der Detektionsergebnisse über mehrere Zeitschritte hinweg erfolgt zunächst pro Kamerasichtfeld mit Hilfe des Kuhn-Munkres-Algorithmus [90], da Tracking-by-Detection Ansätze als Zuordnungsprobleme auf bipartiten Graphen formuliert werden können. Hierbei ist es notwendig, die Güte der bipartiten Zuordnung von Einzelbilddetektionen zu Trajektorien zu bewerten, wobei eine Kombination von Bewegungsübereinstimmung und visueller Ähnlichkeit verwendet wird. Die Modellierung der Bewegung erfolgt für jede Trajektorie mit Hilfe eines Kalman Filters [91]. Zur Bewertung der Übereinstimmung wird die Distanz zwischen der Filtervorhersage einer Trajektorie und den Detektionsergebnissen verwendet. Die Bewertung der visuellen Übereinstimmung zwischen Trajektorie und Detektionsergebnis verwendet das OSNet Modell [92], das speziell zur Bildmerkmalsextraktion für konsistente Instanzzuordnungen (auch Re-Identification) geeignet ist, verwendet. Dieses Modell extrahiert Merkmalsvektoren, deren Übereinstimmung über die Kosinus-Ähnlichkeit (Maß des Winkels zwischen zwei Merkmalsvektoren) gemessen werden kann.

Anschließend werden die Trajektorien über beide Kamerasichtfelder miteinander verlinkt. Diese Assoziation basiert auf der zeitlichen und räumlichen Nähe der Trajektorien im überlappenden Bildbereich, gewichtet mit der visuellen Ähnlichkeit der Objektinstanzen, wobei wiederum die Merkmalsvektoren des OSNet Modells verwendet werden.

Abschließend erfolgt die Koordinatentransformation der Trajektorien in das globale WGS84 Referenzsystem.

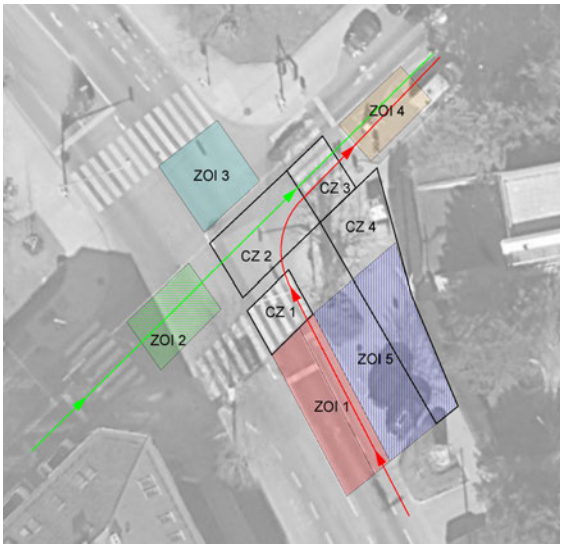
3.4 Fahrverhalten und Konflikte

Aus den extrahierten Trajektorien und dem Ampelstatus wird das Verhalten der Radfahrer:innen an den Kreuzungen analysiert. Dazu werden unterschiedliche Bereiche definiert, um die einzelnen Fahrsituationen klassifizieren zu können. Die Kombination mit dem Ampelstatus lässt den Rückschluss auf das ordnungsgemäße Verhalten, an einer mit Grünpfeil gekennzeichneten Kreuzung, zu.

3.4.1 Definition von Bereichen zur Bewertung des Verkehrsverhaltens

Zur Erkennung und Unterscheidung zwischen rechts abbiegenden Radfahrer:innen, geradeaus fahrenden Radfahrer:innen, Fußgänger:innen und motorisiertem Querverkehr wurden die Kreuzungen in unterschiedliche Bereiche unterteilt (ZOI: Zone Of Interest). Rechtsabbiegende Radfahrer:innen müssen zunächst die ZOI 1 und anschließend die ZOI 4 durchfahren (Abbildung 15). Geradeausfahrende Radfahrer:innen müssen hingegen die ZOI 1 und anschließend die ZOI 3 durchfahren. Verkehrsteilnehmer:innen, die durch die ZOI 2 fahren und dann die Kreuzung über die ZOI 4 verlassen, werden als Querverkehr klassifiziert. Fußgänger:innen werden vollständig in die Analyse einbezogen, ohne dass separate Interessensbereiche definiert wurden. ZOI 5 erfasst speziell Radfahrer:innen, die den Gehweg benutzen, um die Verkehrslichtsignalanlage (VLSA) zu umfahren und das Rotlicht umgehen.

Abbildung 15: Bereiche von besonderem Interesse und Konfliktzonen an einer ausgewählten Kreuzung (exemplarische Darstellung).



Die Abbildung zeigt auch die potenziellen Konfliktzonen (CZ: Conflict Zone) zwischen Radfahrer:innen und dem Querverkehr sowie zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen. In CZ1 besteht ein potenzieller Konflikt zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen, die von links oder rechts kommen. Ein Konflikt zwischen Radfahrer:innen und querendem Verkehr, d. h. mit motorisierten Fahrzeugen, liegt in CZ 2 vor. Weitere Konflikte zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen finden sich in CZ 3. Diese Konflikte treten auf, wenn die Verkehrslichtsignalanlage sowohl für die Radfahrer:innen als auch für die Fußgänger:innen Grünlicht anzeigt. Obwohl diese Kombination keinen Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung aufweist, lag dennoch ein Interesse am Konfliktverhalten in diesem Szenario. In der CZ 4 kann es zu Konflikten mit Fußgänger:innen kommen, sofern die Radfahrer:innen den Gehsteig als Ausweichroute benützen.

3.4.2 Bewertung des Verkehrsverhaltens

Zur Bewertung des Verhaltens der Radfahrer:innen wurden die Trajektoriendaten mit dem Ampelstatus kombiniert. Dazu wurde das beobachtete Verhalten der Radfahrer:innen in acht unterschiedliche Verhaltensgruppen unterteilt. Folgende Gruppen lassen sich für Kreuzungen und T-Kreuzungen unterscheiden:

- **Rule Compliant At Red (RCAR):** Radfahrer:innen, die ordnungsgemäß anhalten und dann bei Rot Rechtsabbiegen oder an T-Kreuzungen geradeaus weiterfahren.

- **Straight At Green (SAG):** Radfahrer:innen, die bei Grün geradeaus fahren.
- **Turn At Green (TAG):** Radfahrer:innen, die bei Grün Rechtsabbiegen.
- **Rule Violation At Red (RVAR):** Radfahrer:innen, die bei Rot ohne anzuhalten Rechtsabbiegen oder an T-Kreuzungen geradeaus weiterfahren.
- **Straight At Red (SAR):** Radfahrer:innen, die bei Rot geradeaus fahren.
- **Stress (STR):** Radfahrer:innen, die bei blinkendem Grünlicht oder gelb in die Kreuzung einfahren.
- **Pavement At Green (PAG):** Radfahrer:innen, die während der Grünphase über den Gehweg fahren.
- **Pavement At Red (PAR):** Radfahrer:innen, die während der Rotphase über den Gehweg fahren.

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind die unterschiedlichen Verhaltensgruppen als Piktogramme an Kreuzungen bzw. T-Kreuzungen dargestellt. Dabei ist den Verkehrsteilnehmer:innen die jeweilige Ampelphasenschaltung farblich zugeordnet. So biegen beispielsweise die Radfahrer:innen bei Rot nach rechts ab und der Querverkehr hat zu diesem Zeitpunkt Grün.

Abbildung 16: Verhaltensgruppen der Radfahrer:innen inklusiver der farblich gekennzeichneten Ampelphasenschaltung der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen an Kreuzungen.

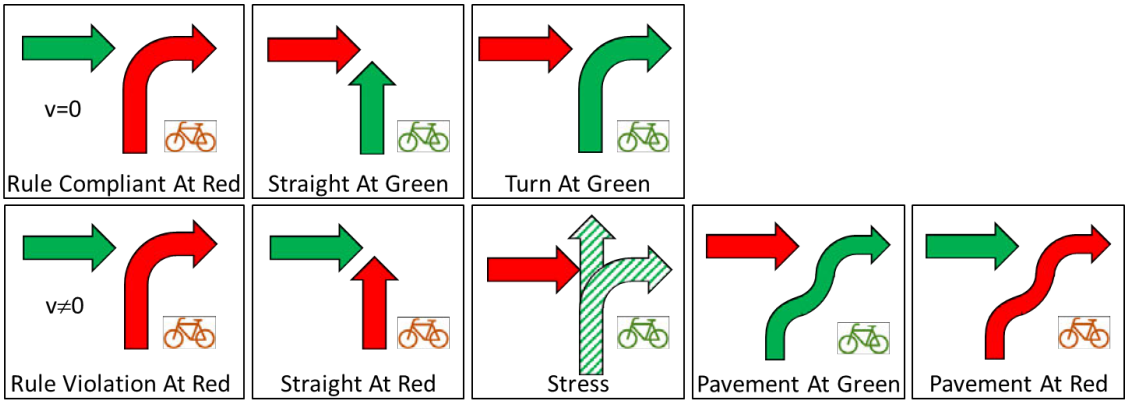
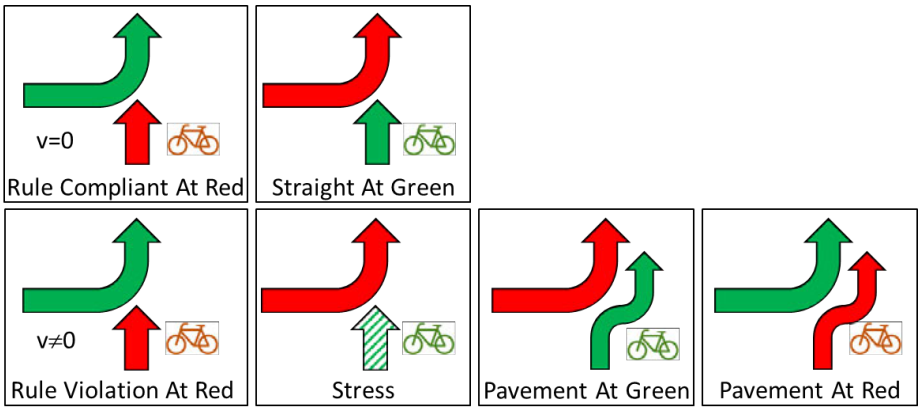


Abbildung 17: Verhaltensgruppen der Radfahrer:innen inklusiver der farblich gekennzeichneten Ampelphasenschaltung der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen an T-Kreuzungen.



In Abbildung 18 sind die Geschwindigkeitsverläufe aller Radfahrer:innen von einem Beobachtungstag an einer Kreuzung über die Zeit dargestellt. Auf der y-Achse ist die Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde aufgetragen, während die x-Achse die Zeit in Sekunden abbildet. Jeder Punkt im Diagramm repräsentiert einen einzelnen Trajektorienpunkt der Radfahrer:innen. Für jeden dieser Punkte wurde die zum jeweiligen Zeitpunkt vorherrschende Geschwindigkeit, sowie der zugehörige Ampelstatus erfasst. Die Datendarstellung beginnt mit dem Zeitpunkt, in welchem die Radfahrer:innen das erste Mal im Beobachtungsbereich erkannt werden. Jede Kurve stellt den individuellen Geschwindigkeitsverlauf der Radfahrer:innen innerhalb des Beobachtungsbereichs dar. Das Ende einer Kurve markiert den Zeitpunkt, an dem Radfahrer:innen den Beobachtungsbereich der Kreuzung wieder verlassen. Die Anzahl der Kurven entspricht dabei der Anzahl beobachteter Radfahrer:innen innerhalb der jeweiligen Verhaltensgruppe. Insgesamt wurden für diesen Tag 287 Radfahrer:innen beobachtet. Die beiden größten Gruppen entfielen auf die Radfahrer:innen, welche bei Grün nach rechts abbogen (42,5 %) und jene, welche die Kreuzung bei Grün geradeaus überquerten (36,9 %). Der Anteil an Radfahrer:innen, welche bei Rot nach rechts abbogen, jedoch nicht anhielten, lag bei 9,1 %. Dem gegenüber stehen die Radfahrer:innen, welche ordnungsgemäß angehalten und anschließend nach rechts abgebogen sind, mit einem Anteil von 1,4 %. 4,2 % der Radfahrer:innen sind bei blinkendem Grünlicht oder bei Gelb in die Kreuzung eingefahren und 1,8 % der Radfahrer:innen haben die Kreuzung bei Rot geradeaus überquert. Es konnten auch Radfahrer:innen beobachtet werden, welche über den Gehsteig ausgewichen sind, um bei der Kreuzung abzukürzen. 2,1 % der Radfahrer:innen nutzten den Gehsteig in der Rotphase und 1,0 % haben auch bei Grün den Gehsteig für eine Abkürzung benutzt.

Die Absolutwerte und Relativanteile der einzelnen Verhaltensgruppen für diesen Beobachtungstag sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Abbildung 18: Exemplarische Darstellung der Fahrtrajektorien der Radfahrer:innen der unterschiedlichen Verhaltensgruppen für einen Beobachtungstag.

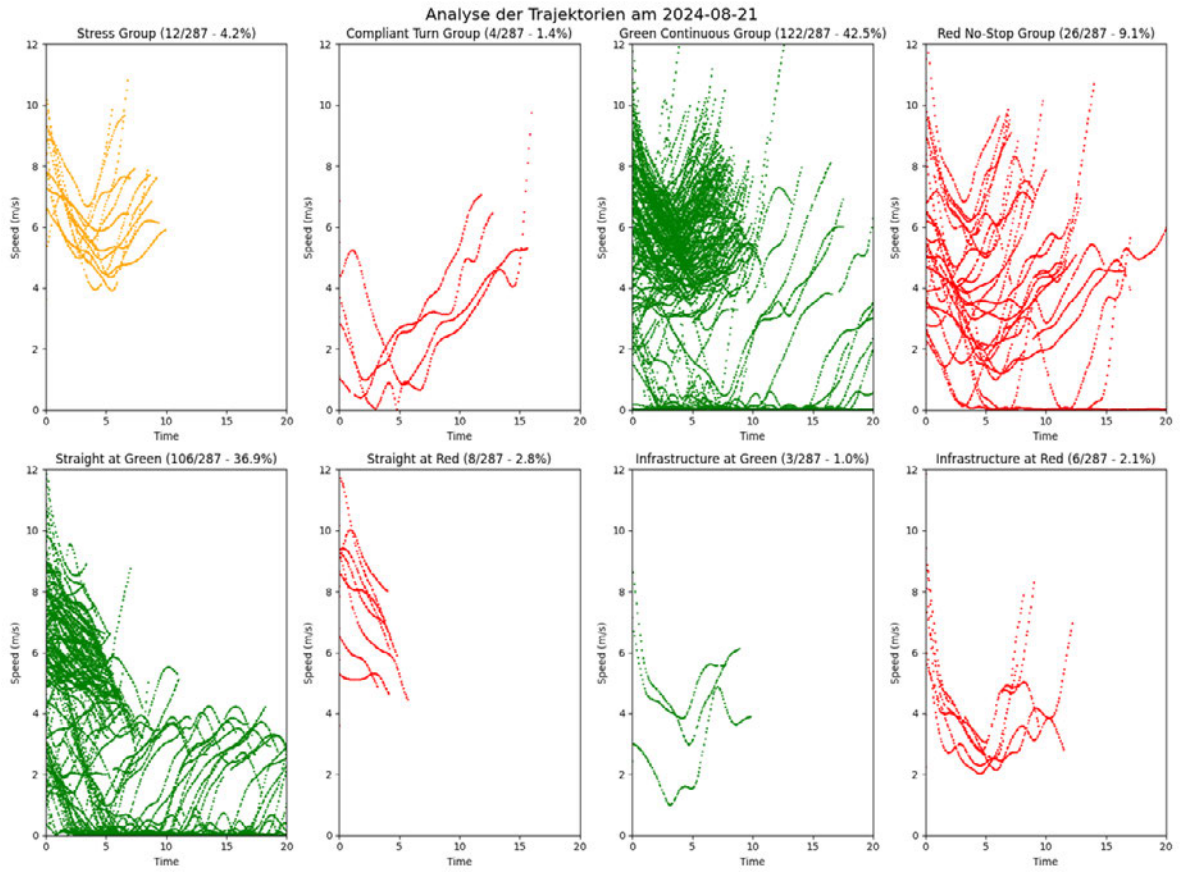


Tabelle 11: Exemplarische Auswertung der unterschiedlichen Verhaltensgruppen für einen Beobachtungstag.

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen	Relativanteil der Beobachtungen
Stress	12	4,2 %
Rule Compliant At Red	4	1,4 %
Green Turn	122	42,5 %
Rule Violation At Red	26	9,1 %
Straight at Green	106	36,9 %
Straight at Red	8	2,8 %
Pavement At Green	3	1,0 %
Pavement At Red	6	2,1 %
Gesamt	287	100,0 %

Zur Bewertung der Verhaltensänderungen der Radfahrer:innen werden diese acht Verhaltensgruppen für die pre- und post-Phase gegenübergestellt. Daraus lässt sich ableiten, ob sich die Radfahrer:innen an diesen Grünpfeilkreuzungen ordnungsgemäß verhalten. Die ausschließliche Analyse der Trajektorien lässt allerdings keinen Rückschluss auf die Kritikalität einer Situation zu. Es ist durchaus möglich, dass die Radfahrer:innen nur in Situationen, in welchen kein Querverkehr vorliegt, auf ein Anhalten verzichten und in einem Zug nach rechts abbiegen. Damit auch die Kritikalität und somit das Kollisionsrisiko bewertet werden kann, sind im folgenden Kapitel unterschiedliche Kritikalitätsmetriken zusammengefasst und zur Bewertung festgelegt.

3.5 Kritikalitätsmetriken

Zur Risikobewertung einer Verkehrssituation wird eine Einordnung getroffen, ob es zu einem zeitlichen und örtlichen Naheverhältnis beteiligter Verkehrsteilnehmer:innen kommt [93]. Einflussfaktoren auf eine Verkehrssituation hinsichtlich der Schwere eines Konflikts bzw. des potentiellen Kollisionsrisikos, können sich beispielsweise auf die Geschwindigkeit, Abstand oder die Zeit zwischen den Beteiligten, die notwendige Verzögerung zur Kollisionsvermeidung etc. beziehen [94–96]. Die Bewertung von Konflikten sowie deren Schwere erfolgt auf Grund sogenannter Kritikalitätsmetriken (Safety Surrogate Measures, SSM) [97]. Derartige Metriken haben den Vorteil einer objektivierbaren Bewertung und werden nicht von subjektiven Beobachtungen

beeinflusst. Dennoch liegt ein gewisser Grad von Subjektivität vor, da Grenzwerte nicht immer physikalisch begründet sind. Als wesentliche SSM werden die Time-to-Collision (TTC) [98] bzw. die Minimum-Time-to-Collision (MTTC), Time-to-Accident (TTA) [94] und die Post-Encroachment-Time (PET) [99] herangezogen. Ein Überblick häufig eingesetzter Metriken findet sich in Archer [95], Laureshyn et al. [100], Li et al. [101] oder Nadimi et al. [102, 103].

3.5.1 Metriken der Time to Collision

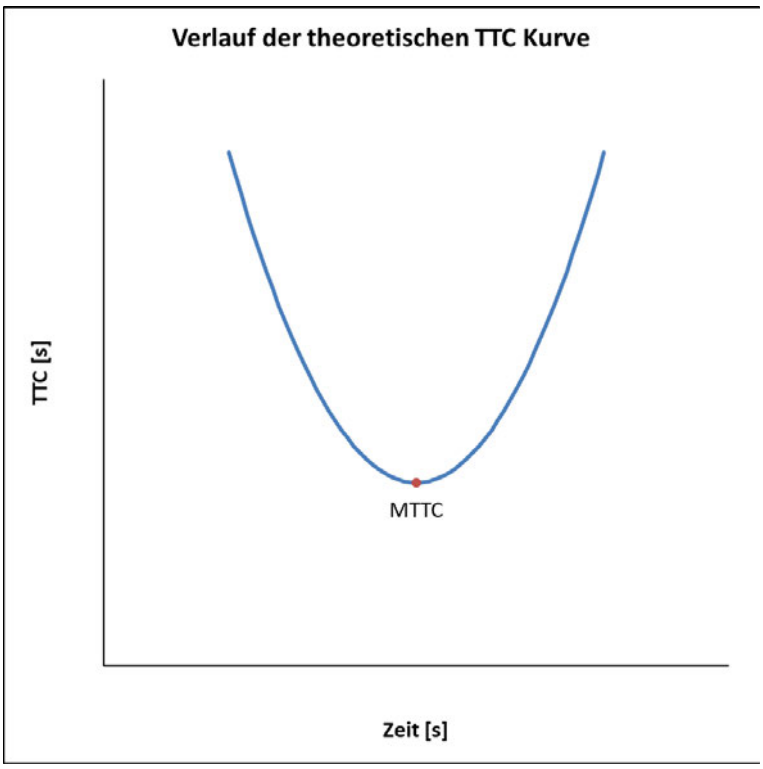
3.5.1.1 Time to Collision (TTC), Minimum-TTC (MTTC)

Die TTC gibt die Zeitspanne an, die verbleibt, bevor zwei Verkehrsteilnehmer:innen kollidieren, sofern keines der beiden Fahrzeuge die Richtung ändert [98]. Bei diesem Konzept können die beiden Verkehrsteilnehmer:innen in jeglicher Richtung aufeinander zufahren. Mit geringer werdendem Zeitabstand zwischen den beiden beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen, nimmt die Konfliktschwere zu [94]. Eine TTC von kleiner als 1,5 Sekunden wird als schwerer Konflikt gewertet. Eine niedrigere TTC weist auf eine höhere Kollisionswahrscheinlichkeit hin, kann aber nicht direkt mit der Schwere der Kollision in Verbindung gebracht werden [104]. Die TTC ist eine kontinuierliche Metrik und kann für jeden beliebigen Zeitpunkt während des Kollisionskurses berechnet werden [100].

In engem Kontext steht hierzu die Minimum-TTC. Die MTTC wird als die minimale verbleibende Zeit am Ende der kritischen Phase bis zur Kollision bezeichnet, ohne dass es zu einer Kollision kommt [98]. Im Prinzip ist das die minimale Zeit, mit welcher die Verkehrsteilnehmer:innen aneinander vorbeifahren. In vielen Studien wurden Grenzwerte von 1,5 Sekunden, 2 Sekunden und 3 Sekunden festgelegt, wobei in den meisten Studien keine Grenzwerte definiert wurden [100]. van der Horst [105] definierte eine TTC von weniger als 1,5 Sekunden als kritisch.

In Abbildung 19 ist der Verlauf der theoretischen TTC Kurve und die minimale TTC nach Hayward [98] dargestellt. Die Kurve zeigt den Verlauf der TTC im Falle einer Beinahe-Kollision. Die MTTC kennzeichnet den Zeitpunkt des geringsten Abstandes bzw. der Zeitspanne zwischen den beiden Verkehrsteilnehmer:innen. Nach dem Erreichen einer MTTC nimmt die TTC wieder zu.

Abbildung 19: Verlauf der theoretischen TTC Kurve mit Kennzeichnung der Minimum TTC [98].

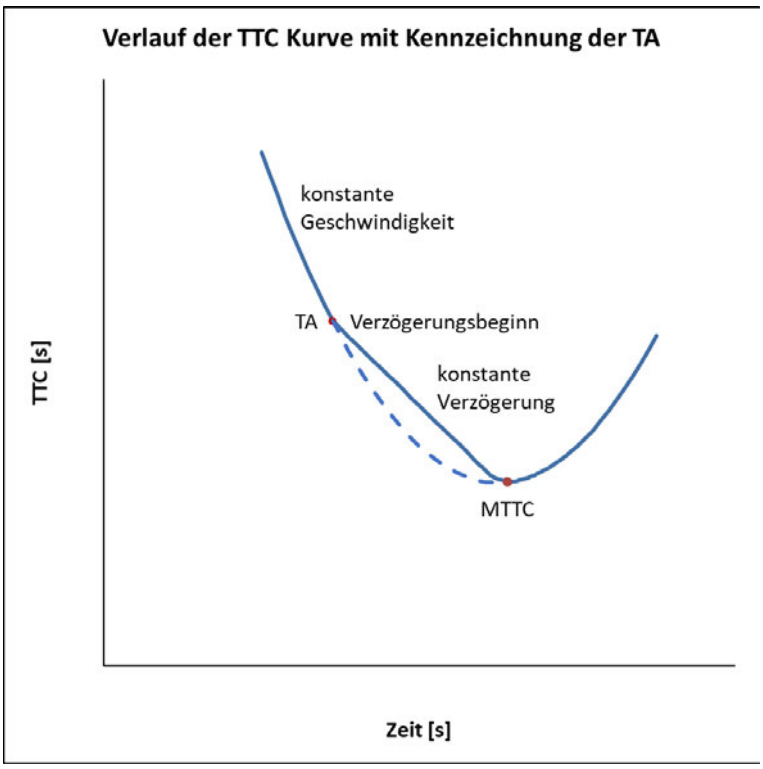


3.5.1.2 Time to Accident (TA)

Die TA ist der TTC Wert zum Zeitpunkt des ersten Kollisionsvermeidungsmanövers (bremsen) einer der beiden beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen [94, 106]. Zur Klassifizierung der Konfliktschwere wird die gefahrene Geschwindigkeit und die TA herangezogen und in vier Konfliktklassen unterteilt [106]. Als schwere Konflikte werden jene Situationen bezeichnet, welche eine TA von weniger als 1,5 Sekunden aufweisen [94]. Nach Lord [107] (zitiert in [100]) korrelieren Verkehrsunfälle signifikant mit einer TA unter 1,5 Sekunde.

In Abbildung 20 ist der Verlauf der theoretischen TTC Kurve und die minimale TTC nach Hayward [98] dargestellt. Der Punkt TA kennzeichnet den Zeitpunkt, an welchem eine konstante Verzögerung beginnt [94]. Die MTTC kennzeichnet wiederum den Zeitpunkt des geringsten Abstandes bzw. der Zeitspanne zwischen den beiden Verkehrsteilnehmer:innen. Nachfolgend steigt die TTC wieder an.

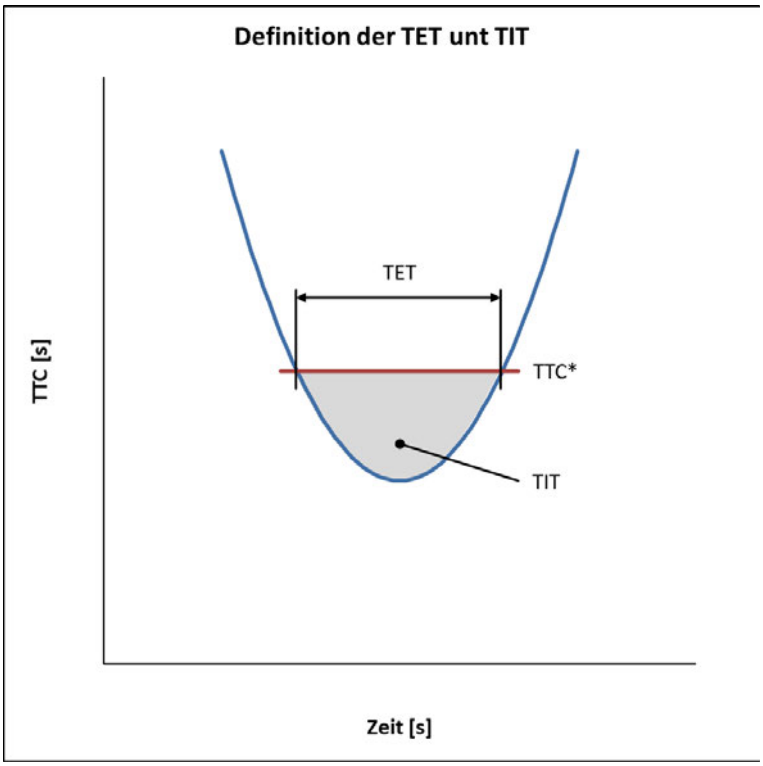
Abbildung 20: Theoretischer Verlauf der TTC mit einem Reaktionsmanöver und Kennzeichnung der TA [94].



3.5.1.3 Time Exposed Time-to-Collision (TET)

Im Zusammenhang mit der TTC wird hierbei auch eine bestimmte Zeitdauer als Sicherheitsindikator verwendet [108]. Die TET berechnet sich aus der Summe an Zeitschritten (zeitdiskret) über einen definierten Zeitraum, in denen sich Verkehrsteilnehmer:innen anderen Verkehrsteilnehmer:innen nähern und der TTC-Wert unterhalb eines festgelegten TTC Grenzwertes liegt (Abbildung 21). Wenn die TTC unter einem definierten Grenzwert liegt, hat dies keinen Einfluss auf die TET, was ein Nachteil des TET ist. Theoretisch kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine extrem kleine TTC (z.B. kleiner als 0,5 Sekunden) im Vergleich zu höherer TTC (z.B. 2 oder 3 Sekunden) eine Annäherungssituation mit einer relativ hohen Kollisionswahrscheinlichkeit darstellt. Für die Berechnung einer TET wird die Position und die Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer:innen benötigt, die in einen definierten Bereich einfahren und diesen wieder verlassen.

Abbildung 21: Beispiele von TTC Kurven mit Kennzeichnung kritischer Bereiche. Die TET ist der Zeitbereich, in welchem die TTC unter einem Grenzbereich TTC* liegt. Die TIT wird als Integral über die TTC im kritischen Bereich gebildet [100] adaptiert nach [108].



Verkehrssituationen sind umso sicherer, je geringer die TET ist. Eine TET von Null bedeutet keine Gefahr, es muss jedoch immer der kritische TTC Wert berücksichtigt werden. So wäre bei einer TET von Null und einem TTC Grenzwert von 0,5 Sekunden, eine Situation dennoch als kritisch einzustufen.

3.5.1.4 Time Integrated Time-to-Collision (TIT)

Die TIT wird aus dem Integral der TTC gebildet, in der Einheit Quadratsekunden [108]. Ein Beispiel zur Veranschaulichung der TIT ist in Abbildung 21 dargestellt. Es wurden keine kritischen Grenzwerte für die TIT definiert.

3.5.1.5 Time to Zebra (TTZ)

Ähnlich wie die Berechnung einer TTC bis zu einem potenziellen Kollisionspunkt, kann auch die Zeit bis zum Erreichen einer Konfliktzone als Metrik verwendet werden. Varhelyi [109] hat dazu den Zebrastreifen als Konfliktzone definiert und die Zeit bis zum Erreichen des Zebrastreifens als Metrik bewertet. Es werden die kritischen Zeit- und

Abstandsintervalle in Abhängigkeit von der Annäherungsgeschwindigkeit der Fahrzeuge zum Zebrastreifen ermittelt. Die TTZarr beschreibt die verbleibende Zeit des motorisierten Verkehrs bis zum Zebrastreifen, zum Zeitpunkt, wann die Fußgänger:innen die Fahrbahn betreten. Die TTZbrake beschreibt die verbleibende Zeit vom Bremsbeginn.

3.5.1.6 Time-to-Lane-Crossing (TLC)

Ähnlich wie die TTZ wird auch die TLC als Metrik für das Erreichen einer Konfliktzone verwendet. Diese wurde jedoch für den Längsverkehr zur Spurführung von Godthelp et al. [110] entwickelt. Die TLC ist die Zeit, welche ein Fahrzeug bis zum Erreichen der Fahrbahnbegrenzung benötigt.

3.5.1.7 Time-to-React (TTR)

Ein weiteres objektives Kriterium zur Beurteilung der Kritikalität bzw. des Risikos von Situationen ist die Time-to-React (TTR) [111], welche als die letztmögliche Zeitspanne zur Vermeidung einer Kollision definiert ist.

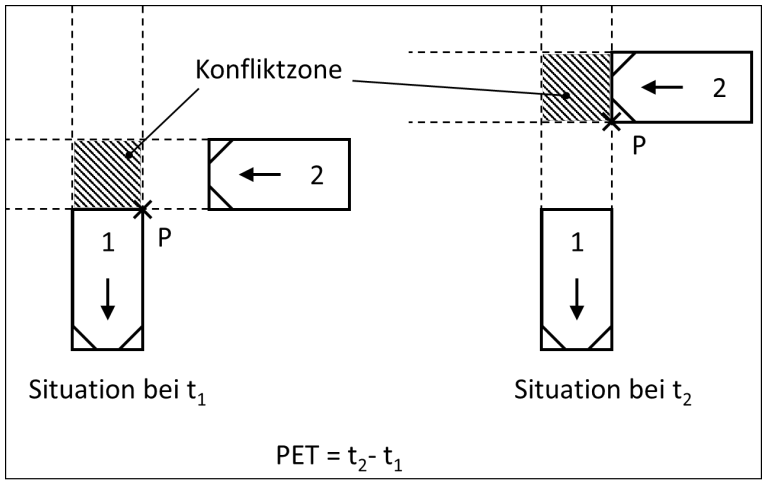
3.5.2 Metriken der Encroachment Time

3.5.2.1 Post Encroachment Time (PET)

Als Encroachment Time (ET) wird die Zeit bezeichnet, welche vergeht, sobald das erste Fahrzeug in die Fahrtrajektorie bzw. den Fahrbereich des zweiten Fahrzeugs eindringt, bis zum Erreichen der Konfliktzone des zweiten Fahrzeugs [99]. Nachdem das zweite Fahrzeug in die Konfliktzone eindringt, hat das erste Fahrzeug bereits einen gewissen zeitlichen und räumlichen Abstand zur Konfliktzone. Dieser zeitliche Abstand wird als die Post Encroachment Time bezeichnet. Als PET gilt also die Zeit vom Verlassen einer Konfliktzone von Verkehrsteilehmer:innen, bis andere Verkehrsteilnehmer:innen in diese Konfliktzone einfahren. Die PET kennzeichnet Beinahe-Unfälle. Die PET ist die Zeitdifferenz zwischen dem ersten Fahrzeug, welches eine Konfliktzone vollständig verlassen hat und einem zweiten Fahrzeug, dass gerade in die Konfliktzone einfährt. In Abbildung 22 veranschaulicht eine schematische Skizze die PET. Zum Zeitpunkt t1 hat das erste Fahrzeug die Konfliktzone gerade verlassen und zum Zeitpunkt t2 erreicht das zweite Fahrzeug die Konfliktzone. Die Zeitdifferenz von t1 zu t2 ergibt die PET. Die ET ist, gleich

wie die TTC, ein zeitkontinuierlicher Wert. Die PET wird zu einem bestimmten Zeitpunkt berechnet und ist ein Einzelzeitwert [100].

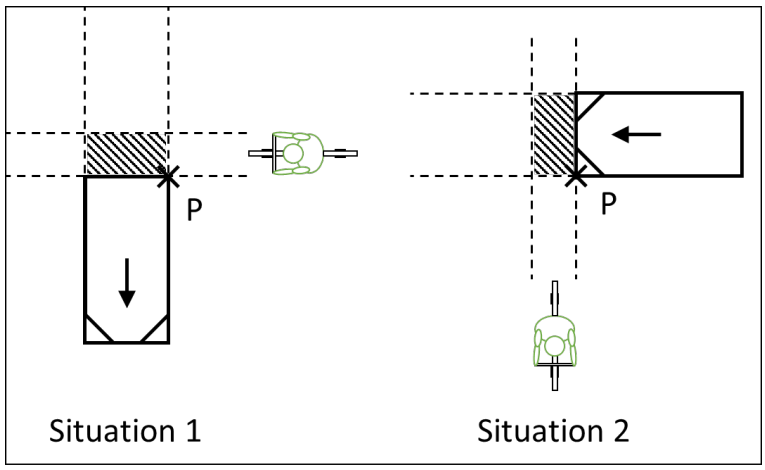
Abbildung 22: Veranschaulichung der PET [112].



Die PET ist nur für Situationen geeignet, bei denen die Trajektorien der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen sich kreuzen, wie es beispielsweise bei Kreuzungen der Fall ist [113]. Für Ereignisse mit ähnlichen Auslauftrajektorien, wie es beispielsweise beim Rechtsabbiegen und kreuzende Fahrzeuge von links der Fall ist, eignet sich besser die TTC. Der Grund dafür ist, dass es immer einen Kollisionskurs gibt, wenn die Geschwindigkeit der aus links kommenden Verkehrsteilnehmer:innen höher ist als die des rechtsabbiegenden Verkehrsteilnehmer:innen. Für die Berechnung der PET ist ein fixer projizierter Kollisionspunkt notwendig und nicht einer, der sich mit der Dynamik des sicherheitskritischen Ereignisses ändert.

Als kritische PET wurden in der Literatur von bis zu 5 Sekunden verwendet, wobei in den meisten Studien jedoch keine Grenzwerte festgelegt wurden [100]. Von Peesapati et al. [114], [115] wurde die höchste Korrelation zwischen Verkehrsunfällen und einer PET von einer Sekunde festgestellt. Eine PET von weniger als einer Sekunde bzw. 1,5 Sekunden werden als kritisch angesehen [116], [105], [114]. Es können sich unterschiedliche Situationen zwischen den betrachteten Verkehrsteilnehmer:innen ergeben (Abbildung 23). In Situation 1 verlässt das motorisierte Fahrzeug die Konfliktzone und die Radfahrer:innen erreichen diese erst. Hingegen haben in der Situation 2 die Radfahrer:innen bereits die Konfliktzone verlassen und der motorisierte Verkehr erreicht diese. Diese Zusammenhänge sind prinzipiell für alle Verkehrsteilnehmer:innen gültig.

Abbildung 23: Unterschiedliche Konfliktsituationen bei der Betrachtung der PET (vergleiche [100]).



3.5.2.2 Time Headway (THW)

Als THW wird die Zeit definiert, die zwischen dem Passieren eines Punktes auf der Fahrbahn durch die Front des führenden Fahrzeugs und dem Passieren desselben Punktes durch die Front des nachfolgenden Fahrzeugs vergeht [117] zitiert in [118]. Die THW ist ein Maß für den Richtungsverkehr und bewertet somit den Abstand zwischen zwei Verkehrsteilnehmer:innen in Bezug auf das Kollisionsrisiko. Je geringer der Wert ist, desto kritischer wird die Situation. Ein Abstand von weniger als 2 Sekunden wird als kritisch erachtet [118]. In Schweden wird ein Abstand von 3 Sekunden empfohlen [119].

3.5.2.3 Gap Time (GT)

Als Gap Time (GT) wird die Zeit bezeichnet, welche zwei Verkehrsteilnehmer:innen benötigen, um in die definierte Konfliktzone einzufahren [99]. Gemessen wird diese von der vordersten Fahrzeugkante. Die GT ist ein zeitkontinuierlicher Werte, ohne dass jedoch ein kritischer Werte definiert wurde. Allerdings ist mit geringerer GT eine höhere Konfliktschwere bzw. potentielles Kollisionsrisiko verbunden.

3.5.3 Metriken der Verzögerungsmanöver

3.5.3.1 Proportion of Stopping Distance (PSD)

Die PSD [99] ist das Verhältnis der verbleibenden Entfernung zum potenziellen Kollisionspunkt und dem akzeptierten minimalen Bremsweg.

3.5.3.2 Deceleration Rate (DR)

Ein kritisches Event kann auch über ein Notbremsmanöver definiert werden [120] zitiert in [121]. Die DR beschreibt die Verzögerungshöhe, mit der ein Fahrzeug in einer kritischen Situation abbremst [104]. Mit zunehmender Verzögerung steigt die Wahrscheinlichkeit einer Kollision. Kritische Werte wurden jedoch nicht definiert. Von Hunter et al. [121] wurde eine Bremsverzögerung von 2,72 m/s² als „hard-braking“ Manöver festgelegt. Dieser Grenzwert ist in einer ähnlichen Größenordnung, wie von Nygard [122] (zitiert in [123]) bei der Auswertung von alltäglichen Bremsmanövern, mit einer durchschnittlichen Verzögerung von 3,1 m/s², festgestellt wurde. Ein weiterer Schwellenwert wurde von Hyden ([124] zitiert in Archer [95]) mit einer Verzögerung von 2 m/s² festgelegt. Diese wurde als niedrigste Konfliktstufe gewertet, welche eine Reaktion der Fahrzeuglenker:innen erfordern.

3.5.3.3 Deceleration to Safety Time (DST)

Hupfer [125] definierte eine Sicherheitszeit basierend auf unterschiedlich starken Bremseingriffen. Der Wert soll die Nähe der beiden Verkehrsteilnehmer:innen zueinander widerspiegeln und die dazu notwendige Mindestverzögerung angeben, um eine Kollision zu vermeiden. Die Verzögerungswerte und Konfliktlevel sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Die DST ist ein kontinuierlicher Wert, gleich wie die TTC. Die DST wurde vorwiegend für rechtwinkelige Kollisionen entwickelt [100].

Tabelle 12: Definition der Konfliktlevels basierend auf der DST [125].

Bremsbeschleunigung	Konfliktlevel
DSTx kleiner gleich 0 m/s²	Kein Eingreifen notwendig
DST0 kleiner 1 m/s²	Anpassung notwendig. Es ist nur ein geringer Eingriff notwendig.
DST0 kleiner 2 m/s²	Reaktion notwendig (Konfliktlevel 1). Die Situation erfordert eine Reaktion, welche jedoch einfach zu beherrschen ist. Es verbleibt ausreichend Zeit.
DST0 kleiner 4 m/s²	Deutliche Reaktion notwendig (Konfliktlevel 2). Die Situation erfordert eine deutliche Bremsverzögerung einer der Verkehrsteilnehmer:innen. Die Situation ist beherrschbar. Bei nasser Fahrbahn kann dieses Level bereits das Konfliktlevel 4 bedeuten.
DST0 kleiner 5 m/s²	Massive Reaktion notwendig (Konfliktlevel 3). Die Situation erfordert einen massiven Bremseingriff einer der Verkehrsteilnehmer:innen. Die Situation ist schwer zu beherrschen.
DST0 größer gleich 6 m/s²	Notbremsmanöver (Konfliktlevel 4). Unkontrollierbare Reaktion. Gerade noch ein Beinahe-Unfall.

3.5.3.4 Jerk

Der Ruck („jerk“) ist die Ableitung der Beschleunigung nach der Zeit und widerspiegelt die „Plötzlichkeit“ einer Bremsung [100]. Nach Bagdadi und Verhelyi [126] besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Kritischen Events und maximalem negativem Ruck. Nach Nygard [122] (zitiert in [123]) ist der Ruck eine vielversprechende Metrik zur Unterscheidung zwischen normalem Bremsen und einer Notbremsung. Die Auswertung von alltäglichen Bremsmanövern zeigte eine durchschnittliche Verzögerung von 3,1 m/s². Eine ausschließlich auf die Verzögerung bezogene Metrik scheint aber nicht ausreichend zu sein, um die Kritikalität einer Konfliktsituation zu beschreiben [126]. Daher wird der Ruck als weitere Metrik zur Bewertung von kritischen Situationen vorgeschlagen. Beim Bremsen wird das Fahrzeug negativ beschleunigt [123]. Die Beschleunigung nimmt jedoch im letzten Teil des Bremsvorgangs aufgrund der Geschwindigkeitsreduzierung ab. Die Geschwindigkeit, mit der die Beschleunigung beginnt und abnimmt, wirkt sich auf die Stärke des Ruckes aus, d. h. je abrupter die Bremsung eingeleitet und durchgeführt wird, desto stärkere Rucke werden erzeugt. Obwohl die Beschleunigung während einer Bremsung streng negativ ist, enthalten die Rucke sowohl negative als auch positive Werte, unabhängig davon, ob die Bremsung zu einem vollständigen Stopp führt oder nicht. Zur Unterscheidung von schweren Konflikten wurde in Bagdadi und Verhelyi [126] ein Grenzwert des Rucks von 9,9 m/s³ festgelegt.

3.5.3.5 Deceleration Rate to Avoid Crash (DRAC)

Im Gegensatz zur DST wurde die DRAC bei Szenarien im Längsverkehr entwickelt. Die DRAC definiert die Mindest-Verzögerungsrate des nachfolgenden Verkehrs, um einen Auffahrunfall auf mit konstanter Geschwindigkeit bewegende Verkehrsteilnehmer:innen zu verhindern. Die DRAC wird aus der Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Verkehrsteilnehmer:innen und der Zeitdifferenz gebildet [127]. Im weiteren Sinn sind DST und DRAC identisch [100].

3.5.3.6 Required Braking Rate (RBR)

Maß für die Konfliktschwere, basierend auf einer momentanen Geschwindigkeit und Abstand zu einem Konfliktpunkt, der die durchschnittliche (lineare) Bremsung darstellt, die erforderlich ist, um eine Kollision zu vermeiden [95].

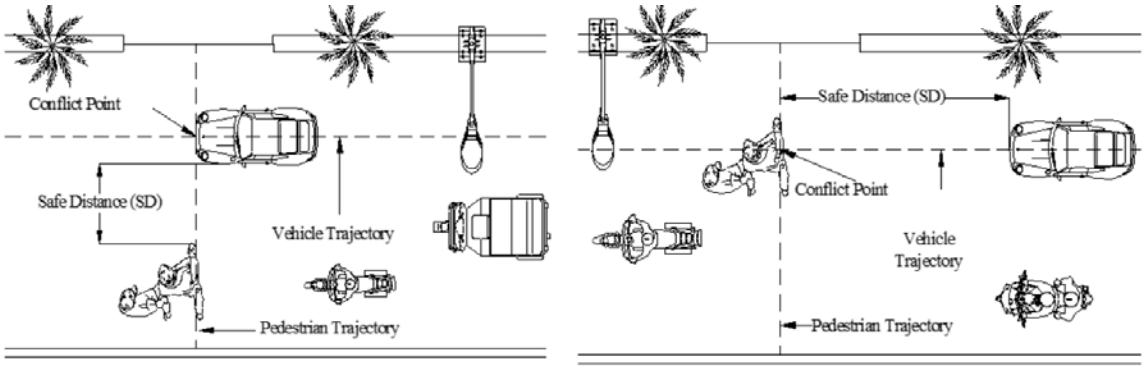
3.5.4 Metriken der Begegnungsbereiche

3.5.4.1 Safety Distance (SD)

Der minimale Sicherheitsabstand ist ein Bewertungsmaß, welcher den minimalen Abstand von Verkehrsteilnehmer:innen in einer kritischen Verkehrssituation angibt [128]. Prinzipiell wurde diese Metrik für Verkehrssituationen zwischen motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen und Fußgänger:innen entwickelt und dabei unterschieden, welcher der beiden Verkehrsteilnehmer:innen zuerst die Konfliktzone queren würde (Abbildung 24). Als sicherheitskritisch wurde dabei ein Abstand von kleiner als 1,75 m für die Fußgänger:innen erachtet, wenn die motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen als erster den Schnittpunkt ihres theoretischen Kreuzungspunktes erreichen. Sofern die Fußgänger:innen zuerst den Kreuzungspunkt erreichen, dann wäre der Grenzwert für den Sicherheitsabstand bei 19 m. Eine Interaktion zwischen motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen und Radfahrer:innen wurde nicht untersucht.

Die SD kann man auch mit der euklidischen Distanz (ED) gleichsetzen, wenngleich bei der SD der orthogonale Abstand der Verkehrsteilnehmer:innen zueinander ermittelt wird.

Abbildung 24: Definition des Sicherheitsabstandes bei unterschiedlichen Szenarien, in welchen entweder die Fußgänger:innen oder der Pkw den Kreuzungspunkt der Bewegungstrajektorien zuerst erreicht [128].

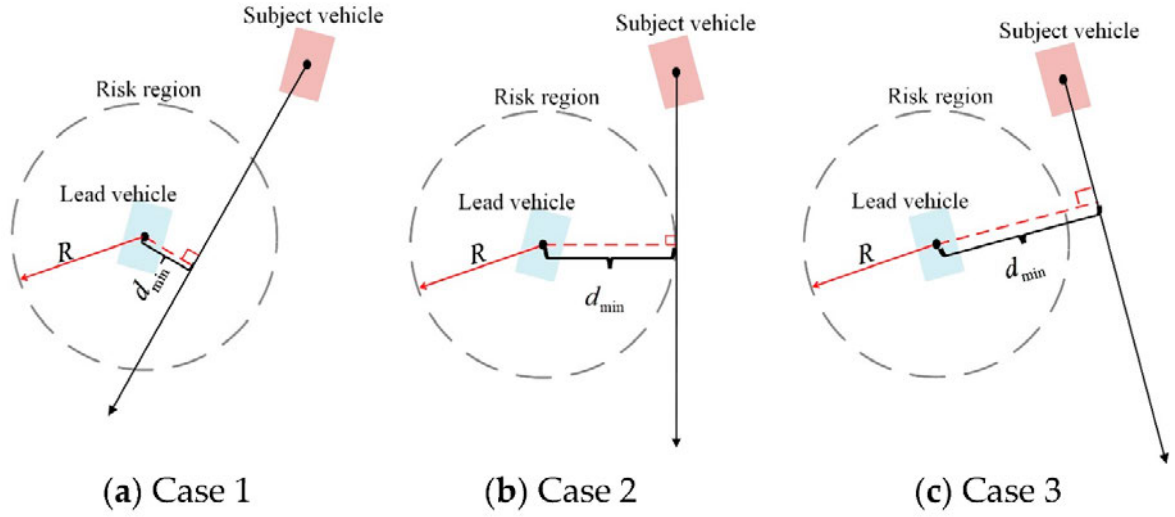


Die SD findet weiters Anwendung in unterschiedlichen Metriken zur Bewertung von Konflikten, beispielsweise dem Potential Conflict Risk Index (PCRI) oder die Anticipated Collision Time (ACT). Ebenso fließt der Abstand auch bei anderen Metriken (z.B. TTC, TA, etc.) in die Berechnung der Zeit mit ein.

3.5.4.2 Potential Conflict Risk Index (PCRI)

Der PCRI berücksichtigt die Zeit, die ein Konfliktgegner benötigt, um in eine definierte Risikozone einzudringen, den Expositionsweg des Konfliktgegners in der definierten Risikozone sowie Geschwindigkeit und Richtung des Konfliktgegners [129]. Dabei spielt auch die räumliche Nähe der Verkehrsteilnehmer:innen zueinander eine wesentliche Rolle. In Abbildung 25 ist der Zusammenhang zwischen dem Risikobereich von Verkehrsteilnehmer:innen und der Bewegungsrichtung der Konfliktgegner:innen dargestellt. Dabei werden drei Szenarien unterschieden. Im ersten Szenario durchkreuzen die Konfliktgegner:innen den Risikobereich und es besteht dadurch ein erhöhtes Kollisionsrisiko. Beim zweiten Szenario entspricht der Abstand des Konfliktgegners genau dem Radius des Risikobereichs. Im dritten Szenario ist die Trajektorie des Konfliktgegners außerhalb des Risikobereichs.

Abbildung 25: Zusammenhang zwischen dem Risikobereich und der Bewegungsrichtung des Konfliktgegners [129].



Die ACT ist die Zeitspanne, in welcher eine mögliche Kollision stattfinden würde und basiert auf dem Minimalabstand zwischen den Verkehrsteilnehmer:innen [130].

3.5.4.3 Critical Conflict Region (CCR)

Wei et al. [131] definierte eine kritische Konfliktzone, in welcher sich die Verkehrsteilnehmer:innen begegnen. Diese müssen daraufhin reagieren um eine Kollision zu vermeiden. Die Konfliktschwere wurde in der Studie durch Experten beurteilt. Spezifische Grenzen wurden nicht definiert, ab wann ein Konflikt als kritisch beurteilt wird.

3.5.4.4 Occupancy Time (OT)

Die OT ist jene Zeit, die sich ein Fahrzeug in einer entsprechenden Konfliktzone befindet [132]. Eng mit der OT verbunden sind die beiden nachfolgenden Metriken, die Critical Conflict Region (CCR) und der Space Occupancy Index (SOI).

3.5.4.5 Cumulative Coexisting Time (CCT)

Die von Mohan und Chandra [132] definierte OT wird in der gegenständlichen Studie weiterentwickelt. Dabei werden die beiden beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen betrachtet und deren OT in der festgelegten Konfliktzone ermittelt. Die CCT ist jene Zeit, in welcher sich beide Verkehrsteilnehmer:innen gemeinsam in der Konfliktzone befinden.

3.5.4.6 Space Occupancy Index (SOI)

Eine der CCR ähnliche Metrik wurde von Ogawa entwickelt [133]. Der Space Occupancy Index (SOI) beruht auf dem persönlich benötigten Bereich von Verkehrsteilnehmer:innen. Kommen andere Verkehrsteilnehmer:innen in diesen Bereich, so ist ein Vermeidungsmanöver notwendig.

3.5.5 Weitere Metriken

Es werden in diesem Kapitel noch einige Metriken beschrieben. Weitere Metriken in der Literatur finden sich in Archer [95], Laureshyn et al. [100], Li et al. [101] oder Nadimi et al. [102, 103].

3.5.5.1 Conflict Angle

Die bisherigen Metriken beziehen sich auf Zeit-, Abstands- oder Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungszusammenhänge, ohne jedoch die Annäherungsrichtungen der Beteiligten zu berücksichtigen. Mit dem Konfliktwinkel kann auch die Position der Beteiligten zueinander angegeben werden [97].

3.5.5.2 Potential Collision Speed (PCS)

Die PCS ist ein Maß für die Konfliktschwere, basierend auf einer momentanen Geschwindigkeit und Abstand zu einem Konfliktpunkt [134]. Angewandt wurde diese Metrik bei Verkehrssituationen im Richtungsverkehr.

3.5.5.3 Delta-v

Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, hervorgerufen durch die Kollision, ist ein Maß für das Verletzungsrisiko [135]. Delta-v ist eine vektorielle Größe und hat somit eine Größe und Richtung und errechnet sich aus der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Stoßes und der Lösegeschwindigkeit nach dem Stoß [136].

3.5.6 Zusammenfassung

Bei der Bewertung von Unfallszenarien werden als häufigste Kritikalitätsmetriken die TTC, PET und Verzögerung eingesetzt [100]. Diese Metriken finden auch bei der Bewertung von

Szenarien mit ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen Verwendung. Vielfach werden jedoch unterschiedliche Metriken kombiniert, um die Konfliktschwere zu beurteilen [137].

Der grundlegende Ansatz bei der TTC beruht auf den gleichbleibenden Fahrtrajektorien und Geschwindigkeiten der beiden Beteiligten, ohne jedoch Brems- und Beschleunigungsmanöver zu berücksichtigen. Eine Richtungsänderung einer der Beteiligten beeinflusst demnach die TTC. Insbesondere in Bogenfahrten ist die Bestimmung einer korrekten TTC nur in Kombination mit der exakten Kenntnis des Bogenverlaufs möglich. D.h., die Fahrlinien der Beteiligten muss prädiktiert werden. Bei der Anwendung in Rechtsabbiegesituationen, wie es für die Radfahrer:innen durch die Grünpfeilregelung ermöglicht wird, muss eine sehr geringe TTC nicht notwendigerweise kritisch sein. In diesen Fällen bewegen sich die beiden Beteiligten zunächst unter einem Winkel (Kreuzungswinkel) aufeinander zu und, ungeachtet der Vorschriften für die Radfahrer:innen, verläuft die Trajektorie anschließend parallel zur jener des Gegners. Als Maßzahl wird die minimale TTC (MTTC) verwendet.

Die Bewertung der Kritikalität durch die PET eignet sich gut für kreuzende Situationen. Jedoch ist die PET für die rechtsabbiegenden Radfahrer:innen nicht geeignet, da theoretisch keine kreuzenden Konfliktzone entsteht, was bei der PET eine grundlegende Voraussetzung ist. Hingegen kann die PET in Konfliktsituationen mit Fußgänger:innen, welche die Fahrbahn queren gut eingesetzt werden.

Neben diesen beiden klassischen Metriken (TTC und PET) wird über die Deceleration Rate, d.h. der Verzögerung des motorisierten Fahrzeugs im Gefahrenbereich, die Kritikalität einer Verkehrssituation bewertet. Diese Metrik gibt Aufschluss über die Intensität eines Bremsmanövers der im Vorrang befindlichen Fahrzeuge. Als weitere Metrik zur Bewertung der Kritikalität wird noch der minimale Sicherheitsabstand (ED) herangezogen.

Für die Bewertung der Kritikalität werden die Metriken TTC, PET, ED und DR herangezogen. Zur Unterscheidung einer kritischen Situation werden folgende Grenzwerte festgelegt:

- TTC 1,5 Sekunden [94], [116], [105]. Werte kleiner oder gleich als 1,5 Sekunden werden als kritisch und Werte darüber als unkritisch eingestuft.
- PET 1,5 Sekunden [114], [105]. Werte kleiner oder gleich als 1,5 Sekunden werden als kritisch und Werte darüber als unkritisch eingestuft.

- ED 7,0 m. Dieser Abstand entspricht dem Bremsweg bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 23 km/h (gegenständliche Studie) und einer Verzögerung von 3 m/s² (gemäß einer Untersuchung von Famiglietti et al. [138]). Werte kleiner oder gleich als 7,0 Meter werden als kritisch und Werte darüber als unkritisch eingestuft.
- DR 2,0 m/s² [124] zitiert in Archer [95]. Verzögerungswerte kleiner oder gleich als 2,0 m/s² werden als unkritisch und Werte darüber als kritisch eingestuft.

3.6 Hypothesen

Für die Bewertung der Grünpfeilregelung werden Hypothesen formuliert. Diese werden nach den unterschiedlichen Methoden unterteilt.

1. Befragung
   a) Hypothese 1: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird das verpflichtende Anhalten vor dem Abbiegen nach rechts von Radfahrer:innen missachtet.
   b) Hypothese 2: Bei geringem Verkehrsaufkommen werden viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.
   c) Hypothese 3: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird sich die Anzahl an Konflikten mit Fußgänger:innen erhöhen.
   d) Hypothese 4: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird sich die Anzahl an Konflikten mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen
2. Unfallanalyse
   a) Hypothese 5: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Verletzungshäufigkeit von Verkehrsteilnehmer:innen und der Grünpfeilregelung.
   b) Hypothese 6: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung.
   c) Hypothese 7: Es besteht kein Zusammenhang zwischen Unfalltypen und der Grünpfeilregelung.
   d) Hypothese 8: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl an Unfällen, in welchen sich Radfahrer:innen im Toten Winkel befinden und der Grünpfeilregelung.
   e) Hypothese 9: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl an Unfällen und Nutzung der Infrastruktur (Gehsteig) als vermeintliche Abkürzung.
   f) Hypothese 10: Es besteht kein Zusammenhang zwischen den unfallkausalen Faktoren und der Grünpfeilregelung.

3. Verkehrsbeobachtung
    a) Hypothese 11: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen in der Zufahrt der Radfahrer:innen.
    b) Hypothese 12: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen des Querverkehrs.
    c) Hypothese 13: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und Kreuzungen mit und ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen.
    d) Hypothese 14: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Sichtweiten.
    e) Hypothese 15: Das Regelverhalten der Radfahrer:innen ändert sich nicht durch die Grünpfeilregelung.
    f) Hypothese 16: Der Anteil der Radfahrer:innen, die bei Rot geradeaus fahren, ist vor und nach der Einführung der Grünpfeilregelung gleich.
    g) Hypothese 17: Es besteht kein Unterschied im Anteil nicht-regelkonformen Verhaltens zwischen Wochenenden und Wochentagen.
    h) Hypothese 18: Bei Radfahrer:innen und Pkw besteht kein Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Situationen einzelner Metriken und der Grünpfeilregelung.
    i) Hypothese 19: Bei Radfahrer:innen und Fußgänger:innen besteht kein Zusammenhang zwischen der Kritikalität einzelner Metriken und der Grünpfeilregelung.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse beziehen sich auf die Befragung, Analyse der Unfalldaten und die untersuchten Kreuzungen. Eine generalisierte Aussage und Extrapolation auf andere Kreuzungen sind nicht möglich. In den meisten Fällen wird sich die Kreuzungscharakteristik wie beispielsweise Sichtweiten, Kreuzungswinkel, Sichteinschränkungen durch parkende Fahrzeuge, etc. unterscheiden. Die Ergebnisse können jedoch als Tendenz verstanden werden.

4.1 Befragung

An der Befragung nahmen über 1.000 Personen teil. Einige Fragebögen wurden jedoch nicht vollständig ausgefüllt oder abgebrochen. Die Analyse der fehlenden Angaben ergab kein systematisches Abbruchmuster. Um für einzelne Fragestellungen eine hohe Antwortqualität sicherzustellen, wurden Teilnehmer:innen mit sehr wenigen beantworteten Fragen ausgeschlossen. Als Schwellenwert diente die untere Ausreißergrenze nach Tukey [139] (Q1 − 1,5 × IQR), berechnet auf der Verteilung der Anzahl beantworteter Fragen. Für einzelne Fragen werden sich daher die Fallzahlen der Teilnehmer:innen unterscheiden. Für die Auswertung der qualitativen und offenen Fragen wurde GPT-5 verwendet.

4.1.1 Stichprobenbeschreibung

Auf Grund der beschriebenen Methode zur Festlegung der Stichprobe, standen 835 Fragebögen für eine Auswertung zur Verfügung. 63,59 % der Teilnehmer:innen waren männlich und 32,69 % weiblich (Tabelle 13). Ein geringer Teil machte zum Geschlecht keine Angaben, oder konnte sich den beiden vorgegebenen Items nicht zuordnen. Das durchschnittliche Alter bei den Männern war 43,4 (SA=13,5) Jahre und bei den Frauen 42,3 (SA=12,1) Jahre (Abbildung 26, Tabelle 14). Die Spannweite reichte bei den Männern von 21 bis 84 und bei den Frauen von 17 bis 80 Jahren. 80 Teilnehmer:innen machten zu ihrem Alter keine Angaben.

Die meisten Teilnehmer:innen kamen aus Graz (46,8 %) gefolgt von Wien (30,2 %). 13,7 % der Teilnehmer:innen waren auf Österreich verteilt und 9,3 % gaben ihren Wohnort nicht bekannt.

Tabelle 13: Geschlecht

Distanz	Absolutwerte	Relativanteil
Männlich	531	63,59
Weiblich	273	32,69
Keine Angabe	31	3,71

Abbildung 26: Altersverteilung nach Geschlecht

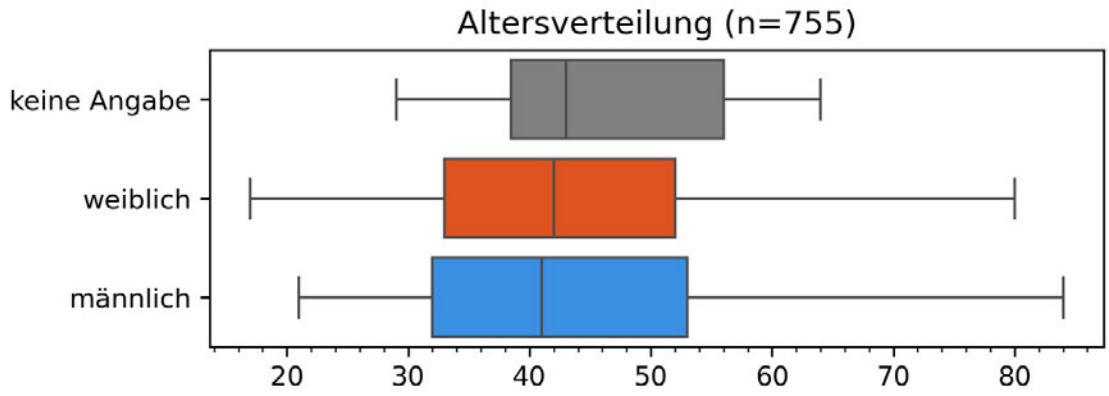


Tabelle 14: Deskriptive Kennwerte zum Alter bezogen auf das Geschlecht

Geschlecht	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Männlich	486	43,4	13,5	21	32	41	53	84
Weiblich	254	42,3	12,1	17	33	42	52	80
Keine Angabe	15	46,5	11,5	29	38,5	43	56	64

Das Fahrrad wird von den Teilnehmer:innen täglich oder mehrmals die Woche genutzt (Abbildung 27, Tabelle 15, Tabelle 16). Am häufigsten kommt dabei der Fahrradtyp „City-Bike“ zum Einsatz. Es ist aber auch das E-Bike bereits sehr beliebt (Tabelle 17). Der Anteil

an E-Bikes unter den Teilnehmer:innen lag bei 12,7 %. Hierbei wird auch das Lastenrad mit Motor-Unterstützung sehr gerne genutzt.

Abbildung 27: Nutzung Verkehrsmittel im Alltag

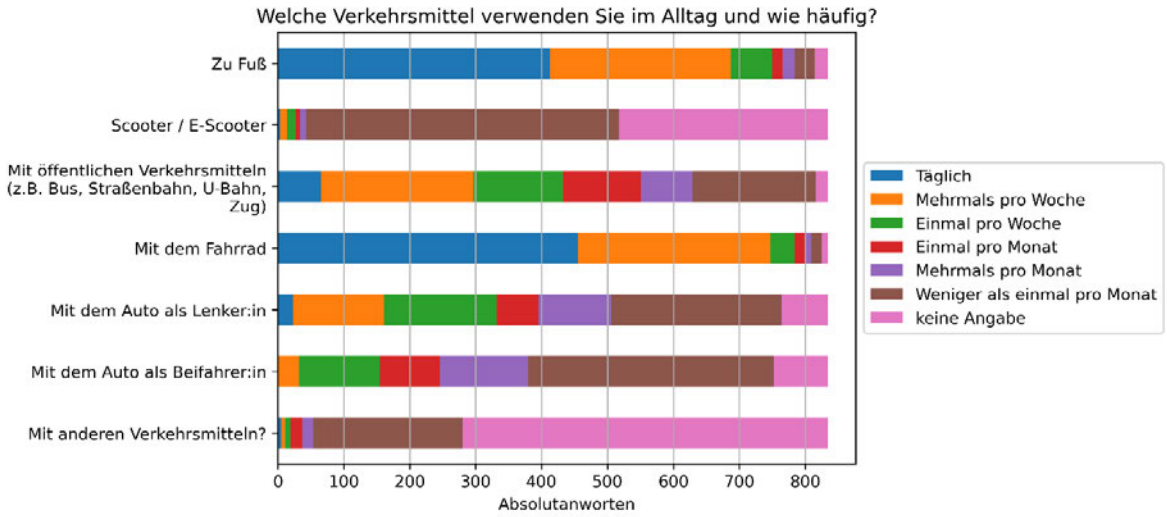


Tabelle 15: Absolutwerte Nutzung Verkehrsmittel im Alltag

Antwortitem	Einmal pro Monat	Einmal pro Woche	Mehrmals pro Monat	Mehrmals pro Woche	Täglich	Weniger als einmal pro Monat	keine Angabe
Mit anderen Verkehrsmitteln?	18	8	17	6	5	226	555
Mit dem Auto als Beifahrer:in	91	123	133	31	1	373	83
Mit dem Auto als Lenker:in	63	171	111	138	23	258	71
Mit dem Fahrrad	16	37	9	292	455	16	10
Mit öffentlichen Verkehrsmitteln (z.B. Bus,	118	136	78	232	65	187	19

Antwortitem	Einmal pro Monat	Einmal pro Woche	Mehrmals pro Monat	Mehrmals pro Woche	Täglich	Weniger als einmal pro Monat	keine Angabe
Straßenbahn, U-Bahn, Zug)							
Scooter / E-Scooter	7	13	9	11	3	474	318
Zu Fuß	15	63	19	274	413	30	21

Tabelle 16: Relativanteile Nutzung Verkehrsmittel im Alltag

Antwortitem	Einmal pro Monat	Einmal pro Woche	Mehrmals pro Monat	Mehrmals pro Woche	Täglich	Weniger als einmal pro Monat	keine Angabe
Mit anderen Verkehrsmitteln?	2,16	0,96	2,04	0,72	0,6	27,07	66,47
Mit dem Auto als Beifahrer:in	10,9	14,73	15,93	3,71	0,12	44,67	9,94
Mit dem Auto als Lenker:in	7,54	20,48	13,29	16,53	2,75	30,9	8,5
Mit dem Fahrrad	1,92	4,43	1,08	34,97	54,49	1,92	1,2
Mit öffentlichen Verkehrsmitteln (z.B. Bus, Straßenbahn, U-Bahn, Zug)	14,13	16,29	9,34	27,78	7,78	22,4	2,28
Scooter / E-Scooter	0,84	1,56	1,08	1,32	0,36	56,77	38,08
Zu Fuß	1,8	7,54	2,28	32,81	49,46	3,59	2,51

Tabelle 17: Fahrradtyp

Fahrradtyp	Absolutwerte			Relativanteil		
	Fahrrad	E-Bike	Keine Angabe	Fahrrad	E-Bike	Keine Angabe
City-Bike	422	62	3	50,54	7,43	0,36
Mountainbike	81	14	2	9,70	1,68	0,24
Rennrad	85	2	0	10,18	0,24	0,00
Lastenrad	12	22	0	1,44	2,63	0,00
Anderer	100	5	2	11,98	0,60	0,24
keine Angabe	14	1	8	1,68	0,12	0,96

Die häufige Nutzung des Fahrrads widerspiegelt sich auch in der Fahrleistung. Die Teilnehmer:innen können durchwegs als Vielfahrer:innen bezeichnet werden. Der Großteil der Teilnehmer:innen (64,07 %) legt Distanzen bis zu 10 km pro Tag zurück (Abbildung 28, Tabelle 18). Die häufigsten Distanzen liegen zwischen 6-10 km sowie 1-5 km pro Tag. Etwas mehr als ein Fünftel der Teilnehmer:innen benutzen ihr Fahrrad für Wegstrecken zwischen 11-20 km und jeder zehnte fährt mehr als 20 km täglich.

Abbildung 28: Tägliche Fahrleistung

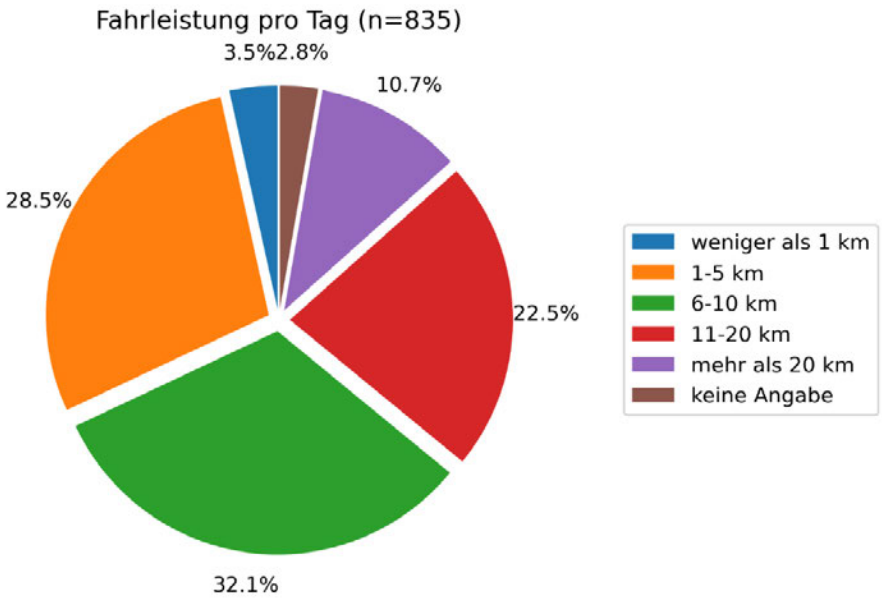


Tabelle 18: Tägliche Fahrleistung

Distanz	Absolutwerte	Relativanteil	Kumulierter Anteil
weniger als 1 km	29	3,47	3,47
1-5 km	238	28,50	31,98
6-10 km	268	32,10	64,07
11-20 km	188	22,51	86,59
mehr als 20 km	89	10,66	97,25
keine Angabe	23	2,75	100,00

Wesentlich für eine sichere Teilnahme im Straßenverkehr und Reduktion des Verletzungsrisikos, ist die Verwendung eines Fahrradhelmes. Bei der Helmtragequote sind Frauen sicherheitsbewusster als Männer (Tabelle 19). 67,03 % der weiblichen Teilnehmerinnen gaben an, den Helm so gut wie immer zu tragen, bei Männern hingegen lag dieser Anteil bei 62,71 %. Umgekehrt war das Antwortitem „(So gut wie) Nie“ bei den Männern häufiger (14,5 %) als bei den Frauen (10,62 %). Bei den Altersgruppen sind junge Radfahrer:innen und Senior:innen (65+) die Helmmuffel. 62.01 % bzw. 62,79 % tragen diesen „(So gut wie) immer“ bzw. „Häufig". Hingegen ist bei den beiden anderen Altersgruppen die Helmtragequote deutlich höher und liegt bei 78,72 % bzw. 75,65 %. Neben den geschlechts- und altersspezifischen Unterschieden geht aus der Umfrage auch klar hervor, dass Radfahrer:innen mit einer höheren Fahrleistung häufiger einen Helm benutzen (Tabelle 21, Tabelle 22). Während die Helmtragequote bei Teilnehmer:innen mit einer Fahrleistung von weniger als 1 km pro Tag bei nur 41,38 % liegt, ist diese bei Vielfahrer:innen mit einer Fahrleistung von mehr als 20 km bei 77,53 %. Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen Fahrleistung und Helmtragequote ($\chi^2(16, N = 807) = 27,89$, $p = 0,033$, $V = 0,09$).

Tabelle 19: Helmtragequote nach Geschlecht

	Absolutwerte			Relativanteile		
Helm	**männlich**	**weiblich**	**keine Angabe**	**männlich**	**weiblich**	**keine Angabe**
(So gut wie) immer	333	183	16	62,71	67,03	51,61
Häufig	51	27	2	9,60	9,89	6,45
Manchmal	38	20	2	7,16	7,33	6,45
Selten	29	12	2	5,46	4,40	6,45
(So gut wie) Nie	77	29	9	14,5	10,62	29,03
keine Angabe	3	2	0	0,56	0,73	0,00

Tabelle 20: Helmtragequote nach Altersgruppen

	Absolutwerte				Relativanteile			
Helm	**<30**	**30-49**	**50-64**	**65+**	**<30**	**30-49**	**50-64**	**65+**
(So gut wie) immer	62	277	122	24	48,06	71,03	63,21	55,81
Häufig	18	30	24	3	13,95	7,69	12,44	6,98
Manchmal	16	18	11	8	12,4	4,62	5,7	18,6
Selten	9	16	10	3	6,98	4,1	5,18	6,98
(So gut wie) Nie	24	49	24	4	18,6	12,56	12,44	9,3

Tabelle 21: Absolutwerte der Helmtragequote nach Fahrleistung

Helm	**weniger als 1 km**	**1-5 km**	**6-10 km**	**11-20 km**	**mehr als 20 km**	**keine Angabe**
(So gut wie) immer	12	138	171	130	69	12
Häufig	5	22	29	17	3	4
Manchmal	5	22	16	9	7	1
Selten	3	15	13	9	2	1
(So gut wie) Nie	3	39	38	22	8	5
Keine Angabe	1	2	1	1	0	0

Tabelle 22: Relativanteile der Helmtragequote nach Fahrleistung

Helm	weniger als 1 km	1-5 km	6-10 km	11-20 km	mehr als 20 km	keine Angabe
(So gut wie) immer	41,38	57,98	63,81	69,15	77,53	52,17
Häufig	17,24	9,24	10,82	9,04	3,37	17,39
Manchmal	17,24	9,24	5,97	4,79	7,87	4,35
Selten	10,34	6,3	4,85	4,79	2,25	4,35
(So gut wie) Nie	10,34	16,39	14,18	11,7	8,99	21,74
Keine Angabe	3,45	0,84	0,37	0,53	0,00	0,00

4.1.2 Motivation und Zweck

Radfahren wird primär als gesund, effizient und stadtverträglich erlebt. Die größten Hürden liegen weniger im individuellen Willen als in Infrastrukturqualität und Interaktionen mit den Kfz. Die Motivation zum Radfahren ist in Abbildung 29 und die dazugehörigen Relativ- und Absolutwerte in den Tabelle 23 und Tabelle 24 zusammengefasst.

Die zentralen Motive fürs Radfahren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Gesundheit und Wohlbefinden: Alltagsbewegung, Training ohne Zusatzzeit, Stressabbau.
- Zeit und Verlässlichkeit: planbare Reisezeiten, oft schneller als Auto/Öffi, Haus-zu-Haus ohne Parkplatzsuche.
- Umwelt und Stadtqualität: weniger Emissionen/Lärm/Flächenverbrauch, Vorbildwirkung.

Barrieren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Infrastrukturdefizite: schmale/unterbrochene Wege, Bewuchs, Engstellen, teils konkrete Routenprobleme.
- Verhalten im Verkehr: rücksichtsloses Überholen, Zuparken/Abdrängen, gefühlte Unsicherheit.
- Externe Faktoren: Wetter; ÖV wird als Backup genutzt.

Abbildung 29: Motivation Radfahren

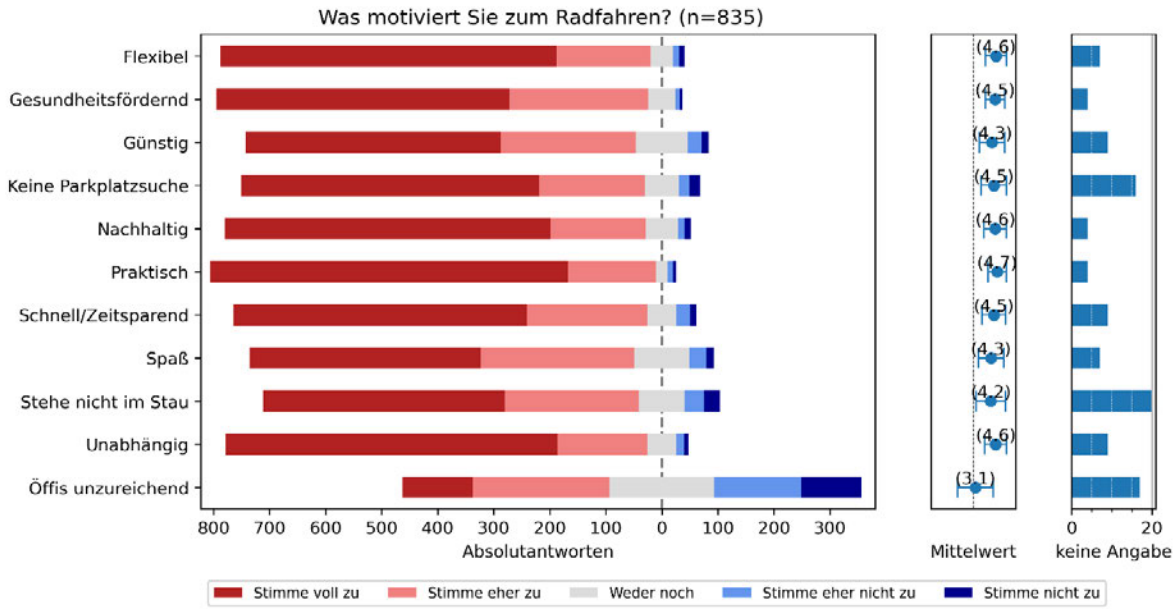


Tabelle 23: Absolutwerte für die Fragestellung „Motivation Radfahren"

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Flexibel	599	168	40	11	10	7
Gesundheitsfördernd	523	247	49	7	5	4
Günstig	455	241	93	24	13	9
Keine Parkplatzsuche	532	188	61	19	19	16
Nachhaltig	581	169	58	12	11	4
Praktisch	638	157	21	10	5	4
Schnell/Zeitsparend	523	215	52	24	12	9
Spaß	413	273	99	30	13	7
Stehe nicht im Stau	431	239	82	34	29	20
Unabhängig	592	160	52	14	8	9
Öffis unzureichend	125	244	187	155	107	17

Tabelle 24: Relativanteile für die Fragestellung „Motivation Radfahren"

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Flexibel	71,74	20,12	4,79	1,32	1,2	0,84
Gesundheitsförd ernd	62,63	29,58	5,87	0,84	0,6	0,48
Günstig	54,49	28,86	11,14	2,87	1,56	1,08
Keine Parkplatzsuche	63,71	22,51	7,31	2,28	2,28	1,92
Nachhaltig	69,58	20,24	6,95	1,44	1,32	0,48
Praktisch	76,41	18,8	2,51	1,2	0,6	0,48
Schnell/Zeitspa rend	62,63	25,75	6,23	2,87	1,44	1,08
Spaß	49,46	32,69	11,86	3,59	1,56	0,84
Stehe nicht im Stau	51,62	28,62	9,82	4,07	3,47	2,4
Unabhängig	70,9	19,16	6,23	1,68	0,96	1,08
Öffis unzureichend	14,97	29,22	22,4	18,56	12,81	2,04

Für den Weg zur Arbeit, in die Schule oder zur Ausbildungsstätte wird das Fahrrad fast täglich bzw. mehrmals die Woche benutzt (Abbildung 30, Tabelle 25). Ebenso wird das Fahrrad mehrmals die Woche für Einkäufe als auch für Freizeitaktivitäten genutzt. Bei den Umfrageteilnehmer:innen waren nur wenige, welche das Fahrrad auch beruflich nutzen.

Abbildung 30: Zweck Radfahren

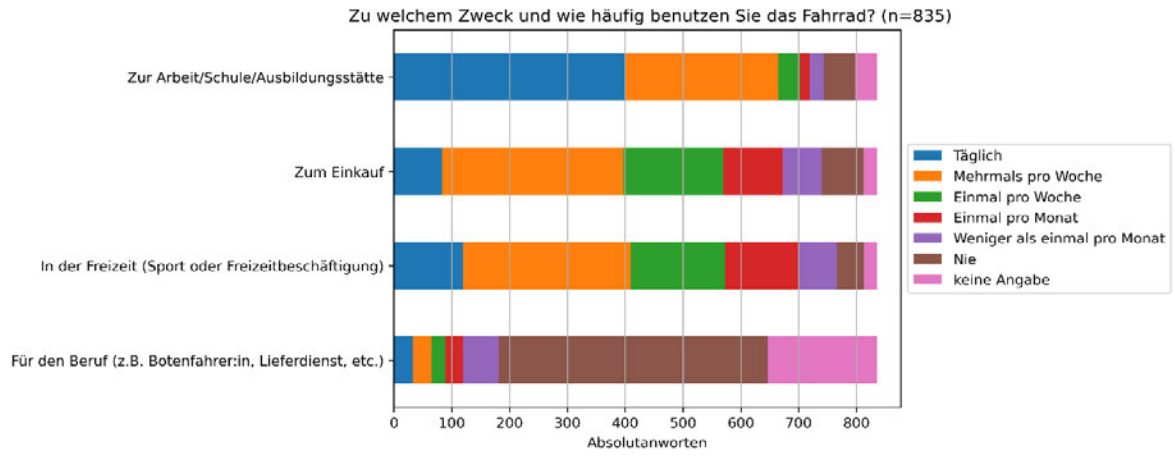


Tabelle 25: Absolutwerte für die Fragestellung „Motivation Radfahren"

Antwortitem	Einmal pro Monat	Einmal pro Woche	Mehrmals pro Woche	Nie	Täglich	Weniger als einmal pro Monat	keine Angabe
Für den Beruf	31	24	32	465	33	62	188
In der Freizeit	126	164	289	47	120	67	22
Zum Einkauf	102	173	314	72	83	68	23
Arbeit/Schule /Ausbildungs stätte	18	37	265	54	400	24	37

4.1.3 Einschätzung der persönlichen Sicherheit

Der Großteil fühlt sich als Radfahrer:in sicher (Abbildung 31, Tabelle 26). Zwei Fünftel (41,2 %) der Teilnehmer:innen fühlen sich sehr sicher und 8,4 % fühlen sich eher sicher. Aber auch ein Fünftel fühlt sich als Radfahrer:in eher unsicher (17,2 %) bzw. 2,6 % fühlen sich sogar sehr unsicher.

Abbildung 31: Einschätzung der persönlichen Sicherheit

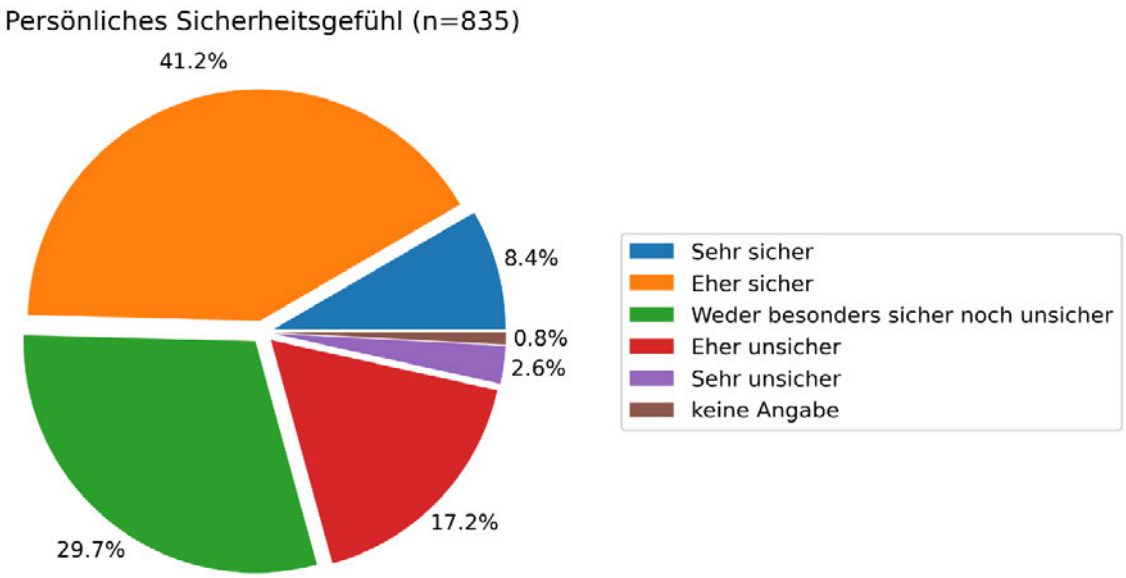


Tabelle 26: Einschätzung der persönlichen Sicherheit

Distanz	Absolutwerte	Relativanteil
Sehr sicher	70	8,38
Eher sicher	344	41,20
Weder besonders sicher noch unsicher	248	29,70
Eher unsicher	144	17,25
Sehr unsicher	22	2,63
Keine Angabe	7	0,84

Situationen, welche sich negativ auf das Sicherheitsgefühl von Radfahrer:innen auswirken, sind Überholvorgänge motorisierter Fahrzeuge knapp vor einer Kreuzung und diese dann in den eigenen Fahrstreifen schneiden als auch der ungenügende seitliche Abstand, wenn Radfahrer:innen überholt werden (Abbildung 32, Tabelle 27, Tabelle 28). Ebenso wird die eigene Sicherheit als besonders negativ empfunden, wenn sich die Radfahrer:innen im Toten Winkel befinden. Auch wird ein knappes Vorbeifahren an parkenden Fahrzeugen als unangenehm empfunden.

Folgende qualitative Bemerkungen wurden von den Teilnehmer:innen getroffen, welche zu Unsicherheiten beitragen können:

- Knoten- und Vorrangkonflikte
  - Abbiegende Fahrzeuge schneiden Radwege; Vorrang wird an ungeregelten Kreuzungen missachtet.
  - Paralleles Grün für Radfahrer:innen und abbiegenden Kfz führt zu Konfliktsituationen.
  - Querungen von Ein- und Ausfahrten (Einkaufszentren, Parkplätze) sind konfliktträchtig.
  - Fehlendes Blinken/Schulterblick; Unterschätzen der Radgeschwindigkeit.
- Fahrsituationen
  - Dichtes Auffahren, Hupen, Motoraufheulen.
  - Schneiden nach dem Überholen.
  - Überholen trotz Gegenverkehr und Überholen in/nahe Kreuzungen.
  - Enges, knappes und aggressives Überholen
  - Schnelle E-Scooter/E-Bikes überholen lautlos und knapp.
- Dooring- und Parkstreifenprobleme
  - Fahren im Dooringbereich auf Mehrzweck- oder schmalen Radstreifen.
  - Plötzlich geöffnete Türen, rückwärts Ausparken.
  - Radwege und Aufstellbereiche werden regelmäßig zugeparkt/blockiert.
- Infrastruktur und Signaltechnik
  - Abruptes Ende von Radwegen.
  - Zu schmale Querschnitte.
  - Geh-/Radwege ohne Trennung – besonders auf hochfrequentierten Strecken.
  - Auf Gehsteigniveau geführte Radwege mit vielen Einfahrten alle paar Meter.
  - Unklare Zuordnung, welche Ampel für Radfahrer:innen gilt; zu kurze Freigaben.
  - Paralleles Grün mit abbiegendem Kfz statt Schutzphasen.
  - Auslösetaster der Signaleinrichtung ungünstig positioniert.
  - Bike-Boxen werden übersehen/zugeparkt.
  - Fehlende sichere Umleitungen bei Baustellen.
  - Temporäre Hindernisse am Radweg (Schilder, Absperrungen).
  - Zu hohe Geschwindigkeiten für die vorhandene Breite.
  - Schlechter Belag, Risse/Löcher; rutschige Blätter, Schnee/Salz auf Radwegen.
  - Schienenquerungen im spitzen Winkel.

Abbildung 32: Gefühlte Sicherheit der Radfahrer:innen

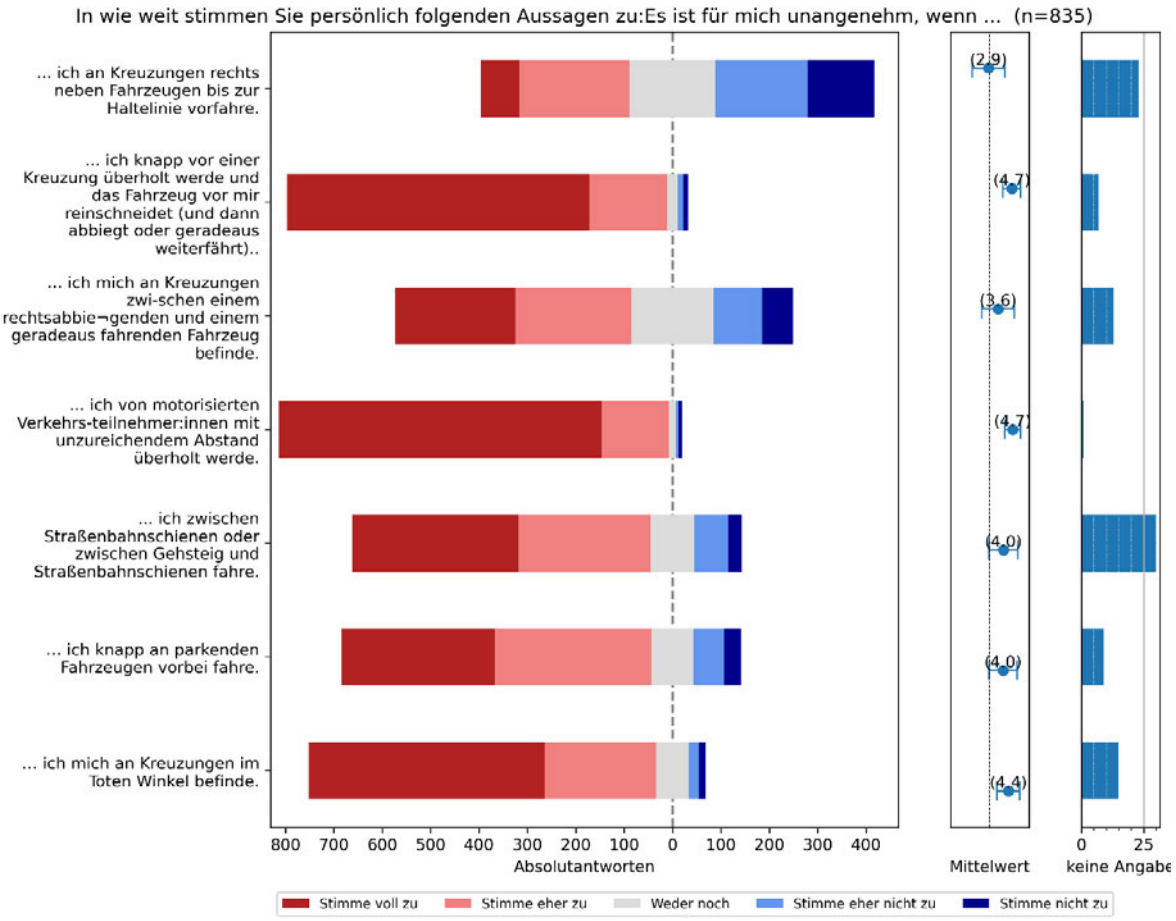


Tabelle 27: Absolutantworten zu Aussagen gefühlter Sicherheit

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Es ist unangenehm, wenn ich an Kreuzungen rechts neben Fahrzeugen bis zur Haltelinie vorfahre.	79	228	177	191	137	23
Es ist unangenehm, wenn ich knapp vor einer Kreuzung überholt werde und das Fahrzeug vor mir reinschneidet (und dann abbiegt oder geradeaus weiterfährt).	625	161	21	12	9	7
Es ist unangenehm, wenn ich mich an Kreuzungen zwischen einem rechtsabbiegenden und einem geradeaus fahrenden Fahrzeug befinde.	248	240	170	100	64	13
Es ist unangenehm, wenn ich von motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen mit unzureichendem Abstand überholt werde.	668	139	14	6	7	1
Es ist unangenehm, wenn ich zwischen Straßenbahnschienen oder zwischen Gehsteig und Straßenbahnschienen fahre.	343	273	91	69	29	30
Es ist unangenehm, wenn ich knapp an parkenden Fahrzeugen vorbei fahre.	317	324	87	63	35	9
Es ist unangenehm, wenn ich mich an Kreuzungen im Toten Winkel befinde.	487	231	67	21	14	15
Es ist unangenehm, wenn ich an Kreuzungen rechts neben Fahrzeugen bis zur Haltelinie vorfahre.	79	228	177	191	137	23
Es ist unangenehm, wenn ich knapp vor einer Kreuzung überholt werde und das Fahrzeug vor mir reinschneidet (und dann abbiegt oder geradeaus weiterfährt).	625	161	21	12	9	7

Tabelle 28: Relativanteile zu Aussagen gefühlter Sicherheit

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Es ist unangenehm, wenn ich an Kreuzungen rechts neben Fahrzeugen bis zur Haltelinie vorfahre.	9,46	27,31	21,20	22,87	16,41	2,75
Es ist unangenehm, wenn ich knapp vor einer Kreuzung überholt werde und das Fahrzeug vor mir reinschneidet (und dann abbiegt oder geradeaus weiterfährt).	74,85	19,28	2,51	1,44	1,08	0,84
Es ist unangenehm, wenn ich mich an Kreuzungen zwischen einem rechtsabbiegenden und einem geradeaus fahrenden Fahrzeug befinde.	29,70	28,74	20,36	11,98	7,66	1,56
Es ist unangenehm, wenn ich von motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen mit unzureichendem Abstand überholt werde.	80,00	16,65	1,68	0,72	0,84	0,12
Es ist unangenehm, wenn ich zwischen Straßenbahnschienen oder zwischen Gehsteig und Straßenbahnschienen fahre.	41,08	32,69	10,90	8,26	3,47	3,59
Es ist unangenehm, wenn ich knapp an parkenden Fahrzeugen vorbei fahre.	37,96	38,80	10,42	7,54	4,19	1,08
Es ist unangenehm, wenn ich mich an Kreuzungen im Toten Winkel befinde.	58,32	27,66	8,02	2,51	1,68	1,80
Es ist unangenehm, wenn ich an Kreuzungen rechts neben Fahrzeugen bis zur Haltelinie vorfahre.	9,46	27,31	21,20	22,87	16,41	2,75
Es ist unangenehm, wenn ich knapp vor einer Kreuzung überholt werde und das Fahrzeug vor mir reinschneidet (und dann abbiegt oder geradeaus weiterfährt).	74,85	19,28	2,51	1,44	1,08	0,84

4.1.4 Verhalten der Radfahrer:innen an Kreuzungen

Rücksichtsloses Verhalten von Autofahrer:innen gegenüber Radfahrer:innen findet die größte Zustimmung aus der Sicht von Radfahrer:innen (Abbildung 33, Tabelle 29, Tabelle 30). Die bestehende Radinfrastruktur macht es unter anderem auch schwer alle Verkehrsregeln immer einzuhalten und manche Regeln sind aus der Sicht von Radfahrer:innen wenig sinnvoll. Das kann dazu führen, dass Radfahrer:innen manchmal riskanter fahren oder sich an Kreuzungen an stehenden Fahrzeugen vorbeischlängeln. Vielfach sind Radfahrer:innen auch der Meinung, dass motorisierte Verkehrsteilnehmer:innen den Rechtsvorrang von Radfahrer:innen ignorieren.

Abbildung 33: Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen

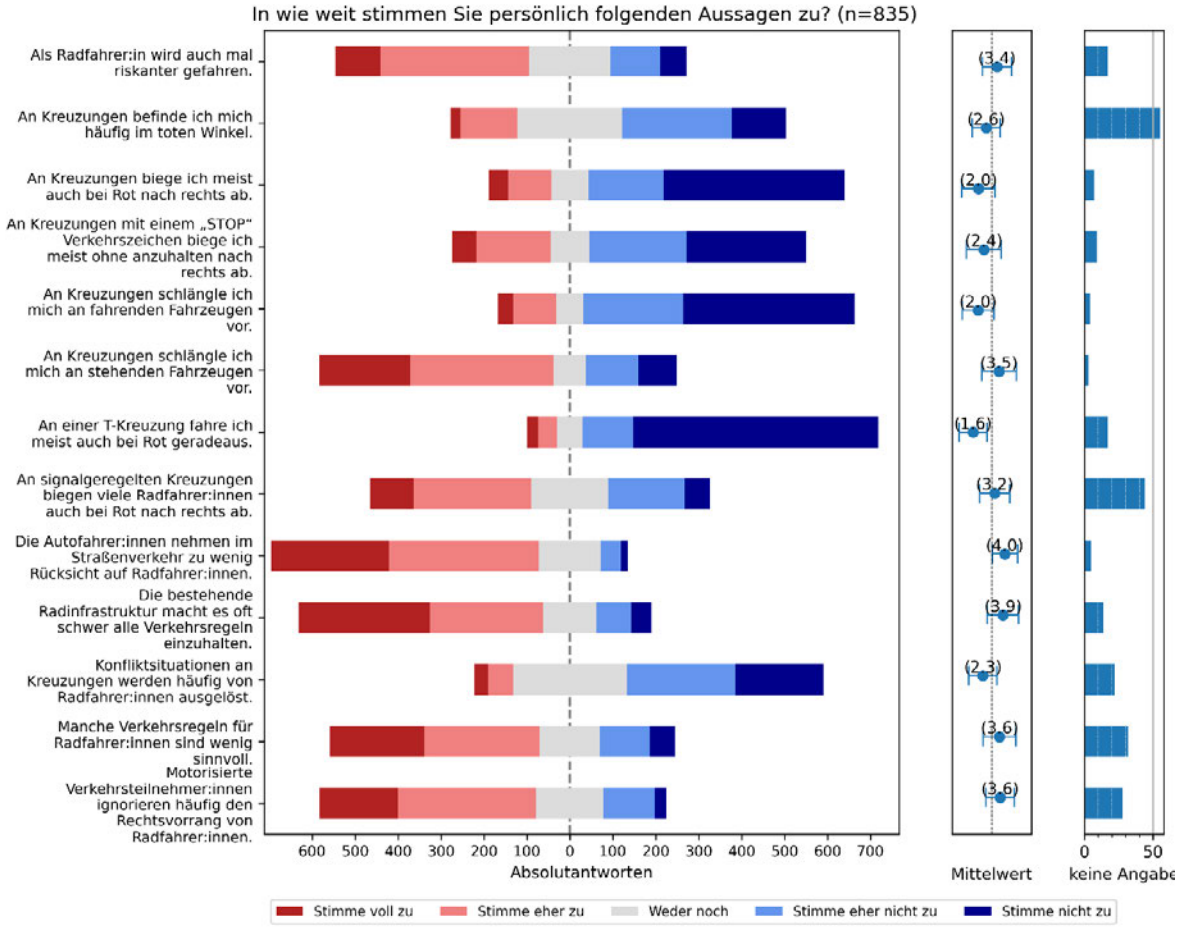


Tabelle 29: Absolutantworten zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Als Radfahrer:in wird auch mal riskanter gefahren.	105	346	189	116	62	17
An Kreuzungen befinde ich mich häufig im toten Winkel.	22	133	244	256	125	55
An Kreuzungen biege ich meist auch bei Rot nach rechts ab.	45	100	87	176	420	7
An Kreuzungen mit einem „STOP“ Verkehrszeichen biege ich meist ohne anzuhalten nach rechts ab.	57	173	90	227	279	9
An Kreuzungen schlängle ich mich an fahrenden Fahrzeugen vor.	35	101	63	233	399	4
An Kreuzungen schlängle ich mich an stehenden Fahrzeugen vor.	212	334	75	122	89	3
An einer T-Kreuzung fahre ich meist auch bei Rot geradeaus.	26	44	59	118	571	17
An signalgeregelten Kreuzungen biegen viele Radfahrer:innen auch bei Rot nach rechts ab.	101	274	179	177	60	44
Die Autofahrer:innen nehmen im Straßenverkehr zu wenig Rücksicht auf Radfahrer:innen.	274	349	144	47	16	5
Die bestehende Radinfrastruktur macht es oft schwer alle Verkehrsregeln einzuhalten.	306	263	125	80	47	14
Konfliktsituationen an Kreuzungen werden häufig von Radfahrer:innen ausgelöst.	33	57	265	252	206	22
Manche Verkehrsregeln für Radfahrer:innen sind wenig sinnvoll.	220	268	141	116	58	32
Motorisierte Verkehrsteilnehmer:innen ignorieren häufig den Rechtsvorrang von Radfahrer:innen.	183	321	157	119	27	28

Tabelle 30: Relativanteile zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Als Radfahrer:in wird auch mal riskanter gefahren.	12,57	41,44	22,63	13,89	7,43	2,04
An Kreuzungen befinde ich mich häufig im toten Winkel.	2,63	15,93	29,22	30,66	14,97	6,59
An Kreuzungen biege ich meist auch bei Rot nach rechts ab.	5,39	11,98	10,42	21,08	50,3	0,84
An Kreuzungen mit einem „STOP“ Verkehrszeichen biege ich meist ohne anzuhalten nach rechts ab.	6,83	20,72	10,78	27,19	33,41	1,08
An Kreuzungen schlängle ich mich an fahrenden Fahrzeugen vor.	4,19	12,1	7,54	27,9	47,78	0,48
An Kreuzungen schlängle ich mich an stehenden Fahrzeugen vor.	25,39	40	8,98	14,61	10,66	0,36
An einer T-Kreuzung fahre ich meist auch bei Rot geradeaus.	3,11	5,27	7,07	14,13	68,38	2,04
An signalgeregelten Kreuzungen biegen viele Radfahrer:innen auch bei Rot nach rechts ab.	12,1	32,81	21,44	21,2	7,19	5,27
Die Autofahrer:innen nehmen im Straßenverkehr zu wenig Rücksicht auf Radfahrer:innen.	32,81	41,8	17,25	5,63	1,92	0,6
Die bestehende Radinfrastruktur macht es oft schwer alle Verkehrsregeln einzuhalten.	36,65	31,5	14,97	9,58	5,63	1,68
Konfliktsituationen an Kreuzungen werden häufig von Radfahrer:innen ausgelöst.	3,95	6,83	31,74	30,18	24,67	2,63
Manche Verkehrsregeln für Radfahrer:innen sind wenig sinnvoll.	26,35	32,1	16,89	13,89	6,95	3,83
Motorisierte Verkehrsteilnehmer:innen ignorieren häufig den Rechtsvorrang von Radfahrer:innen.	21,92	38,44	18,8	14,25	3,23	3,35

Tendenziell missachten Radfahrer:innen das Rotlicht an Kreuzungen wenn keine weiteren Verkehrsteilnehmer:innen anwesend sind bzw. wenn es für die Radfahrer:innen ungefährlich ist (Abbildung 34, Tabelle 31, Tabelle 32). Auch wenn die Ampel auf Orange umschaltet wird die Kreuzung noch schnell überquert. Sofern wenig Verkehr herrscht, wird auch das Rotlicht missachtet.

Aus der qualitativen Auswertung geht hervor, dass die Radfahrer:innen zwischen legalen Ausnahmen („Grünpfeil“) und einer Regelmissachtung unterscheiden. Manche Radfahrer:innen sehen Verstöße als Pragmatismus gegen sinnlose Anlagen. Regelmissachtungen sind situativ, wenn wenig bis kein Verkehr herrscht und niemand gefährdet wird, sowie nachts, wo entsprechend weniger Verkehr vorliegt. Einige lehnen Rotlichtverstöße grundsätzlich ab (Vorbild, vorhersehbares Verhalten, Image des Radverkehrs) und einzelne betonen, dass sie Verstöße nur auf expliziten Radfahrer:innenampeln begehen jedoch nicht im Mischverkehr. Besondere Rücksicht wird genommen, wenn Kinder in der Nähe sind. Der Grünpfeil mit verpflichtendem Anhalten hingegen wird akzeptiert. Eine hohe Frustration besteht bei schlechter Detektion der Radfahrer:innen durch die Ampel, da Induktionsschleifen Radfahrer:innen nicht erfassen. Ebenso frustrieren Druckknopf geregelte Ampeln mit langen Wartezeiten. Aus Sicht der Radfahrer:innen wird dadurch die Wartezeit nicht verkürzt. In der Wahrnehmung der Radfahrer:innen sind die Ampelschaltungen auf das Kfz optimiert und der Rad- sowie Fußverkehr sind benachteiligt. Das wird durch kürzere grüne Fenster und längere zeitliche Umläufe empfunden. Eine Regelmissachtung erfolgt vorwiegend auf Grund eines unfairen und ineffizient empfundenen Systems. Wartezeiten und Grünphasenlogik werden aus Sicht der Radfahrer:innen als nicht radgerecht erlebt. An Stellen, wo das Verkehrssystem die Bedürfnisse von Radfahrer:innen berücksichtigt, z.B. Grünpfeilregelung, sinkt auch das Bedürfnis von Regelbrüchen.

Abbildung 34: Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen bei Rot

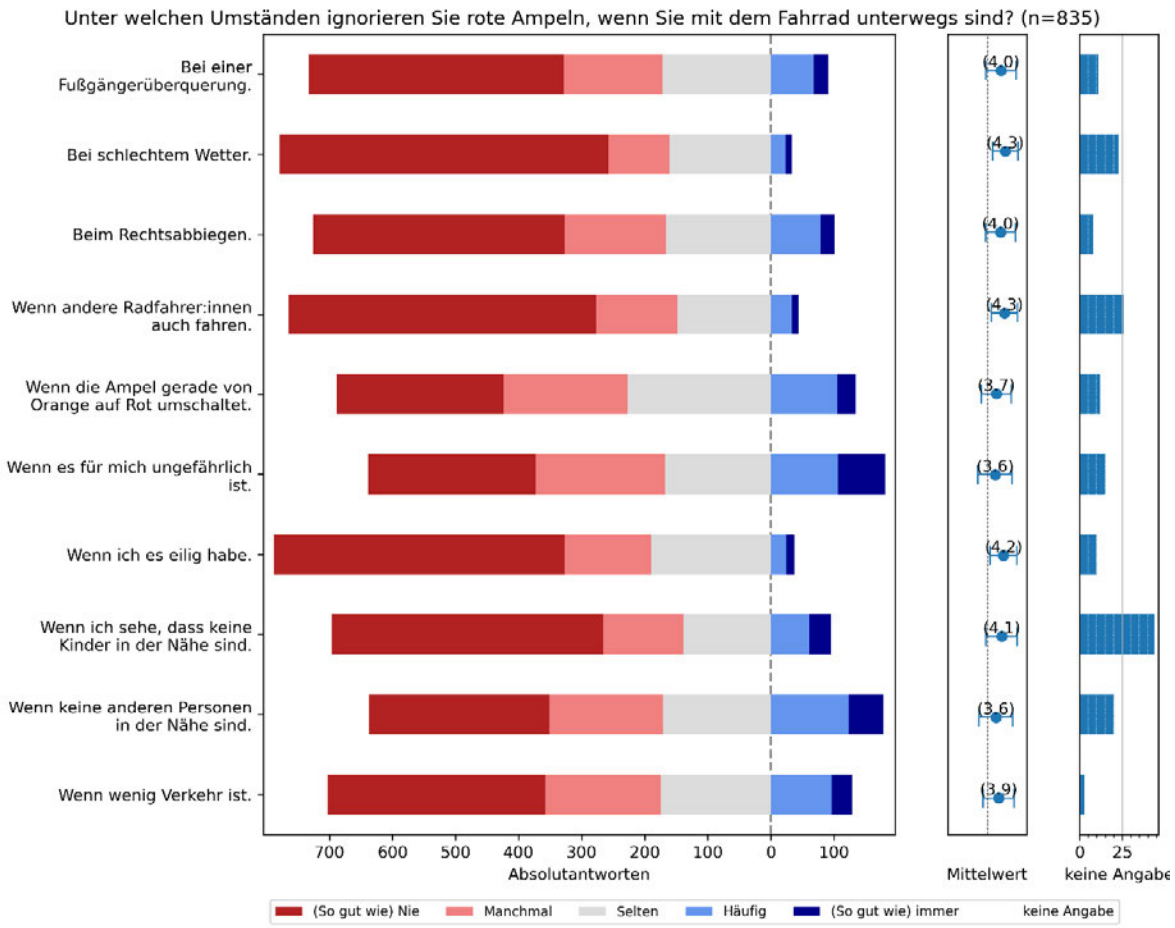


Tabelle 31: Absolutantworten zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen bei Rot

Antwortitem	(So gut wie) Nie	Selten	Manchmal	Häufig	(So gut wie) immer	keine Angabe
Bei einer Fußgängerüberquerung.	405	172	156	68	23	11
Bei schlechtem Wetter.	521	161	97	23	10	23
Beim Rechtsabbiegen.	399	166	161	79	22	8
Wenn andere Radfahrer:innen auch fahren.	488	148	129	33	11	26
Wenn die Ampel gerade von Orange auf Rot umschaltet.	264	227	197	105	30	12
Wenn es für mich ungefährlich ist.	265	168	205	106	76	15
Wenn ich es eilig habe.	461	190	137	24	13	10

Antwortitem	(So gut wie) Nie	Selten	Manchmal	Häufig	(So gut wie) immer	keine Angabe
Wenn ich sehe, dass keine Kinder in der Nähe sind.	430	139	127	61	34	44
Wenn keine anderen Personen in der Nähe sind.	286	171	180	124	54	20
Wenn wenig Verkehr ist.	345	175	183	96	33	3

Tabelle 32: Relativanteile zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen bei Rot

Antwortitem	(So gut wie) Nie	Selten	Manchmal	Häufig	(So gut wie) immer	keine Angabe
Bei einer Fußgängerüberquerung.	48,5	20,6	18,68	8,14	2,75	1,32
Bei schlechtem Wetter.	62,4	19,28	11,62	2,75	1,2	2,75
Beim Rechtsabbiegen.	47,78	19,88	19,28	9,46	2,63	0,96
Wenn andere Radfahrer:innen auch fahren.	58,44	17,72	15,45	3,95	1,32	3,11
Wenn die Ampel gerade von Orange auf Rot umschaltet.	31,62	27,19	23,59	12,57	3,59	1,44
Wenn es für mich ungefährlich ist.	31,74	20,12	24,55	12,69	9,1	1,8
Wenn ich es eilig habe.	55,21	22,75	16,41	2,87	1,56	1,2
Wenn ich sehe, dass keine Kinder in der Nähe sind.	51,5	16,65	15,21	7,31	4,07	5,27
Wenn keine anderen Personen in der Nähe sind.	34,25	20,48	21,56	14,85	6,47	2,4
Wenn wenig Verkehr ist.	41,32	20,96	21,92	11,5	3,95	0,36

Neben dem eigenen Verhalten wird auch das Verhalten anderer Radfahrer:innen kritisch beobachtet (Tabelle 33). Rotlichtmissachtungen werden von rund einem Drittel (33,17 %) der Radfahrer:innen berichtet.

Tabelle 33: Verhalten anderer Radfahrer:innen an Kreuzungen

Distanz	Absolutwerte	Relativanteil
(So gut wie) Nie	26	3,11
Selten	151	18,08
Manchmal	363	43,47
Häufig	193	23,11
Sehr häufig	84	10,06
keine Angabe	18	2,16

4.1.5 Grünpfeilregelung

4.1.5.1 Regelkenntnis

Die Grünpfeilregelung ist den Teilnehmer:innen bekannt und sie fühlen sich ausreichend informiert (Abbildung 35, Tabelle 34, Tabelle 35). Die Teilnehmer:innen sind auch mit der Regelung vertraut (Abbildung 36, Tabelle 36, Tabelle 37). Insbesondere die Anhaltepflicht ist den Teilnehmer:innen bewusst, aber auch die Möglichkeit, die Regelung nicht in Anspruch nehmen zu müssen. Geringe Unsicherheiten ergaben sich bei T-Kreuzungen. Hier ist die Regelung nicht vollständig bekannt.

Die qualitativen Antworten zur Regelung ergänzen die quantitativen Fragestellungen. So wird häufig bemängelt, dass die Zusatztafeln sehr klein und schlecht platziert (z. B. gegenüberliegende Ampel, ungünstige Höhe) sind. Viele Autofahrende kennen die Regel nicht und dadurch können Missverständnisse und Konflikte entstehen („Radfahrer:innen fahren bei Rot in die Kreuzung ein“). In Wien ist die Regelung bereits vielen bekannt und wird genutzt. In Graz und anderen Städten ist der Grünpfeil noch kaum vorhanden oder die Teilnehmer:innen waren damit noch nicht bzw. nicht sehr häufig mit diesem konfrontiert. Grünpfeile an T-Kreuzungen sind besonders selten und die Regelung ist nicht allen vollständig klar. Es besteht Uneinigkeit, ob ein zwingender Halt nötig ist oder „Vorrang geben“ ausreichen sollte. Manche Teilnehmer:innen kennen die Regelung nicht oder sind unsicher, wann und wo die Regelung gilt.

Ein Teil der Teilnehmer:innen begrüßt die Grünpfeil-Regelung, da sich dadurch ein flüssigerer Verkehr ergibt und wünscht sich deutlich mehr Standorte (auch für

T-Kreuzungen). Aus den qualitativ ausgewerteten Rückmeldungen wird von einigen Radfahrer:innen sogar eine generelle Freigabe des Rechtsabbiegens bei Rot gewünscht, wie es in anderen Ländern teilweise der Fall ist, wenngleich dies von der Mehrheit der Befragten abgelehnt wird (siehe Abbildung 38). Andere Teilnehmer:innen halten die Regelung jedoch für „sinnlos“ und kritisieren die Anhaltepflicht als unpraktisch und beobachten, dass ohnehin nicht viele Radfahrer:innen anhalten. Allerdings gibt es auch strikt regelkonforme Stimmen, für welche eine Rote Ampel jedenfalls stehen bleiben bedeutet („niemals bei Rot“).

Jedenfalls wird betont, dass durch die Regelung niemand gefährdet werden soll, insbesondere Fußgänger:innen. Konflikte entstehen teilweise, wenn vorn stehende Radfahrer:innen trotz Grünpfeil warten und Nachkommende passieren wollen.

Abbildung 35: Informationsstand zur Grünpfeilregelung

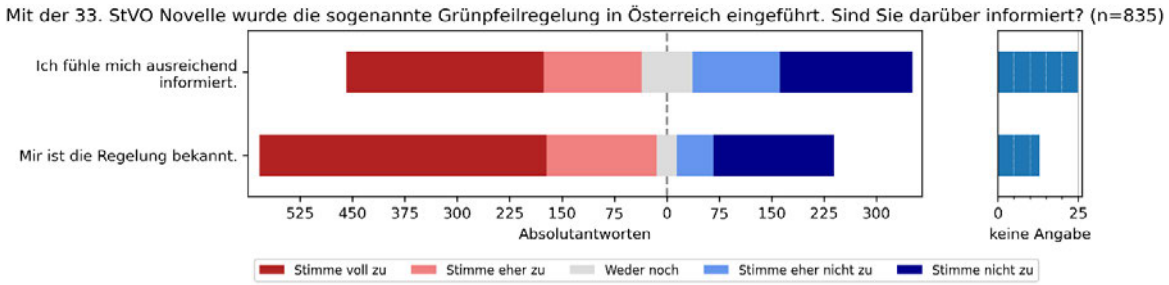


Tabelle 34: Absolutantworten zum Informationsstand zur Grünpfeilregelung

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Ich fühle mich ausreichend informiert	282	140	73	125	190	25
Mir ist die Regelung bekannt	411	158	28	53	172	13

Tabelle 35: Relativanteile zum Informationsstand zur Grünpfeilregelung

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Ich fühle mich ausreichend informiert	33,77	16,77	8,74	14,97	22,75	2,99
Mir ist die Regelung bekannt	49,22	18,92	3,35	6,35	20,6	1,56

Abbildung 36: Regelkenntnis Grünpfeil

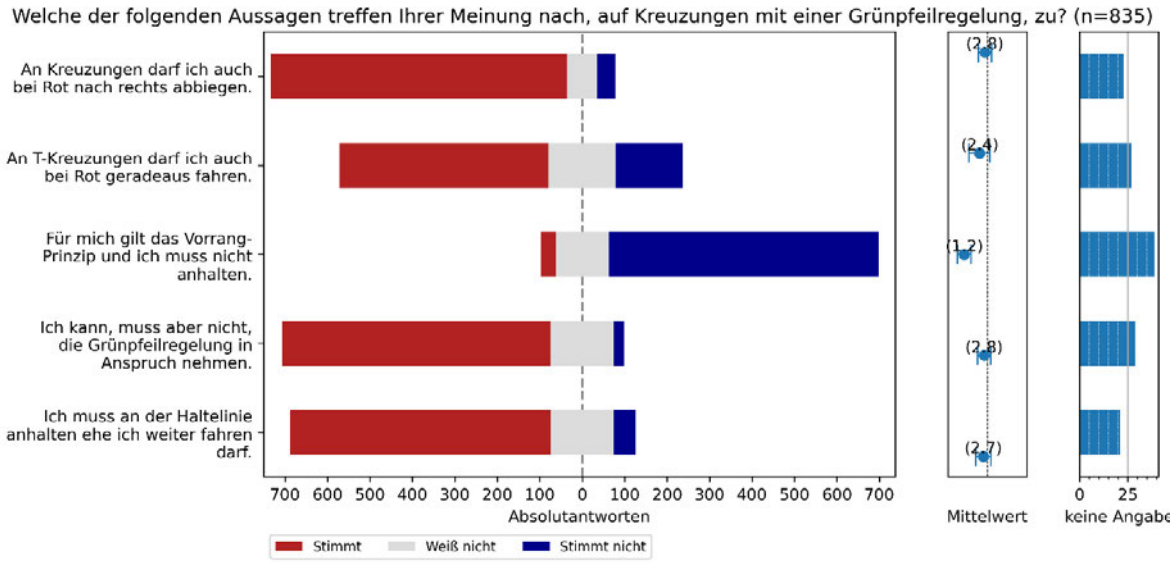


Tabelle 36: Absolutantworten zur Regelkenntnis Grünpfeil

Antwortitem	Stimmt	Weiß nicht	Stimmt nicht	keine Angabe
An Kreuzungen darf ich auch bei Rot nach rechts abbiegen.	698	72	42	23
An T-Kreuzungen darf ich auch bei Rot geradeaus fahren.	492	159	157	27
Für mich gilt das Vorrang-Prinzip und ich muss nicht anhalten.	35	125	636	39
Ich kann, muss aber nicht, die Grünpfeilregelung in Anspruch nehmen.	632	150	24	29
Ich muss an der Haltelinie anhalten ehe ich weiter fahren darf.	614	148	52	21

Tabelle 37: Relativanteile zur Regelkenntnis Grünpfeil

Antwortitem	Stimmt	Weiß nicht	Stimmt nicht	keine Angabe
An Kreuzungen darf ich auch bei Rot nach rechts abbiegen.	83,59	8,62	5,03	2,75
An T-Kreuzungen darf ich auch bei Rot geradeaus fahren.	58,92	19,04	18,8	3,23
Für mich gilt das Vorrang-Prinzip und ich muss nicht anhalten.	4,19	14,97	76,17	4,67
Ich kann, muss aber nicht, die Grünpfeilregelung in Anspruch nehmen.	75,69	17,96	2,87	3,47
Ich muss an der Haltelinie anhalten ehe ich weiter fahren darf.	73,53	17,72	6,23	2,51

4.1.5.2 Verhalten und Konflikte an Grünpfeil-Kreuzungen

Obwohl die Grünpfeil-Regelung eine Anhaltepflicht vorsieht, glauben die Teilnehmer:innen der Umfrage nicht, dass sich die Radfahrer:innen daran halten werden (Abbildung 37, Tabelle 38, Tabelle 39). Mehr als zwei Drittel stimmen der Aussage „Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten“ voll (24,67 %) bzw. eher zu (43,59 %). Deutlich geringer ist dabei die Zustimmung bei der Frage, ob Radfahrer:innen anhalten und dann weiterfahren werden (stimme voll zu: 9,58 %, stimme eher zu: 24,67).

Es sind auch die meisten Teilnehmer:innen der Meinung, dass bei geringem Verkehrsaufkommen die Anhaltepflicht ignoriert wird (stimme voll zu: 45,54 %, stimme eher zu: 36,53 %). Die Teilnehmer:innen sehen allerdings keine Zunahme an Konfliktsituationen mit dem motorisierten. Bei Konflikten mit Fußgänger:innen ergibt sich kein eindeutiger Trend. Ebenso glauben die Teilnehmer:innen nicht, dass sich die Gefahr des Toten Winkels durch die Grünpfeilregelung reduzieren wird.

Ein Wilcoxon oder Vorzeichentest gegen den neutralen Mittelwert wurde für alle Items durchgeführt. Es ergaben sich durchwegs statistisch signifikante Unterschiede (Tabelle 40). Lediglich bei den Items „Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit Fußgänger:innen erhöhen“ und „Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Gefahr des toten Winkel reduzieren“ waren keine statistisch signifikanten Unterschiede zum neutralen Mittelwert festzustellen.

Abbildung 37: Erwartungshaltung zur Grünpfeilregelung

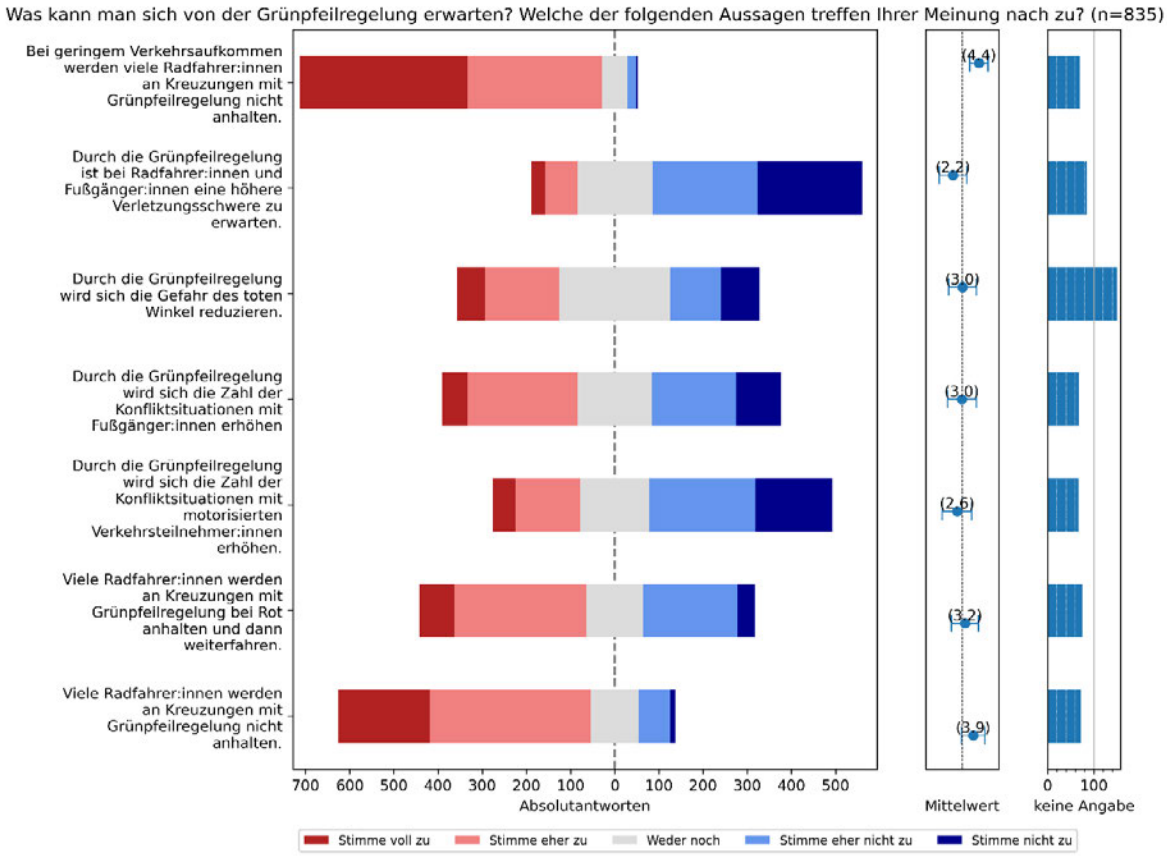


Tabelle 38: Absolutantworten zur Erwartungshaltung zur Grünpfeilregelung

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Bei geringem Verkehrsaufkommen werden viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.	380	305	56	20	4	70
Durch die Grünpfeilregelung ist bei Radfahrer:innen und Fußgänger:innen eine höhere Verletzungsschwere zu erwarten.	31	73	170	239	237	85
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Gefahr des toten Winkel reduzieren.	63	168	252	115	87	150
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit Fußgänger:innen erhöhen.	58	248	169	190	102	68
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen.	51	146	157	240	174	67
Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung bei Rot anhalten und dann weiterfahren.	80	298	129	213	40	75
Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.	206	364	110	71	12	72

Tabelle 39: Relativanteile zur Erwartungshaltung zur Grünpfeilregelung

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Bei geringem Verkehrsaufkommen werden viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.	45,51	36,53	6,71	2,4	0,48	8,38
Durch die Grünpfeilregelung ist bei Radfahrer:innen und Fußgänger:innen eine höhere Verletzungsschwere zu erwarten.	3,71	8,74	20,36	28,62	28,38	10,18
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Gefahr des toten Winkel reduzieren.	7,54	20,12	30,18	13,77	10,42	17,96
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit Fußgänger:innen erhöhen	6,95	29,7	20,24	22,75	12,22	8,14
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen.	6,11	17,49	18,8	28,74	20,84	8,02
Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung bei Rot anhalten und dann weiterfahren.	9,58	35,69	15,45	25,51	4,79	8,98
Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.	24,67	43,59	13,17	8,5	1,44	8,62

Tabelle 40: Ergebnisse Hypothesentest gegen den neutralen Mittelpunkt

Antwortitem	Methode	n	n_eff	tie_ratio	skew_diff	Median	IQR	p
Bei geringem Verkehrsaufkommen werden viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.	Sign	765	709	0,1	-1,821	4,0	1	0,000
Durch die Grünpfeilregelung ist bei Radfahrer:innen und Fußgänger:innen eine höhere Verletzungsschwere zu erwarten.	Sign	750	580	0,2	1,236	2,0	2	0,000
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Gefahr des toten Winkel reduzieren.	Wilcoxon	685	433	0,368	-0,135	3,0	2	0,829
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit Fußgänger:innen erhöhen	Wilcoxon	767	598	0,22	-0,092	3,0	2	0,208
Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen.	Sign	768	611	0,2	0,585	2,0	2	0,000
Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung bei Rot anhalten und dann weiterfahren.	Wilcoxon	760	631	0,2	-0,302	3	2	0,000
Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.	Sign	763	653	0,1	-1,34	4	2	0,000

Ungeachtet der Erwartungen zum Verhalten der Radfahrer:innen an Grünpfeil-Kreuzungen und Konflikten, fühlen sich 61,92 % der Teilnehmer:innen an einer Grünpfeil-Kreuzung „ganz sicher“ (25,87 %) bzw. „eher sicher“ (36,05 %) (Tabelle 41). Jeder siebente nimmt eine Grünpfeil-Kreuzung jedoch als „eher unsicher“ (11,5 %) bzw. „sehr unsicher“ (2,75 %) wahr.

Tabelle 41: Einschätzung der persönlichen Sicherheit an Grünpfeil-Kreuzungen

Distanz	Absolutwerte	Relativanteil
Ganz sicher	216	25,87
Eher sicher	301	36,05
Weder sicher noch unsicher	142	17,01
Eher unsicher	96	11,50
Sehr Unsicher	23	2,75
keine Angabe	57	6,83

Die höchste Zustimmung findet sich zum Regelvorschlag, dass der Querverkehr über die Grünpfeilregelung an der spezifischen Kreuzung ebenfalls informiert werden sollte (Abbildung 38, Tabelle 42, Tabelle 43). 62,51 % der Teilnehmer:innen stimmen dem voll zu und 36,53 % stimmen dem eher zu. Bezogen auf die quantitativen Daten sind die Teilnehmer:innen der Meinung, dass ein Rechtsabbiegen bei Rot nur an Kreuzungen erlaubt sein sollte, wo es die Verkehrssicherheit zulässt. Ein generelles Rechtsabbiegen an jeder Kreuzung sehen die Teilnehmer:innen eher kritisch und stimmen dem tendenziell eher nicht zu. In der qualitativen Auswertung konnten einige gegenteilige Meinungen festgestellt werden. Manche Radfahrer:innen würden sich eine Freigabe des Rechtsabbiegens bei Rot an jeder Kreuzung wünschen. Ablehnend stehen die Teilnehmer:innen auch dem Vorschlag gegenüber, dass es an allen Kreuzungen für Radfahrer:innen das „Vorranggeben“ Prinzip gelten sollte.

Abbildung 38: Vorschläge zur Grünpfeilregelung

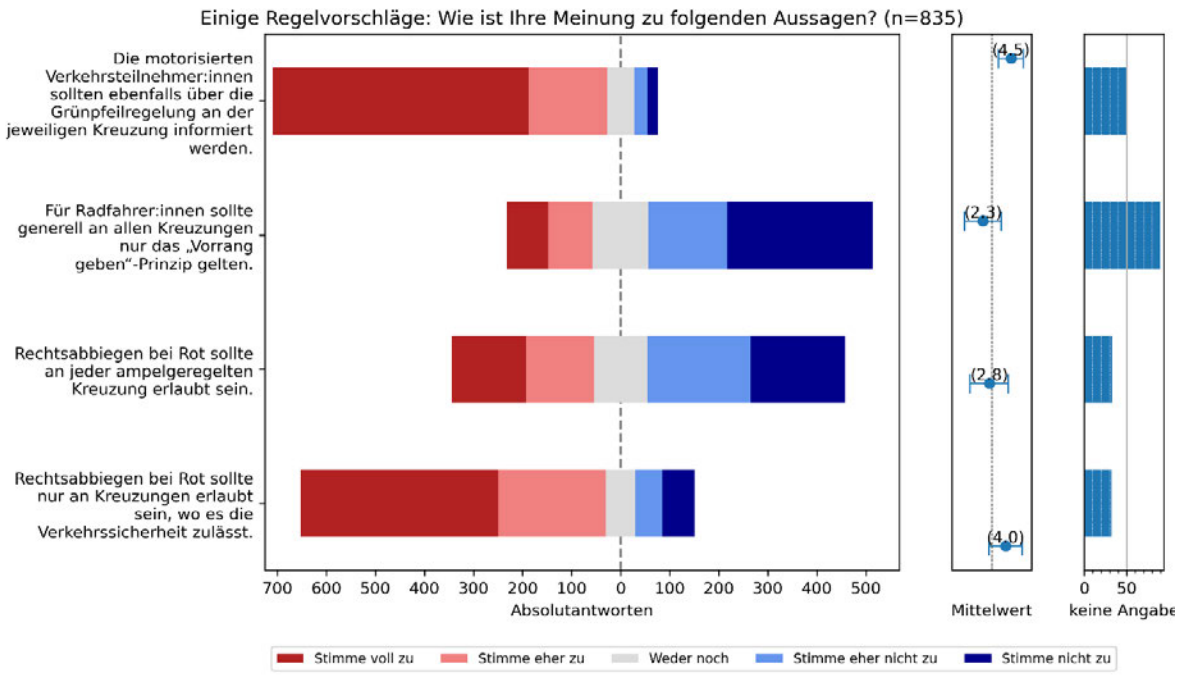


Tabelle 42: Absolutantworten zu Vorschlägen zur Grünpfeilregelung

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Die motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen sollten ebenfalls über die Grünpfeilregelung an der jeweiligen Kreuzung informiert werden.	522	160	55	27	21	50
Für Radfahrer:innen sollte generell an allen Kreuzungen nur das „Vorrang geben"-Prinzip gelten.	84	91	113	161	297	89
Rechtsabbiegen bei Rot sollte an jeder ampelgeregelten Kreuzung erlaubt sein.	151	139	109	210	193	33
Rechtsabbiegen bei Rot sollte nur an Kreuzungen erlaubt sein, wo es die Verkehrssicherheit zulässt.	403	219	60	55	66	32

Tabelle 43: Relativanteile zu Vorschlägen zur Grünpfeilregelung

Antwortitem	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Weder noch	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	keine Angabe
Die motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen sollten ebenfalls über die Grünpfeilregelung an der jeweiligen Kreuzung informiert werden.	62,51	19,16	6,59	3,23	2,51	5,99
Für Radfahrer:innen sollte generell an allen Kreuzungen nur das „Vorrang geben“-Prinzip gelten.	10,06	10,9	13,53	19,28	35,57	10,66
Rechtsabbiegen bei Rot sollte an jeder ampelgeregelten Kreuzung erlaubt sein.	18,08	16,65	13,05	25,15	23,11	3,95
Rechtsabbiegen bei Rot sollte nur an Kreuzungen erlaubt sein, wo es die Verkehrssicherheit zulässt.	48,26	26,23	7,19	6,59	7,9	3,83

4.2 Unfallanalyse

Unter Berücksichtigung der relativen Entfernung der Unfallstelle zur Kreuzungsrelation mit Grünpfeil erfolgt die makroskopische Auswertung des UDM. Weiters erfolgt eine Tiefenanalyse unfalltechnisch rekonstruierter Verkehrsunfälle der CEDATU.

4.2.1 Makroskopische Unfallanalyse

Insgesamt konnten 2.767 Lenker:innen oder Fußgänger:innen an den Kreuzungen mit nunmehriger Grünpfeilregelung festgestellt werden (Tabelle 44). In einer Entfernung von 10 m von der Kreuzungsrelation konnten 551 vor Verordnen des Grünpfeils und 121 nach einer Verordnung festgestellt werden. Eine entsprechend höhere Anzahl an Beteiligten findet sich in einem Umkreis von 20 m. Dazu sind alle Lenker:innen oder Fußgänger:innen im Radius von 20 m erfasst, einschließlich jener von 10 m. In einem Radius von 40 m sind auch jene von 20 m und 10 m zusammengefasst.

Tabelle 44: Kumulierte Anzahl der Lenker:innen oder Fußgänger:innen gemäß der Verkehrsart in unterschiedlichen Abständen zur Kreuzungsrelation

Unfallradius	Pre	Post	Gesamt
10 m	551	121	672
20 m	1.440	276	1.716
40 m	2.316	451	2.767

In Tabelle 45 ist die kumulierte Anzahl an verletzten Verkehrsteilnehmer:innen nach unterschiedlichen Abständen der Unfallstelle zur Kreuzungsrelation zusammengefasst. Diese unterscheidet sich von jenen in Tabelle 44, da hier nur diejenigen Verkehrsteilnehmer:innen erfasst sind, welche im Unfall verletzt wurden. Insgesamt verunglückten in einem Umkreis von 10 m 358 Verkehrsteilnehmer:innen. Innerhalb von 20 m wurden 908 verletzte Verkehrsteilnehmer:innen festgestellt und innerhalb von 40 m wurden 1.465 Verkehrsteilnehmer:innen verletzt.

Tabelle 45: Kumulierte Anzahl der verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in unterschiedlichen Abständen zur Kreuzungsrelation

Betrachtungszeitraum	Unfallradius	Leicht verletzt	Schwer verletzt	Getötet	Gesamt
Pre	**10 m**	257	36	1	294
	20 m	665	94	2	761
	40 m	1.078	140	4	1.222
Post	**10 m**	60	4	0	64
	20 m	132	12	3	147
	40 m	218	21	4	243

4.2.1.1 Verkehrsunfälle in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

4.2.1.1.1 Verteilung der Verkehrsarten

In Tabelle 46 ist die Häufigkeit der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation angegeben. Am häufigsten sind Pkw in den Unfällen beteiligt, sowohl im Pre- als auch im Post-Betrachtungszeitraum. Die Häufigkeiten der einzelnen Kollisionspaarungen sind in Abbildung 39 (Absolutwerte) und Abbildung 40 (Relativwerte) dargestellt. In den Post-Unfallzahlen ist eine leichte Zunahme an Unfällen mit Radfahrer:innen als auch Elektro-Radfahrer:innen festzustellen. Da in den Unfalldaten eine Unterscheidung zwischen Elektrofahrrädern und E-Scootern erst ab dem Erhebungsjahr 2023 möglich ist, blieben diese beiden Verkehrsarten in einer Kategorie. Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen Erhebungsphase (pre/post) und der Verkehrsart durchgeführt. Es gab jedoch keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Unfällen ohne/mit Grünpfeilen und der Verkehrsart (Chi^2 (4) = 2,59, p=0,629). Für den Chi-Quadrat-Test wurden die motorisierten Verkehrsarten (exkl. Pkw) zusammengefasst.

Tabelle 46: Anzahl der beteiligen Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

Verkehrsart	Verkehrsart gruppiert für Chi^2 Test	Absolutwerte		Relativanteil		Gesamt
		Pre	Post	Pre	Post	
Bus	**Sonstige Beteiligte**	8	0	1,5	0,0	8
Einspurige Fahrzeuge	**Sonstige Beteiligte**	3	0	0,5	0,0	3
Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	**Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)**	55	13	10,0	10,7	68
Fahrrad	**Fahrrad**	236	54	42,8	44,6	290
Fußgänger:innen	**Fußgänger:innen**	29	5	5,3	4,1	34
Lkw	**Sonstige Beteiligte**	16	0	2,9	0,0	16
Pkw	**Pkw**	199	46	36,1	38,0	245
Sonstige Beteiligte	**Sonstige Beteiligte**	5	3	0,9	2,5	8
Spiel-, Sportgeräte	**Fußgänger:innen**	0	0	0,0	0,0	0

Abbildung 39: Absolute Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

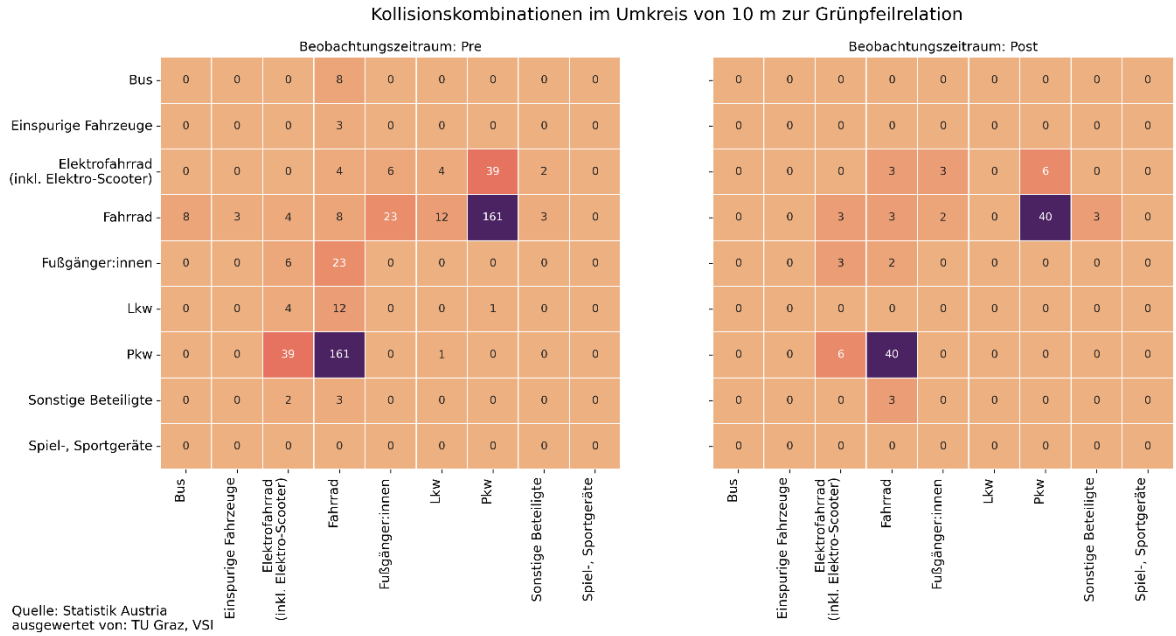
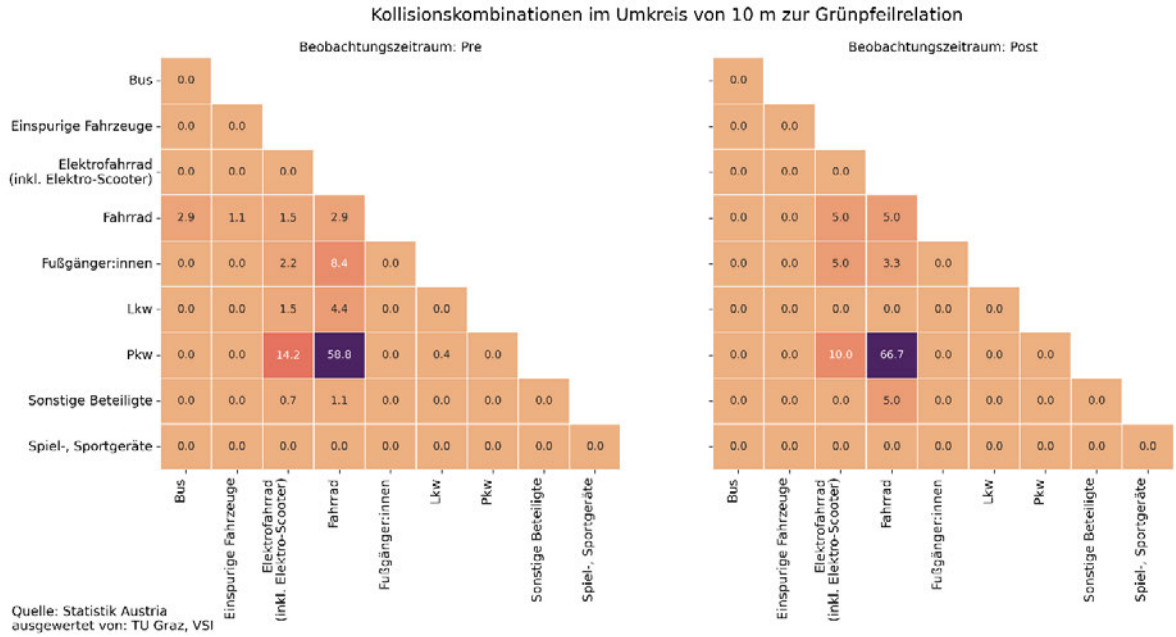


Abbildung 40: Relative Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation



4.2.1.1.2 Verletzungshäufigkeit und Verletzungsschwere

Am häufigsten wurden Radfahrer:innen und Fußgänger:innen innerhalb eines Umkreises von 10 m zur Grünpfeilrelation verletzt (Abbildung 41). Die absoluten Werte hinsichtlich der Verletzungsgrade sind in Tabelle 47 zusammengefasst. Für einen Chi-Quadrat-Test wurden die motorisierten Verkehrsarten zusammengefasst. Darauf basierend konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Unfällen ohne/mit Grünpfeilen und Verletzungen der Verkehrsteilnehmer:innen festgestellt werden (Chi^2 (3) = 0,40, p=0,940).

In einem Vorher-Nachher-Vergleich der Verletzungsschwere konnte mittels eines Fisher-Exact-Test kein signifikanter Zusammenhang (p=0,194) festgestellt werden. Für den Test wurden die schwer Verletzten und Getöteten als ksi (killed and severe injured) zusammengefasst. Das Odds Ratio ergab keine erhöhten Odds für ksi durch die Grünpfeil-Regelung (OR=0,46, CI [0,16–1,35]). Bei Fußgänger:innen konnte kein signifikanter Zusammenhang (p=1,000, Fisher-Exact-Test) festgestellt werden. Das Odds Ratio ergab keine erhöhten Chancen für ksi durch die Grünpfeil-Regelung (OR=0,9, CI [0,08–9,97]). Ebenso konnte kein signifikanter Zusammenhang (p=0,058, Fisher-Exact-Test) bei den Radfahrer:innen festgestellt werden, wenngleich dieser deutlich stärker war, als bei den Fußgänger:innen, wobei sich der Anteil der Radfahrer:innen im post-Beobachtungszeitraum reduziert hat. Die Chancen der ksi nach Verordnung der Grünpfeile sind bei 0,16 (CI [0,02, 1,25]). Bei den Radfahrer:innen von Elektrorädern war das Odds Ratio der ksi bei 1,48 (CI [0,26, 8,58]), jedoch statistisch nicht signifikant. Gemäß eines Fisher-Exact-Tests ist auch bei diesen Verkehrsteilnehmer:innen kein Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Grünpfeilregelung festzustellen (p=0,659).

Abbildung 41: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

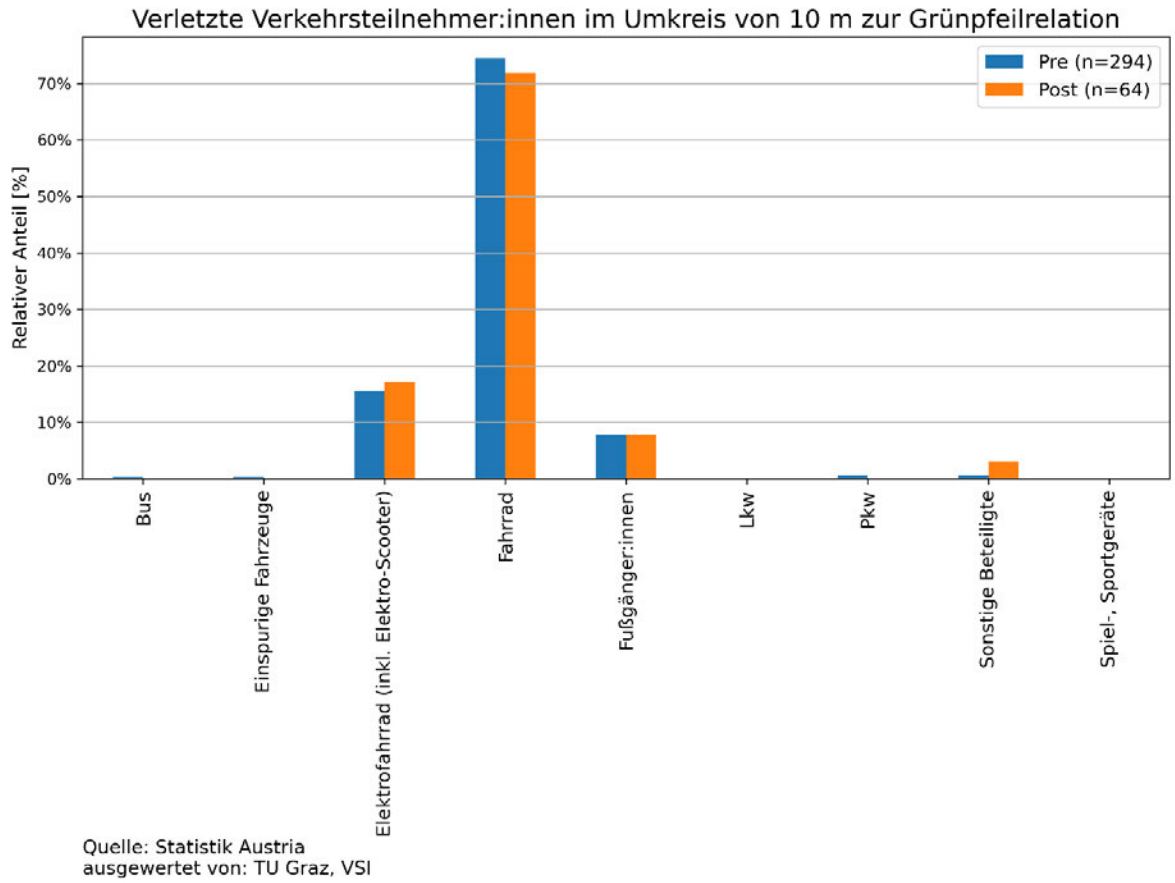


Tabelle 47: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen nach dem Verletzungsgrad in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet)

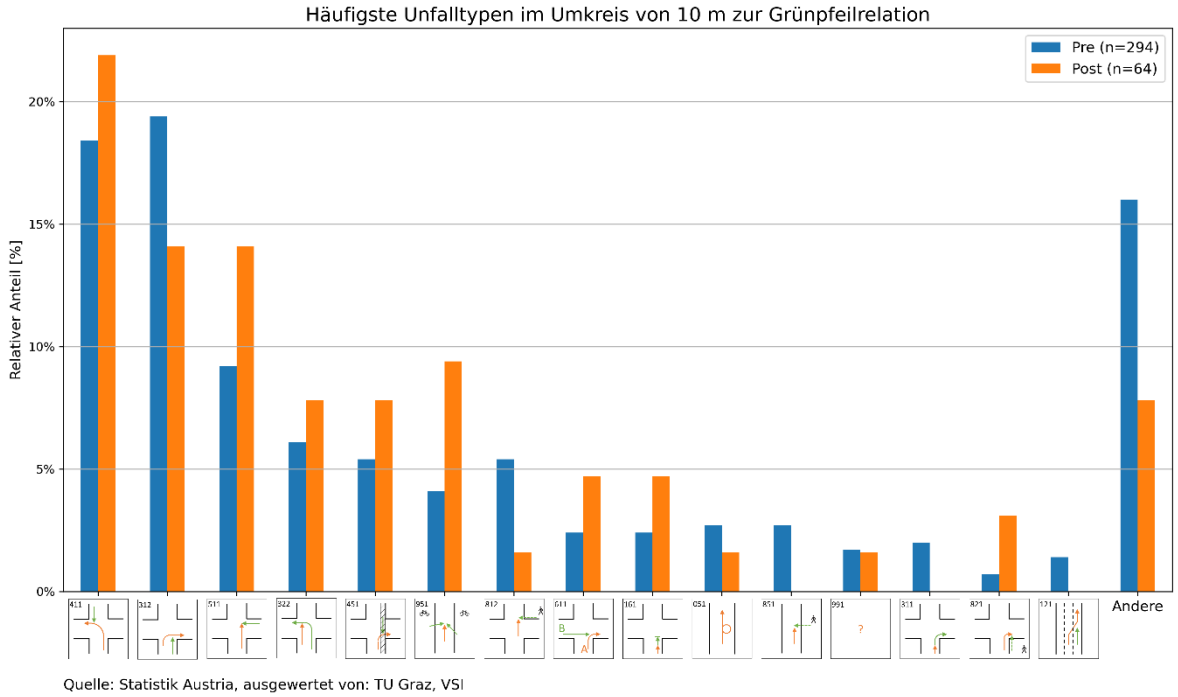
Betrachtungszeitraum	Verkehrsart	Absolutwerte				Relativanteile			
		lvl	svl	tot	Gesamt	lvl	svl	tot	Gesamt
Pre	**Bus**	1	0	0	1	0,4	0,0	0,0	0,3
	Einspurige Fahrzeuge	1	0	0	1	0,4	0,0	0,0	0,3
	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	40	6	0	46	15,6	16,7	0,0	15,6
	Fahrrad	193	25	1	219	75,1	69,4	100,0	74,5
	Fußgänger:innen	18	5	0	23	7,0	13,9	0,0	7,8
	Lkw	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pkw	2	0	0	2	0,8	0,0	0,0	0,7
	Sonstige Beteiligte	2	0	0	2	0,8	0,0	0,0	0,7
	Spiel-, Sportgeräte	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Post	**Bus**	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Einspurige Fahrzeuge	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	9	2	0	11	15,0	50,0	0,0	17,2
	Fahrrad	45	1	0	46	75,0	25,0	0,0	71,9
	Fußgänger:innen	4	1	0	5	6,7	25,0	0,0	7,8
	Lkw	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pkw	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Sonstige Beteiligte	2	0	0	2	3,3	0,0	0,0	3,1
	Spiel-, Sportgeräte	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0

4.2.1.1.3 Verteilung der Unfalltypen

Die häufigsten Unfalltypen sind in Abbildung 42 dargestellt und eine Zusammenfassung aller Unfalltypen ist im Anhang. Nach Umsetzung der Grünpfeilregelung konnte bei einigen Unfalltypen eine Zunahme der Unfallhäufigkeit festgestellt werden. Insbesondere war dies bei den Unfalltypen 511 (von 9,2 % auf 14,1 %), 951 (von 4,1 % auf 9,4 %) und 821 (von 0,7 % auf 3,1 %) der Fall. Im Unfalltyp 611, welcher mit Unfällen in direktem Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung stehen kann, nahm die Häufigkeit von 2,4 %

auf 4,7 % zu. Eine Reduktion der Unfallhäufigkeit erfolgte im Unfalltyp 312 (von 19,4 % auf 14,1 %) und 812 (von 5,4 % auf 1,6 %). Zur Prüfung des Zusammenhangs der Grünpfeilregelung und dem Vorliegen von Unfalltypen, wurden nur jene Unfalltypen berücksichtigt, welche zumindest einmal aufgetreten waren, sowohl im pre- als auch post-Beobachtungszeitraum. Unfalltypen mit Nullwerten wurden somit ausgeschlossen. Basierend auf einem Chi² Test besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen der Grünpfeilregelung und Unfalltypen (Chi² (13) = 11,57, p=0,563). Die deutlichsten Änderungen der standardisierten Residuen wurden für den Unfalltyp 312 (-1,3), Unfalltyp 812 (-1,4), Unfalltyp 821 (+1,3) sowie 951 (+1,2) festgestellt.

Abbildung 42: Verteilung der häufigsten Unfalltypen mit verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation



Quelle: Statistik Austria, ausgewertet von: TU Graz, VSI

Stellt man den Unfalltyp 312, als vermeintliche Toter-Winkel Situation, den restlichen Unfalltypen gegenüber, so ergab ein Fisher-Exact Test keinen statistisch signifikanten Zusammenhang (p=0,377) zur Grünpfeilregelung. Das Odds Ratio im post-Beobachtungszeitraum war bei 0,68 (CI [0,32, 1,46]), was auf eine niedrigere Chance hindeutet, in einem Unfall beteiligt zu sein. Ein statistisch signifikant höherer Zusammenhang (p=0,032) im Vorher-Nachher-Vergleich konnte beim Unfalltyp 811 festgestellt werden. Das Odds Ratio im post-Beobachtungszeitraum war bei 23,56 (CI [1,12, 496,81]), was auf eine deutlich höhere Chance hindeutet, in einem Unfall beteiligt zu sein. Der Unfalltyp 811 betrifft Unfälle

vor Kreuzungen, in welchen Fußgänger:innen von rechts die Fahrbahn betreten. Allerdings ist das Konfidenzintervall sehr breit und deutet auf eine hohe Unsicherheit hin. Zurückzuführen ist das auf eine geringe Fallzahl im Beobachtungszeitraum. Im pre-Beobachtungszeitraum wurden in diesem Unfalltyp keine Unfälle festgestellt und im post-Beobachtungszeitraum waren es zwei Unfälle. In Abbildung 43 sind nur jene Unfalltypen dargestellt, welche einen p-Wert von kleiner als 1,0 aufweisen. Die Haldane-Anscombe Korrektur wurde für jene Unfalltypenkombinationen angewandt, wo in einer Zelle keine Daten vorlagen. In Tabelle 48 sind die dazugehörigen Werte zusammengefasst.

Abbildung 43: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 10 m zur Grünpfeilrelation

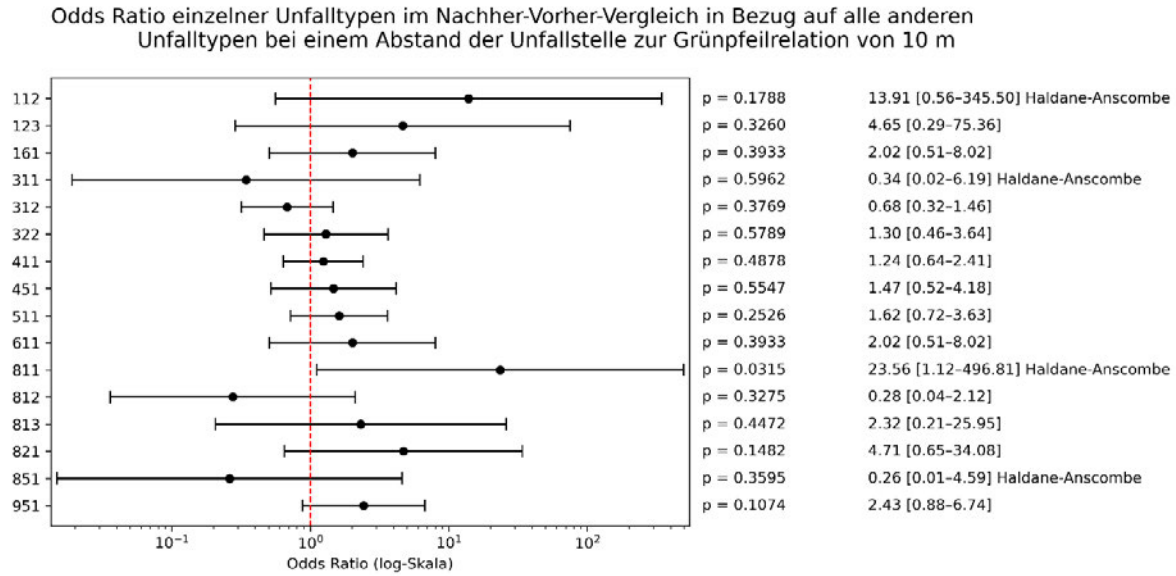


Tabelle 48: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 10 m zur Grünpfeilrelation

Unfalltyp	OR	p-Wert Zusammenhang	Korrektur
112	13,91 CI [0,56, 345,5]	0,1788	Haldane-Anscombe
123	4,65 CI [0,29, 75,36]	0,326	keine
161	2,02 CI [0,51, 8,02]	0,3933	keine
311	0,34 CI [0,02, 6,19]	0,5962	Haldane-Anscombe
312	0,68 CI [0,32, 1,46]	0,3769	keine
322	1,3 CI [0,46, 3,64]	0,5789	keine
411	1,24 CI [0,64, 2,41]	0,4878	keine
451	1,47 CI [0,52, 4,18]	0,5547	keine
511	1,62 CI [0,72, 3,63]	0,2526	keine
611	2,02 CI [0,51, 8,02]	0,3933	keine
811	23,56 CI [1,12, 496,81]	0,0315	Haldane-Anscombe
812	0,28 CI [0,04, 2,12]	0,3275	keine
813	2,32 CI [0,21, 25,95]	0,4472	keine
821	4,71 CI [0,65, 34,08]	0,1482	keine
851	0,26 CI [0,01, 4,59]	0,3595	Haldane-Anscombe
951	2,43 CI [0,88, 6,74]	0,1074	keine

4.2.1.2 Verkehrsunfälle in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

4.2.1.2.1 Verteilung der Verkehrsarten

Unfälle mit Pkw sind in einem Abstand von 20 m zur Kreuzungsrelation mit Grünpfeilregelung am häufigsten (Tabelle 49). Die Kollisionspaarungen sind Abbildung 44 (Absolutwerte) und Abbildung 45 (Relativwerte) dargestellt. In den Post-Unfallzahlen ist eine leichte Zunahme an Unfällen mit Elektro-Radfahrer:innen festzustellen. Ein Chi-Quadrat-Test ergab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Unfällen ohne/mit Grünpfeilen und der Verkehrsart (Chi^2 (4) = 2,68, p=0,613). Für den Chi-Quadrat-Test wurden die motorisierten Verkehrsarten (exkl. Pkw) zusammengefasst.

Tabelle 49: Anzahl der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

Verkehrsart	Verkehrsart gruppiert für Chi² Test	Absolutwerte		Relativanteil		Gesamt
		Pre	Post	Pre	Post	
Bus	**Sonstige Beteiligte**	18	1	1,3	0,4	19
Einspurige Fahrzeuge	**Sonstige Beteiligte**	16	2	1,1	0,7	18
Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	**Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)**	128	29	8,9	10,5	157
Fahrrad	**Fahrrad**	634	120	44,0	43,5	754
Fußgänger:innen	**Fußgänger:innen**	59	13	4,1	4,7	72
Lkw	**Sonstige Beteiligte**	51	7	3,5	2,5	58
Pkw	**Pkw**	522	100	36,3	36,2	622
Sonstige Beteiligte	**Sonstige Beteiligte**	12	3	0,8	1,1	15
Spiel-, Sportgeräte	**Fußgänger:innen**	0	1	0,0	0,4	1

Abbildung 44: Absolute Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

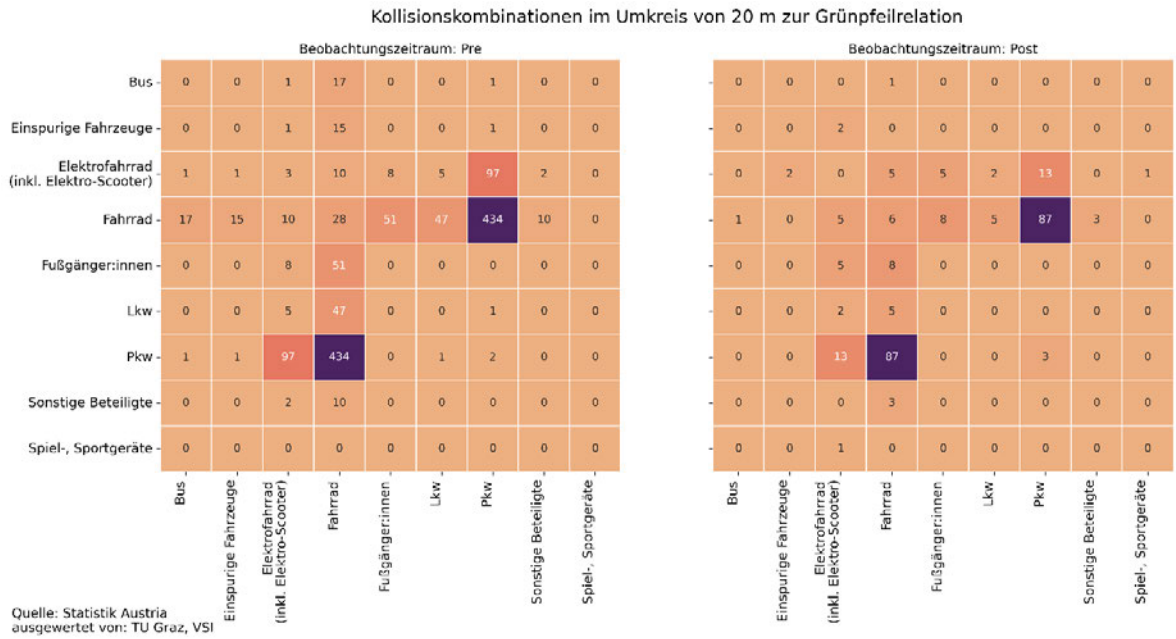
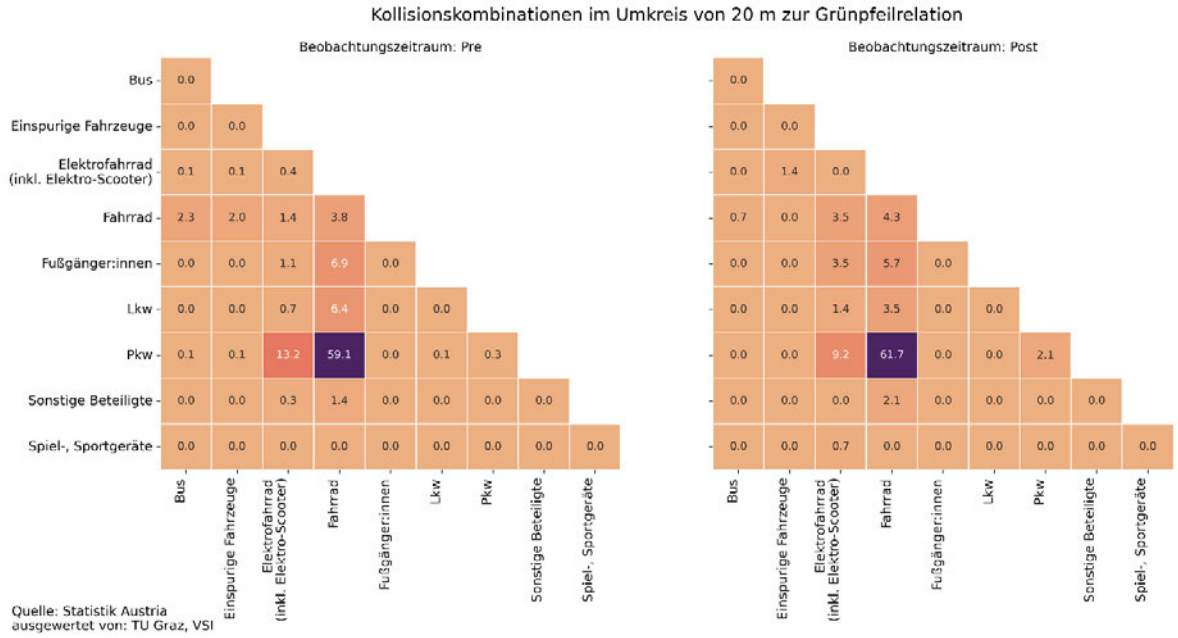


Abbildung 45: Relative Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation



4.2.1.2.2 Verletzungshäufigkeit und Verletzungsschwere

In einem Umkreis von 20 m zur Grünpfeilrelation wurden am häufigsten Radfahrer:innen und Fußgänger:innen verletzt (Abbildung 46). Die absoluten Werte hinsichtlich der Verletzungsgrade sind in Tabelle 50 zusammengefasst. Ein Chi-Quadrat-Test ergab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Unfällen ohne/mit Grünpfeilen und Verletzungen der Verkehrsteilnehmer:innen (Chi^2 (3) = 1,99, p=0,575).

Gemäß eines Fisher-Exakt Tests, besteht kein Zusammenhang (p=0,492) zwischen der Grünpfeilregelung und der Verletzungsschwere (schwer Verletzte und Getötete als ksi zusammengefasst). Das Odds Ratio ist bei 0,79 (CI [0,44–1,4]). Bei Fußgänger:innen konnte kein Zusammenhang (p=0,438, Fisher-Exakt Test) zwischen der Grünpfeilregelung und der Verletzungsschwere festgestellt werden (OR=0,35, CI [0,04–3,08]). Desgleichen konnte bei den Radfahrer:innen kein signifikanter Zusammenhang beobachtet werden, (p=0,058). Die Chancen der ksi nach Verordnung der Grünpfeile sind bei 0,76 (CI [0,38, 1,53]). Wie schon bei der Analyse der Unfalldaten im Umkreis von 10 m ist auch hier das Odds Ratio der ksi mit 1,13 (CI [0,34, 3,73]) für Radfahrer:innen von Elektrorädern erhöht, ohne jedoch statistisch signifikant zu sein. Gemäß eines Fisher-Exact-Tests ist auch bei diesen Verkehrsteilnehmer:innen kein Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Grünpfeilregelung festzustellen (p=0,763).

Abbildung 46: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

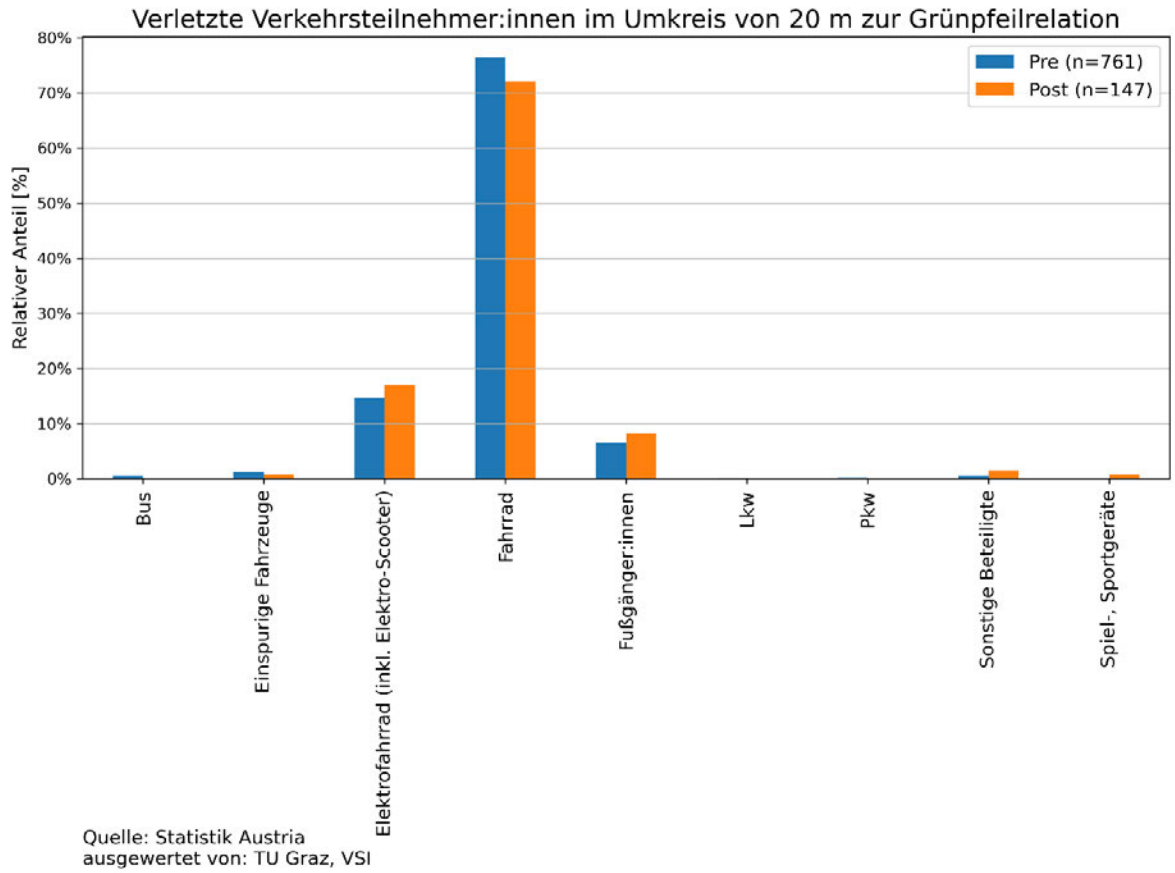


Tabelle 50: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen nach dem Verletzungsgrad in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet)

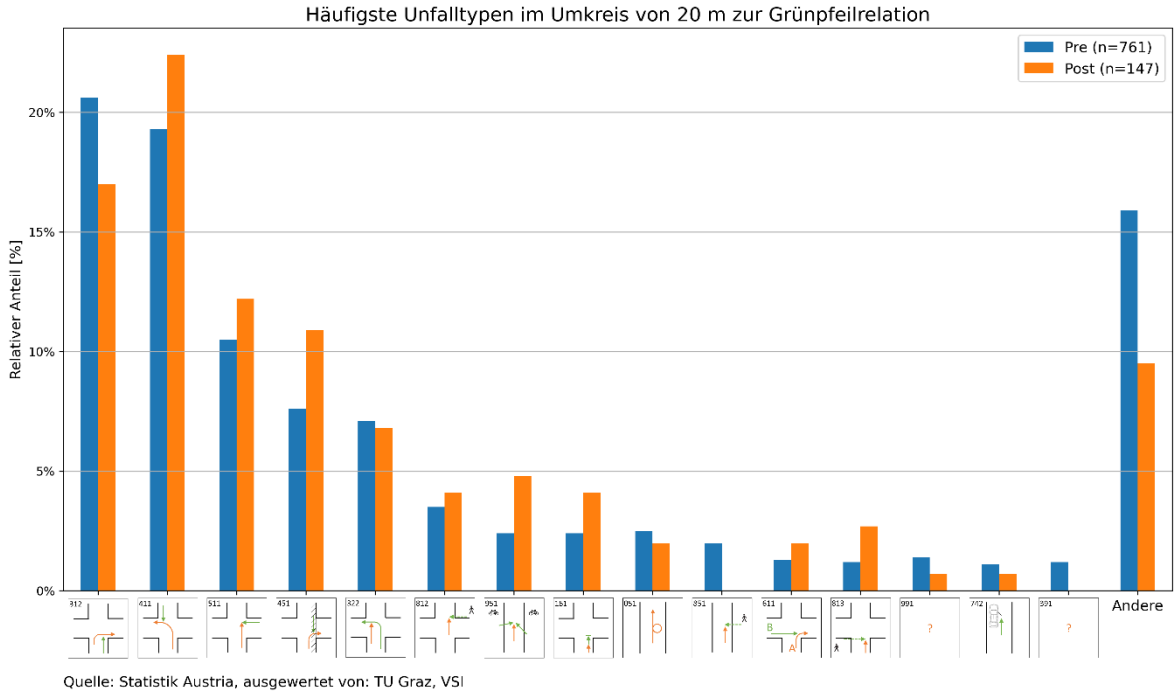
Betrachtungszeitraum	Verkehrsart	Absolutwerte				Relativanteile			
		lvl	svl	tot	Gesamt	lvl	svl	tot	Gesamt
Pre	Bus	4	0	0	4	0,6	0,	0,0	0,5
	Einspurige Fahrzeuge	9	0	0	9	1,3	0,0	0,0	1,2
	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	95	16	0	111	14,2	17,0	0,0	14,5
	Fahrrad	511	68	2	581	76,4	72,3	100,0	75,9
	Fußgänger:innen	39	10	0	49	5,8	10,6	0,0	6,4
	Lkw	1	0	0	1	0,1	0,0	0,0	0,1
	Pkw	2	0	0	2	0,3	0,0	0,0	0,3
	Sonstige Beteiligte	4	0	0	4	0,6	0,0	0,0	0,5
	Spiel-, Sportgeräte	4	0	0	4	0,6	0,0	0,0	0,5
Post	Bus	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Einspurige Fahrzeuge	1	0	0	1	0,8	0,0	0,0	0,7
	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	21	4	0	25	15,9	33,3	0,0	17,0
	Fahrrad	96	7	3	106	72,7	58,3	100,0	72,1
	Fußgänger:innen	11	1	0	12	8,3	8,3	0,0	8,2
	Lkw	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Pkw	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Sonstige Beteiligte	2	0	0	2	1,5	0,0	0,0	1,4
	Spiel-, Sportgeräte	1	0	0	1	0,8	0,0	0,0	0,7

4.2.1.2.3 Verteilung der Unfalltypen

In Abbildung 47 sind die häufigsten Unfalltypen im Umkreis von 20 m zur Grünpfeilrelation dargestellt. Eine Zusammenfassung aller Unfalltypen ist im Anhang gegeben. Diese Unfalltypen umfassen im pre-Beobachtungszeitraum 84,1 % und im post-Beobachtungszeitraum 90,5 % der Unfälle. Im Unfalltyp 312 konnte eine deutliche Abnahme der Unfallhäufigkeit (von 20,6 % auf 17,0 %) festgestellt werden. Hingegen nahm bei den anderen Unfalltypen die Unfallhäufigkeit zu. Insbesondere ist hierbei der

Unfalltyp 611 und 813 zu nennen, welche mit der Grünpfeilregelung in Zusammenhang gebracht werden können. Der Zusammenhang zwischen der Grünpfeilregelung und den Unfalltypen wurde mit einem Chi² Test geprüft. Unfalltypen mit Nullwerten wurden ausgeschlossen. Der Chi² Test ergab einen nicht signifikanten Zusammenhang (Chi² (17) = 26,04, p=0,074). Die standardisierten Residuen waren im post-Beobachtungszeitraum für den Unfalltyp 821 (+2,7), 811 (+1,8) und 312 (-1,5) am Auffälligsten.

Abbildung 47: Verteilung der häufigsten Unfalltypen mit verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation



Quelle: Statistik Austria, ausgewertet von: TU Graz, VSI

Im Vergleich zwischen dem Unfalltyp 312 mit allen anderen Unfalltypen, zeigte ein Fisher-Exakt-Test keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,368) im Vorher-Nachher-Vergleich (Abbildung 48 und Tabelle 52). Die Chancen für Unfälle des Unfalltyps 312 im Vorher-Beobachtungszeitraum sind im Vergleich zum Nachher-Beobachtungszeitraum 1,27-mal so hoch wie bei allen anderen Unfalltypen (OR = 1,27, 95% CI [0,80, 2,02]). Der Unfalltyp 312 ist häufiger im Vorher-Beobachtungszeitraum aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für den Unfalltyp 312 im Nachher-Beobachtungszeitraum, im Vergleich zum Vorher-Beobachtungszeitraum, 0,79-mal so hoch sind, wie für alle anderen Unfalltypen (OR = 0,79, 95% CI [0,50, 1,25]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass der Unfalltyp 312 seltener im Nachher-Beobachtungszeitraum aufgetreten ist.

Der Anteil an Radfahrer:innen, welche sich von rechts in den Verkehr einordnen (Unfalltyp 951) hat sich von 2,4 % auf 4,8 % erhöht. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte jedoch keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,162) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für den Unfalltyp 951 im Nachher-Beobachtungszeitraum sind im Vergleich zum Vorher-Beobachtungszeitraum 2,06-mal so hoch wie für alle anderen Unfalltypen (OR = 2,06, 95% CI [0,85, 5,03]). Das deutet darauf hin, dass der Unfalltyp 951 häufiger im Nachher-Beobachtungszeitraum auftritt (im Vergleich zum Vorher-Beobachtungszeitraum).

Abbildung 48: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 20 m zur Grünpfeilrelation

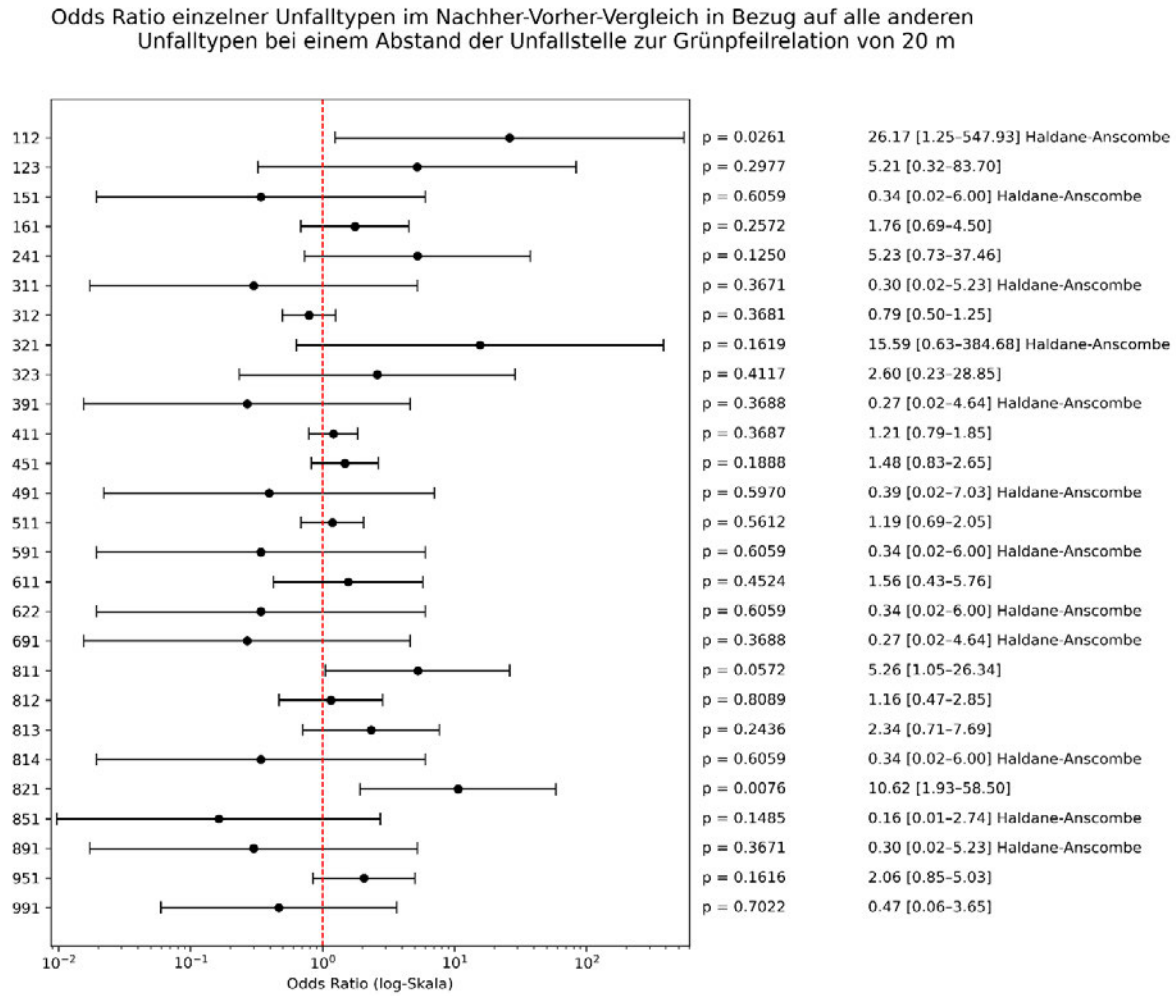


Tabelle 51: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 20 m zur Grünpfeilrelation

Unfalltyp	OR	p-Wert Zusammenhang	Korrektur
112	26,17 CI [1,25, 547,93]	0,0261	Haldane-Anscombe
123	5,21 CI [0,32, 83,7]	0,2977	keine
151	0,34 CI [0,02, 6]	0,6059	Haldane-Anscombe
161	1,76 CI [0,69, 4,5]	0,2572	keine
241	5,23 CI [0,73, 37,46]	0,125	keine
311	0,3 CI [0,02, 5,23]	0,3671	Haldane-Anscombe
312	0,79 CI [0,5, 1,25]	0,3681	keine
321	15,59 CI [0,63, 384,68]	0,1619	Haldane-Anscombe
323	2,6 CI [0,23, 28,85]	0,4117	keine
391	0,27 CI [0,02, 4,64]	0,3688	Haldane-Anscombe
411	1,21 CI [0,79, 1,85]	0,3687	keine
451	1,48 CI [0,83, 2,65]	0,1888	keine
491	0,39 CI [0,02, 7,03]	0,597	Haldane-Anscombe
511	1,19 CI [0,69, 2,05]	0,5612	keine
591	0,34 CI [0,02, 6]	0,6059	Haldane-Anscombe
611	1,56 CI [0,43, 5,76]	0,4524	keine
622	0,34 CI [0,02, 6]	0,6059	Haldane-Anscombe
691	0,27 CI [0,02, 4,64]	0,3688	Haldane-Anscombe
811	5,26 CI [1,05, 26,34]	0,0572	keine
812	1,16 CI [0,47, 2,85]	0,8089	keine
813	2,34 CI [0,71, 7,69]	0,2436	keine
814	0,34 CI [0,02, 6]	0,6059	Haldane-Anscombe
821	10,62 CI [1,93, 58,5]	0,0076	keine
851	0,16 CI [0,01, 2,74]	0,1485	Haldane-Anscombe
891	0,3 CI [0,02, 5,23]	0,3671	Haldane-Anscombe
951	2,06 CI [0,85, 5,03]	0,1616	keine
991	0,47 CI [0,06, 3,65]	0,7022	keine

4.2.1.3 Verkehrsunfälle in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

4.2.1.3.1 Verteilung der Verkehrsarten

Der Anteil an Pkw Unfällen ist im post-Beobachtungszeitraum von 36,7 % auf 33,3 % zurückgegangen (Tabelle 52). Bei den anderen Verkehrsarten ist jedoch eine Zunahme festzustellen. Der Lkw nimmt mit 4,7 % den zweithäufigsten Unfallgegner bei den motorisierten Fahrzeugen ein. Die Veränderungen des Unfallgeschehens sind jedoch statistisch nicht signifikant (Chi^2 (4) = 3,36, p=0,499). Für den Chi-Quadrat-Test wurden die motorisierten Verkehrsarten (exkl. Pkw) wiederum zusammengefasst.

In Abbildung 49 und Abbildung 50 sind die absoluten und relativen Häufigkeiten der Kollisionspaarungen dargestellt.

Tabelle 52: Anzahl der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

Verkehrsart	Verkehrsart gruppiert für Chi^2 Test	Absolutwerte		Relativanteil		Gesamt
		Pre	Post	Pre	Post	
Bus	**Sonstige Beteiligte**	24	4	1,0	0,9	28
Einspurige Fahrzeuge	**Sonstige Beteiligte**	26	5	1,1	1,1	31
Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	**Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)**	181	42	7,8	9,3	223
Fahrrad	**Fahrrad**	1.033	203	44,6	45,0	1.236
Fußgänger:innen	**Fußgänger:innen**	85	19	3,7	4,2	104
Lkw	**Sonstige Beteiligte**	91	21	3,9	4,7	112
Pkw	**Pkw**	849	150	36,7	33,3	999
Sonstige Beteiligte	**Sonstige Beteiligte**	27	5	1,2	1,1	32
Spiel-, Sportgeräte	**Fußgänger:innen**	0	2	0,0	0,4	2

Abbildung 49: Absolute Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

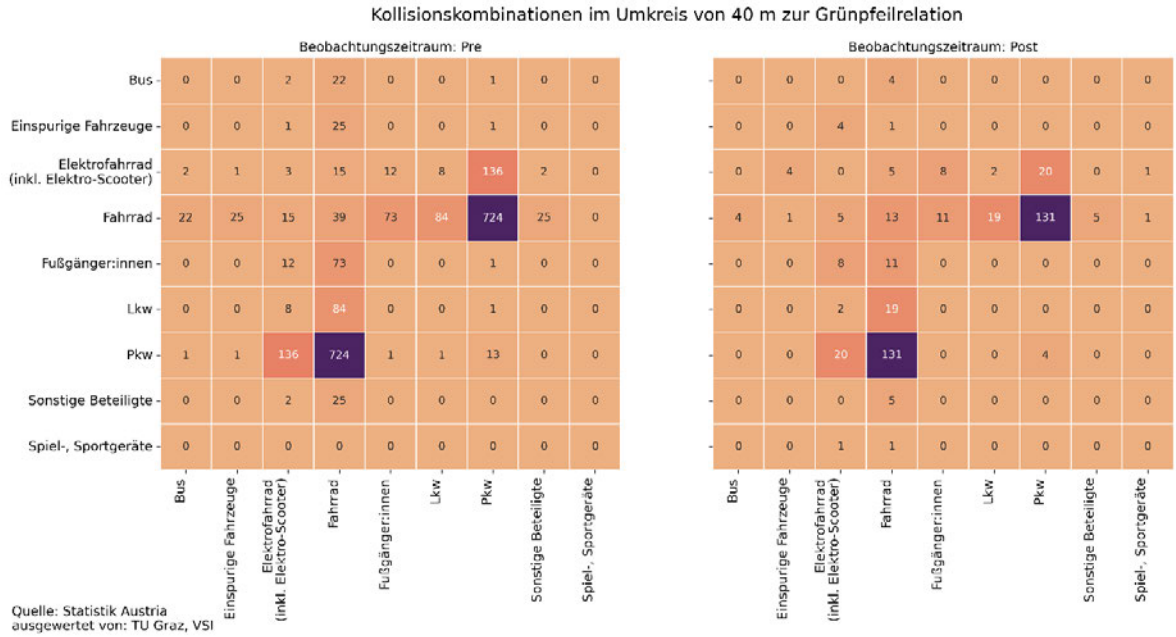
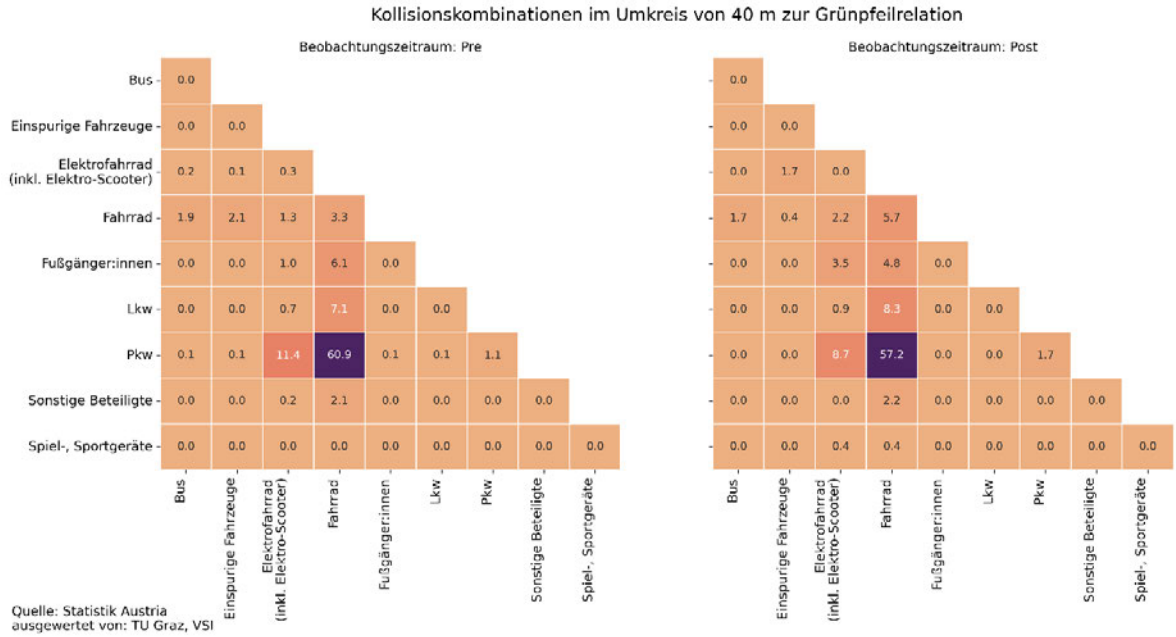


Abbildung 50: Relative Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation



4.2.1.3.2 Verletzungshäufigkeit und Verletzungsschwere

Die Verteilung der Verletzungshäufigkeit der Verkehrsteilnehmer:innen ist in Abbildung 51 dargestellt und die einzelnen Werte in Tabelle 53 zusammengefasst. In Bezug zur Verletzungshäufigkeit der Verkehrsteilnehmer:innen konnte kein Zusammenhang im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden (Chi^2 (3) = 1,28, p=0,734).

Zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung besteht kein statistisch signifikanter Zusammenhang (p=0,583, Fisher-Exact Test). Das Odds Ratio ist 0,86 (CI [0,55, 1,35]). In der Einzelbetrachtung der Verkehrsteilnehmer:innen konnte kein höheres Verletzungsrisiko festgestellt werden. Es besteht demnach kein Zusammenhang mit der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung bei Fußgänger:innen (p=0,448, Fisher-Exact Test). Das Odds Ratio für ksi Verletzungen ist 0,31 (CI [0,04, 2,59]). Bei den Radfahrer:innen lag ebenso kein Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung vor (p=1,0, Fisher-Exact Test). Das Odds Ratio ist 0,95 (CI [0,58, 1,58]). Auch bei den Radfahrer:innen von Elektrorädern liegt kein erhöhtes Verletzungsrisiko vor (p=1,0, Fisher-Exact Test). Das Odds Ratio ist 0,85 (CI [0,27, 2,67]).

Abbildung 51: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

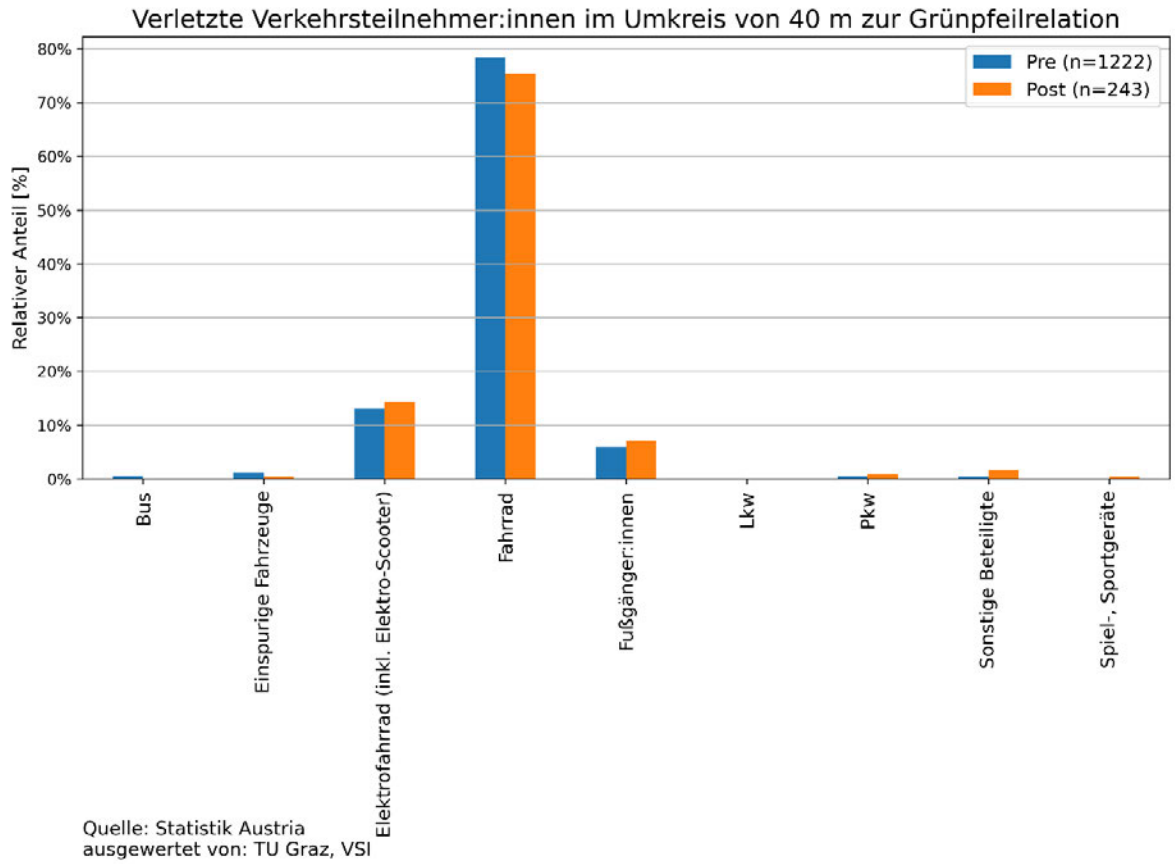


Tabelle 53: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen nach dem Verletzungsgrad in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet)

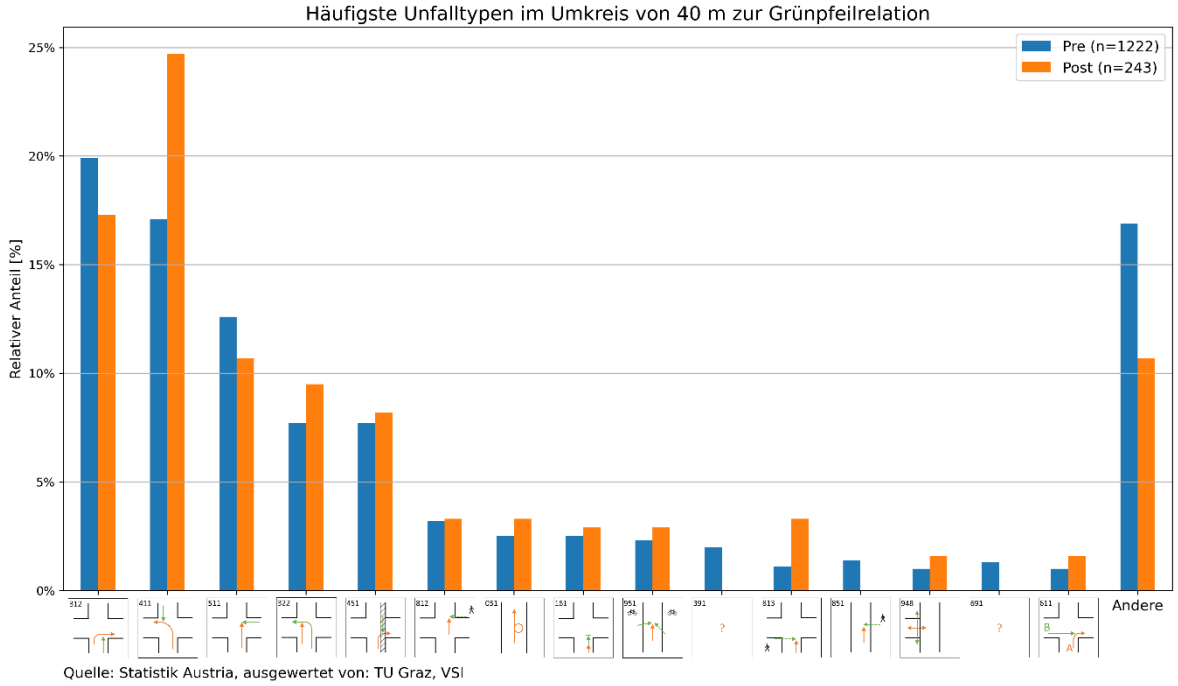
Betrachtungszeitraum	Verkehrsart	Absolutwerte				Relativanteile			
		lvl	svl	tot	Gesamt	lvl	svl	tot	Gesamt
Pre	Bus	7	0	0	7	0,6	0,0	0,0	0,6
	Einspurige Fahrzeuge	13	2	0	15	1,2	1,4	0,0	1,2
	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	139	21	0	160	12,9	15,0	0,0	13,1
	Fahrrad	848	105	4	957	78,7	75,0	100,0	78,3
	Fußgänger:innen	60	12	0	72	5,6	8,6	0,0	5,9
	Lkw	1	0	0	1	0,1	0,0	0,0	0,1
	Pkw	6	0	0	6	0,6	0,0	0,0	0,5
	Sonstige Beteiligte	4	0	0	4	0,4	0,0	0,0	0,3
	Spiel-, Sportgeräte	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Post	Bus	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Einspurige Fahrzeuge	1	0	0	1	0,5	0,0	0,0	0,4
	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	31	4	0	35	14,2	19,0	0,0	14,3
	Fahrrad	163	16	4	183	74,4	76,2	100,0	75,0
	Fußgänger:innen	16	1	0	17	7,3	4,8	0,0	7,0
	Lkw	2	0	0	2	0,9	0,0	0,0	0,8
	Pkw	4	0	0	4	1,8	0,0	0,0	1,6
	Sonstige Beteiligte	1	0	0	1	0,5	0,0	0,0	0,4
	Spiel-, Sportgeräte	1	0	0	1	0,5	0,0	0,0	0,4

4.2.1.3.3 Verteilung der Unfalltypen

Die häufigsten Unfalltypen im Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation sind in Abbildung 52 dargestellt. Im pre-Beobachtungszeitraum umfassen diese 83,1 % und im post-Beobachtungszeitraum 89,3 % der Unfälle. Der häufigste Unfalltyp ist im post-Beobachtungszeitraum der Unfalltyp 411 mit einer Zunahme von 17,1 % auf 24,7 %. Der deutlichste Rückgang konnte im Unfalltyp 312 verzeichnet werden (19,9 % auf 17,3 %). Es konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen der Grünpfeilregelung und den Unfalltypen

festgestellt werden. Der Chi² Test ergab einen nicht signifikanten Zusammenhang (Chi² (24) = 32,43, p=0,117). Unfalltypen mit Nullwerten wurden ausgeschlossen. Die standardisierten Residuen waren im post-Beobachtungszeitraum für den Unfalltyp 241 (+2,0), 813 (+2,0), 821 (+2,0) und 312 (-1,6) am Auffälligsten.

Abbildung 52: Verteilung der häufigsten Unfalltypen mit verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation



Im Vergleich des Unfalltyps 312 mit allen anderen Unfalltypen, zeigte ein Fisher-Exakt-Test keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,376) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für Unfälle des Unfalltyps 312 im Vorher-Beobachtungszeitraum sind im Vergleich zum Nachher-Beobachtungszeitraum 1,19-mal so hoch wie bei allen anderen Unfalltypen (OR = 1,19, 95% CI [0,83, 1,70]). Der Unfalltyp 312 ist häufiger im Vorher-Beobachtungszeitraum aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für den Unfalltyp 312 im Nachher-Beobachtungszeitraum, im Vergleich zum Vorher-Beobachtungszeitraum, 0,84-mal so hoch sind, wie für alle anderen Unfalltypen (OR = 0,84, 95% CI [0,59, 1,21]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass der Unfalltyp 312 seltener im Nachher-Beobachtungszeitraum aufgetreten ist, im Vergleich zu Vorher-Beobachtungszeitraum.

Der Anteil an Radfahrer:innen, welche von rechts in den Fahrstreifen kommen (Unfalltyp 951) hat sich von 2,3 % auf 2,9 % leicht erhöht. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte jedoch keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,644) zwischen den Variablen. Die Chancen für den Unfalltyp 951 im Nachher-Beobachtungszeitraum sind im Vergleich zum Vorher-Beobachtungszeitraum 1,26-mal so hoch wie für alle anderen Unfalltypen (OR = 1,26, 95% CI [0,55, 2,93]). Das deutet darauf hin, dass der Unfalltyp 951 häufiger im Nachher-Beobachtungszeitraum auftritt (im Vergleich zum Vorher-Beobachtungszeitraum).

Abbildung 53: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation

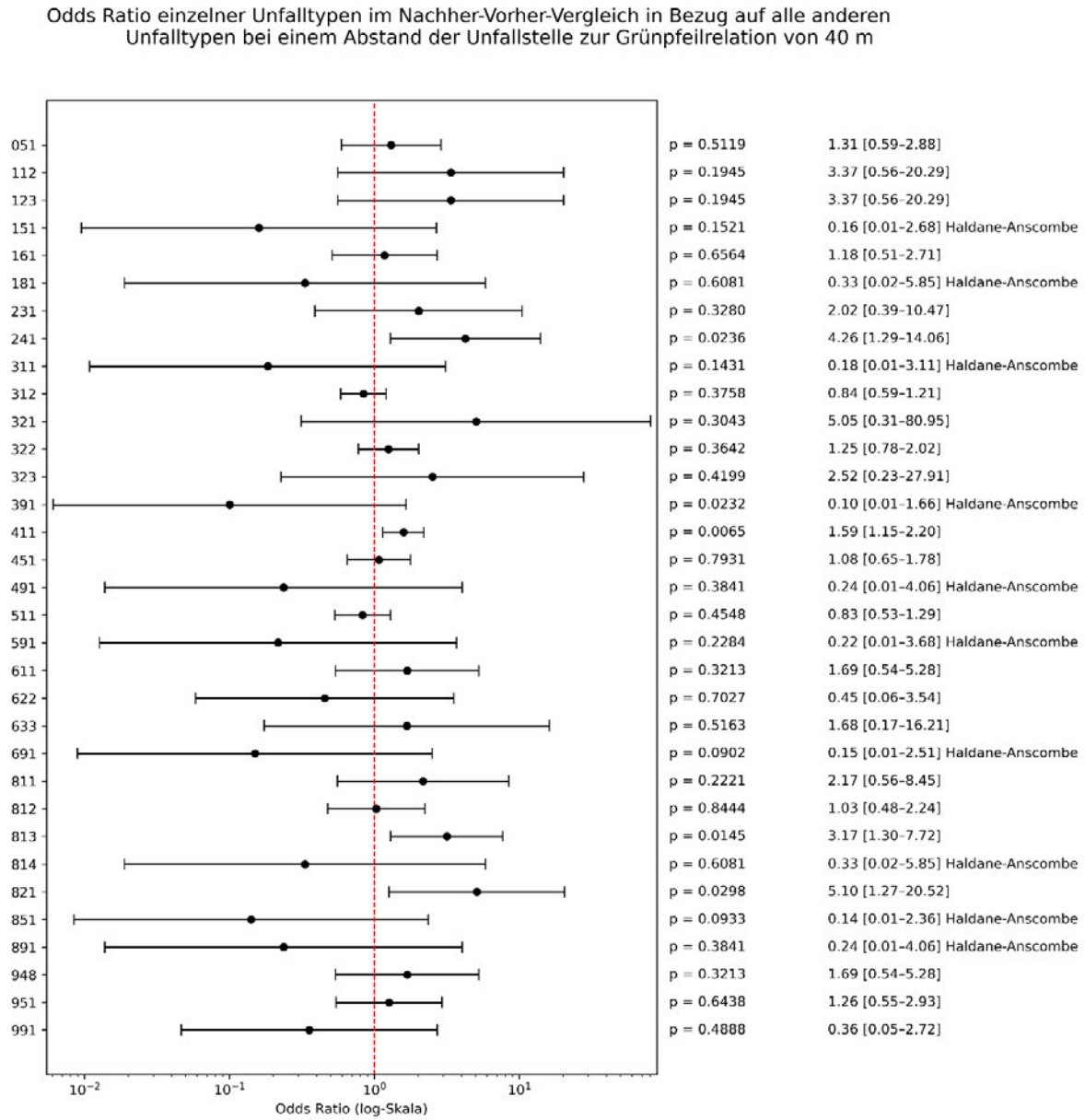


Tabelle 54: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation

Unfalltyp	OR	p-Wert Zusammenhang	Korrektur
051	1,31 CI [0,59, 2,88]	0,5119	keine
112	3,37 CI [0,56, 20,29]	0,1945	keine
123	3,37 CI [0,56, 20,29]	0,1945	keine
151	0,16 CI [0,01, 2,68]	0,1521	Haldane-Anscombe
161	1,18 CI [0,51, 2,71]	0,6564	keine
181	0,33 CI [0,02, 5,85]	0,6081	Haldane-Anscombe
231	2,02 CI [0,39, 10,47]	0,328	keine
241	4,26 CI [1,29, 14,06]	0,0236	keine
311	0,18 CI [0,01, 3,11]	0,1431	Haldane-Anscombe
312	0,84 CI [0,59, 1,21]	0,3758	keine
321	5,05 CI [0,31, 80,95]	0,3043	keine
322	1,25 CI [0,78, 2,02]	0,3642	keine
323	2,52 CI [0,23, 27,91]	0,4199	keine
391	0,1 CI [0,01, 1,66]	0,0232	Haldane-Anscombe
411	1,59 CI [1,15, 2,2]	0,0065	keine
451	1,08 CI [0,65, 1,78]	0,7931	keine
491	0,24 CI [0,01, 4,06]	0,3841	Haldane-Anscombe
511	0,83 CI [0,53, 1,29]	0,4548	keine
591	0,22 CI [0,01, 3,68]	0,2284	Haldane-Anscombe
611	1,69 CI [0,54, 5,28]	0,3213	keine
622	0,45 CI [0,06, 3,54]	0,7027	keine
633	1,68 CI [0,17, 16,21]	0,5163	keine
691	0,15 CI [0,01, 2,51]	0,0902	Haldane-Anscombe
811	2,17 CI [0,56, 8,45]	0,2221	keine
812	1,03 CI [0,48, 2,24]	0,8444	keine
813	3,17 CI [1,3, 7,72]	0,0145	keine
814	0,33 CI [0,02, 5,85]	0,6081	Haldane-Anscombe
821	5,1 CI [1,27, 20,52]	0,0298	keine
851	0,14 CI [0,01, 2,36]	0,0933	Haldane-Anscombe

891	0,24 CI [0,01, 4,06]	0,3841	Haldane-Anscombe
948	1,69 CI [0,54, 5,28]	0,3213	keine
951	1,26 CI [0,55, 2,93]	0,6438	keine
991	0,36 CI [0,05, 2,72]	0,4888	keine

4.2.1.4 Potenzielle Hauptunfalltypen im Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung

In den vorigen Kapiteln wurden in die Auswertung alle Unfalltypen miteinbezogen, welche in einem bestimmten Umkreis um die Grünpfeilrelation aufgetreten sind. In diesem Kapitel sollen nunmehr nur diejenigen Unfalltypen betrachtet werden, welche als „primäre, „sekundäre“ und „tertiäre“ Unfalltypen klassifiziert wurden und sich in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation ereigneten (Tabelle 55).

Basierend auf einen Chi² Test konnte kein Zusammenhang zwischen der Anzahl an verletzten Verkehrsteilnehmer:innen und den Hauptunfalltypen festgestellt werden (Chi² (3) = 2,89, p=0,410). Werden die „primären, „sekundären“ und „tertiären“ Unfalltypen als Hauptunfalltyp zusammengefasst und stellt diese den restlichen Unfalltypen an Grünpfeilkreuzungen gegenüber, so erhöht sich der Anteil von 10,8 % auf 14,0 %. Die primären Unfalltypen erhöhten sich von 6,5 % auf 9,5 %. Bei den sekundären und tertiären Unfalltypen erfolgte eine Änderung von 0,6 % auf 0,4 % bzw. von 3,7 % auf 4,1 %. Allerdings besteht kein statistisch signifikanter Zusammenhang bei den verletzten Verkehrsteilnehmer:innen zwischen den „anderen“ Unfalltypen und den Hauptunfalltypen (p=0,151, Fisher-Exact Test). Die Chancen an Kreuzungen nach Einführung der Grünpfeilverordnung sind jedoch bei 1,34 (CI [0,9–2,01]), was als eine tendenzielle Zunahme an Unfällen interpretiert werden kann.

Tabelle 55: Verletzungsschwere der ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen der Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt; svl: schwer verletzt; tot: getötet)

Haupt-Unfalltyp	Verletzungsschwere							
	Pre				Post			
	lvl	svl	tot	Gesamt	lvl	svl	tot	Gesamt
Primär	68	11	1	80	22	1	0	23
Sekundär	6	1	0	7	1	0	0	1
Tertiär	38	7	0	45	10	0	0	10
Andere	966	121	3	1.090	185	20	4	209
Gesamt	1.078	140	4	1.222	218	21	4	243

4.2.1.4.1 Primäre Unfalltypen

In den primären Unfalltypen wurden nur verletzte ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen (Fußgänger:innen, (Elektro-)Radfahrer:innen bzw. Elektro-Scooter Lenker:innen) festgestellt. Der Unfalltyp 812 hat dabei den größten Anteil. Allerdings ist der Anteil im Vorher-Nachher-Vergleich von 48,8 % auf 34,8 % gesunken. Eine Zunahme war bei den Unfalltypen 813, 811 und 611 festzustellen (Tabelle 56). Ein Chi^2 Test ergab keine signifikante Änderung der Unfalldaten im Vorher-Nachher-Vergleich der Grünpfeilregelung (Chi^2 (5) = 6,77, p=0,239). Die Verletzungsrade wurden zur Gruppe „verletzt“ zusammengefasst. Obwohl in einzelnen Unfalltypen Nullwerte in den Zellen vorlagen, wurden diese nicht umgruppiert, da die Veränderungen in den Unfalltypen bewertet werden sollten. Die größten Änderungen gab es im Unfalltyp 813. In diesem stieg der relative Anteil von 16,2 % auf 34,8 %. Die standardisierten Residuen ergaben für diesen Unfalltyp mit +1,53 den höchsten Zuwachs.

Ein Fisher-Exact Test ergab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang (p=0,666) der Verletzungsschwere und den primären Unfalltypen. Dazu wurden alle primären Unfalltypen mit der Verletzungsschwere verglichen, wobei die schwer verletzten und getöteten Verkehrsteilnehmer:innen in eine Gruppe zusammengefasst wurden.

Tabelle 56: Verletzungsschwere der ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen der primären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt; svl: schwer verletzt; tot: getötet)

Haupt-Unfalltyp	Unfalltyp	Verletzungsschwere							
		Pre				Post			
		lvl	svl	tot	Gesamt	lvl	svl	tot	Gesamt
primär	**611**	9	3	0	12	4	0	0	4
	612	1	0	1	2	0	0	0	0
	811	7	0	0	7	2	1	0	3
	812	33	6	0	39	8	0	0	8
	813	13	0	0	13	8	0	0	8
	814	5	2	0	7	0	0	0	0
Gesamt		68	11	1	80	22	1	0	23

Der Anteil an verletzten Radfahrer:innen von Elektrofahrrädern (inkl. Elektro-Scooter) hat um das Siebenfache zugenommen. Dieser stieg von 1,2 % auf 8,7 %. Bei Fußgänger:innen von 55,0 % auf 65,2 % und bei den mit Muskelkraft betriebenen Radfahrer:innen reduzierte sich der Anteil von 43,8 % auf 26,1 %. Radfahrer:innen von Elektrofahrrädern (inkl. Elektro-Scooter) tragen damit am wesentlichsten zu Änderung des Unfallgeschehens an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung bei (standardisiert Residuen +1,6).

Auffällig war auch eine deutliche Zunahme der Anteile der verletzten weiblichen Verkehrsteilnehmer:innen (Tabelle 57). Dieser stieg von 52,5 % auf 60,9 % (OR=0,141, CI [0,55–3,62]). Jedoch war die Änderung statistisch nicht signifikant (p=0,478, Fisher-Exact Test). Es wurden für diese Bewertung das Geschlecht und die Verletzungen der pre- und post-Beobachtungszeiträume für den Signifikanztest herangezogen.

Tabelle 57: Verletzungsschwere der männlichen und weiblichen ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen in den Unfällen der primären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet)

	Verkehrsart	Verletzungsschwere					
				Pre			Post
Geschlecht		lvl	svl	tot	lvl	svl	tot
Männlich	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	2	0	0	1	0	0
	Fahrrad	4	0	0	19	3	1
	Fußgänger:innen	3	0	0	14	0	0
	Gesamt	9	0	0	34	3	1
Weiblich	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	0	0	0	0	0	0
	Fahrrad	2	0	0	11	1	0
	Fußgänger:innen	11	1	0	23	7	0
	Gesamt	13	1	0	34	8	0
Gesamt		22	1	0	68	11	1

4.2.1.4.2 Sekundäre Unfalltypen

Bei den sekundären Unfalltypen ereignete sich im post-Beobachtungszeitraum nur ein Verkehrsunfall. Im pre-Beobachtungszeitraum wurden sieben Verkehrsunfälle festgestellt. Drei mit einem Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter) gegen einen Pkw und eine Fahrrad-Fahrrad-Kollision. Auf Grund der geringen Fallzahlen erfolgt keine weitere Analyse dieser Unfalltypengruppe.

4.2.1.4.3 Tertiäre Unfalltypen

Bei den tertiären Unfalltypen wurden im post-Beobachtungszeitraum fast ausschließlich Radfahrer:innen verletzt (Tabelle 59). Von den zehn Verletzten war eine Verkehrsteilnehmer:in als „sonstige Beteiligte“ klassifiziert. Unfälle mit Elektrofahrrädern (inkl. Elektro-Scooter) wurden im post-Beobachtungszeitraum keine festgestellt.

Am häufigsten sind Unfälle des Unfalltyps 951. In diesem fahren die Radfahrer:innen von der Seite in den Fahrstreifen des motorisierten Verkehrs. Der Anteil stieg von 62,2 % auf 70,0%. Ebenso konnte im Unfalltyp 123 eine Zunahme an Verkehrsunfällen festgestellt werden. Hierbei war im pre-Beobachtungszeitraum der Anteil bei 6,7 % und im post-Beobachtungszeitraum lag dieser bei 20,0 %. Die Änderungen im tertiären Unfalltypenbereich waren statistisch nicht signifikant (Chi² (4) = 3,53, p=0,474).

Im post-Beobachtungszeitraum wurden keine schwer verletzten oder getöteten Verkehrsteilnehmer:innen festgestellt.

Tabelle 58: Verletzungsschwere der ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen der tertiären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt; svl: schwer verletzt; tot: getötet)

Haupt-Unfalltyp		Verletzungsschwere							
		Pre				Post			
	Unfalltyp	lvl	svl	tot	Gesamt	lvl	svl	tot	Gesamt
tertiär	**121**	5	1	0	6	1	0	0	1
	123	3	0	0	3	2	0	0	2
	131	0	1	0	1	0	0	0	0
	181	6	1	0	7	0	0	0	0
	951	24	4	0	28	7	0	0	7
Gesamt		38	7	0	45	10	0	0	10

Der Anteil der männlichen verletzten Verkehrsteilnehmer:innen stieg von 44,4 % auf 70,0 %. Jener der Frauen sank hingegen von 55,6 % auf 30,0 %. Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant (p=0,144, Fisher-Exact Test). Bei den Männern wurde allerdings ein Odds Ratio von 2,9 (CI [0,67, 12,75]) im Vergleich zu den Frauen festgestellt. Es wurden für diese Bewertung das Geschlecht und die Verletzungen der pre- und post-Beobachtungszeiträume für den Signifikanztest herangezogen.

Tabelle 59: Verletzungsschwere der männlichen und weiblichen ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen in den Unfällen der primären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation

	Verkehrsart						Verletzungsschwere
				Pre			Post
Geschlecht		Leicht	Schwer	Getötet	Leicht	Schwer	Getötet
Männlich	Bus	1	0	0	0	0	0
	Einspurige Fahrzeuge	1	0	0	0	0	0
	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	4	0	0	0	0	0
	Fahrrad	12	2	0	7	0	0
	Fußgänger:innen	0	0	0	0	0	0
	Gesamt	18	2	0	7	0	0
Weiblich	Elektrofahrrad (inkl. Elektro-Scooter)	7	0	0	0	0	0
	Fahrrad	13	5	0	2	0	0
	Fußgänger:innen	0	0	0	0	0	0
	Sonstige Beteiligte	0	0	0	1	0	0
	Gesamt	20	5	0	3	0	0
Gesamt		38	7	0	10	0	0

4.2.2 Tiefenanalyse

4.2.2.1 Kollisionsgegner

In der Tiefenanalyse konnten 84 Unfälle ausgewertet werden. Der häufigste Kollisionsgegner bei den Unfällen mit Radfahrer:innen war ein Pkw (Abbildung 54). Fußgänger:innen (11,9 %) und Radfahrer:innen (7,1 %) waren am zweit- und dritthäufigsten. Die Absolutwerte sind in Tabelle 60 zusammengefasst.

Abbildung 54: Kollisionsgegner bei Fahrradunfällen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung

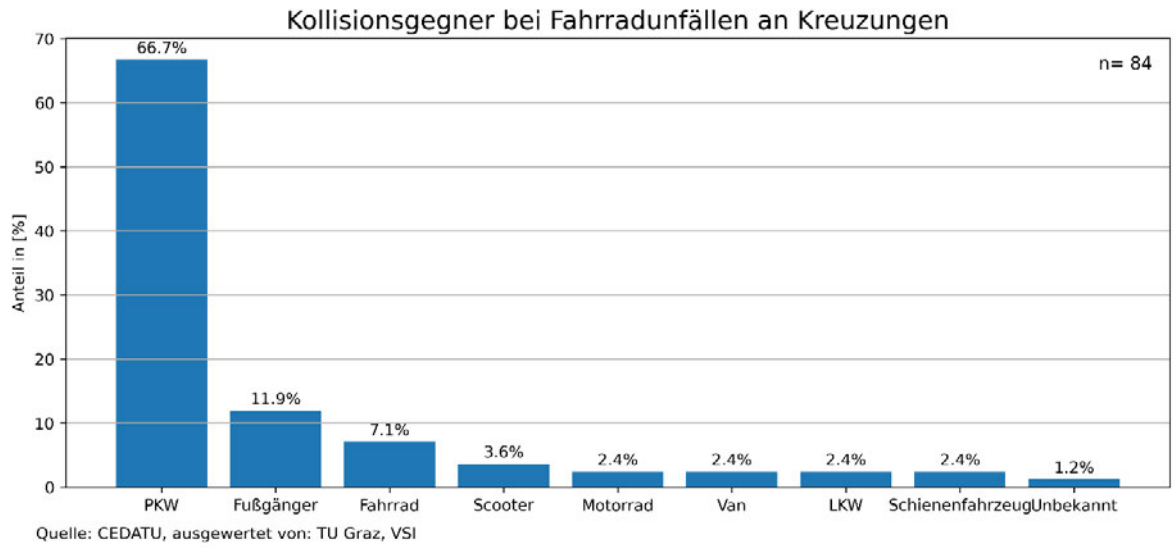


Tabelle 60: Kollisionsgegner bei Fahrradunfällen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung

Unfallgegner	Absolutwerte	Relativanteil
Pkw	56	66,7
Fußgänger:innen	10	11,9
Radfahrer:innen	6	7,2
Lkw	2	2,4
E-Scooter	3	3,6
Motorrad	2	2,4
Van	2	2,4
Schienenfahrzeug	2	2,4
Unbekannt	1	1,2

4.2.2.2 Verletzungsschwere der Unfallgegner von Radfahrer:innen

Die Verletzungsschwere der Unfallgegner in Bezug zur Verletzungsschwere der Radfahrer:innen ist in Abbildung 55 dargestellt und die zugehörigen Werte sind in den Tabelle 61, Tabelle 62 und Tabelle 63 zusammengefasst. In der Stichprobe waren weder tödlich verunglückte Radfahrer:innen noch tödlich verunglückte Unfallgegner:innen enthalten. In einigen Unfällen blieben die Radfahrer:innen unverletzt. Insbesondere war

dies in Unfällen mit anderen Radfahrer:innen oder Fußgänger:innen der Fall. In einem Unfall kam es zu einer Kollision mit einem Motorrad, wobei sich diese:r schwer verletzte. Den größten Anteil hatten Fahrradunfälle mit leichten Verletzungen. Hierbei kam es in fünf Fällen ebenso zu leichten Verletzungen bei den Unfallgegner:innen. In einem Unfall wurde eine schwere Verletzung festgestellt. In Unfällen, in welchen Radfahrer:innen schwer verletzt wurden, gab es nur eine Kollision, in welcher auch die Unfallgegner:in verletzt wurde. Dies betraf eine Fußgänger:in. Alle anderen Unfallbeteiligten in dieser Kategorie blieben unverletzt.

Abbildung 55: Verletzungsschwere der Unfallgegner in Bezug zur Verletzungsschwere der Radfahrer:innen

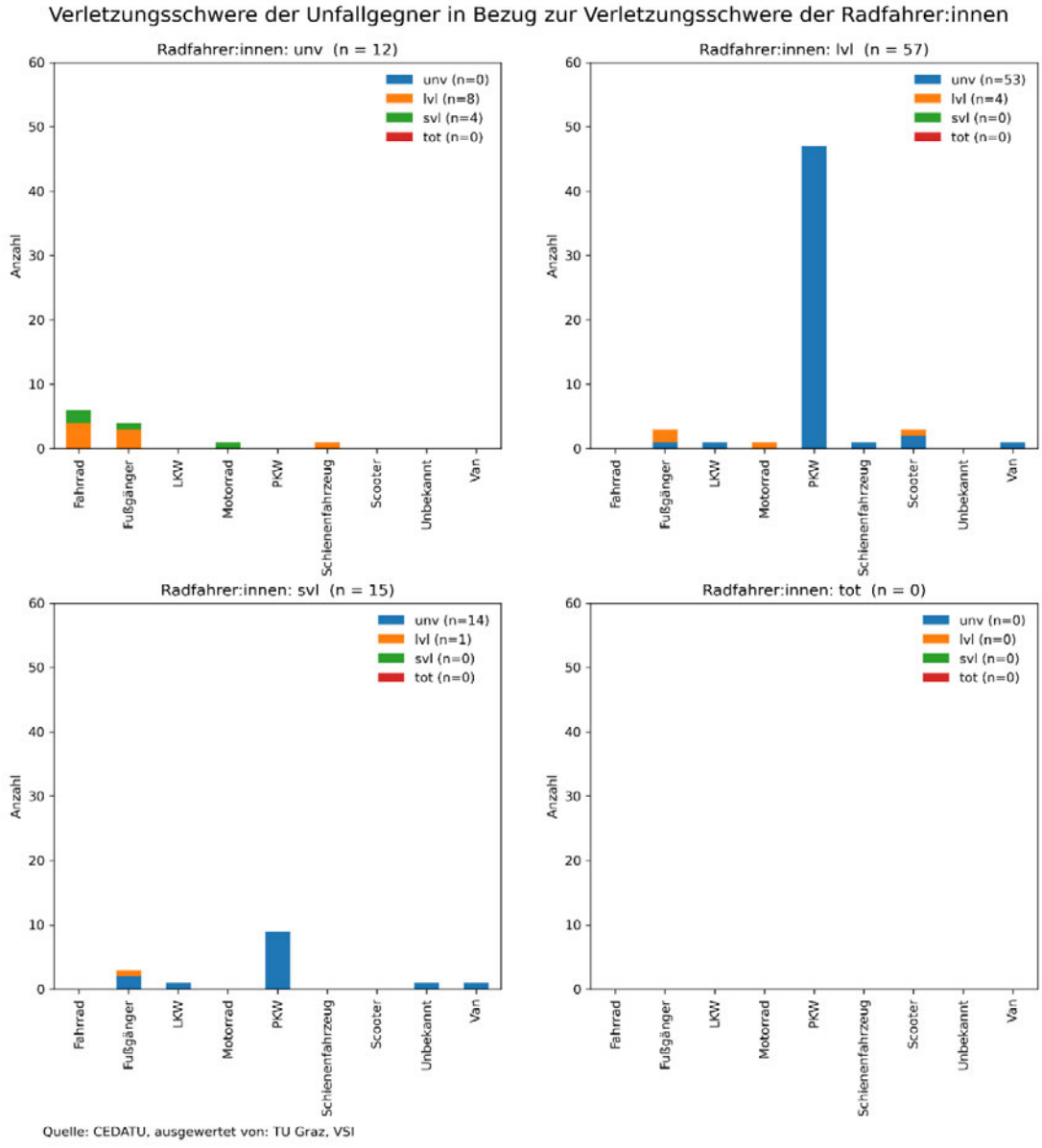


Tabelle 61: Verletzungsschwere der Unfallgegner bei Unfällen mit unverletzten Radfahrer:innen

Unfallgegner	Unverletzt	Leicht verletzt	Schwer verletzt	Getötet	Gesamt
Radfahrer:innen	0	4	2	0	6
Fußgänger:innen	0	3	1	0	4
Lkw	0	0	0	0	0
Motorrad	0	0	1	0	1
Pkw	0	0	0	0	0
Schienenfahrzeug	0	0	1	0	1
E-Scooter	0	0	0	0	0
Unbekannt	0	0	0	0	0
Van	0	0	0	0	0
Gesamt	0	7	5	0	12

Tabelle 62: Verletzungsschwere der Unfallgegner bei Unfällen mit leicht verletzten Radfahrer:innen

Unfallgegner	Unverletzt	Leicht verletzt	Schwer verletzt	Getötet	Gesamt
Radfahrer:innen	0	0	0	0	0
Fußgänger:innen	1	2	0	0	3
Lkw	1	0	0	0	1
Motorrad	0	1	0	0	1
Pkw	47	0	0	0	47
Schienenfahrzeug	1	0	0	0	1
E-Scooter	2	1	0	0	3
Unbekannt	0	0	0	0	0
Van	1	0	0	0	1
Gesamt	53	4	0	0	57

Tabelle 63: Verletzungsschwere der Unfallgegner bei Unfällen mit schwer verletzten Radfahrer:innen

Unfallgegner	Unverletzt	Leicht verletzt	Schwer verletzt	Getötet	Gesamt
Radfahrer:innen	0	0	0	0	0
Fußgänger:innen	2	1	0	0	3
Lkw	1	0	0	0	1
Motorrad	0	0	0	0	0
Pkw	9	0	0	0	9
Schienenfahrzeug	0	0	0	0	0
E-Scooter	0	0	0	0	0
Unbekannt	1	0	0	0	1
Van	1	0	0	0	1
Gesamt	14	1	0	0	14

4.2.2.3 Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeiten

Der größte Teil (68,0 %) der Radfahrer:innen hat die Geschwindigkeit beim Unfall beibehalten (Tabelle 64). Bei den Unfallgegner:innen ist dies in deutlich weniger Fällen festzustellen (36,0 %). In 18,7 % der Unfälle erfolgte eine Bremsreaktion durch die Radfahrer:innen und bei den Unfallgegner:innen war das in 21,3 % der Fall. Die Kollisionsgeschwindigkeit war bei den Radfahrer:innen in 13,3 % und bei den Unfallgegner:innen in 42,7 % der Unfälle höher als die Ausgangsgeschwindigkeit. Das deutet darauf hin, dass sich die Unfallbeteiligten noch in einer Beschleunigungsphase befunden haben, z.B. an der Kreuzung anhielten und anschließend in die Kreuzung einfuhren. Eine fehlende Reaktion kann aus dem Beschleunigungsverhalten hierzu nicht abgeleitet werden. Graphisch dargestellt ist der Zusammenhang zwischen Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit in Abbildung 56. Die Ausgangsgeschwindigkeit ist auf der x-Achse und die Kollisionsgeschwindigkeit auf der y-Achse aufgetragen. Eine Diagonale kennzeichnet eine konstant bleibende Fahrt bis zur Kollision. Unterhalb der Diagonalen erfolgt eine Verzögerung vor der Kollision und oberhalb der Diagonalen wird das Fahrzeug bis zur Kollision beschleunigt.

Abbildung 56: Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit der Unfallbeteiligten

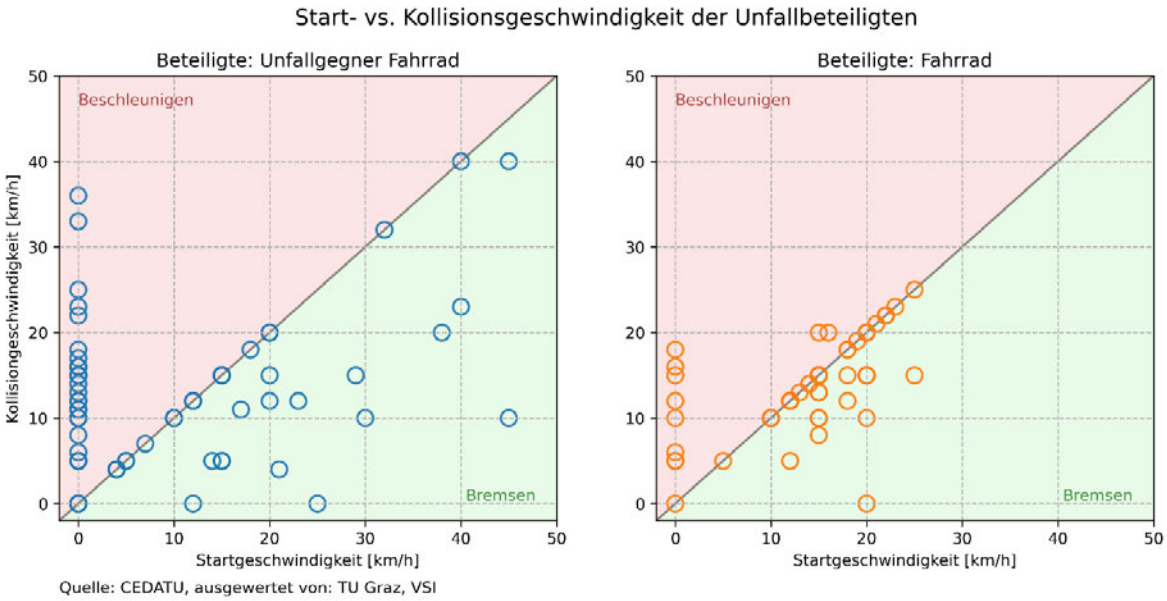


Tabelle 64: Reaktionsverhalten vor der Kollision der Radfahrer:innen und Unfallgegner:innen

Verhalten	Fahrrad		Unfallgegner:innen	
	Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
Beschleunigen	10	13,3	32	42,7
Bremsen	14	18,7	16	21,3
Konstante Fahrt	51	68,0	27	36,0

In einem Vorher-Nachher-Vergleich des Verhaltens der Radfahrer:innen konnte keine signifikante Änderung festgestellt werden (Chi^2 (2) = 0,05, p=0,977). Die Relativanteile blieben nahezu unverändert (Tabelle 65). Graphisch ist der Zusammenhang zwischen Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit in Abbildung 57 dargestellt.

Abbildung 57: Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit der Radfahrer:innen im Pre-Post Vergleich

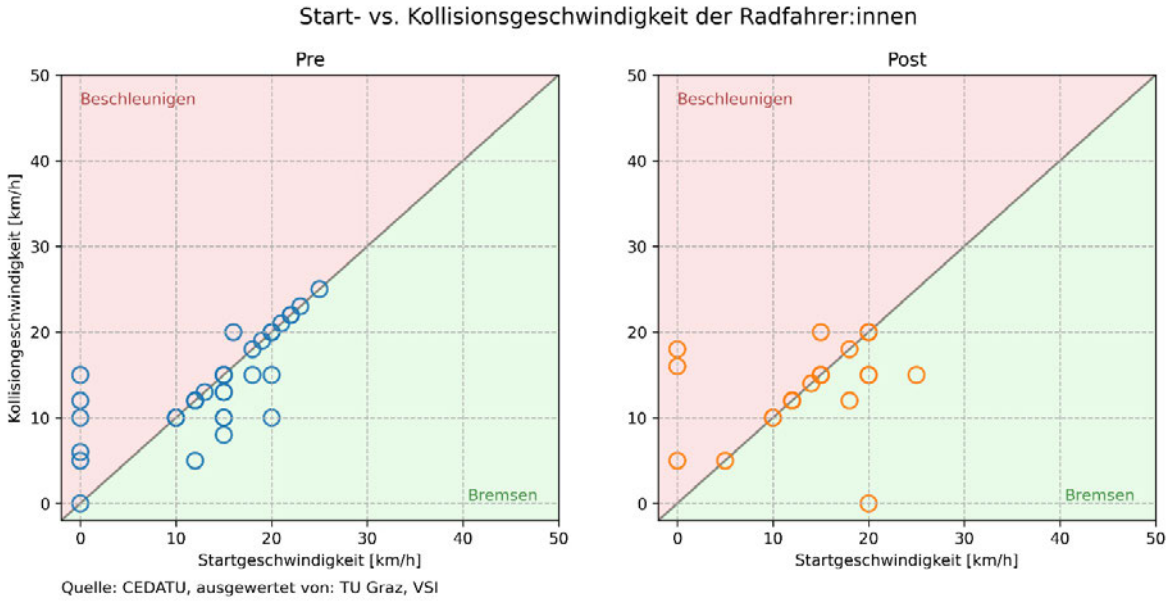


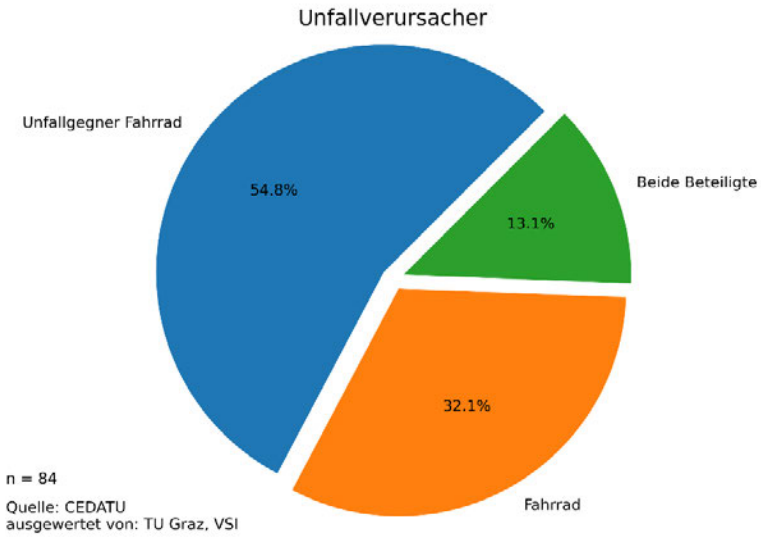
Tabelle 65: Reaktionsverhalten vor der Kollision der Radfahrer:innen

Verhalten	Fahrrad		Unfallgegner:innen	
	Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
Beschleunigen	6	12,8	4	14,3
Bremsen	9	19,1	5	17,9
Konstante Fahrt	32	68,1	19	67,9

4.2.2.4 Unfallkausale und unfallbegünstigende Faktoren

Im Großteil der Unfälle (55,8 %) wurde der Unfallgegner als Unfallverursacher festgestellt (Abbildung 58). Zu knapp einem Drittel (32,1 %) jedoch, waren die Radfahrer:innen die unfallauslösenden Verkehrsteilnehmer:innen. Bei 13,1 % der Unfälle haben beide Verkehrsteilnehmer:innen den Unfall verursacht.

Abbildung 58: Unfallverursachende Verkehrsteilnehmer:innen



Unaufmerksamkeit und Ablenkung (kausaler Faktor Nummer 111) konnten mit 45,5 % als die häufigsten unfallkausalen Faktoren festgestellt werden (Abbildung 59). Bei einer weiteren Unterteilung dieses Faktors, sind Wahrnehmungsfehler aber auch die nicht ausreichende Verkehrsbeobachtung, welche letztendlich zur Kollision führen. In weitere Folge sind Vorrangverletzungen (kausaler Faktor Nummer 107) (21,4 %) maßgeblich an den Unfällen festzustellen. Der kausaler Faktor „Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung“ (Nummer 110) hat einen Anteil von 14,3 %. Bei detaillierter Betrachtung sind es ungenügendes Rechtsfahren und die Benutzung des falschen Fahrstreifens bzw. falsche Fahrtrichtung sowie Bremsfehler. Die Zahlenwerte sind in Tabelle 66 angegeben.

Abbildung 59: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren

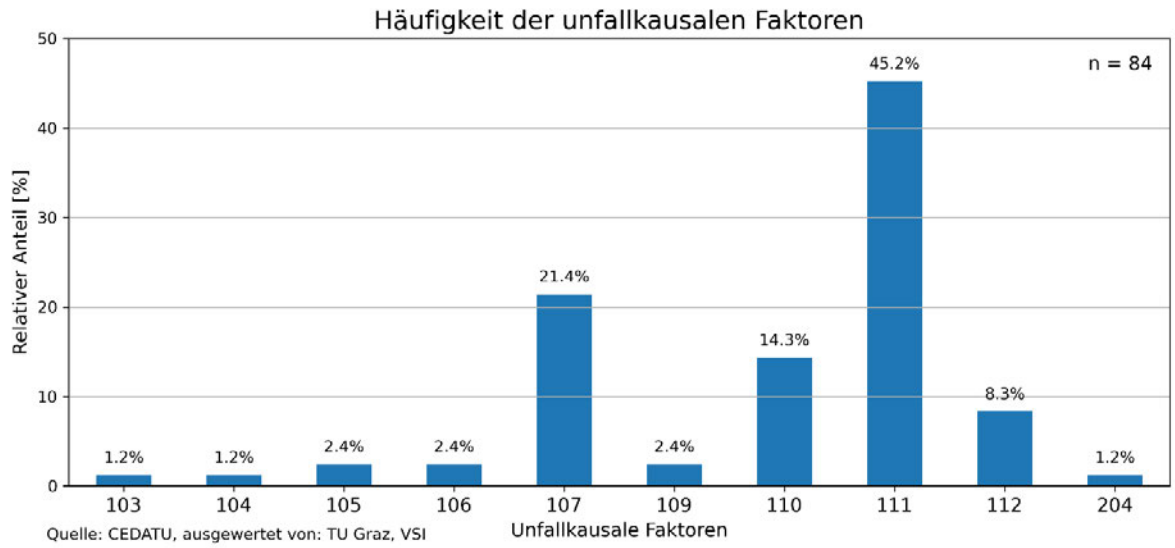


Tabelle 66: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren

UGID	Untergruppe	Absolut	Relativ
103	**Psychische Belastung**	1	1,2
104	**Ruhender Verkehr**	1	1,2
105	**Falsches Verhalten der Fußgänger:innen**	2	2,4
106	**Überholen**	2	2,4
107	**Vorrangverletzung**	18	21,4
109	**Falsches Verhalten gegenüber den Fußgänger:innen**	2	2,4
110	**Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung**	12	14,3
111	**Unaufmerksamkeit / Ablenkung**	38	45,2
112	**Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung**	7	8,5
204	**Sichteinschränkung**	1	1,2

Wie bereits aufgezeigt wurde, sind sowohl die Unfallgegner:innen als auch die Radfahrer:innen Unfallverursacher. In Abbildung 60 sind daher die unfallkausalen Faktoren aus der jeweiligen Sicht der Verkehrsteilnehmer:innen dargestellt. Dabei wird auch der Unfallfaktor Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen (kausaler Faktor Nummer 117) berücksichtigt, welcher das unfallkausale Verhalten der Unfallgegner:innen widerspiegelt. Das heißt, aus der Sicht der Verkehrsteilnehmer:innen hat den Unfall kausal

der Unfallgegner ausgelöst. Dennoch kann das Verhalten der Verkehrsteilnehmer:innen den Unfallausgang beeinflussen, beispielsweise durch ein unzureichendes Reaktionsverhalten.

Im Vergleich der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen zeigen sich nun die größten Unterschiede bei den Unfallfaktoren Unaufmerksamkeit und Ablenkung (kausaler Faktor Nummer 111) und Vorrangverletzungen (kausaler Faktor Nummer 107). Die Unaufmerksamkeit und Ablenkung, im Detail sind das Wahrnehmungsfehler und unzureichende Verkehrsbeobachtung, haben bei den Unfallgegner:innen einen Anteil von 42,9 %. Hingegen war dies bei den Radfahrer:innen nur in 5,6 % der Fall. Bei den Radfahrer:innen dominierte jedoch die Vorrangverletzung (14,6 %). Vorrangverletzungen waren bei den Unfallgegner:innen in 6,5 % der Unfälle kausal. Der Unfallfaktor „Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen“ (kausaler Faktor Nummer 117) spiegelt das Verhältnis von Radfahrer:innen und Unfallgegner:innen wider. Aus Sicht der Radfahrer:innen werden 56,2 % der Unfälle durch die Unfallgegner:innen ausgelöst und umgekehrt werden aus Sicht der Unfallgegner:innen 27,3 % der Unfälle durch Radfahrer:innen ausgelöst. Die Zahlenwerte sind in Tabelle 67 angegeben. Ein G-Test (Likelihood-Ratio) ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Radfahrer:innen und deren Unfallgegner:innen, G(12, N = 165) = 60,93, p = 0,000, V = 0,56. Insbesondere der Faktor „Unaufmerksamkeit / Ablenkung“ trägt maßgeblich zum Zusammenhang bei (standardisierte Residuen Radfahrer:innen -3,67 bzw. Unfallgegner:innen +3,87).

Abbildung 60: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bezogen auf den jeweiligen Unfallbeteiligten

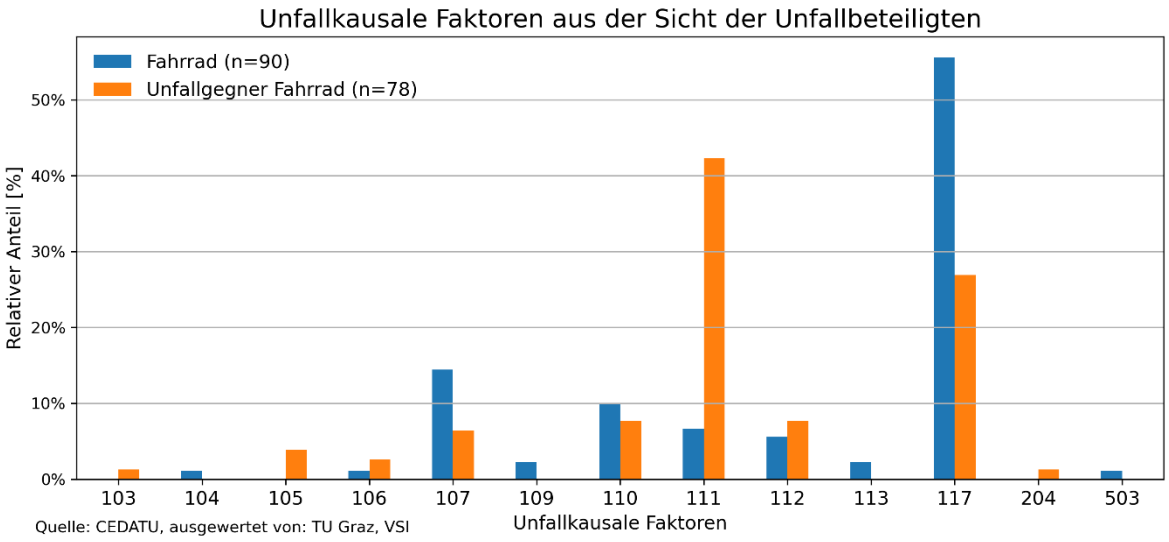


Tabelle 67: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bezogen auf den jeweiligen Unfallbeteiligten

UGID	Untergruppe	Radfahrer:innen		Unfallgegner:innen	
		Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
103	**Psychische Belastung**	0	0,0	1	1,3
104	**Ruhender Verkehr**	1	1,1	0	0,0
105	**Falsches Verhalten der Fußgänger:innen**	0	0,0	3	3,8
106	**Überholen**	1	1,1	2	2,6
107	**Vorrangverletzung**	13	14,4	5	6,4
109	**Falsches Verhalten gegenüber den Fußgänger:innen**	2	2,2	0	0,0
110	**Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung**	9	10,0	6	7,7
111	**Unaufmerksamkeit / Ablenkung**	6	6,7	33	42,3
112	**Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung**	5	5,6	6	7,7
113	**Geschwindigkeit**	2	2,2	0	0,0
117	**Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen**	50	56,6	21	26,9
204	**Sichteinschränkung**	0	0,0	1	1,3
503	**sonstige Faktoren**	1	1,1	0	0,0

Im Allgemeinen wird ein Unfall nicht durch einen einzelnen Faktor ausgelöst, sondern der unfallkausale Faktor ergibt sich aus einer Reihe unfallbegünstigender Faktoren, und ist daraus der Wahrscheinlichste. Jedoch tragen die unfallbegünstigenden Faktoren ebenfalls ihren Anteil bei. In Abbildung 61 und Abbildung 62 ist die Korrelation der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der jeweiligen Beteiligten dargestellt. Auf der y-Achse sind die unfallkausalen Faktoren und auf der x-Achse die unfallbegünstigenden Faktoren aus Beteiligtensicht aufgetragen. Die Effektstärke wurde über das Cramer's V bewertet. Korrelationen mit einer Effektstärke von kleiner als 0,1 sind nicht dargestellt. Die Häufigkeiten sind in den Abbildung 63 und Abbildung 64 zusammengefasst.

Bei den Radfahrer:innen können sehr hohe Korrelationen beim unfallkausalen Faktor Überholen (Faktor Nummer 106) mit einem phi von 0,7 festgestellt werden. Hierbei ist auch der unfallbegünstigende Faktor als Überholen klassifiziert. Die zweite hohe Korrelation (phi=0,57) kann zwischen „Falsches Verhalten gegenüber den Fußgänger:innen“ (Faktor Nummer 109) und „Falsches Verhalten der Fußgänger:innen“

(Faktor Nummer 105) festgestellt werden. Die beiden Paarkombinationen kommen in der Stichprobe allerdings nur jeweils einmal vor. Weitere hohe Paarkorrelationen weisen der unfallkausale Faktor „Unaufmerksamkeit / Ablenkung“ (Faktor Nummer 111) mit „Vorrangverletzung“ (Faktor Nummer 107) bzw. mit „Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren“ (Faktor Nummer 108) auf. Hier ist die Effektstärke bei phi=0,48 und phi=0,47. Bei den Unfallgegner:innen weist ebenso die Paarkombination „Unaufmerksamkeit / Ablenkung“ (Faktor Nummer 111) mit „Vorrangverletzung“ (Faktor Nummer 107) bzw. mit „Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren“ (Faktor Nummer 108) höhere Korrelationswerte auf. Die Effektstärke bei phi=0,39 und phi=0,31.

Abbildung 61: Korrelation der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Radfahrer:innen

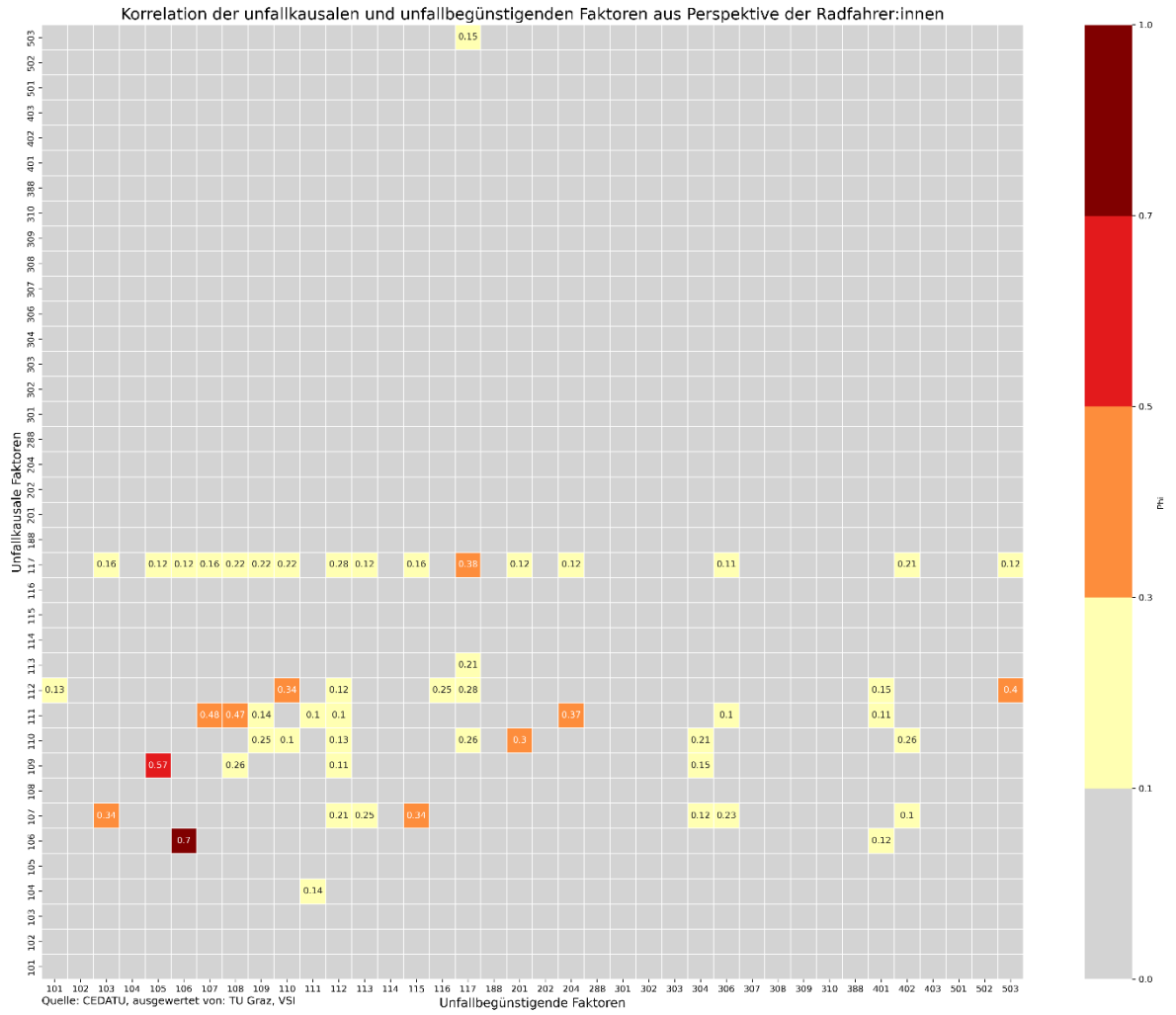


Abbildung 62: Korrelation der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Unfallgegner:innen von Radfahrer:innen

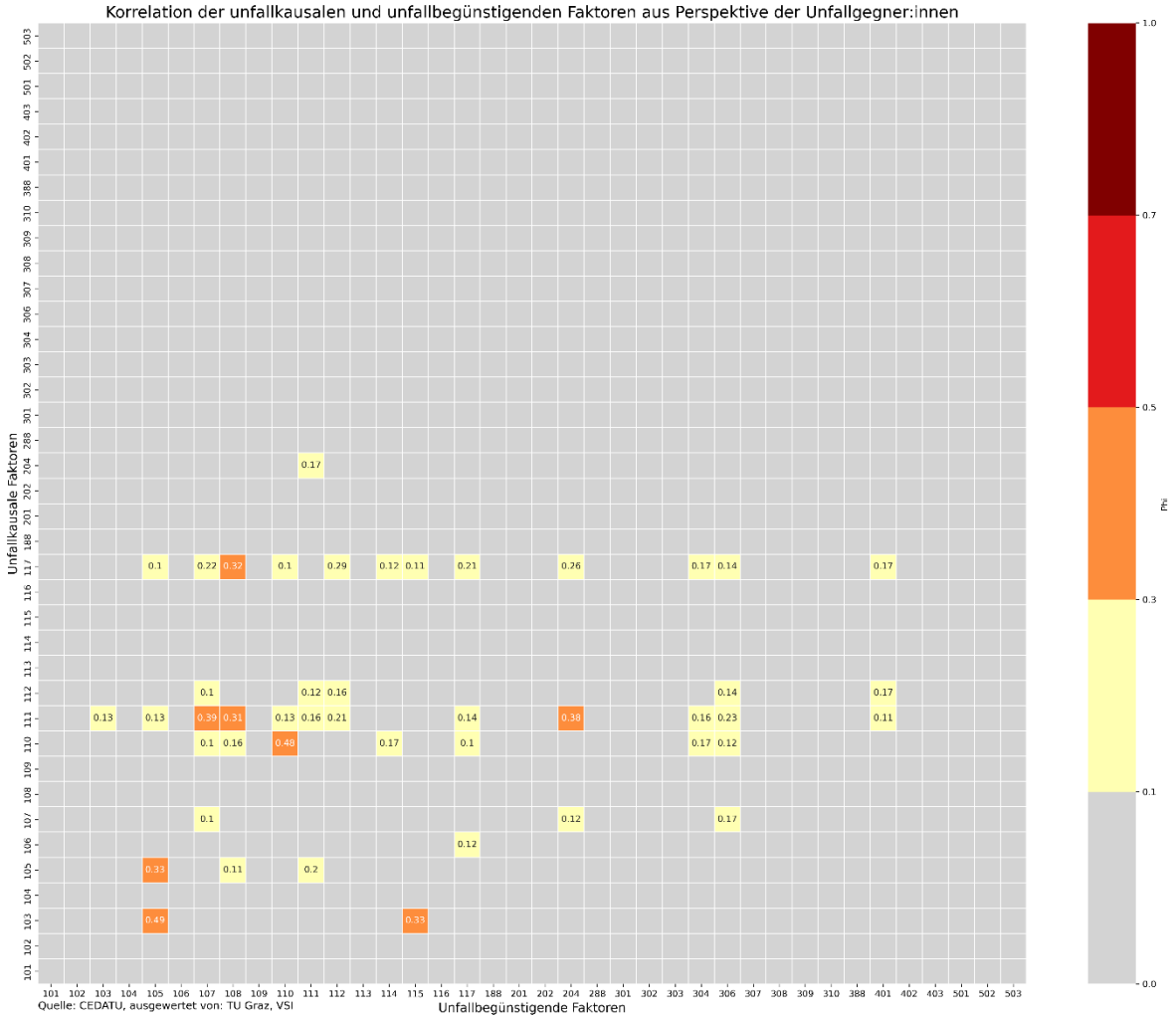


Abbildung 63: Häufigkeit der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Radfahrer:innen

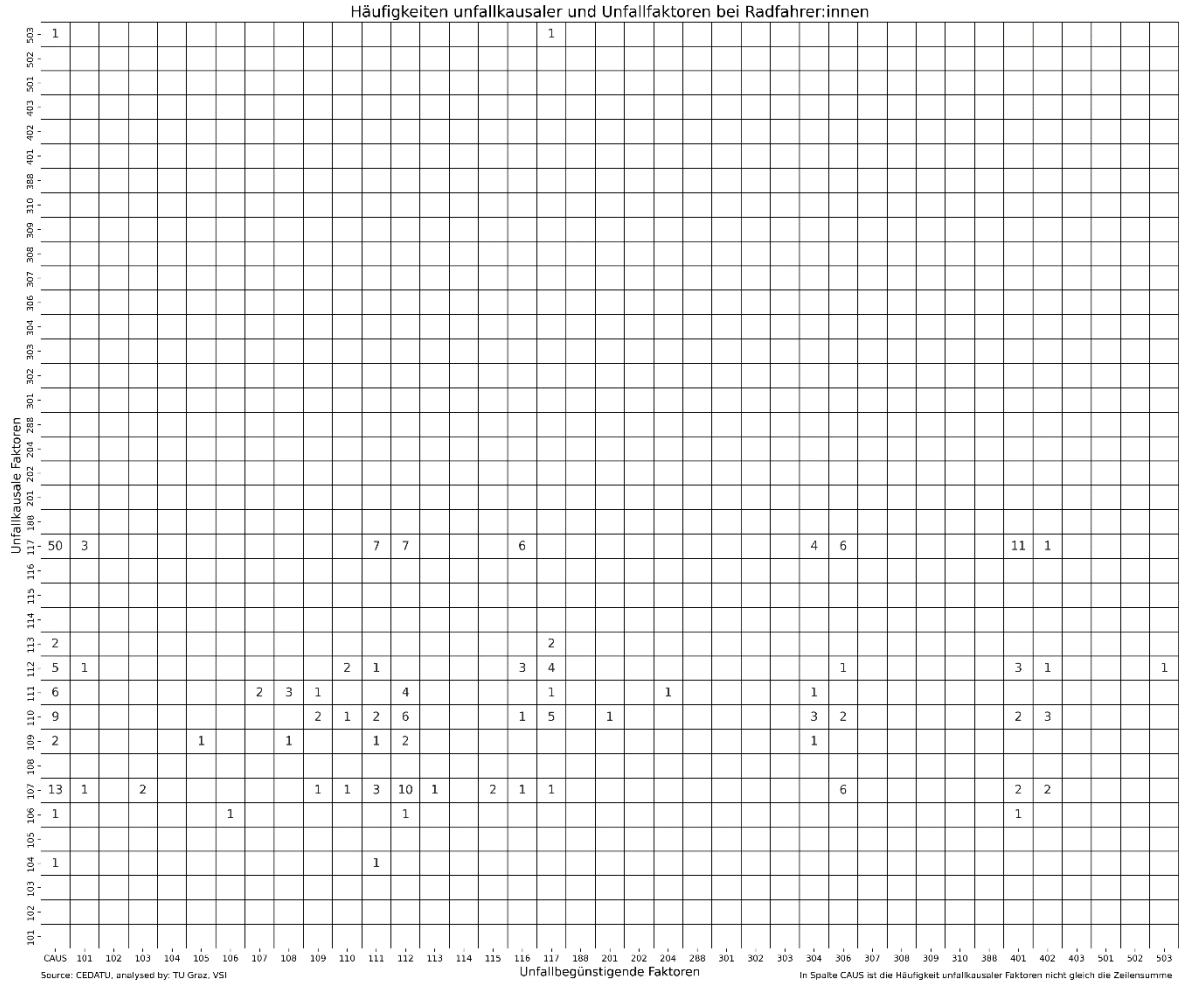
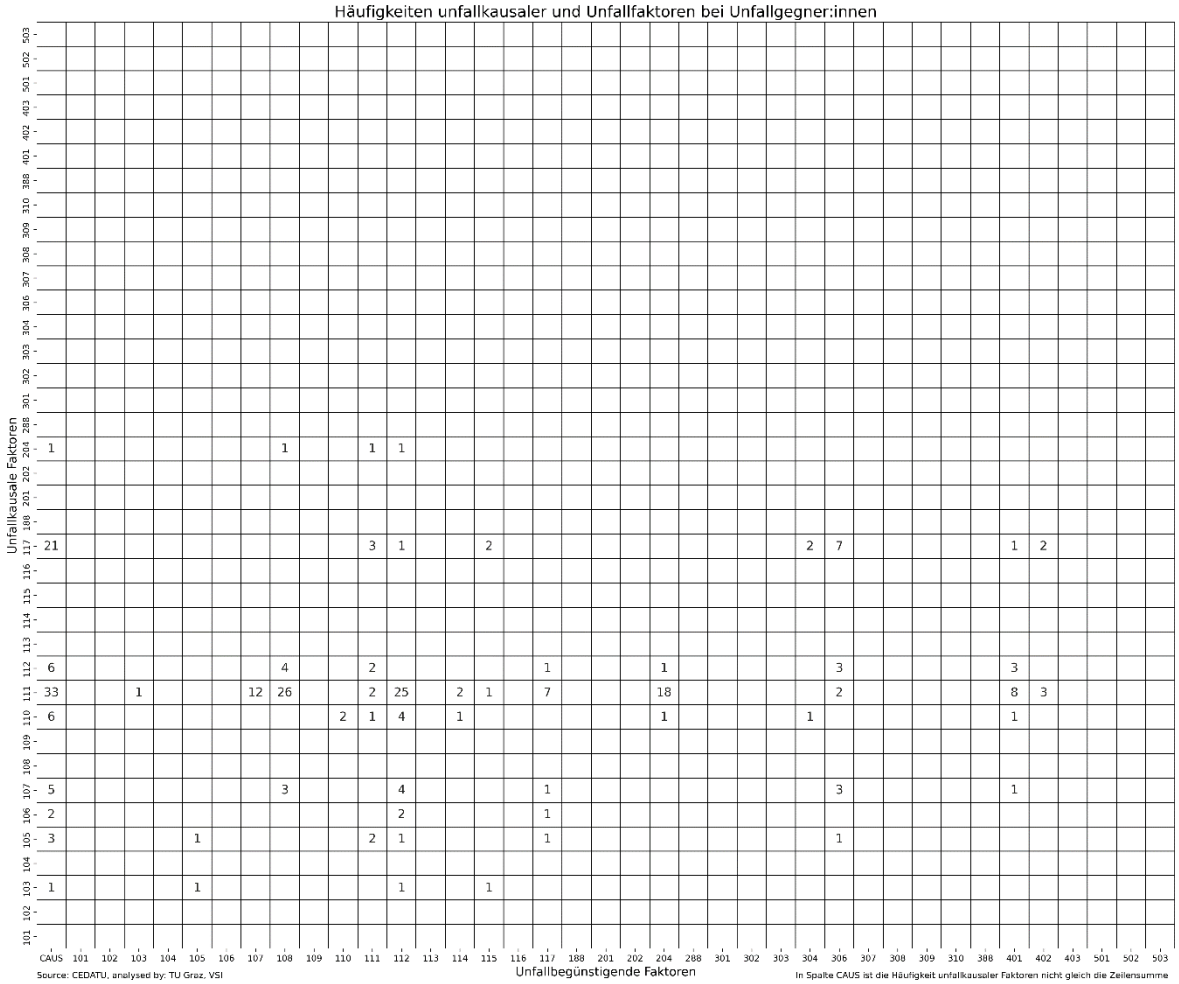


Abbildung 64: Häufigkeit der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Unfallgegner:innen von Radfahrer:innen



In welchem Ausmaß sich das Verhalten verändert hat, zeigt eine Vorher-Nachher-Betrachtung des Unfallgeschehens (Abbildung 65). Es konnte eine Zunahme bei den „Vorrangverletzungen“ (kausaler Faktor Nummer 107) von 18,9 % auf 25,8 % festgestellt werden. Ebenso nahmen in der Kategorie „Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung“ (kausaler Faktor Nummer 110) die Häufigkeiten von 11,3 % auf 19,4 % zu. Hingegen reduzierten sich die Häufigkeiten bei „Unaufmerksamkeit / Ablenkung“ und „Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung“ (kausale Faktoren Nummer 111 und 112) von 47,2 % auf 41,9 % bzw. 9,4 % auf 6,5 %. Die Zahlenwerte sind in Tabelle 68 zusammengefasst.

Abbildung 65: Relative Häufigkeiten der unfallkausalen Faktoren in einer Vorher-Nachher-Betrachtung

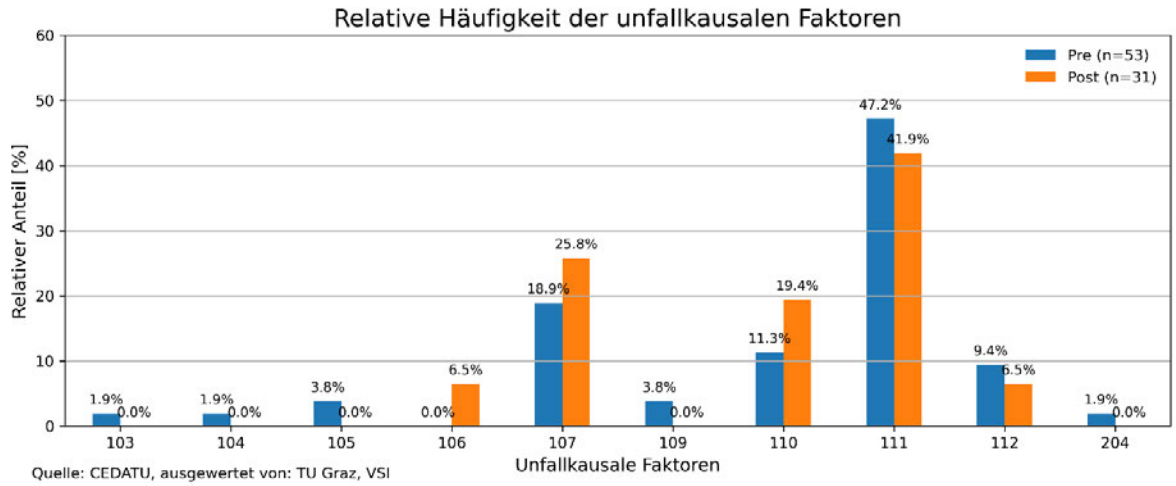


Tabelle 68: Absolute und relative Häufigkeiten der unfallkausalen Faktoren in einer Vorher-Nachher-Betrachtung

UGID	Untergruppe	Pre		Post	
		Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
103	**Psychische Belastung**	1	1,9	0	0,0
104	**Ruhender Verkehr**	1	1,9	0	0,0
105	**Falsches Verhalten der Fußgänger:innen**	2	3,8	0	0,0
106	**Überholen**	0	0,0	2	3,3
107	**Vorrangverletzung**	10	18,9	8	25,8
109	**Falsches Verhalten gegenüber den Fußgänger:innen**	2	3,8	0	0,0
110	**Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung**	6	11,3	6	20,0
111	**Unaufmerksamkeit / Ablenkung**	25	47,2	13	43,3
112	**Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung**	5	9,4	2	6,7
204	**Sichteinschränkung**	1	1,9	0	0,0

Die differenzierte Betrachtung nach Radfahrer:innen und Unfallgegner:innen lässt eine Zunahme bei den „Vorrangverletzungen“ (kausaler Faktor Nummer 107) von 5,7 % auf 11,3 % bei den Radfahrer:innen erkennen. Bei den Unfallgegner:innen reduziert sich der Anteil von 3,8 % auf 1,6 %. Ebenso ist bei dem Faktor „Sicherheitsabstand /

Reaktionsverspätung“ (kausaler Faktor Nummer 111) eine Zunahme bei den Radfahrer:innen von 1,9 % auf 6,5 % festzustellen, hingegen eine Abnahme bei den Unfallgegner:innen von 21,7 % auf 16,1 %. Der Unfallfaktor „Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen“ (kausaler Faktor Nummer 117) zeigt diese Veränderungen sehr deutlich auf. Bei den Radfahrer:innen sinkt der relative Anteil von 32,1 % auf 25,8 % und bei den Unfallgegner:innen steigt dieser Faktor von 10,4 % auf 16,1%. Es hat somit tendenziell eine Verschiebung der kausalen Faktoren in Richtung der Radfahrer:innen stattgefunden. Ein G-Test (Likelihood-Ratio) ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen für Radfahrer:innen ($G(9, N = 90) = 10,15$, $p = 0,339$, $V = 0,31$). Ebenso ergab für die Unfallgegner:innen ein G-Test (Likelihood-Ratio) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen ($G(8, N = 78) = 12,35$, $p = 0,136$, $V = 0,36$).

Tabelle 69: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bei Radfahrer:innen in einer Vorher-Nachher-Betrachtung

UGID	Untergruppe	Pre		Post	
		Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
104	**Ruhender Verkehr**	1	0,9	0	0,0
106	**Überholen**	0	0,0	1	1,6
107	**Vorrangverletzung**	6	5,7	7	11,3
109	**Falsches Verhalten gegenüber den Fußgänger:innen**	2	1,9	0	0,0
110	**Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung**	5	4,7	4	6,5
111	**Unaufmerksamkeit / Ablenkung**	2	1,9	4	6,5
112	**Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung**	3	2,8	2	3,2
113	**Geschwindigkeit**	1	0,9	1	1,6
117	**Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen**	34	32,1	16	25,8
503	**sonstige Faktoren**	1	0,9	0	0,0

Tabelle 70: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bei den Unfallgegner:innen in einer Vorher-Nachher-Betrachtung

UGID	Untergruppe	Pre		Post	
		Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
103	**Psychische Belastung**	1	0,9	0	0,0
105	**Falsches Verhalten der Fußgänger:innen**	3	2,8	0	0,0
106	**Überholen**	0	0,0	2	3,2
107	**Vorrangverletzung**	4	3,8	1	1,6
110	**Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung**	3	2,8	3	4,8
111	**Unaufmerksamkeit / Ablenkung**	23	21,7	10	16,1
112	**Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung**	5	4,7	1	1,7
117	**Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen**	11	10,4	10	16,1
204	**Sichteinschränkung**	1	0,9	0	0,0

4.3 Verkehrsbeobachtung

Die Verkehrsbeobachtung unterteilt sich in eine Verhaltensanalyse und in die Bewertung von Kritikalitätsmetriken. In der Verhaltensanalyse wird das veränderte Verhalten der Radfahrer:innen im Vorher-Nachher-Vergleich betrachtet. Aus der Kritikalitätsbewertung geht hervor, in wie weit es zu potentiell kritischen Situationen gekommen ist. Das Kapitel wird unterteilt in Verhalten bei unterschiedlichen infrastrukturellen Umständen, Regelverhalten und Verhaltensänderung durch den Grünpfeil und Kritikalitätsbewertung im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Kapitel sind unterteilt in Kreuzungen und T-Kreuzungen sowie eine separate Auswertung der Langzeitbeobachtung, in welcher die Verhaltensveränderung der Radfahrer:innen über die Zeit dargestellt wird.

4.3.1 Beobachtungsdaten

Insgesamt konnten 70.626 Ereignisse beobachtet werden. 67.976 (88,3 %) waren auf Kreuzungen und 2.650 (11,7 %) an T-Kreuzungen (Tabelle 71). Der höchste Anteil an den Beobachtungen wurde an der Langzeiterhebung festgestellt.

Tabelle 71: Anteil der Beobachtungen bezogen auf den Kreuzungstyp

Kreuzungstyp	Anzahl der Beobachtungen			Relativanteil der Beobachtungen		
	Vorher	Nachher	Gesamt	Vorher	Nachher	Gesamt
Kreuzung	4.553	9.703	14.256	16,9	22,2	20,2
Langzeitbeobachtung	21.451	32.269	53.579	79,6	73,9	76,1
T-Kreuzung	933	1.717	2.650	3,5	3,9	3,8
Gesamt	26.937	43.689	70.626	100,0	100,0	100,0

Über den Tagesverlauf konnte eine ähnliche Verteilung festgestellt werden (Abbildung 66 und Tabelle 72). Es ist ein Unterschied in den Morgen- und Abendstunden festzustellen. Dieser ist womöglich auf den Erhebungszeitraum zurückzuführen. Die Vorher-Erhebung erfolgte in den Monaten Mai bis August und die Nachher-Erhebung von August bis Jänner. Einen Überblick der Erhebungsmonate und den Beobachtungen während des Tages ist in Abbildung 67 dargestellt.

Abbildung 66: Vorher-Nachher Beobachtungen im Tagesverlauf

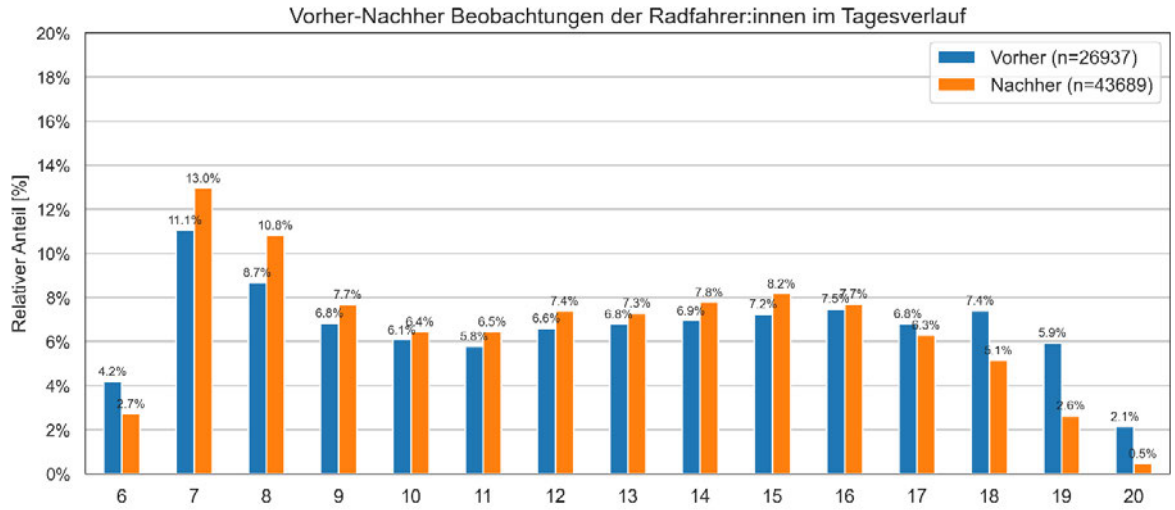


Tabelle 72: Anteil der Beobachtungen im Tagesverlauf

Uhrzeit/Stunde	Anzahl der Beobachtungen			Relativanteil der Beobachtungen		
	Vorher	Nachher	Gesamt	Vorher	Nachher	Gesamt
6	1.128	1.188	2.316	4,19	2,72	3,28
7	2.981	5.661	8.642	11,07	12,96	12,24
8	2.338	4.730	7.068	8,68	10,83	10,01
9	1.843	3.355	5.198	6,84	7,68	7,36
10	1.636	2.817	4.453	6,07	6,45	6,31
11	1.558	2.820	4.378	5,78	6,45	6,2
12	1.777	3.229	5.006	6,6	7,39	7,09
13	1.831	3.187	5.018	6,8	7,29	7,11
14	1.871	3.401	5.272	6,95	7,78	7,46
15	1.951	3.570	5.521	7,24	8,17	7,82
16	2.016	3.370	5.386	7,48	7,71	7,63
17	1.832	2.753	4.585	6,8	6,3	6,49
18	1.998	2.249	4.247	7,42	5,15	6,01
19	1.601	1.156	2.757	5,94	2,65	3,9
20	576	203	779	2,14	0,46	1,1
Gesamt	26.937	43.689	70.626	100,0	100,0	100,0

Abbildung 67: Beobachtungen im Tagesverlauf und Erhebungsmonat

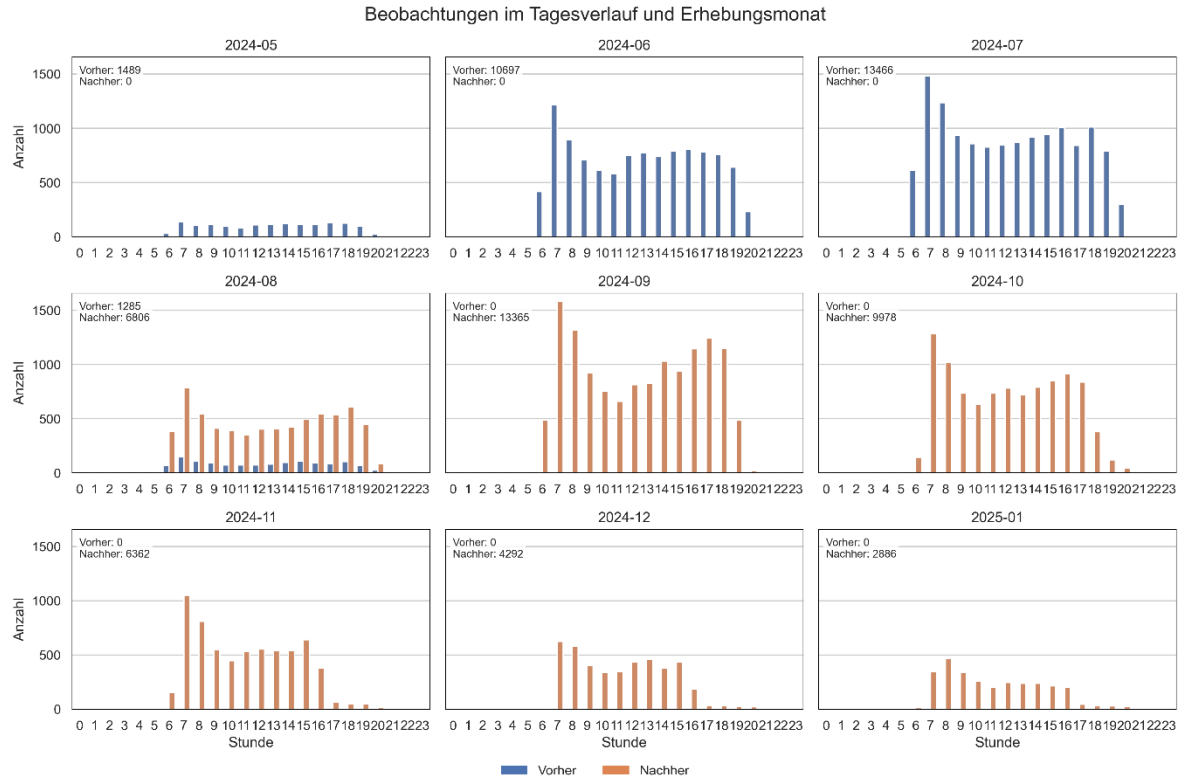


Tabelle 73: Beobachtungen im Erhebungsmonat

Kalendermonat	Anzahl der Beobachtungen			Relativanteil der Beobachtungen		
	Vorher	Nachher	Gesamt	Vorher	Nachher	Gesamt
Mai	1.489	0	1.489	5,53	0,00	2,11
Juni	10.697	0	10.697	39,71	0,00	15,15
Juli	13.466	0	13.466	49,99	0,00	19,07
August	1.285	6.806	8.091	4,77	15,58	11,46
September	0	13.365	13.365	0,00	30,59	18,92
Oktober	0	9.978	9.978	0,00	22,84	14,13
November	0	6.362	6.362	0,00	14,56	9,01
Dezember	0	4.292	4.292	0,00	9,82	6,08
Jänner	0	2.886	2.886	0,00	6,61	4,09
Gesamt	26.937	43.689	70.626	100,0	100,0	100,0

Bis auf den Dienstag gibt es eine gute Übereinstimmung der Relativanteile im Vorher-Nachher-Vergleich (Abbildung 68). Während der Woche ist ein deutlich höherer Anteil an Radfahrer:innen festzustellen als am Wochenende. Über 80 % der Beobachtungen waren während der Woche.

Abbildung 68: Beobachtungen im Wochenverlauf

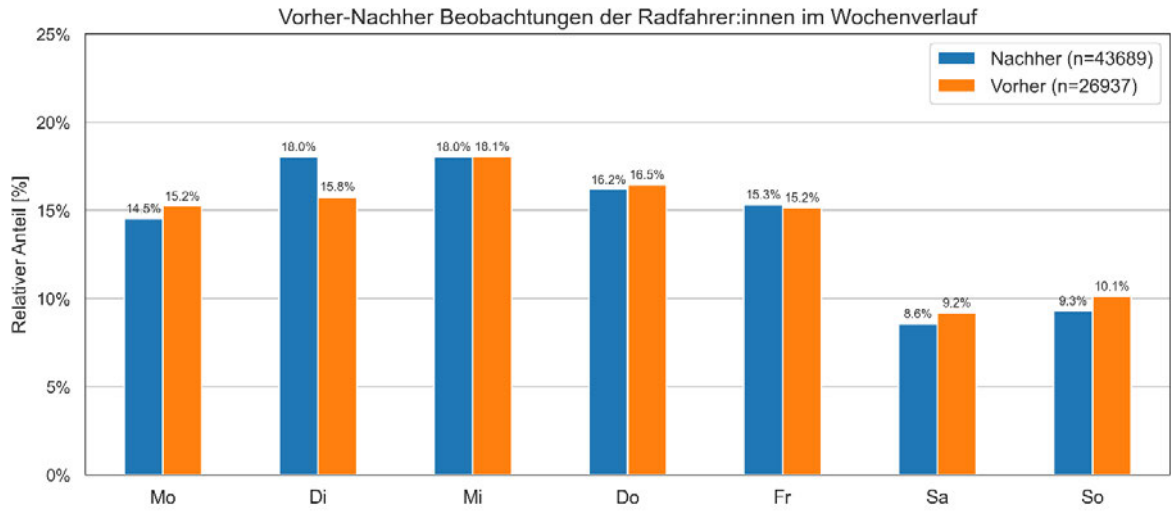


Tabelle 74: Anteil der Beobachtungen im Wochenverlauf

Wochentag	Anzahl der Beobachtungen			Relativanteil der Beobachtungen		
	Vorher	Nachher	Gesamt	Vorher	Nachher	Gesamt
Montag	6.351	4.106	10.457	14,54	15,24	14,81
Dienstag	7.883	4.247	12.130	18,04	15,77	17,17
Mittwoch	7.883	4.865	12.748	18,04	18,06	18,05
Donnerstag	7.067	4.432	11.499	16,18	16,45	16,28
Freitag	6.693	4.082	10.775	15,32	15,15	15,26
Samstag	3.746	2.475	6.221	8,57	9,19	8,81
Sonntag	4.066	2.730	6.796	9,31	10,13	9,62
Gesamt	26.937	43.689	70.626	100,0	100,0	100,0

4.3.2 Einfluss Infrastrukturmerkmale auf das Regelverhalten von Radfahrer:innen

Um mögliche Verzerrungs-Effekte zu vermeiden wird aufgrund der ungleichen Beobachtungsumfänge die Kreuzung der Langzeiterhebung und T-Kreuzungen nicht in den Auswertungen dieses Kapitels einbezogen.

4.3.2.1 Geschwindigkeitsbeschränkung

Ein Nicht-regelkonformes Verhalten von Radfahrer:innen kann, bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt der Radfahrer:innen von 30 km/h, insbesondere bei den „Rule Violation At Red“, festgestellt werden (47,9 %) (Abbildung 69 und Tabelle 75). Im Vergleich zu einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h (30,2 %) ist diese Art der Regelmissachtung 1,5fach häufiger. Ebenso ist die Benützung des Gehweges bei Grünlicht für die Radfahrer:innen („Pavemant At Green“) deutlich häufiger bei 30 km/h (19,3 %) als bei 50 km/h (8,8 %). Das Überqueren der Kreuzung bei Rot („Straight At Red“) bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h ist die häufigste Regelmissachtung und hat einen Anteil von 50,4 %. Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 1.678) = 162,62$, $p = 0,000$, $V = 0,31$. Die standardisierten Residuen sind in Abbildung 70 dargestellt. Bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h sind die „Straight At Red“ (standardisierte Residuen +4,41) deutlich überrepräsentiert. Hingegen sind bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h die Gruppen „Stress“ (standardisierte Residuen +3,08), „Rule Violation At Red“ (standardisierte Residuen +4,54) und „Pavement At Red“ (standardisierte Residuen +4,69) deutlich überrepräsentiert. Die standardisierten Residuen bestätigen die Verteilungen der relativen Gruppenanteile.

Abbildung 69: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt (Zufahrt 1) der Radfahrer:innen

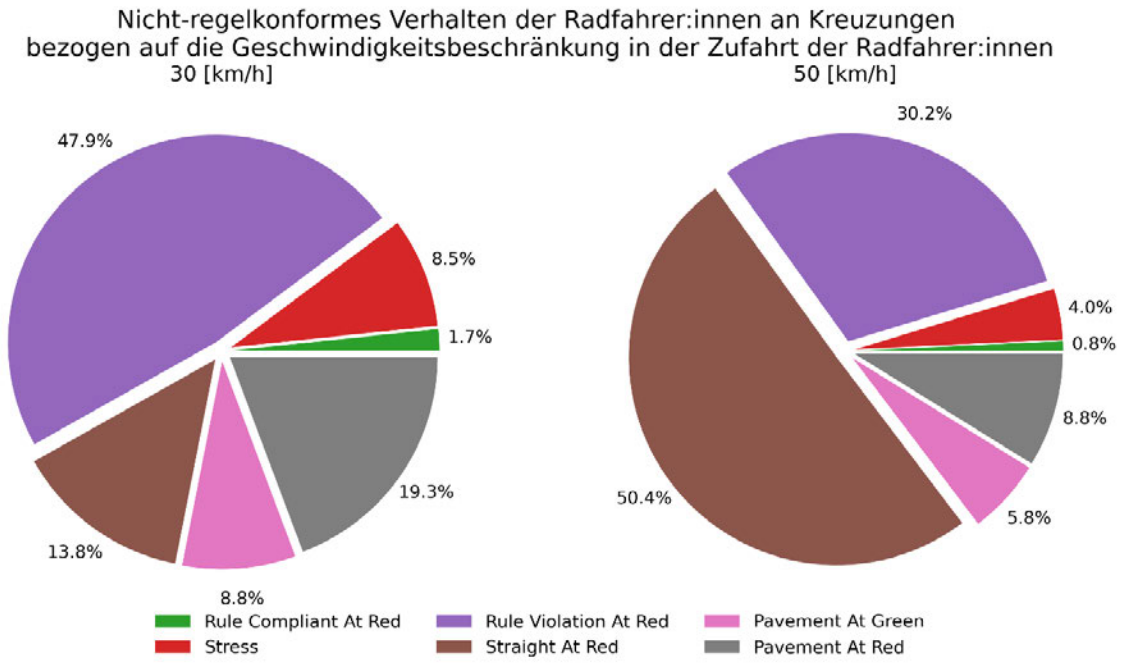
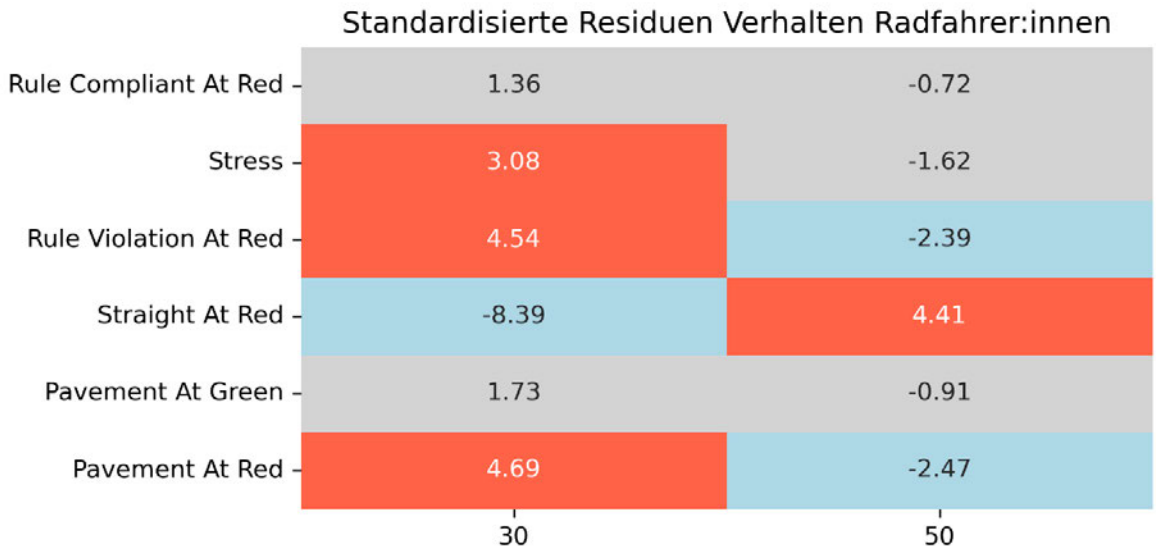


Tabelle 75: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt der Radfahrer:innen

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	30 [km/h]	50 [km/h]	Gesamt	30 [km/h]
Rule Compliant At Red	6	10	1,65	0,76
Stress	31	52	8,54	3,95
Rule Violation At Red	174	397	47,93	30,19
Straight at Red	50	663	13,77	50,42
Pavement At Green	32	77	8,82	5,86
Pavement At Red	70	116	19,28	8,82
Gesamt	363	1.315	100,0	100,0

Abbildung 70: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt (Zufahrt 1) der Radfahrer:innen



Die Analyse der Geschwindigkeitsbeschränkung für den Querverkehr ergibt ein anderes Bild (Abbildung 71 und Tabelle 76). Hierbei ist bei einer niedrigen Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h die Regelmissachtung „Straight At Red“ am dominantesten (50,4 %). Alle anderen Verhaltensgruppen sind in dieser Geschwindigkeitskategorie deutlich seltener als im Vergleich mit den Geschwindigkeitsbeschränkungen 40 km/h und 50 km/h. Die Benutzung des Gehsteigs durch Radfahrer:innen wird insbesondere bei Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h deutlich. In dieser Kategorie verwenden 25,8 % der Radfahrer:innen diesen als alternative Route. Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(10, N = 1.678) = 195{,}57$, $p = 0{,}000$, $V = 0{,}24$. In Abbildung 72 sind die standardisierten Residuen dargestellt. Diese verdeutlichen die signifikanten Verhaltensgruppen in den einzelnen Geschwindigkeitsbeschränkungen.

Abbildung 71: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung des Querverkehrs

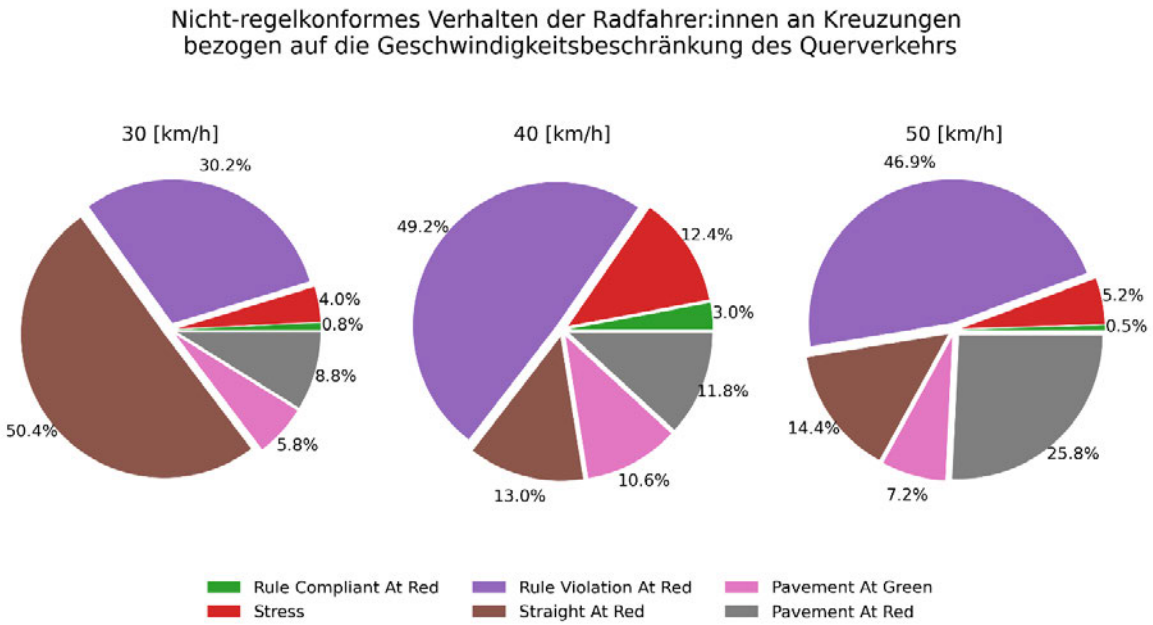
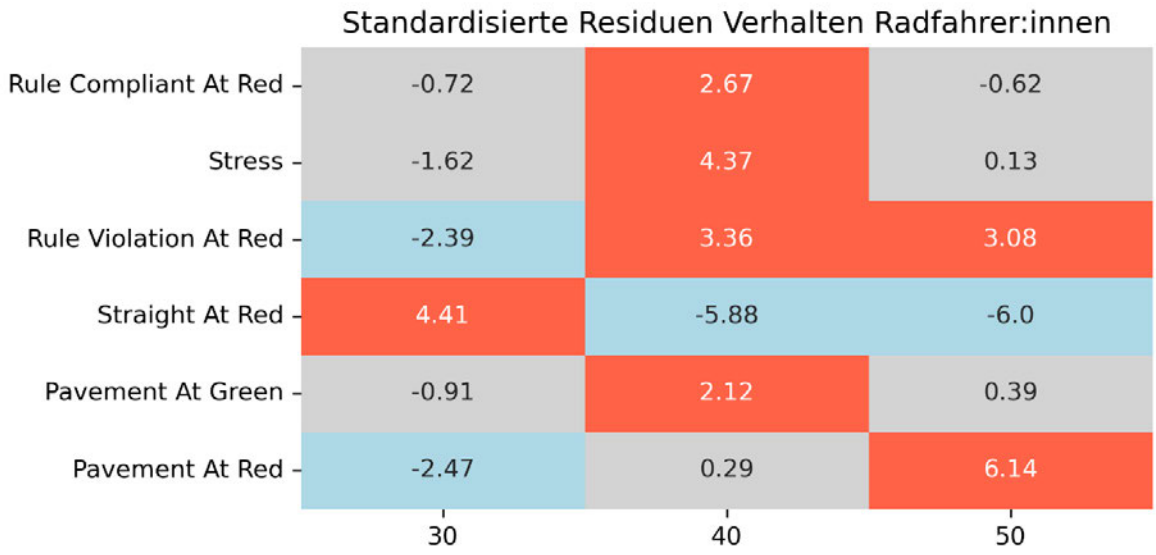


Tabelle 76: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung des Querverkehrs

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen			Relativanteil der Beobachtungen		
	30 [km/h]	40 [km/h]	50 [km/h]	30 [km/h]	40 [km/h]	50 [km/h]
Rule Compliant At Red	10	5	1	0,76	2,96	0,52
Stress	52	21	10	3,95	12,43	5,15
Rule Violation At Red	397	83	91	30,19	49,11	46,91
Straight at Red	663	22	28	50,42	13,02	14,43
Pavement At Green	77	18	14	5,86	10,65	7,22
Pavement At Red	116	20	50	8,82	11,83	25,77
Gesamt	1.315	169	194	100,0	100,0	100,0

Abbildung 72: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung des Querverkehrs



4.3.2.2 Radfahrstreifen

Ein Radfahrstreifen an Kreuzungen im Zufahrtsweg der Radfahrer:innen begünstigt eine Regelmissachtung beim Geradeausfahren („Straight At Red“) im Vergleich zu Kreuzungen ohne Radfahrstreifen (Abbildung 73 und Tabelle 77). Es erfolgen mit 55,6 % deutlich mehr Regelübertretungen an Kreuzungen mit Radfahrstreifen als an jenen ohne (10,3 %). Umgekehrt verhält es sich bei den anderen Verhaltensgruppen. Hier sind diese deutlich häufiger an Kreuzungen ohne Radfahrstreifen. Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 1.678) = 415{,}09$, $p = 0{,}000$, $V = 0{,}50$. Die Auswertung der standardisierten Residuen ist in Abbildung 77 dargestellt.

Ist der Radfahrstreifentyp in der Zufahrt nur durch Bodenmarkierungen vom Gehsteig getrennt, so wird der Gehsteig deutlich häufiger von den Radfahrer:innen benutzt, als wenn der Radfahrstreifen vom Gehsteig baulich getrennt ist (Abbildung 75, Tabelle 78). Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 2.535) = 142{,}41$, $p = 0{,}000$, $V = 0{,}24$.

Abbildung 73: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen

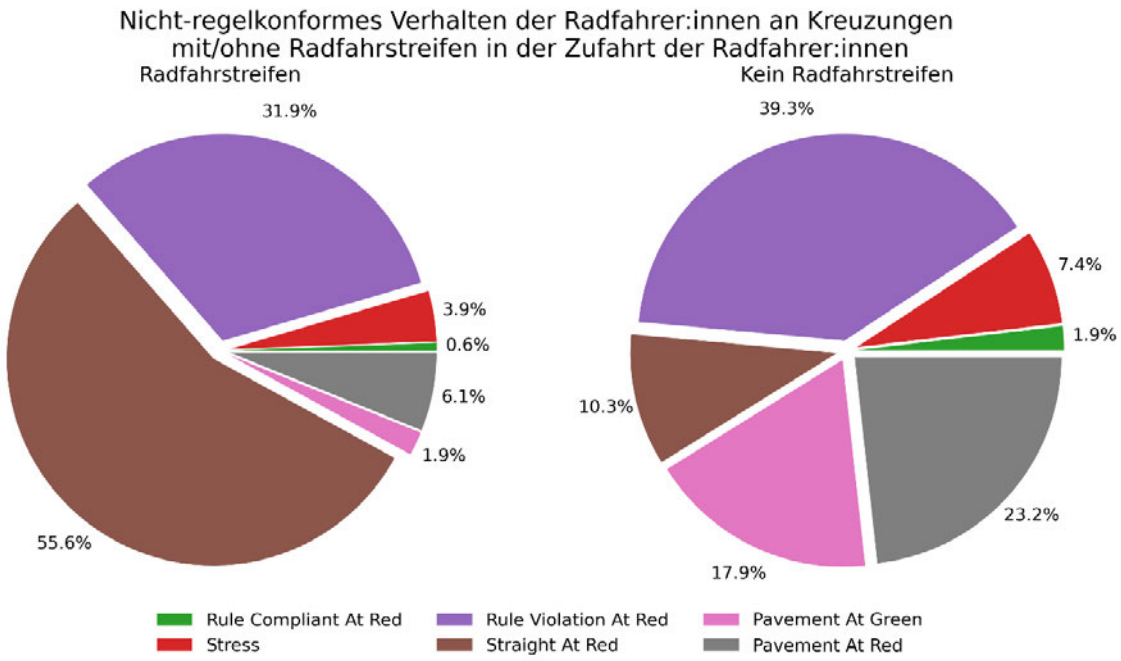


Tabelle 77: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Radfahrstreifen	Kein Radfahrstreifen	Gesamt	Radfahrstreifen
Rule Compliant At Red	7	9	0,59	1,85
Stress	47	36	3,94	7,41
Rule Violation At Red	380	191	31,88	39,30
Straight at Red	663	50	55,62	10,29
Pavement At Green	22	87	1,85	17,90
Pavement At Red	73	113	6,12	23,25
Gesamt	1.192	486	100,0	100,0

Abbildung 74: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen

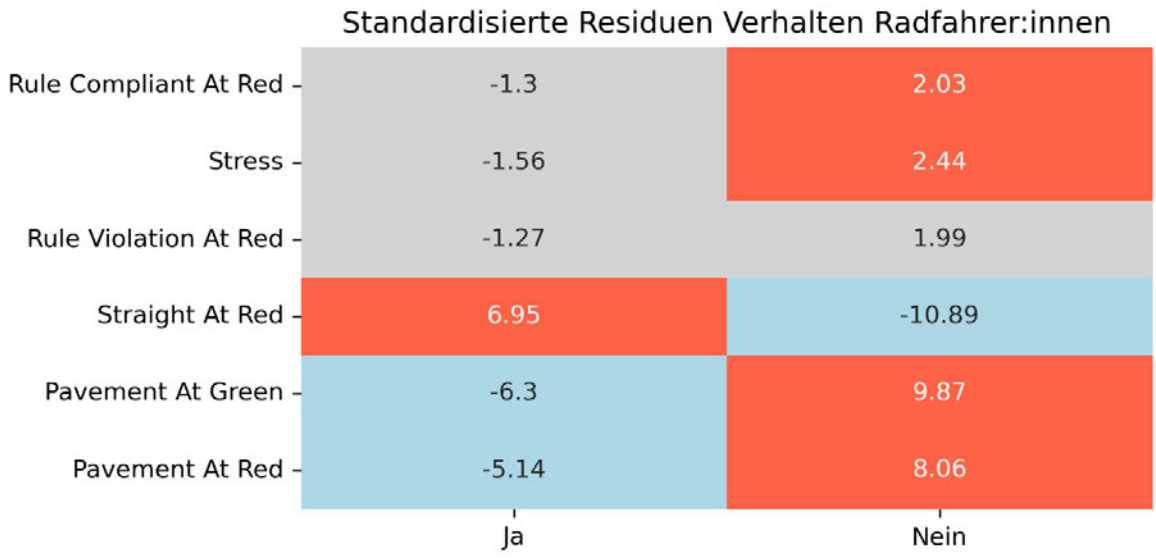


Abbildung 75: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Zufahrt der Radfahrer:innen

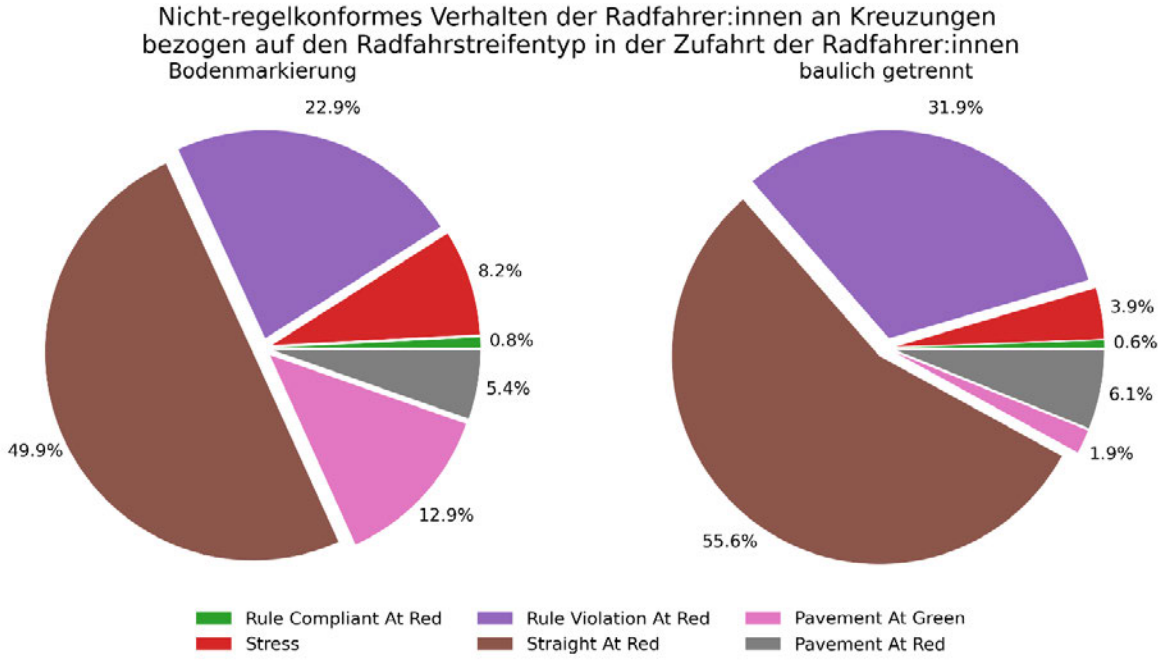


Tabelle 78: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Zufahrt der Radfahrer:innen

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Boden-markierung	Baulich getrennt	Boden-markierung	Baulich getrennt
Rule Compliant At Red	11	7	0,82	0,59
Stress	110	47	8,19	3,94
Rule Violation At Red	307	380	22,86	31,88
Straight at Red	670	663	49,89	55,62
Pavement At Green	173	22	12,88	1,85
Pavement At Red	72	73	5,36	6,12
Gesamt	1.343	1.192	100,0	100,0

Ein Radfahrstreifen an Kreuzungen im Ausfahrtsweg der Radfahrer:innen begünstigt eine Regelmissachtung bei der Benutzung von Gehwegen („Pavement At Green“, „Pavement At Red“) im Vergleich zu Kreuzungen ohne Radfahrstreifen (Abbildung 76 und Tabelle 79). Es erfolgen mit 21,2 % bzw. 27,3 % deutlich mehr Regelübertretungen an Kreuzungen mit Radfahrstreifen als an jenen ohne (1,8 % bzw. 5,8 %). Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 1.678) = 438,90$, $p = 0,000$, $V = 0,51$. Die Auswertung der standardisierten Residuen ist in Abbildung 77 dargestellt.

Der Radfahrstreifentyp in der Ausfahrt der Radfahrer:innen begünstigt ebenfalls die Benutzung des Gehsteigs durch die Radfahrer:innen, wenngleich der Unterschied zwischen Bodenmarkierung und baulich getrennten Radfahrstreifen nicht so deutlich ist (Abbildung 78, Tabelle 80). Der Anteil der Radfahrer:innen ist für die Verhaltensgruppe „Pavement At Green“ bei 17,9 % und bei der „Pavement At Red“ 14,8 % bei den durch Bodenmarkierungen getrennten Radfahrstreifen. Bei baulich getrennten Radfahrstreifen summiert sich dieser Anteil auf 25,9 %, 14,9 % für die Verhaltensgruppe „Pavement At Green“ und 10,0 % bei den „Pavement At Red". Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 1.618) = 356,98$, $p = 0,000$, $V = 0,47$.

Abbildung 76: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Ausfahrt der Radfahrer:innen

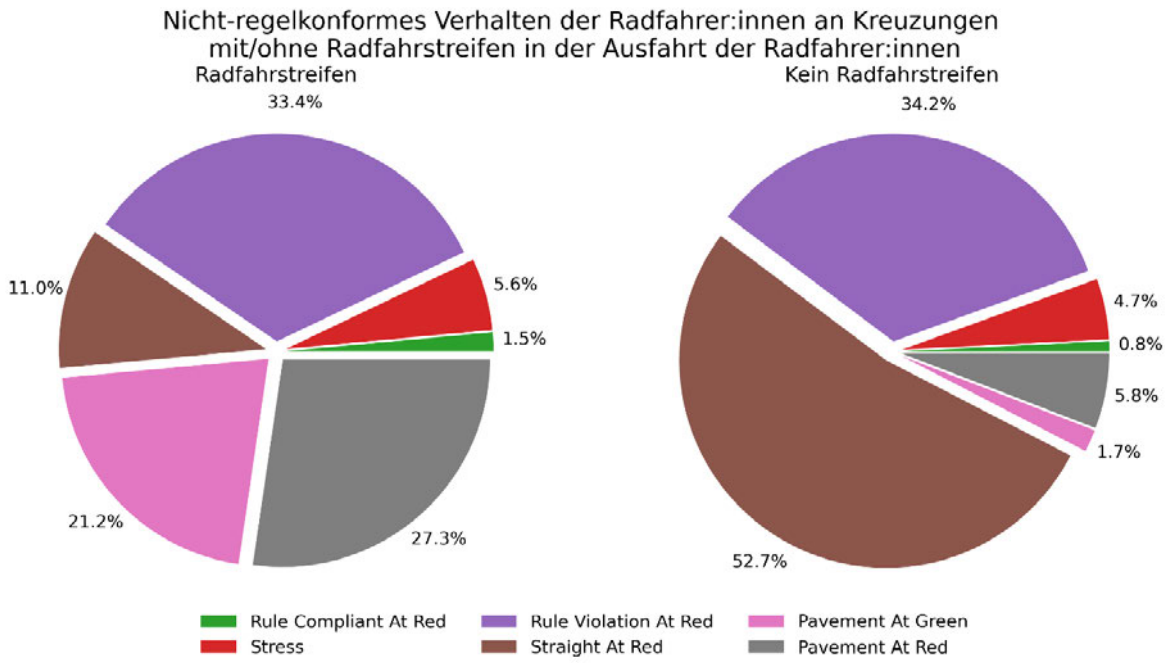


Tabelle 79: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Ausfahrt der Radfahrer:innen

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Radfahrstreifen	Kein Radfahrstreifen	Radfahrstreifen	Kein Radfahrstreifen
Rule Compliant At Red	6	10	0,47	0,14
Stress	23	60	1,79	0,84
Rule Violation At Red	137	434	10,64	6,05
Straight at Red	45	668	3,5	9,31
Pavement At Green	87	22	6,76	0,31
Pavement At Red	112	74	8,7	1,03
Gesamt	410	1.268	100,0	100,0

Abbildung 77: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Ausfahrt der Radfahrer:innen

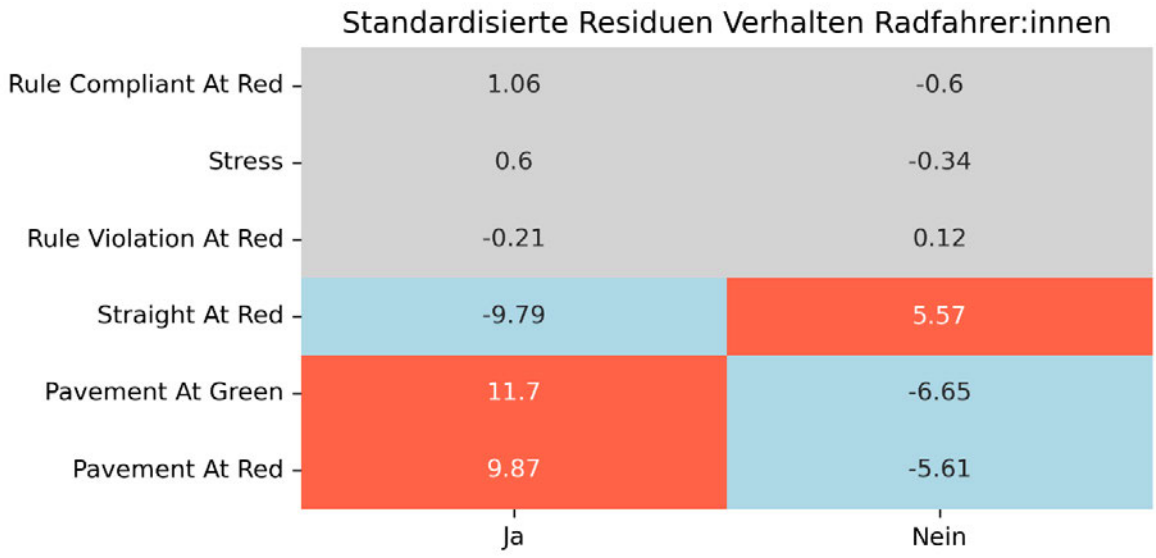


Abbildung 78: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Ausfahrt der Radfahrer:innen

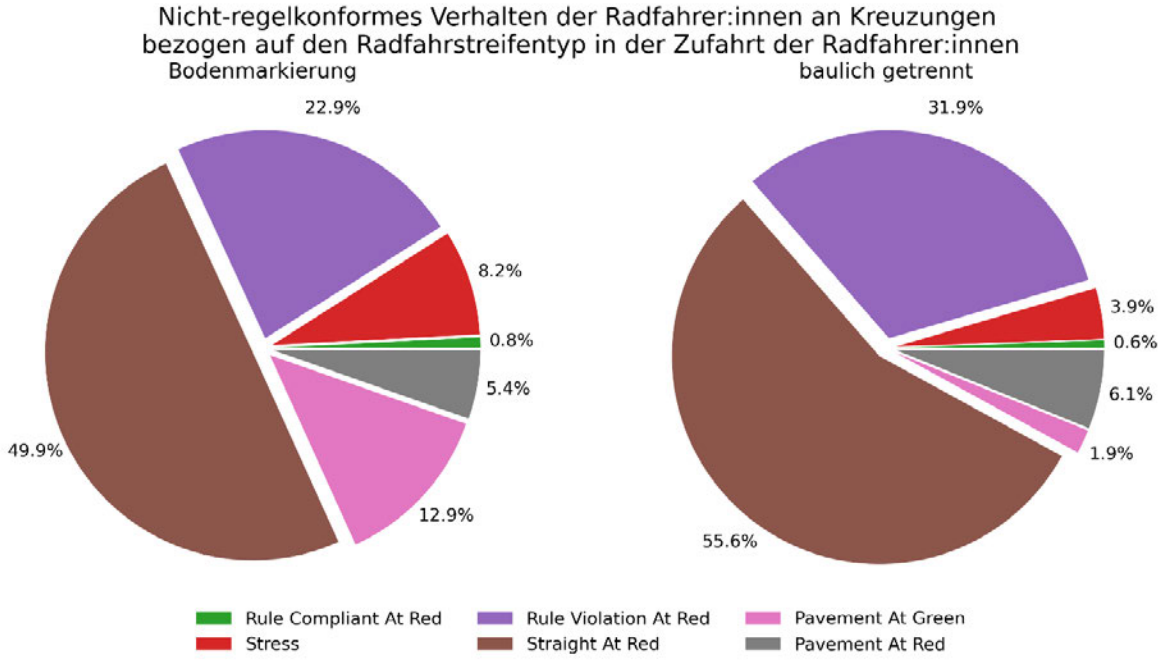


Tabelle 80: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Ausfahrt der Radfahrer:innen

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Boden-markierung	Baulich getrennt	Boden-markierung	Baulich getrennt
Rule Compliant At Red	15	2	3,59	0,17
Stress	89	43	21,29	3,58
Rule Violation At Red	160	271	38,28	22,58
Straight at Red	17	585	4,07	48,75
Pavement At Green	75	179	17,94	14,92
Pavement At Red	62	120	14,83	10,00
Gesamt	418	1.200	100,0	100,0

4.3.2.3 Sichtweite

In Abbildung 79 ist das Verhalten von Radfahrer:innen in Bezug auf unterschiedliche Sichtweiten dargestellt. Die Sichtweite beeinflusst das Verhalten der Radfahrer:innen. Es wurde eine Sichtweite von 30 m als Grenzwert definiert. Einerseits aus Überlegungen zu Anhaltewegen des Querverkehrs und andererseits um zwei annähernd gleich große Gruppen für einen Vergleich zu haben. Der Anhalteweg bei eine Ausgangsgeschwindigkeit von 50 km/h und einer Bremsbeschleunigung von 5 m/s² und einer Reaktionszeit von 0,8 s liegt im Bereich von 30 m. Daher eignet sich diese Sichtweite gut für eine Unterscheidung der Gruppen.

Bei einer Sichtweite von weniger als 30 m tendieren Radfahrer:innen eher zu Regelmissachtung beim Abbiegen nach rechts („Rule Violation At Red“) und bei einer Sichtweite von mehr als 30 m ist das geradeaus Queren („Straight At Red“) die häufigste Regelmissachtung. Die absoluten Zahlen und Relativwerte sind in Tabelle 81 zusammengefasst. Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 1.678) = 74,22$, $p = 0,000$, $V = 0,21$. Das nicht regelkonforme Verhalten „Straight At Red“ bei einer Sichtweite von weniger als 30 m ist deutlich unterrepräsentiert (standardisierten Residuen -5,37). Hingegen sind die „Rule Violation At Red“ deutlich überrepräsentiert (standardisierten Residuen +3,52).

Abbildung 79: Nicht-regelkonformes Verhalten von Radfahrer:innen in Bezug auf die Sichtweite

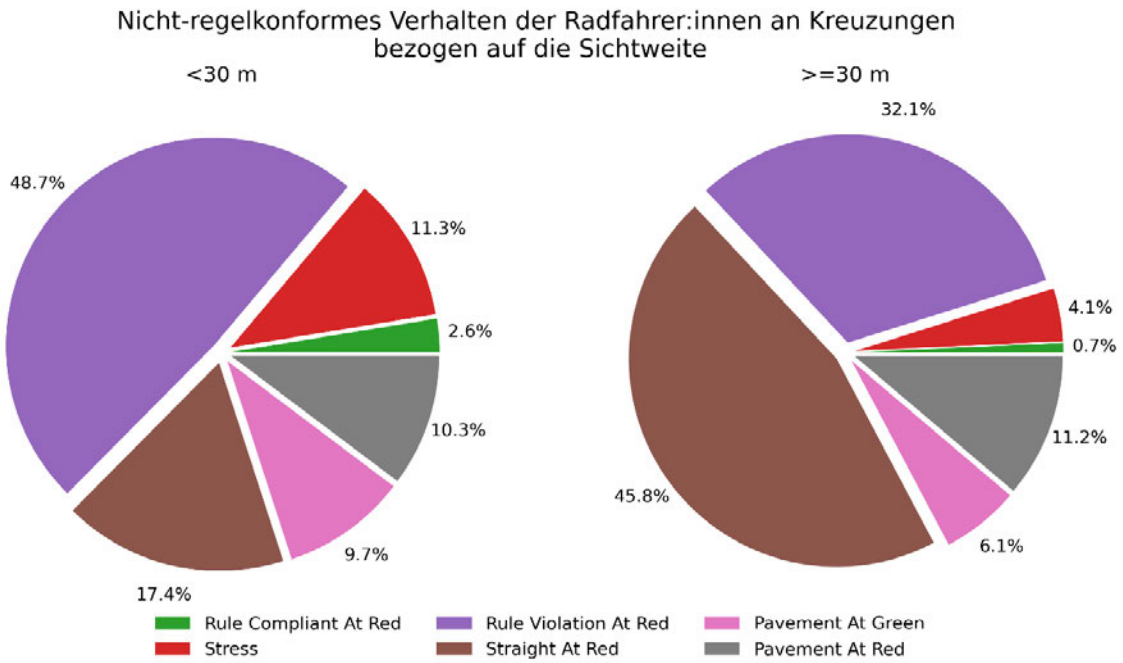
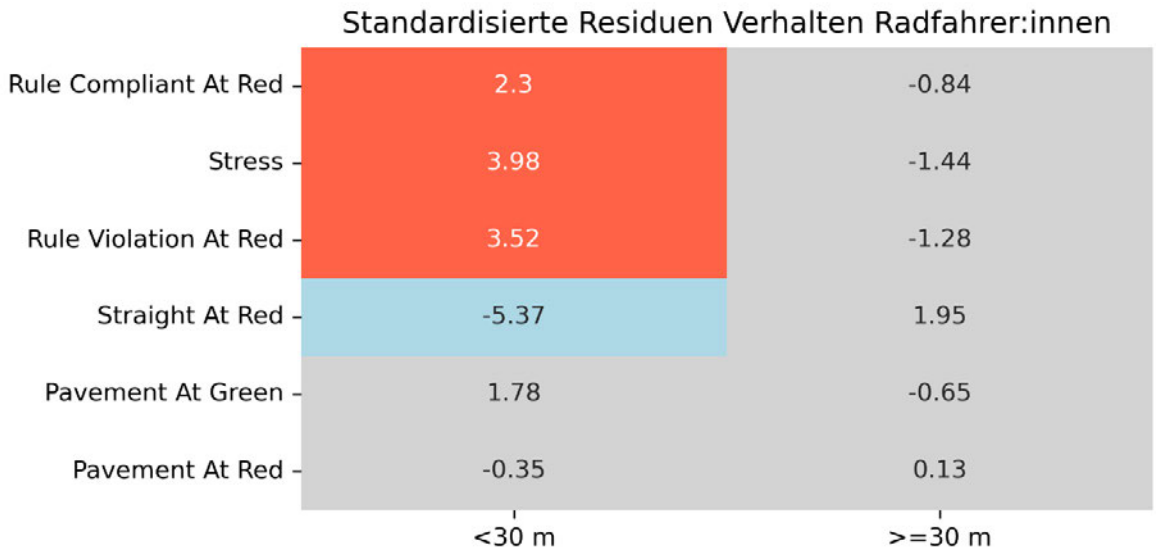


Tabelle 81: Nicht-regelkonformes Verhalten von Radfahrer:innen in Bezug auf die Sichtweite

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	< 30 m	>= 30 m	< 30 m	>= 30 m
Rule Compliant At Red	5	11	2,56	0,74
Stress	22	61	11,28	4,11
Rule Violation At Red	95	476	48,72	32,1
Straight at Red	34	679	17,44	45,79
Pavement At Green	19	90	9,74	6,07
Pavement At Red	20	166	10,26	11,19
Gesamt	195	1.483	100,0	100,0

Abbildung 80: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Sichtweite



4.3.3 Regelverhalten und Verhaltensänderung

4.3.3.1 Kreuzung mit Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot"

Bis auf die Kreuzung mit der Langzeitbeobachtung erfolgte an allen anderen Kreuzungen die Verhaltensbeobachtung über einen mehr oder weniger gleich langen Zeitraum. Für die Auswertung der Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ werden daher die Beobachtungsdaten der Langzeitkreuzung nicht berücksichtigt.

Der Anteil des nicht-regelkonformen Verhaltens der Radfahrer:innen änderte sich nur unwesentlich von 80,25 % auf 80,39 %. Allerdings konnten innerhalb der Verhaltensgruppen deutliche Änderungen festgestellt werden (Abbildung 81 und Tabelle 82). Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(7, N = 14.256) = 790,2$, $p = 0,000$, $V = 0,24$ (standardisierte Residuen sind in Abbildung 82 dargestellt). Statistisch signifikante Änderungen konnten bei den „Straight At Red“ festgestellt werden (standardisierte Residuen +3,9). Der Anteil stieg von 7,1 % auf 10,9 %. Bei den „Rule Violation At Red“ kam es zwar zu einer Zunahme von 4,6 % auf 5,7 %, jedoch war diese statistisch nicht signifikant (standardisierte Residuen +1,58). Weiters war zu beobachten, dass der Anteil an Gehsteignutzer:innen signifikant zurückging. Sowohl in der Gruppe „Pavement At Green“ (4,4 % auf 0,8 %, standardisierte Residuen -8,01) als auch

bei den „Pavement At Red“ (3,0 % auf 1,2 %, standardisierte Residuen -4,2) konnte ein deutlich geringer Anteil an Radfahrer:innen festgestellt werden. Der Anteil an Radfahrer:innen in der „Stress“ Gruppe blieb nahezu unverändert. Jene Radfahrer:innen, welche die Grünpfeilregelung korrekt anwenden („Rule Compliant At Red“), waren von 0,2 % auf 0,08 % rückläufig.

Abbildung 81: Verhalten der Radfahrer:innen vor und nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung)

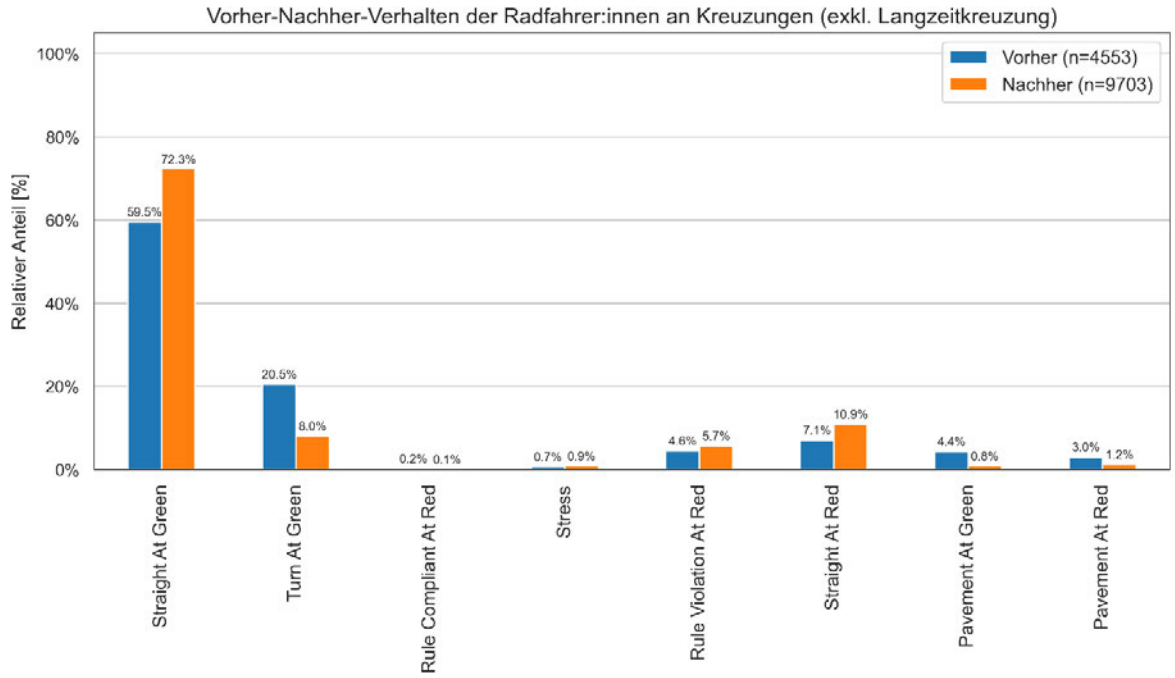
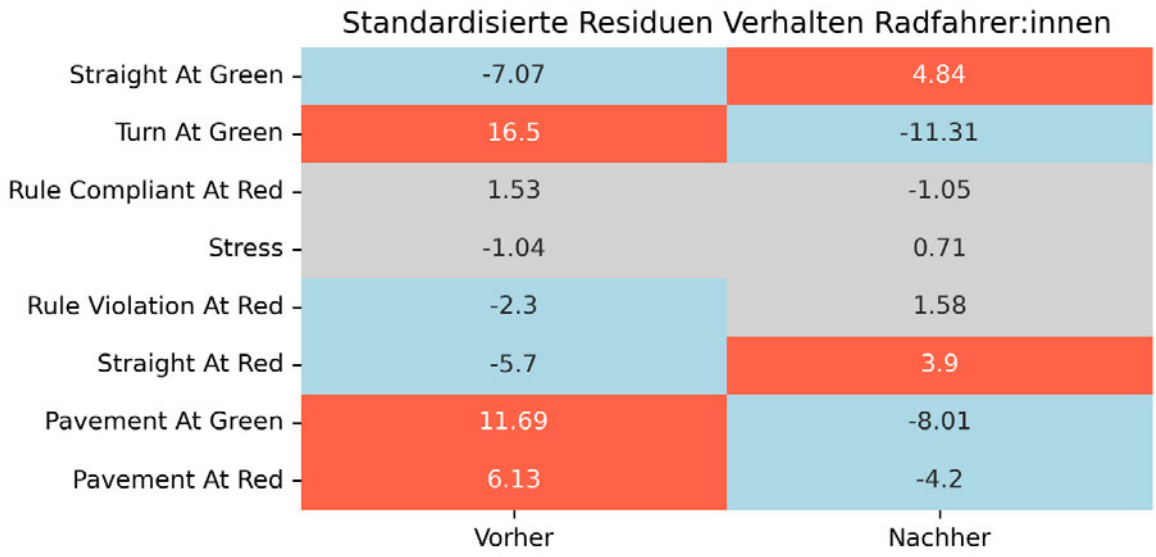


Tabelle 82: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung)

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Rule Compliant At Red	2.711	7.011	59,54	72,26
Stress	934	781	20,51	8,05
Rule Violation At Red	9	8	0,20	0,08
Straight at Red	31	86	0,68	0,89
Pavement At Green	208	556	4,57	5,73
Pavement At Red	322	1061	7,07	10,93
Gesamt	200	80	4,39	0,82

Abbildung 82: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung)



In Tabelle 83 sind die Odds Ratio als Maß für den Zusammenhang der Verhaltensgruppen in einem Nachher-Vorher-Vergleich bzw. Vorher-Nachher-Vergleich inklusive der 95% Konfidenzintervalle dargestellt. Die Chancen der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,27-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 1,27, 95% CI [1,08, 1,50]). „Rule Violation At Red“ ist in der Nachher-Erhebung häufiger aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die

Chancen der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Vorher-Erhebung, im Vergleich zur Nachher-Erhebung, 0,57-mal so hoch sind, wie in allen anderen Gruppen (OR = 0,57, 95% CI [0,67, 0,93]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass „Rule Violation At Red“ seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind, im Vergleich zu Nachher-Erhebung. Umgekehrt verhält es sich bei der Benützung der Gehsteige. Die Chancen der Gruppe „Pavement At Red“ in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,40-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 0,40, 95% CI [0,31, 0,51]). In der Gegenperspektive der Nachher-Erhebung, also der Vorher-Erhebung, sind die Chancen zur Benützung des Gehsteigs 2,50-mal so hoch (OR = 2,50, 95% CI [1,95, 3,20]). Die Benützung des Gehsteigs war somit in der Vorher-Erhebung deutlich häufiger.

Tabelle 83: Odds Ratio der unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung)

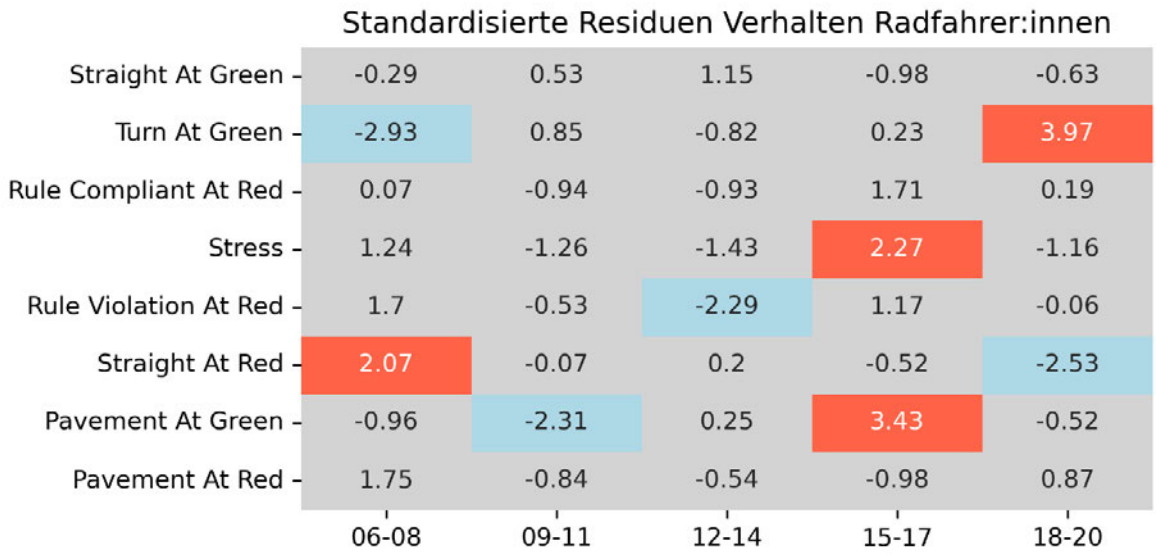
Verhaltensgruppen	Odds Ratio		p Fisher	Korrektur
	Nachher vs. Vorher	Vorher vs. Nachher		
Straight At Green	1,77 CI [1,64, 1,91]	0,57 CI [0,52, 0,61]	0,000	keine
Turn At Green	0,34 CI [0,31, 0,38]	2,95 CI [2,66, 3,27]	0,000	keine
Rule Compliant At Red	0,42 CI [0,16, 1,08]	2,40 CI [0,93, 6,23]	0,072	keine
Stress	1,30 CI [0,86, 1,97]	0,77 CI [0,51, 1,16]	0,232	keine
Rule Violation At Red	1,27 CI [1,08, 1,50]	0,79 CI [0,67, 0,93]	0,004	keine
Straight at Red	1,61 CI [1,42, 1,84]	0,62 CI [0,54, 0,71]	0,000	keine
Pavement At Green	0,18 CI [0,14, 0,24]	5,53 CI [4,25, 7,18]	0,000	keine
Pavement At Red	0,40 CI [0,31, 0,51]	2,50 CI [1,95, 3,20]	0,000	keine

Über den Tag verteilt missachten Radfahrer:innen eher in den Morgenstunden die Verkehrsregeln (Tabelle 84) und biegen ohne Anzuhalten rechts ab oder benutzen den Gehsteig als Ausweichroute. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen (gruppierte Stunden und Verhaltensgruppen), $\chi^2(28, N = 14,256) = 90,13$, $p = 0,000$, $V = 0,04$. Wenn man allerdings die standardisierten Residuen im Detail analysiert, so werden die signifikanten Unterschiede von einigen wenigen Gruppen und Stunden hervorgerufen (Abbildung 83).

Tabelle 84: Tagesverteilung des Verhaltens der Radfahrer:innen

Stunden gruppe	Stunde	SAG	TUG	RCAR	STR	RVAR	SAR	PAG	PAR	Gesamt
6-8	**6**	196	28	1	4	22	35	10	6	302
	7	913	137	1	12	76	144	23	38	1.344
	8	1.087	167	2	17	98	172	23	28	1.594
9-11	**9**	852	157	1	4	63	113	20	18	1.228
	10	733	128	1	10	53	99	12	18	1.054
	11	641	120	0	6	50	100	13	16	946
12-14	**12**	701	115	0	10	53	89	21	14	1.003
	13	724	113	2	1	46	113	17	22	1.038
	14	818	142	0	8	43	113	27	18	1.169
15-17	**15**	688	130	3	13	73	90	35	10	1.042
	16	746	143	1	19	63	115	28	22	1.137
	17	644	106	3	5	46	88	25	17	934
18-20	**18**	543	111	2	5	39	58	15	16	789
	19	346	88	0	2	28	42	7	12	525
	20	90	30	0	1	11	12	4	3	151
Gesamt		9.722	1.715	17	117	764	1.383	280	258	14.256

Abbildung 83: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung)



Die Auswertung des Verhaltens bezogen auf die Wochentag ergab, gemäß eines Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest, keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(7, N = 14.256) = 10,59$, $p = 0,158$, $V = 0,03$. In Abbildung 84 sind die relativen Anteile dargestellt, unterschieden nach Wochentag und Wochenende. In Tabelle 85 und Tabelle 86 sind die absoluten Häufigkeiten bzw. die Relativanteile zusammengefasst.

Abbildung 84: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) bezogen auf den Wochentag

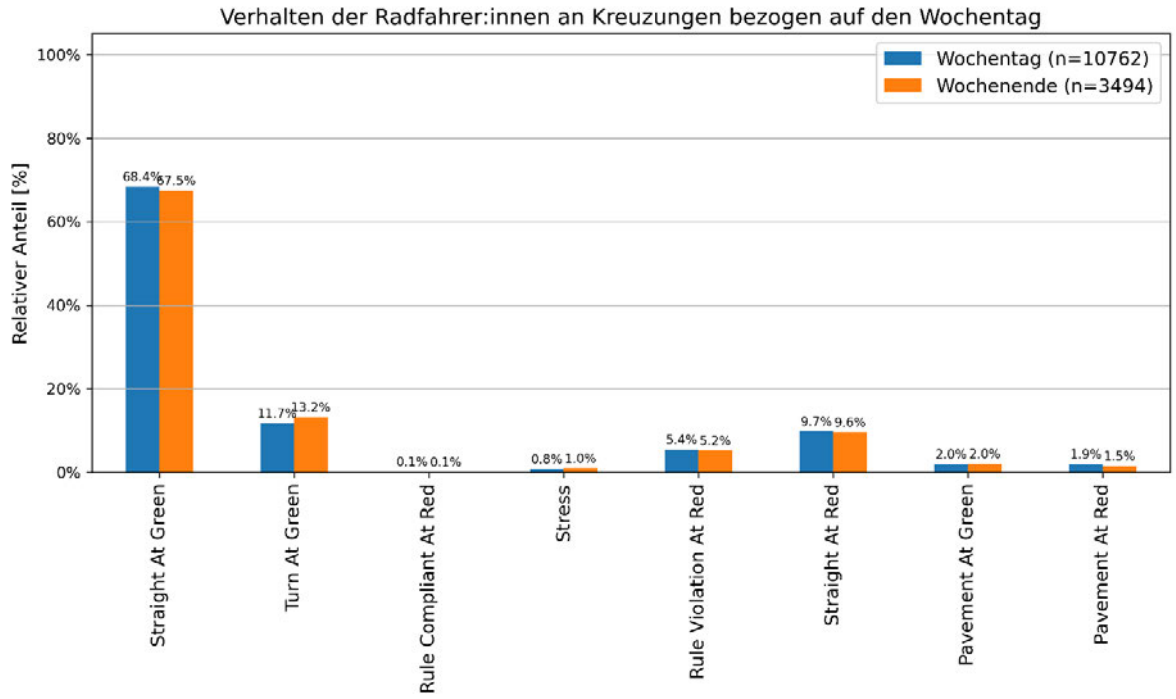


Tabelle 85: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) bezogen auf den Wochentag

Verhaltensgruppen	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Straight at Green	1.252	1.214	1.822	1.418	1.658	1.111	1.247
Turn At Green	226	199	268	230	332	224	236
Rule Compliant At Red	1	3	6	2	3	1	1
Stress	23	11	13	17	19	16	18
Rule Violation At Red	101	103	119	118	141	95	87
Straight at Red	233	186	267	178	184	165	170
Pavement At Green	55	26	30	38	61	37	33
Pavement At Red	35	33	29	35	73	34	19
Gesamt	1.926	1.775	2.554	2.036	2.471	1.683	1.811

Tabelle 86: Relativer Anteil der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) bezogen auf den Wochentag

Verhaltensgruppen	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Straight at Green	65,01	68,39	71,34	69,65	67,1	66,01	68,86
Turn At Green	11,73	11,21	10,49	11,3	13,44	13,31	13,03
Rule Compliant At Red	0,05	0,17	0,23	0,1	0,12	0,06	0,06
Stress	1,19	0,62	0,51	0,83	0,77	0,95	0,99
Rule Violation At Red	5,24	5,8	4,66	5,8	5,71	5,64	4,8
Straight at Red	12,1	10,48	10,45	8,74	7,45	9,8	9,39
Pavement At Green	2,86	1,46	1,17	1,87	2,47	2,2	1,82
Pavement At Red	1,82	1,86	1,14	1,72	2,95	2,02	1,05
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

4.3.3.2 T-Kreuzung mit Regelung „Geradeausfahren bei Rot"

An T-Kreuzungen wirkt sich die Regeländerung auf das Verhalten deutlich aus. Obwohl die Radfahrer:innen einen höheren Anteil bei der Gruppe „Rule Compliant At Red“ nach Kundmachung der Kreuzungsregelung aufwiesen, lag dieser dennoch auf einem sehr niedrigen Niveau (Abbildung 85). Weitaus deutlicher war der Anstieg bei den „Rule Violation At Red“ von 3,97 % auf 6,81 %. Aber auch in der Gruppe „Stress“ konnte ein Anstieg von 1,18 % auf 4,48 % festgestellt werden. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 2.650) = 131,40$, $p = 0,000$, $V = 0,22$. Insbesondere bei den „Stress“ war ein signifikant höherer Anteil nach Kundmachung der Regelung festzustellen (standardisierte Residuen +2,65). „Rule Violation At Red“ waren anteilsmäßig beim nicht-regelkonformen Verhalten am häufigsten, jedoch war der Unterschied zur Vorhererhebung statistisch nicht signifikant (standardisierte Residuen +1,72). Für Gehsteigbenutzung konnte in der Nachher-Erhebung eine deutliche Reduktion festgestellt werden. Die standardisierten Residuen betrugen -5,09 für die „Pavement At Green“ und -2,9 für die „Pavement At Red“ Radfahrer:innen (Abbildung 86).

Abbildung 85: Verhalten der Radfahrer:innen vor und nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung an T-Kreuzungen

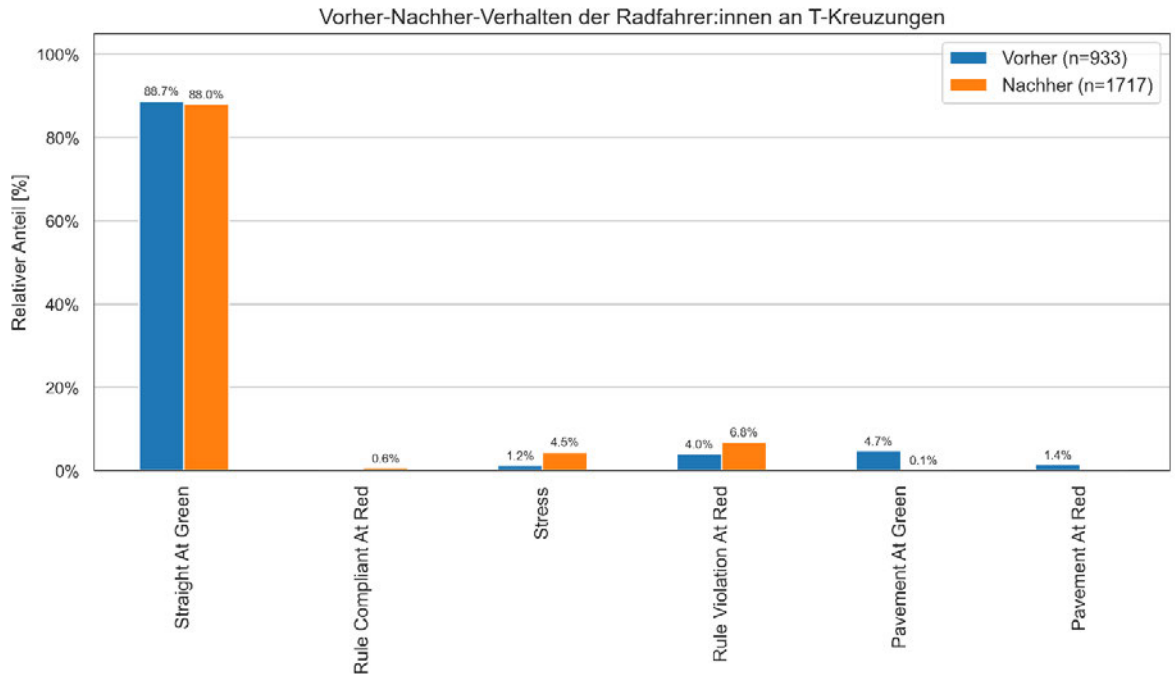
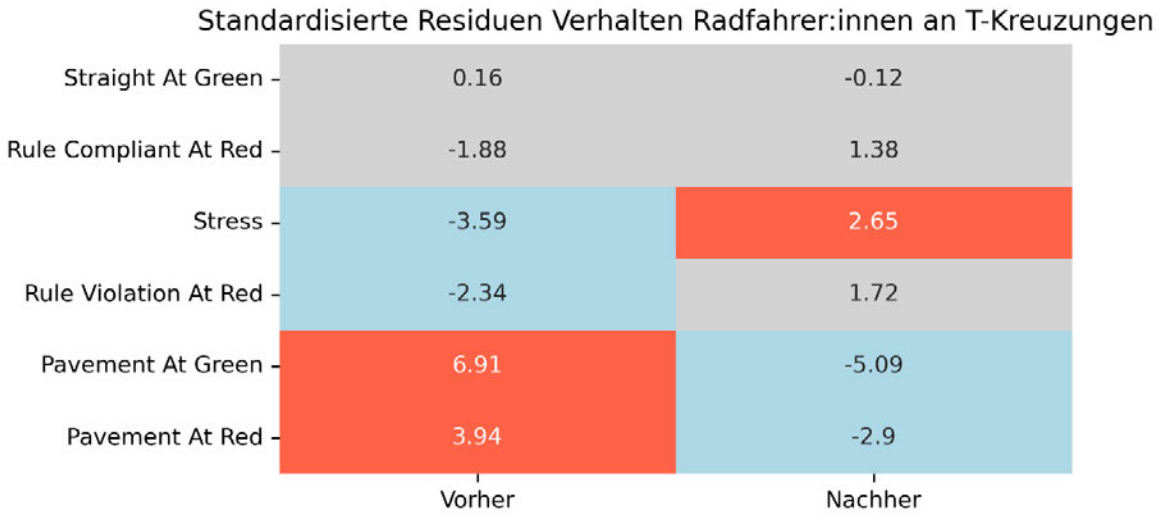


Tabelle 87: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Rule Compliant At Red	828	1.511	88,75	88,0
Stress	0	10	0,00	0,58
Rule Violation At Red	11	77	1,18	4,48
Straight at Red	37	117	3,97	6,81
Pavement At Green	44	2	4,72	0,12
Pavement At Red	13	0	1,39	0,00
Gesamt	933	1.717	100,0	100,0

Abbildung 86: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen



In Tabelle 88 sind die Odds Ratio als Maß für den Zusammenhang der Verhaltensgruppen in einem Nachher-Vorher-Vergleich bzw. Vorher-Nachher-Vergleich inklusive der 95% Konfidenzintervalle dargestellt. Die Chancen der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,77-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 1,77, 95% CI [1,21, 2,59]). „Rule Violation At Red“ ist in der Nachher-Erhebung häufiger aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die Chancen der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Vorher-Erhebung, im Vergleich zur Nachher-Erhebung, 0,56-mal so hoch sind, wie in allen anderen Gruppen (OR = 0,56, 95% CI [0,39, 0,82]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass „Rule Violation At Red“ seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind, im Vergleich zu Nachher-Erhebung. Bei den „Rule Compliant At Red“ und „Pavement At Red“ wurden in der Vorher- bzw. in der Nachher-Erhebung keine Beobachtungen festgestellt. Es wurde demzufolge eine Haldane–Anscombe-Korrektur (+0.5) angewendet, um Odds Ratio und Konfidenzintervalle berechnen zu können. Die Ergebnisse sind daher vorsichtig zu interpretieren. Ebenso verhält es sich mit der Gruppe „Pavement At Green". In der Nachher-Erhebung wurden nur wenige Beobachtungen festgestellt, was zu breiten Konfidenzintervallen führt und ebenfalls mit Vorsicht zu interpretieren ist.

Tabelle 88: Odds Ratio der unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

Verhaltensgruppen	Odds Ratio		p Fisher	Korrektur
	Nachher vs. Vorher	Vorher vs. Nachher		
Straight At Green	0,93 CI [0,72, 1,19]	1,08 CI [0,84, 1,38]	0,613	keine
Rule Compliant At Red	11,48 CI [0,67, 196,15]	0,09 CI [0,01, 1,49]	0,018	Haldane-Anscombe
Stress	3,94 CI [2,08, 7,44]	0,25 CI [0,13, 0,48]	0,000	keine
Rule Violation At Red	1,77 CI [1,21, 2,59]	0,56 CI [0,39, 0,82]	0,003	keine
Pavement At Green	0,02 CI [0,01, 0,10]	42,44 CI [10,26, 175,48]	0,000	keine
Pavement At Red	0,02 CI [0,00, 0,33]	50,38 CI [2,99, 848,44]	0,000	Haldane-Anscombe

4.3.3.3 Kreuzung Langzeiterhebung

An der Kreuzung, zur Beobachtung der zeitlichen Verhaltensänderung, wurden insgesamt 53.579 Beobachtungen mit Radfahrer:innen registriert, 21.310 in der Vorher- und 32.269 im Nachher-Erhebung (Tabelle 89). Die meisten Beobachtungen wurden sowohl in der Vorher-Erhebung innerhalb der Gruppen „Straight At Green“ (51.3 %) und „Turn At Green“ (37,63 %) aufgezeichnet, als auch in der Nachher- Erhebung („Straight At Green": 48,04 %, „Turn At Green": 36,52 %). Der Anteil der Radfahrer:innen, die die RTOR-Regel („Rule Compliant At Red“) einhielten, betrug in der Vorher-Erhebung 0,02 %, verglichen mit 0,06 % der Nachher-Erhebung und ist demnach um das Dreifache gestiegen. Bleibt aber dennoch auf einem sehr niedrigen Niveau. Gemäß der RTOR-Regel müssen Radfahrer:innen vor dem Rechtsabbiegen oder Geradeausfahren anhalten. Diese drei Gruppen zusammengefasst ergeben in der Vorher-Erhebung 88,95 % und 84,62 % in der Nachher-Erhebung. Dementsprechend hielten sich die meisten Radfahrer:innen an die geltenden Verkehrsregeln. Dennoch sank die Zahl der regelkonformen Radfahrer:innen von 88,95 % auf 84,62 %. Umgekehrt stieg die Gesamtzahl der nicht regelkonformen Radfahrer:innen von 11,05 % auf 15,38 %. Nicht regelkonformes Verhalten hat somit um 4,32 % zugenommen.

Tabelle 89: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Straight at Green	10.931	15.503	50,96	48,04
Turn At Green	8.171	11.786	38,09	36,52
Rule Compliant At Red	5	19	0,02	0,06
Stress	767	1.411	3,58	4,37
Rule Violation At Red	653	2.119	3,04	6,57
Straight at Red	412	777	1,92	2,41
Pavement At Green	244	313	1,14	0,97
Pavement At Red	268	341	1,25	1,06
Gesamt	21.451	32.269	100,0	100,0

In Tabelle 93 sind die Odds Ratio der Verhaltensgruppen in einem Nachher-Vorher-Vergleich bzw. Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 2,20-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 2,20, 95% CI [2,01, 2,40]). „Rule Violation At Red“ ist in der Nachher-Erhebung häufiger aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die Chancen der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Vorher-Erhebung, im Vergleich zur Nachher-Erhebung, 0,45-mal so hoch sind, wie in allen anderen Gruppen (OR = 0,45, 95% CI [0,42, 0,50]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass „Rule Violation At Red“ seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind, im Vergleich zu Nachher-Erhebung. Einen ähnlichen Effekt gab es bei der Gruppe „Rule Compliant At Red". In dieser Gruppe waren die Chancen dieser Gruppe in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 2,49-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 2,49, 95% CI [0,93, 6,67]). Das deutet darauf hin, dass die Radfahrer:innen sich nach Einführung der Regelung an dieser Kreuzung häufiger regelkonform verhalten als davor. Jedoch ist der Unterschied statistisch nicht signifikant. Bei der Benützung des Gehsteigs konnte ein umgekehrter Trend festgestellt werden. Die Chancen der Gruppe „Pavement At Red“ in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,76-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 0,76, 95% CI [0,64, 0,89]). In der Gegenperspektive der Vorher-Erhebung, sind die Chancen zur Benützung des Gehsteigs 1,32-mal so hoch (OR = 1,32, 95% CI [1,12, 1,56]). Die Benützung des Gehsteigs war somit in der Vorher-Erhebung deutlich häufiger.

Tabelle 90: Odds Ratio der unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeitkreuzung

Verhaltensgruppen	Odds Ratio		p Fisher	Korrektur
	Nachher vs. Vorher	Vorher vs. Nachher		
Straight At Green	0,87 CI [0,84, 0,90]	1,16 CI [1,12, 1,20]	0,000	keine
Turn At Green	0,98 CI [0,94, 1,01]	1,02 CI [0,99, 1,06]	0,239	keine
Rule Compliant At Red	2,49 CI [0,93, 6,67]	0,40 CI [0,15, 1,08]	0,063	keine
Stress	1,21 CI [1,11, 1,33]	0,82 CI [0,75, 0,90]	0,000	keine
Rule Violation At Red	2,20 CI [2,01, 2,40]	0,45 CI [0,42, 0,50]	0,000	keine
Straight at Red	1,24 CI [1,10, 1,40]	0,81 CI [0,72, 0,91]	0,000	keine
Pavement At Green	0,83 CI [0,70, 0,98]	1,21 CI [1,02, 1,43]	0,029	keine
Pavement At Red	0,76 CI [0,64, 0,89]	1,32 CI [1,12, 1,56]	0,001	keine

Unmittelbar nach Kundmachung der Grünpfeil-Regelung konnte eine signifikante Änderung des Verhaltens der Radfahrer:innen festgestellt werden (Abbildung 87). Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(7, N = 3.557) = 25,77$, $p = 0,001$, $V = 0,09$. Insbesondere in der Gruppe „Rule Violation At Red“ konnte ein deutlicher Anstieg von 2,9 % auf 5,1 % festgestellt werden. Die standardisierten Residuen für diese Gruppe betrugen +2,50. Der gesamte zeitliche Verlauf ist in Abbildung 88 dargestellt und die Absolutwerte sind in Tabelle 91 zusammengefasst.

Abbildung 87: Verhalten der Radfahrer:innen unmittelbar vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung

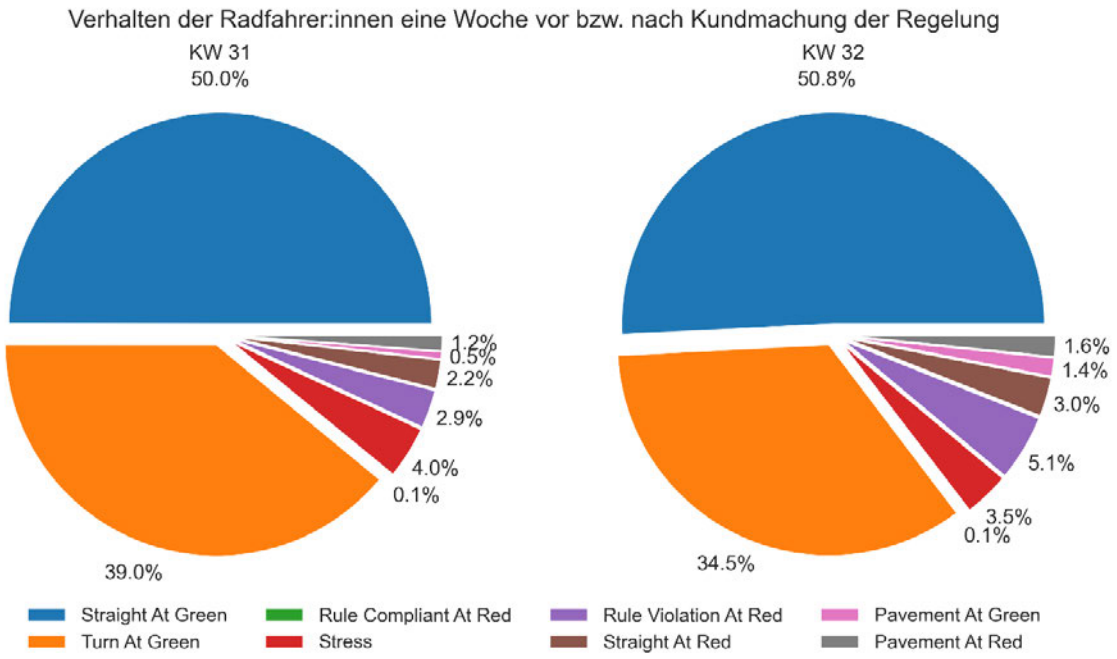


Abbildung 88: Zeitliche Veränderung des Verhaltens der Radfahrer:innen vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung

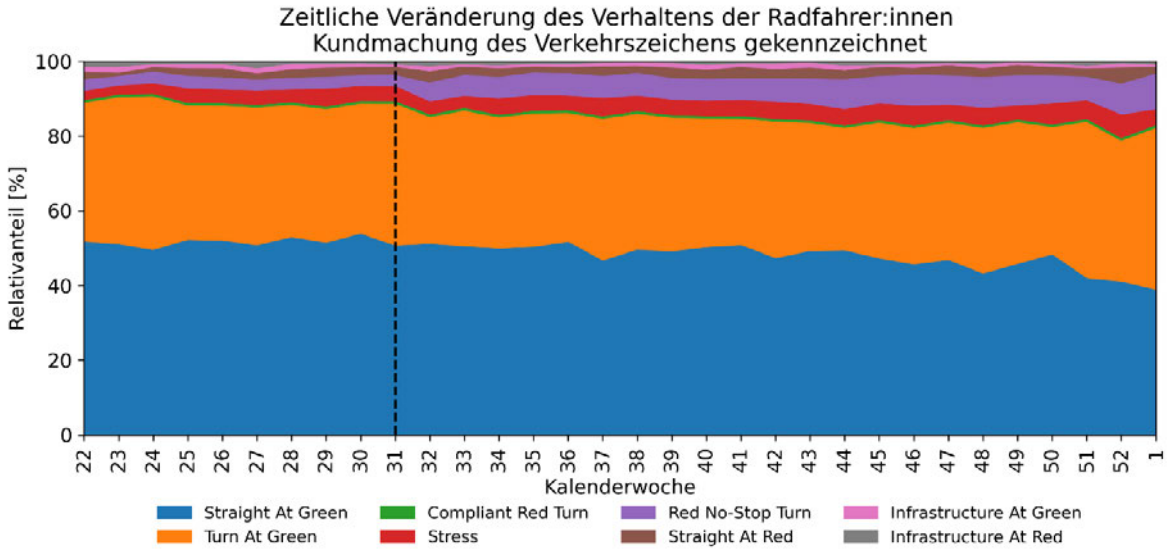


Tabelle 91: Zeitliche Veränderung des Verhaltens der Radfahrer:innen vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung

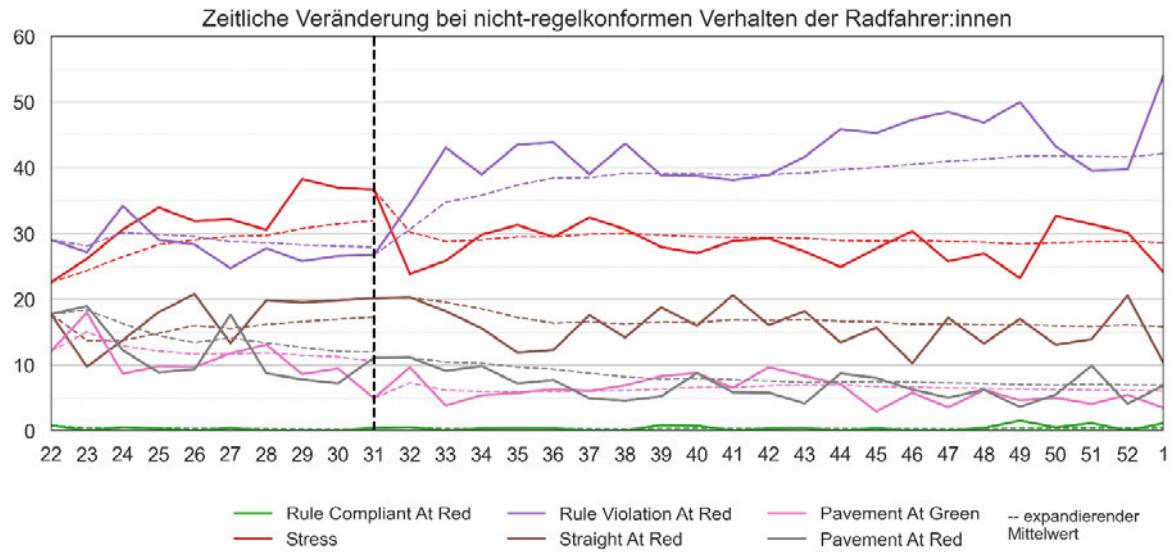
Erhebung	KW	SAG	TUG	RCAR	STR	RVAR	SAR	PAG	PAR	Gesamt
Vorher	22	590	446	1	28	36	22	15	22	1.160
	23	1.086	876	0	51	53	19	35	37	2.157
	24	1.059	916	1	60	67	27	17	24	2.171
	25	1.471	1.051	1	111	95	59	32	29	2.849
	26	1.249	906	0	89	79	58	27	26	2.434
	27	1.071	806	1	82	63	34	30	45	2.132
	28	1.165	807	0	77	70	50	33	22	2.224
	29	1.045	757	0	98	66	50	22	20	2.058
	30	1.089	742	0	82	59	44	21	16	2.053
	31	1.106	864	1	89	65	49	12	27	2.213
Nachher	32	683	464	1	47	68	40	19	22	1.344
	33	813	598	0	54	90	38	8	19	1.620
	34	993	715	1	88	115	46	16	29	2.003
	35	1.017	736	1	87	121	33	16	20	2.031
	36	1.079	739	1	84	125	35	18	22	2.103
	37	561	466	0	59	71	32	11	9	1.209
	38	936	704	0	80	114	37	18	12	1.901
	39	751	558	2	64	89	43	19	12	1.538
	40	870	609	2	71	102	42	23	23	1.742
	41	977	668	0	84	111	60	19	17	1.936
	42	923	727	1	91	121	50	30	18	1.961
	43	794	567	1	72	110	48	22	11	1.625
	44	706	481	0	63	116	34	18	22	1.440
	45	796	627	1	76	124	43	8	22	1.697
	46	576	472	0	68	106	23	13	14	1.272
	47	572	459	0	51	96	34	7	10	1.229
	48	587	539	1	65	113	32	15	15	1.367
	49	543	459	3	45	97	33	9	7	1.196
	50	548	396	1	65	86	26	10	11	1.143

Erhebung	KW	SAG	TUG	RCAR	STR	RVAR	SAR	PAG	PAR	Gesamt
	51	447	453	2	54	68	24	7	17	1.072
	52	142	134	0	22	29	15	4	3	349
	53	189	215	1	21	47	9	3	6	491
Vorher	-	10.931	8171	5	767	653	412	244	268	21.451
Nachher	-	15.503	11.786	19	1.411	2.119	777	313	341	32.269
Gesamt	-	26.434	19.957	24	2.178	2.772	1.189	557	609	53.720

Um die zeitliche Veränderung des Verhaltens der Radfahrer:innen etwas deutlicher hervorzuheben, ist in Abbildung 89 der Verlauf des nicht-regelkonformen Verhaltens dargestellt. Zusätzlich ist sind Trendlinien als expandierende Mittelwerte eingezeichnet, um den Verhaltenstrend über die Zeit zu visualisieren. Aus den Daten wird sehr deutlich, dass die Radfahrer:innen ihr Verhalten unmittelbar nach Einführung der neuen Regelung ändern. Insbesondere bei den Radfahrer:innen, welche nicht an der Kreuzung anhalten und anschließend rechts abbiegen („Rule Violation At Red“), ist eine Zunahme festzustellen. Innerhalb der ersten zwei Wochen nach Kundmachung der Grünpfeilregelung nimmt deren Anteil von rd. 27 % auf 43 % zu. Dieses Niveau blieb mehrere Wochen hin konstant. Ab Kalenderwoche 42 konnte ein erneuter Anstieg auf ca. 45 % bis 50 % festgestellt werden. Dies korreliert in etwa mit dem Beginn des Wintersemesters an den Universitäten und damit vermehrtem Radfahrer:innenverkehr. Nach Kalenderwoche 49 sinkt der Anteil wiederum auf ca. 40 % was mit den Weihnachtsfeiertagen zusammenhängen könnte. Auch hier sind weniger Student:innen unterwegs, was das Verhalten beeinflussen könnte. Ein erneuter Anstieg ist in der ersten Woche des Jahres festzustellen. Die Häufigkeit der beobachteten Radfahrer:innen in dieser Woche ist allerdings deutlich geringer als in den anderen Wochen. Somit wirken sich Änderungen im Verhalten weitaus deutlicher auf die Anteile aus. Jedenfalls stabilisiert sich bei der Betrachtung des expandierenden Mittelwerts das Verhalten bei rd. 40 %. In der Kategorie „Stress“ ist keine deutliche Änderung über den zeitlichen Verlauf festzustellen. Der Anteil pendelt sowohl in der Vorher- als auch in der Nachher-Erhebung zwischen 25 % und 35 %. Zwei Wochen vor der Kundmachung konnte ein höheres Niveau an Regelmissachtungen in dieser Kategorie festgestellt werden, welches eine Woche nach der Kundmachung sehr deutlich zurückging. Das Verhalten in der „Stress“ Gruppe bleibt nach der Kundmachung bei rd. 30 % auf konstantem Niveau. Das Kreuzen bei Rot („Straight At Red“) ist in den ersten vier Wochen nach der Kundmachung kontinuierlich auf etwa 12 % gesunken und hat sich anschließend auf ca. 17 % stabilisiert. Alternative Fahrlinien über den Gehsteig, insbesondere „Pavement At Red“ sinkt nach der

Kundmachung kontinuierlich bis sich der Anteil auf einem Niveau von ca. 7 % stabilisiert. Ein ähnliches Niveau kann in der „Pavement At Green“ Gruppe festgestellt werden. Die „Rule Compliant At Red“ Gruppe steigt kontinuierlich an, bleibt jedoch auf sehr geringem Niveau.

Abbildung 89: Zeitliche Veränderung des nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung



Bezogen auf ein nicht-regelkonformes Verhalten („Rule Compliant At Red“ galt vor Einführung der Grünpfeil-Regelung als nicht-regelkonform) konnte im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeitbeobachtung eine signifikante Änderung des Verhaltens der Radfahrer:innen festgestellt werden. Das korrekte Verhalten beim Abbiegen bei Rot („Rule Compliant At Red“) hat sich von einem Anteil von 0,2 % auf 0,4 % verdoppelt, jedoch auf nur sehr niedrigem Niveau. Das Einfahren in die Kreuzung bei Grün blinkendem Licht wurde als die häufigste Regelmissachtung in der Vorher-Erhebung festgestellt (32,5 %) und wurde von der „Rule Violation At Red“ Gruppe als häufigste Verhaltensgruppe abgelöst (Abbildung 90). Der Anteil der „Rule Violation At Red“ Radfahrer:innen lag in der Vorher-Erhebung bei 27,7 % und ist in der Nachher-Erhebung auf 42,6 % gestiegen. Die wesentlichen Änderungen betrafen die „Pavement At Green“ (von 10,4 % auf 6,3 %) und die „Pavement At Red“ (von 11,7 % auf 6,8 %) Verhaltensänderung. Beim Geradeausfahren bei Rot („Straight At Red“) gab es keine deutlichen Änderungen. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(5, N = 7.329) = 182,24$, $p = 0,000$, $V = 0,16$. Die wesentlichen Veränderungen betrafen die „Rule Violation At Red“ (standardisierte Residuen +5,47) und die „Pavement

At Green“ (standardisierte Residuen -3,37) und die „Pavement At Red“ (standardisierte Residuen -3,8).

Abbildung 90: Vorher-Nachher-Vergleich des nicht-regelkonformen Verhaltens der Radfahrer:innen (inkl. „Rule Compliant At Red“) der Langzeiterhebung

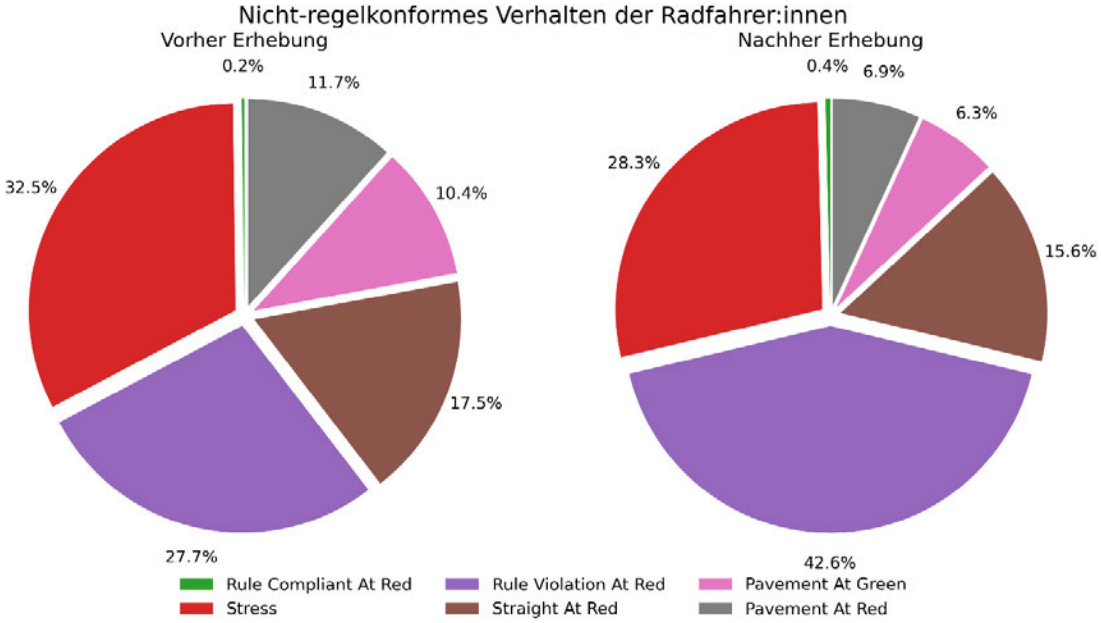
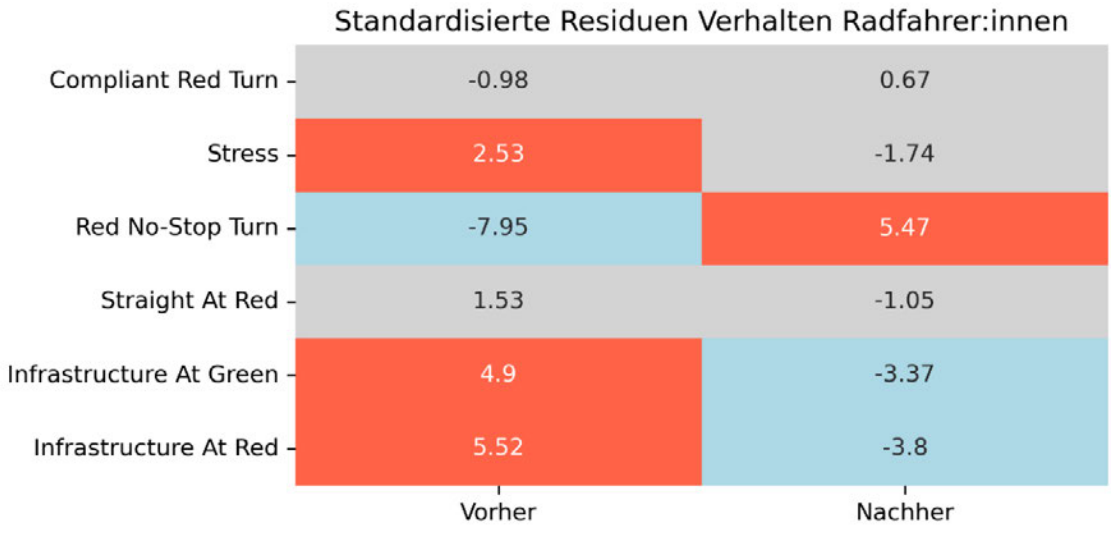


Abbildung 91: Standardisierte Residuen des nicht-regelkonformen Verhaltens der Radfahrer:innen im Vorher-Nachher-Vergleich (inkl. „Rule Compliant At Red“) der Langzeiterhebung



Die größten negativen Auswirkungen des nicht-regelkonformen Verhaltens wurden bei den „Rule Violation At Red“ festgestellt (Tabelle 92). Die Odds Ratio der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,95-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 1,95, 95% CI [1,75, 2,16]). „Rule Violation At Red“ ist in der Nachher-Erhebung häufiger aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die Chancen der Gruppe „Rule Violation At Red“ in der Vorher-Erhebung, im Vergleich zur Nachher-Erhebung, 0,51-mal so hoch sind, wie in allen anderen Gruppen (OR = 0,51, 95% CI [0,46, 0,57]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass „Rule Violation At Red“ seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind, im Vergleich zu Nachher-Erhebung. Einen ähnlichen Effekt gab es bei der Gruppe „Rule Compliant At Red". In dieser Gruppe waren die Chancen dieser Gruppe in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,81-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 1,81, 95% CI [0,86, 4,86]). Das deutet darauf hin, dass die Radfahrer:innen sich nach Einführung der Regelung an dieser Kreuzung häufiger regelkonform verhalten als davor. Jedoch ist der Unterschied statistisch nicht signifikant. Bei der Benützung des Gehsteigs konnte ein umgekehrter Trend festgestellt werden. Die Chancen der Gruppe „Pavement At Red“ in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,52-mal so hoch wie das Verhalten in allen anderen Gruppen (OR = 0,52, 95% CI [0,44, 0,62]). In der Gegenperspektive der Vorher-Erhebung, sind die Chancen zur Benützung des Gehsteigs 1,92-mal so hoch (OR = 1,92, 95% CI [1,62, 2,28]). Die Benützung des Gehsteigs war somit in der Vorher-Erhebung deutlich häufiger.

Tabelle 92: Odds Ratio der nicht-regelkonformen Verhaltensgruppen (inkl. „Rule Compliant At Red“) im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeitkreuzung

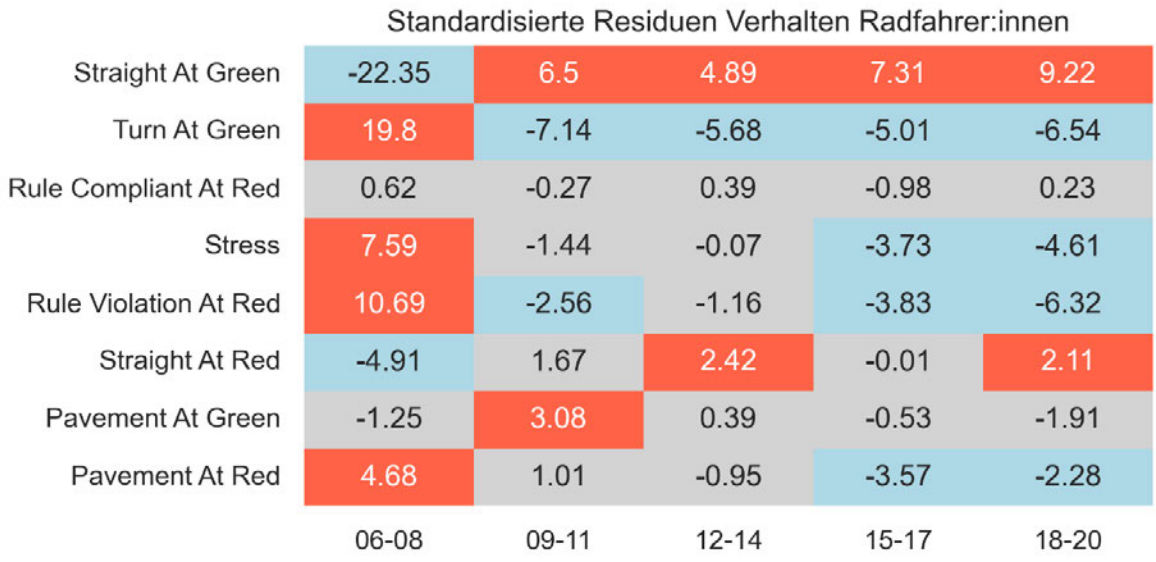
Verhaltensgruppen	Odds Ratio		p Fisher	Korrektur
	Nachher vs. Vorher	Vorher vs. Nachher		
Rule Compliant At Red	1,81 CI [0,68, 4,86]	0,55 CI [0,21, 1,48]	0,279	keine
Stress	0,82 CI [0,74, 0,92]	1,21 CI [1,09, 1,35]	0,000	keine
Rule Violation At Red	1,95 CI [1,75, 2,16]	0,51 CI [0,46, 0,57]	0,000	keine
Straight At Red	0,88 CI [0,77, 1,00]	1,14 CI [1,00, 1,30]	0,049	keine
Pavement At Green	0,57 CI [0,48, 0,68]	1,74 CI [1,46, 2,08]	0,000	keine
Pavement At Red	0,52 CI [0,44, 0,62]	1,92 CI [1,62, 2,28]	0,000	keine

Das Verhalten der Radfahrer:innen im Tagesverlauf (Tabelle 93) an der Kreuzung zur Langzeitbeobachtung zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied in den Verhaltensgruppen (Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest, $\chi^2(28, N = 53.579) = 1.628{,}00$, $p = 0{,}000$, $V = 0{,}09$). Auffällig sind hierbei die Regelübertretungen in den Morgenstunden zwischen sechs und acht Uhr (Abbildung 92). Die standardisierten Residuen waren für die „Rule Violation At Red“ bei -10,69 und für die „Stress“ bei -7,59. Ebenso ist die Benutzung des Gehsteigs („Pavement At Red“) signifikant häufiger (standardisierte Residuen +4,71). Im Laufe des Tages ändert sich dieses Verhalten. So sind die Regelübertretungen in den Nachmittags- und Abendstunden signifikant seltener.

Tabelle 93: Tagesverteilung des Verhaltens der Radfahrer:innen der Langzeiterhebung

Stundengruppe	Stunde	SAG	TUG	RCAR	STR	RVAR	SAR	PAG	PAR	Gesamt
6-8	6	620	972	0	133	177	28	9	29	1.968
	7	1.994	3.867	6	414	598	65	68	127	7.139
	8	2.588	1.956	2	220	259	138	57	67	5.287
9-11	9	2.145	1.188	1	119	137	94	60	44	3.788
	10	1.637	1.098	1	132	160	88	39	50	3.205
	11	1.722	1.080	2	135	173	70	39	33	3.254
12-14	12	2.020	1.293	1	151	193	95	30	37	3.820
	13	2.006	1.232	2	154	191	90	42	42	3.759
	14	1.978	1.360	3	158	179	107	51	40	3.876
15-17	15	2.204	1.519	1	164	218	98	44	31	4.279
	16	2.246	1.346	1	135	162	81	30	32	4.033
	17	1.889	1.170	1	96	132	81	42	29	3.440
18-20	18	1.812	1.071	1	101	107	75	14	25	3.206
	19	1.216	624	2	56	65	63	26	18	2.070
	20	357	181	0	10	21	16	6	5	596
Gesamt		26.434	19.957	24	2.178	2.772	1.189	557	609	53.720

Abbildung 92: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung im Tagesverlauf



Im Langzeitverhalten lassen sich Unterschiede im Verhalten der Radfahrer:innen während der Woche und am Wochenende feststellen (Abbildung 93, Absolut- und Relativwerte in Tabelle 94 und Tabelle 95). Regelmissachtungen sind am Wochenende mit 14,4 % etwas höher als während der Woche (13,4 %). Als regelkonform sind die Gruppen „Straight At Green“, „Turn At Green“ und „Rule Compliant At Green“ zusammengefasst. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(1, N = 53.579) = 5,58$, $p = 0,018$, $\phi = 0,01$. Nicht-regelkonformes Verhalten ist am Wochenende statistisch signifikant häufiger (standardisierte Residuen +2,02).

Abbildung 93: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf den Wochentag der Langzeiterhebung

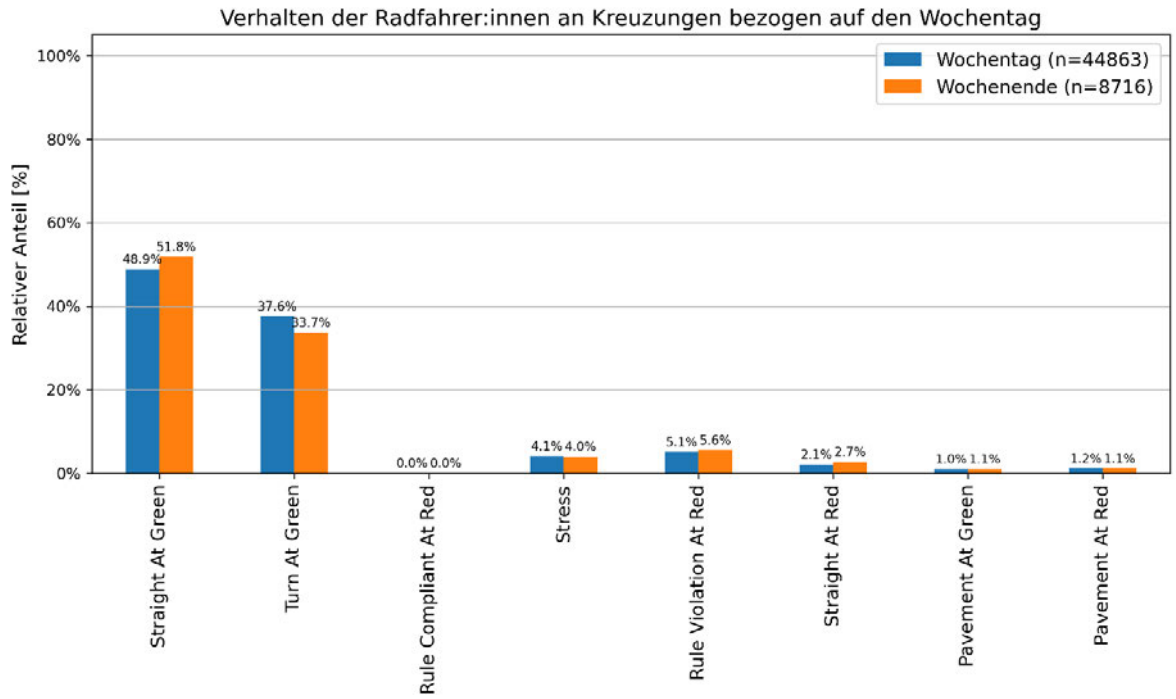


Tabelle 94: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen bezogen auf den Wochentag der Langzeiterhebung

Verhaltensgruppen	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Straight at Green	4.015	4.910	4.857	4.399	3.737	2.166	2.350
Turn At Green	3.249	3.656	3.579	3.453	3.059	1.418	1.543
Rule Compliant At Red	4	5	5	4	3	3	0
Stress	327	411	381	368	345	171	175
Rule Violation At Red	423	533	464	464	404	218	266
Straight at Red	171	239	220	173	148	107	131
Pavement At Green	87	101	109	85	83	35	57
Pavement At Red	88	118	115	98	92	40	58
Gesamt	8.364	9.973	9.730	9.044	7.871	4.158	4.580

Tabelle 95: Relativer Anteil der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen bezogen auf den Wochentag der Langzeiterhebung

Verhaltensgruppen	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Straight at Green	48,00	49,23	49,92	48,64	47,48	52,09	51,31
Turn At Green	38,85	36,66	36,78	38,18	38,86	34,1	33,69
Rule Compliant At Red	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,00
Stress	3,91	4,12	3,92	4,07	4,38	4,11	3,82
Rule Violation At Red	5,06	5,34	4,77	5,13	5,13	5,24	5,81
Straight at Red	2,04	2,4	2,26	1,91	1,88	2,57	2,86
Pavement At Green	1,04	1,01	1,12	0,94	1,05	0,84	1,24
Pavement At Red	1,05	1,18	1,18	1,08	1,17	0,96	1,27
Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

4.3.4 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw

Die Kritikalität wird im folgenden Kapitel nur für Situationen ermittelt, in welchen die Radfahrer:innen nicht bei Grün in die Kreuzung eingefahren sind.

4.3.4.1 Kreuzung mit Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot"

4.3.4.1.1 Time To Collision

Die Anzahl der Beobachtungen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC sind in Abbildung 94 als Histogramm und als kumulative Verteilung sowie in Abbildung 95 ist die Verteilung der TTC als Boxplot dargestellt. Die jeweiligen deskriptiven Kennwerte sind in Tabelle 96 zusammengefasst. Die durchschnittliche TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw beträgt in der Nachher-Erhebung 3,4 s (SA=4,4) und ist höher als in der Vorher-Erhebung (2,0 s, SA=1,9). Die Median-TTC der Radfahrer:innen ist in der Nachher-Erhebung bei 1,8 s und damit deutlich höher als in der Vorher-Erhebung (TTC=1,3 s). Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, $H(1) = 6,40$, $p = 0,011$, $\varepsilon^2 = 0,023$.

Abbildung 94: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

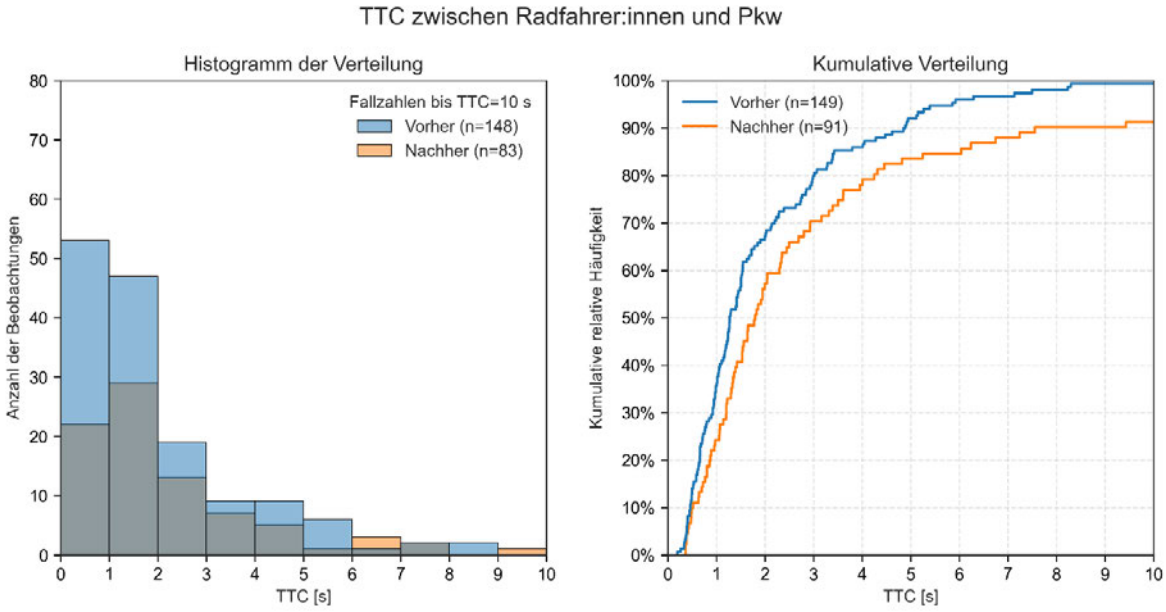


Abbildung 95: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

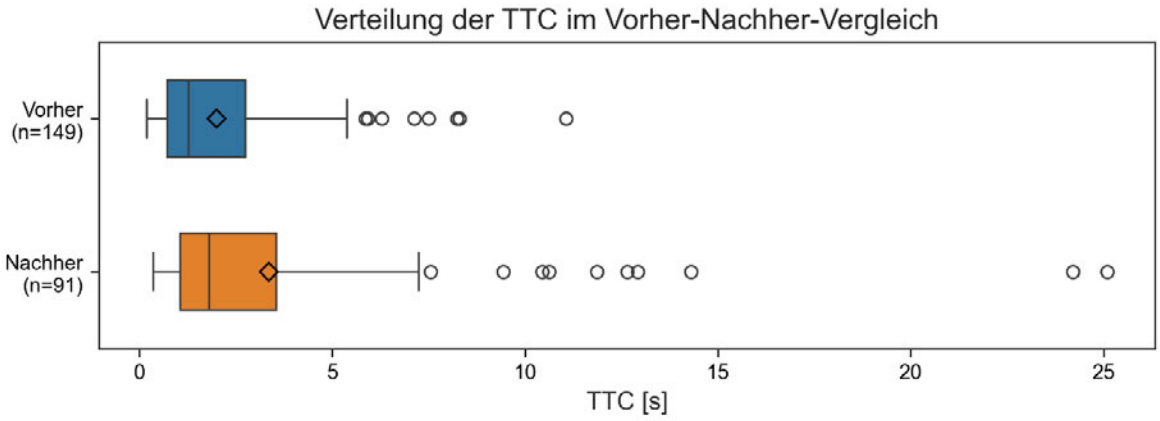


Tabelle 96: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	149	2,0	1,9	0,2	0,7	1,3	2,7	11,1
Nachher	91	3,4	4,4	0,4	1,1	1,8	3,6	25,1

Der Anteil der kritischen TTC hat sich von 56,4 % auf 40,7 % reduziert (Tabelle 97). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,024) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,89-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,89, 95% CI [1,11, 3,20]). Kritische Situationen sind häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung, im Vergleich zur Vorher-Erhebung, 0,53-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,53, 95% CI [0,31, 0,90]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind, im Vergleich zu Vorher-Erhebung.

Tabelle 97: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (TTC <=1,5 s)	84	37	56,4	40,7
Unkritisch (TTC >1,5 s)	65	54	43,6	59,3
Gesamt	149	91	100,0	100,0

4.3.4.1.2 Euclidean Distance

In Bezug auf den minimalen Abstand (ED) zwischen Radfahrer:innen und Pkw ergab ein Kruskal–Wallis keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 2,93, p = 0,087, ε^2 = 0,005. Der Medianwert ist in der Nachher-Erhebung mit 9,97 m geringfügig höher als in der Vorher-Erhebung, in welcher dieser 8,5 m betrug. Ebenso konnte bei den Mittelwerten ein Unterschied festgestellt werden. In der Vorher-Erhebung lag dieser bei 10,8 m (SA=6,8) und in der Nachher-Erhebung bei 12,4 m (SA=8,2). Die Verteilung im

Vorher-Nachher-Vergleich ist in Abbildung 96 dargestellt. Ein Boxplot (Abbildung 97) gibt Aufschluss über die Verteilung und die statistischen Kennwerte sind in Tabelle 98 zusammengefasst.

Abbildung 96: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

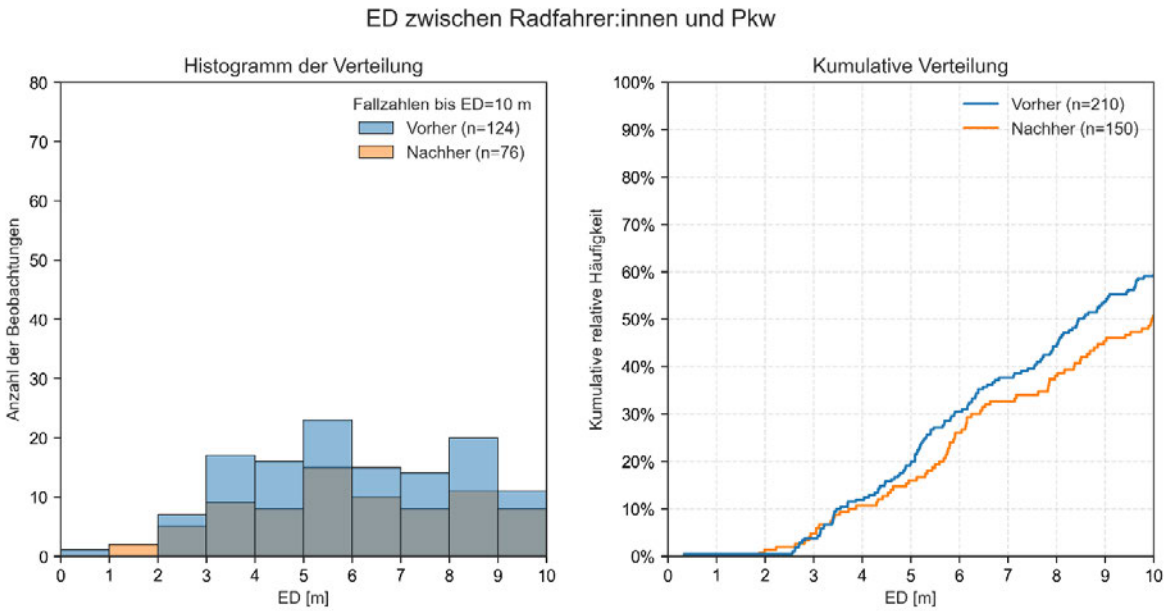


Abbildung 97: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

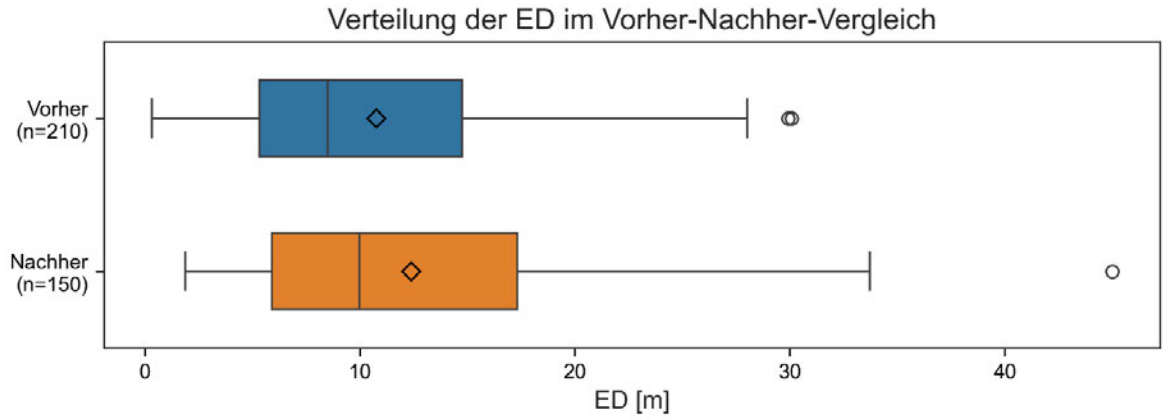


Tabelle 98: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	210	10,8	6,8	0,3	5,3	8,5	14,7	30,1
Nachher	150	12,4	8,2	1,9	5,9	10,0	17,3	45,0

Der Anteil der kritischen ED ist von 37,6 % auf 32,2 % gesunken (Tabelle 99). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,372) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,24-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,24, 95% CI [0,80, 1,93]). Kritische Situationen sind häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung, im Vergleich zur Vorher-Erhebung, 0,80-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,80, 95% CI [0,52, 1,25]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind, im Vergleich zu Vorher-Erhebung.

Tabelle 99: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (ED <=7,0 m)	79	49	37,6	32,7
Unkritisch (ED >7,0 m)	131	101	62,4	67,3
Gesamt	210	150	100,0	100,0

4.3.4.1.3 Deceleration Rate

Die Verteilung der mittleren Verzögerung der Pkw zur kollisionsvermeidenden Reaktion ist in Abbildung 98 dargestellt. In Abbildung 99 ist der Vorher-Nachher-Vergleich als Boxplot dargestellt mit den statistischen Kennwerten in Tabelle 100. Verzögerungswerte über 10 m/s² sind für einen Pkw eher unüblich und kommen durch die bildbasierte Analyse der Kameradaten zustande. Die mittlere Verzögerung war in der Nachher-Erhebung deutlich höher (9,0 m/s² (SA=12,2)) als in der Vorher-Erhebung (5,5 m/s² (SA=13,1)). Ein Kruskal–

Wallis ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 41,18, p = 0,000, ε^2 = 0,112.

Abbildung 98: Histogramm und kumulative Verteilung der DR von Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

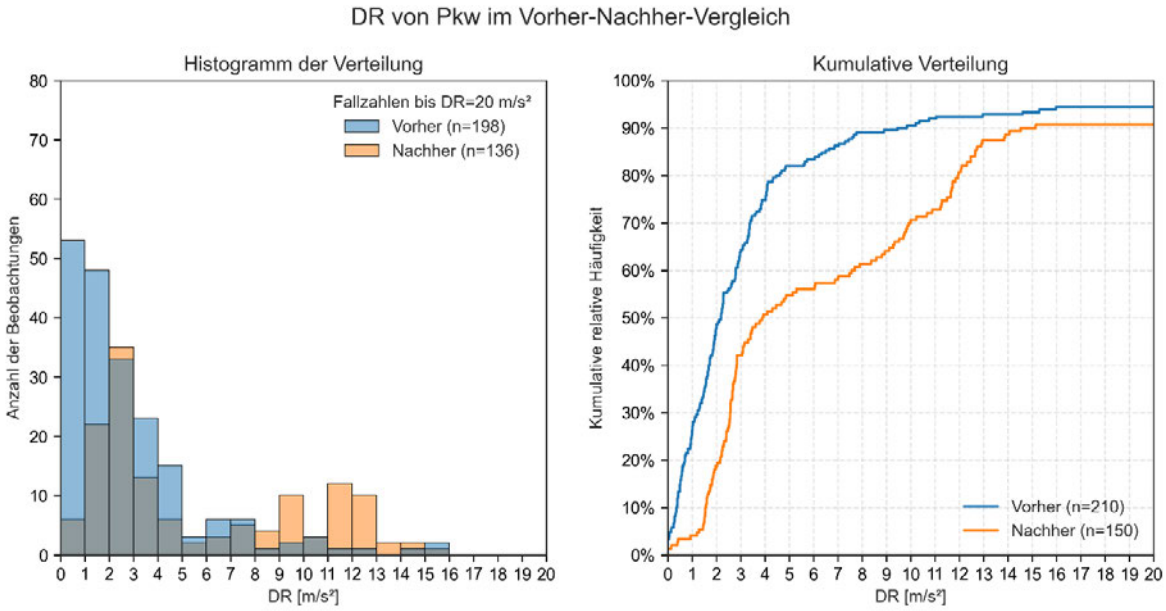


Abbildung 99: Boxplot der DR von Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

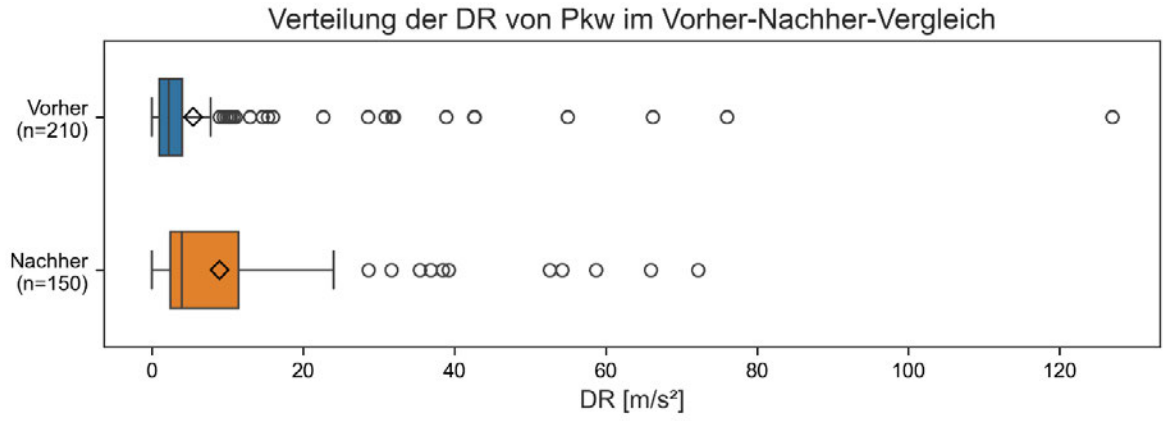


Tabelle 100: Deskriptive Kennwerte der DR von Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	210	5,5	13,1	0,0	1,0	2,2	4,0	126,9
Nachher	150	9,0	12,3	0,0	2,4	3,9	11,4	72,2

Der Anteil an kritischen Bremsmanövern ist von 51,9 % auf 81,3 % gestiegen (Tabelle 101). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,000) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen bei in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zu Nachher-Erhebung 0,25-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 0,25, 95% CI [0,15, 0,41]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung sind 4,04-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 4,04, 95% CI [2,47, 6,60]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen häufiger in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 101: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die DR

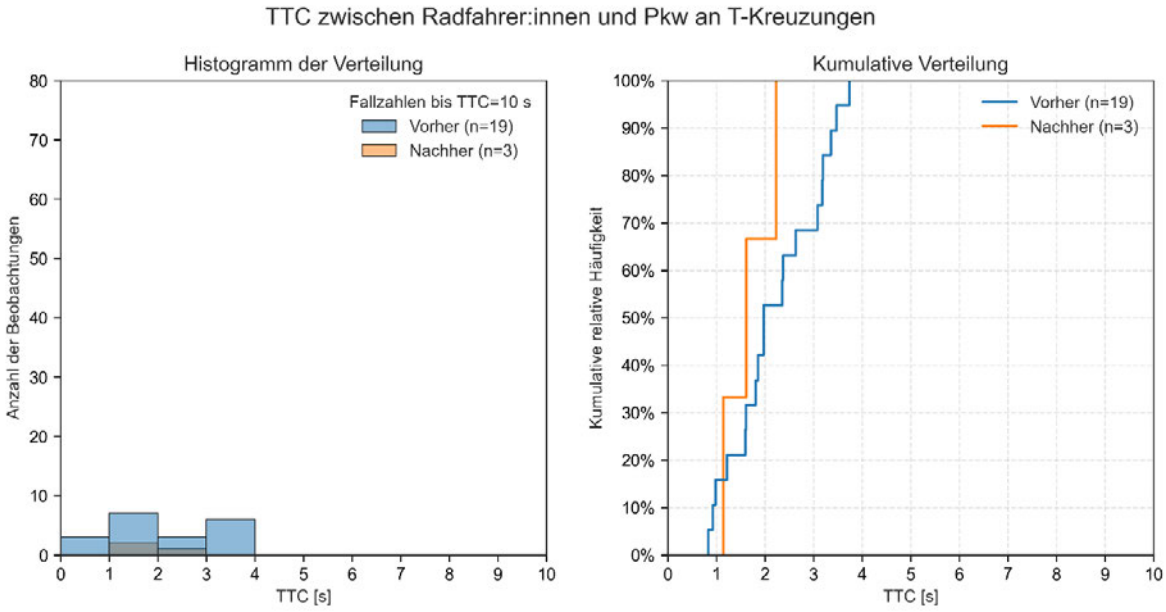
Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (DR >2,0 m/s²)	109	122	51,9	81,3
Unkritisch (DR <=2,0 m/s²)	101	28	48,1	18,7
Gesamt	210	150	100,0	100,0

4.3.4.2 T-Kreuzung mit Regelung „Geradeausfahren bei Rot"

4.3.4.2.1 Time To Collision

In der Vorher-Erhebung konnten an T-Kreuzungen 19 und in der Nachher-Erhebung drei Situationen zwischen Radfahrer:innen und Pkw festgestellt werden, in welchen eine TTC ermittelt wurde. In Abbildung 100 ist die entsprechende Verteilung dargestellt. Die minimalste TTC war in der Vorher-Erhebung bei 0,8 s und in der Nachher-Erhebung bei 1,1 s.

Abbildung 100: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen



Der Anteil der kritischen TTC ist von 21,1 % auf 33,3 % gestiegen (Tabelle 102). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 1,000) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 0,53-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 0,53, 95% CI [0,04, 7,49]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,88-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 1,88, 95% CI [0,13, 26,32]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen häufiger in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind. Allerdings ist das OR nicht signifikant.

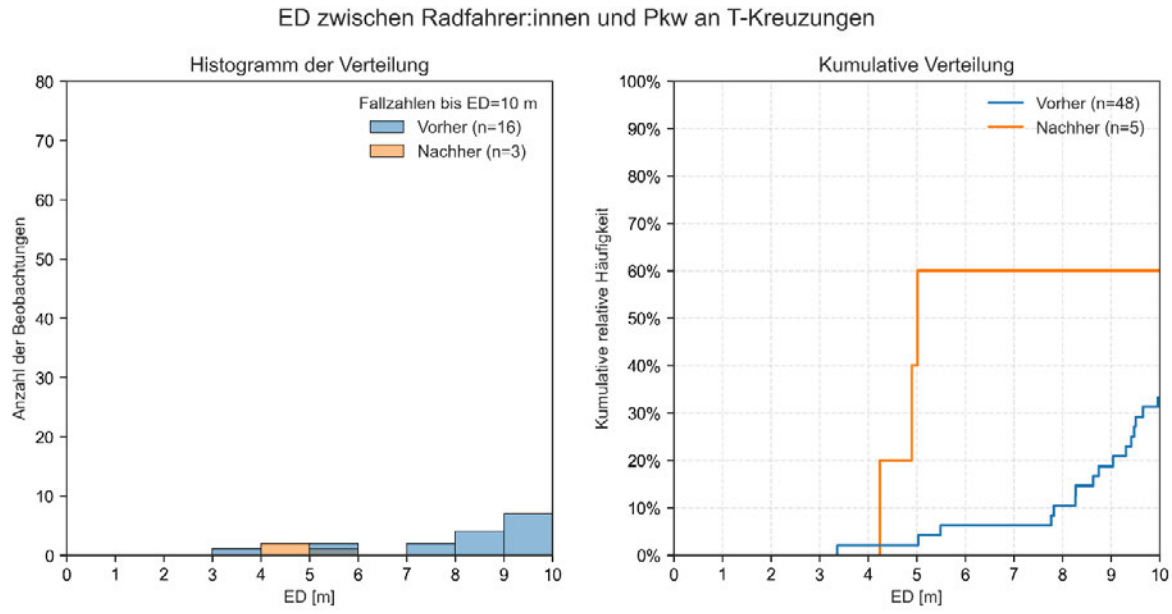
Tabelle 102: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (TTC <=1,5 s)	4	1	21,1	33,3
Unkritisch (TTC >1,5 s)	15	2	78,9	66,7
Gesamt	19	3	100,0	100,0

4.3.4.2.2 Euclidean Distance

Der minimalste Abstand zwischen Radfahrer:innen und einem Pkw war in der Vorher-Erhebung bei 3,4 m und in der Nachher-Erhebung konnte ein Abstand von 4,2 m festgestellt werden (Abbildung 101). In der Nachher-Erhebung konnte in nur fünf Situationen ein entsprechender Abstand zwischen Radfahrer:innen und Pkw ermittelt werden.

Abbildung 101: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen



Der Anteil der kritischen ED ist von 6,2 % auf 60,0 % gestiegen (Tabelle 102). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,008) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 0,04-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 0,04, 95% CI [0,01, 0,38]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 22,50-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 22,50, 95% CI [2,65, 190,69]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 103: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (ED <=7,0 m)	3	3	6,2	60,0
Unkritisch (ED >7,0 m)	45	2	93,8	40,0
Gesamt	48	5	100,0	100,0

4.3.4.2.3 Deceleration Rate

Die Verteilung der mittleren Verzögerung der Pkw zur kollisionsvermeidenden Reaktion ist in Abbildung 102 dargestellt. Es konnten in der Nachher-Erhebung fünf Situationen festgestellt werden, in welchen es zu einer Bremsverzögerung des Pkw kam (Tabelle 104), welche als kritische Verzögerung einzustufen sind.

Der Anteil der kritischen DR ist nahezu konstant geblieben. In der Vorher-Erhebung war der Anteil bei 48,0 % und in der Nachher-Erhebung lag dieser bei 48,6 % (Tabelle 104). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 1,000) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 0,72-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 0,72, 95% CI [0,03, 14,85]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,39-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 1,39, 95% CI [0,07, 28,73]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen etwas häufiger in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind. Eine oder mehrere Zellen enthielten den Wert 0. Es wurde demzufolge eine Haldane–Anscombe-Korrektur (+0.5) angewendet, um Odds Ratio und Konfidenzintervalle berechnen zu können. Die Ergebnisse sind daher vorsichtig zu interpretieren.

Abbildung 102: Histogramm und kumulative Verteilung der DR zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

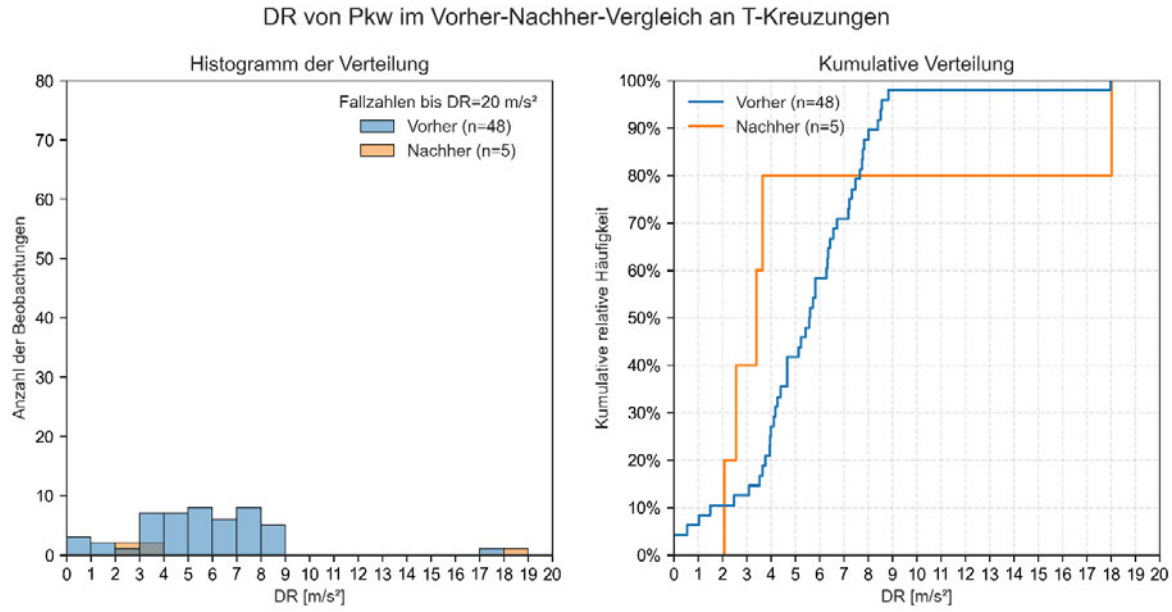


Tabelle 104: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die DR

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (DR >2,0 m/s²)	43	5	89,6	100,0
Unkritisch (DR <=2,0 m/s²)	5	0	10,4	0,0
Gesamt	48	5	100,0	100,0

4.3.4.3 Kreuzung Langzeiterhebung

4.3.4.3.1 Time To Collision

Die Anzahl der Beobachtungen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC sind in Abbildung 103 als Histogramm und als kumulative Verteilung und in Abbildung 104 ist die Verteilung der TTC als Boxplot dargestellt. Die jeweiligen deskriptiven Kennwerte sind in Tabelle 105 zusammengefasst. Die durchschnittliche TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw beträgt in der Nachher-Erhebung 3,2 s (SA=2,2) und ist höher als in der Vorher-

Erhebung (2,3 s, SA=2,2). Die Median-TTC der Radfahrer:innen ist in der Nachher-Erhebung bei 2,8 s und damit deutlich höher als in der Vorher-Erhebung (TTC=1,6 s). Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 14,35, p = 0,000, ε^2 = 0,028.

Abbildung 103: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

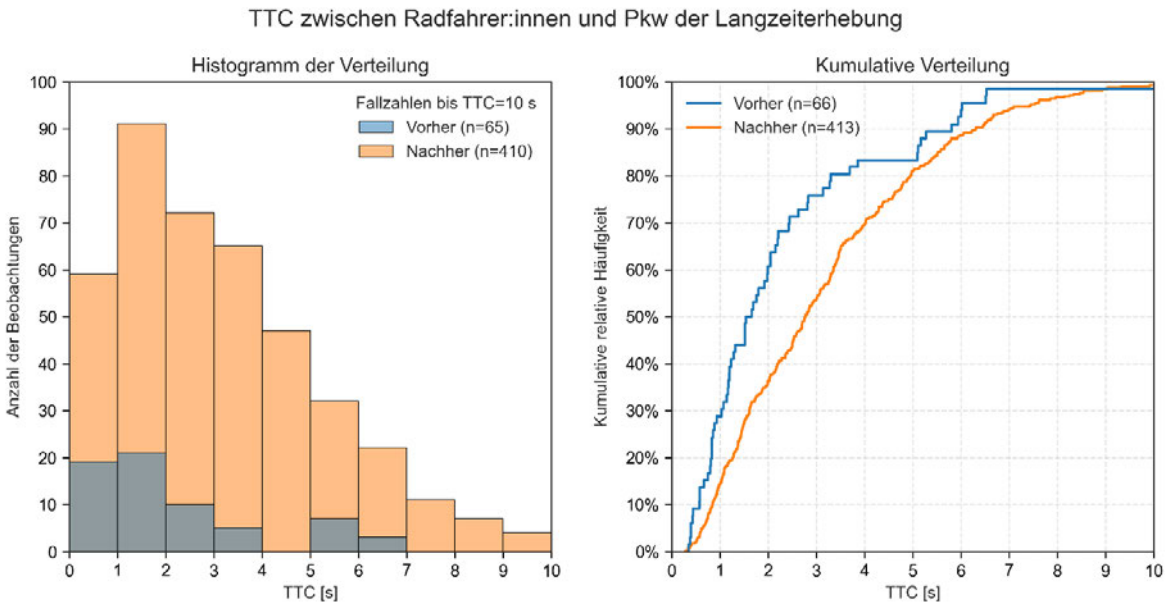


Abbildung 104: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

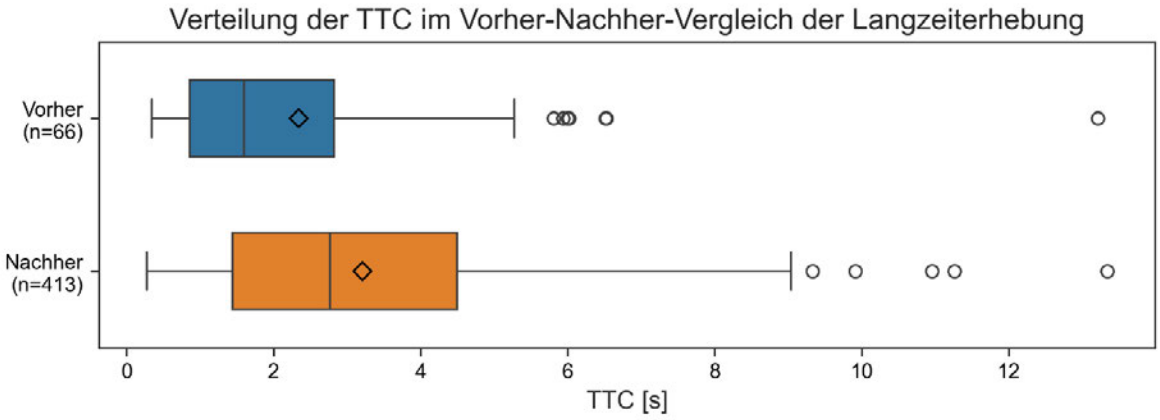


Tabelle 105: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	66	2,3	2,2	0,3	0,9	1,6	2,8	13,2
Nachher	413	3,2	2,2	0,3	1,4	2,8	4,5	13,3

Der Anteil der kritischen TTC ist von 43,9 % auf 27,6 % gesunken (Tabelle 106). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,009) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 2,06-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 2,06, 95% CI [1,21, 3,50]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,49-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,49, 95% CI [0,29, 0,83]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass unkritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 106: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (TTC <=1,5 s)	29	114	43,9	27,6
Unkritisch (TTC >1,5 s)	37	299	56,1	72,4
Gesamt	66	413	100,0	100,0

4.3.4.3.2 Euclidean Distance

In Bezug auf den minimalen Abstand (ED) zwischen Radfahrer:innen und Pkw ergab ein Kruskal–Wallis einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 5,11, p = 0,024, ε^2 = 0,006. Der Medianwert ist in der Nachher-Erhebung mit 10,6 m höher als in der Vorher-Erhebung, in welcher dieser 9,6 m betrug. Ebenso konnte bei den Mittelwerten ein Unterschied festgestellt werden. In der Vorher-Erhebung lag dieser bei 10,4 m (SA=6,3) und in der Nachher-Erhebung bei 11,7 m (SA=6,0). Die Verteilung im Vorher-Nachher-

Vergleich ist in Abbildung 105 dargestellt. Ein Boxplot (Abbildung 106Abbildung 97) gibt Aufschluss über die Verteilung und die statistischen Kennwerte sind in Tabelle 107 zusammengefasst.

Abbildung 105: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

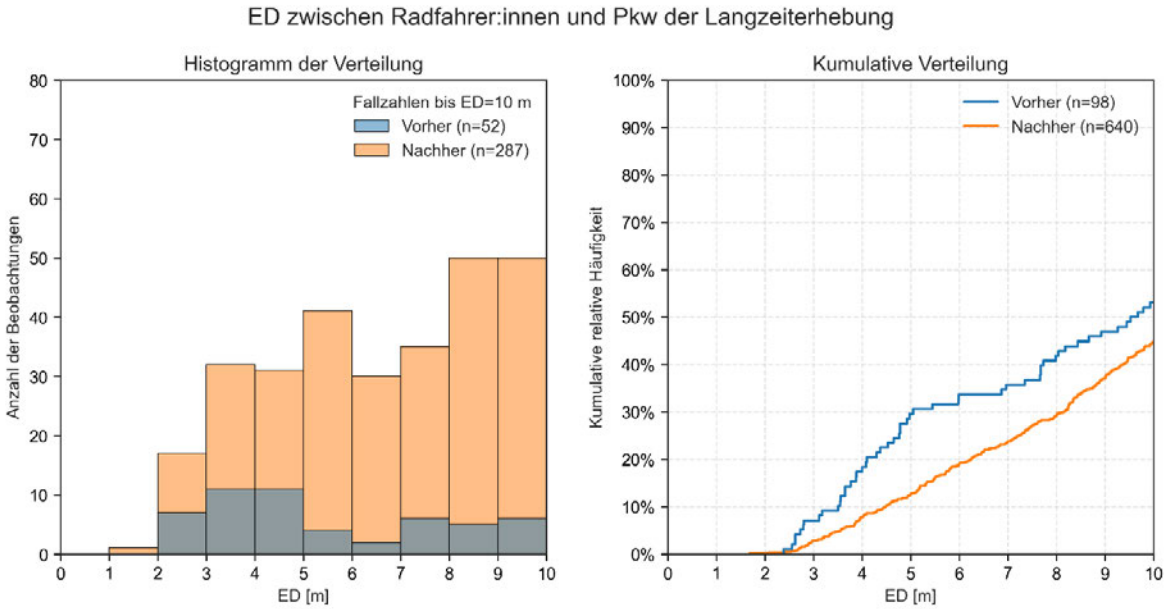


Abbildung 106: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

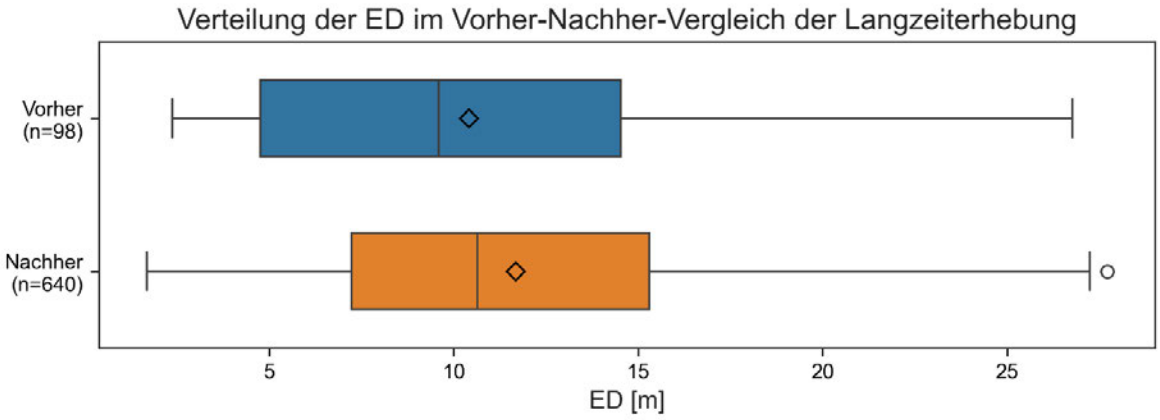


Tabelle 107: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	98	10,4	6,3	2,4	4,8	9,6	14,5	26,8
Nachher	640	11,7	6,0	1,7	7,2	10,6	15,3	27,7

Der Anteil der kritischen ED ist von 35,7 % auf 23,8 % gesunken (Tabelle 108). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,017) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,78-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,78, 95% CI [1,14, 2,80]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,65-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,56, 95% CI [0,36, 0,88]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 108: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (ED <=7,0 m)	35	152	35,7	23,8
Unkritisch (ED >7,0 m)	63	488	64,3	76,2
Gesamt	98	640	100,0	100,0

4.3.4.3.3 Deceleration Rate

Die ermittelte Verzögerung in der Nachher-Erhebung unterscheidet sich nicht signifikant von jener in der Vorher-Erhebung. Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 0,01, p = 0,925, ε^2 = -0,001. Die Verteilung ist in Abbildung 107 dargestellt. Die statistischen Kennwerte sind als Boxplot in Abbildung 108 dargestellt, mit den dazugehörigen Werten in Tabelle 109.

Abbildung 107: Histogramm und kumulative Verteilung der DR zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

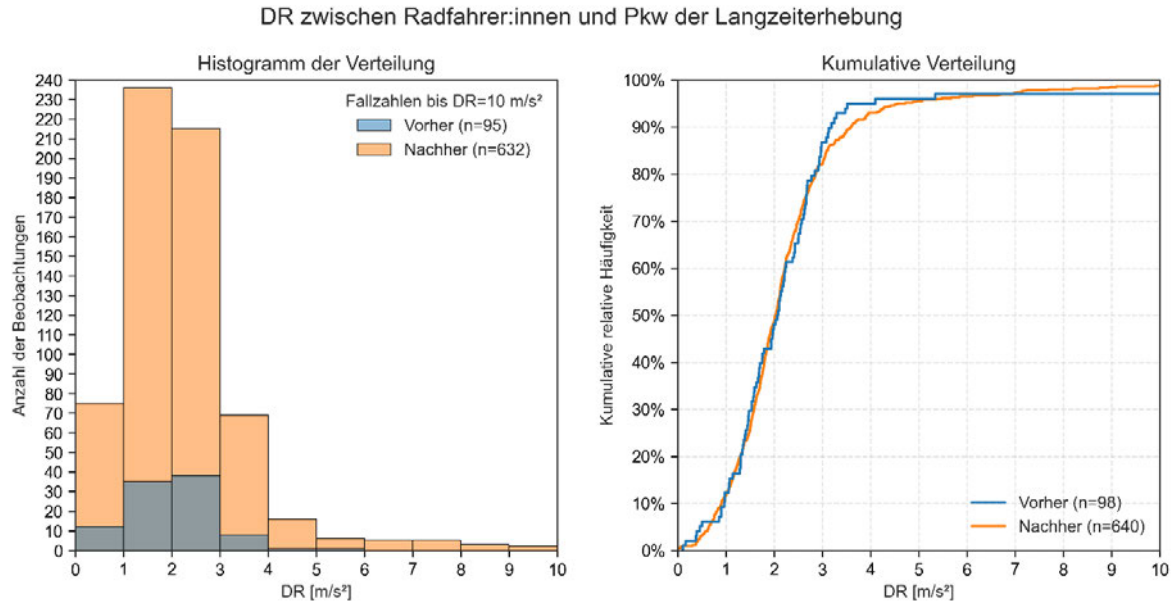


Abbildung 108: Boxplot der DR zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

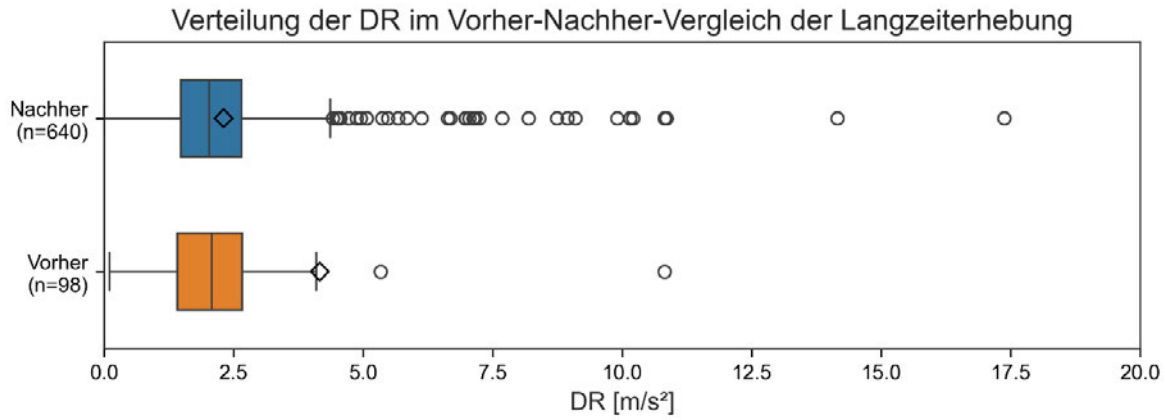


Tabelle 109: Deskriptive Kennwerte der DR zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	98	4,2	14,4	0,1	1,4	2,1	2,7	103,1
Nachher	640	2,3	1,7	0,0	1,5	2,0	2,6	17,4

Der Anteil der kritischen DR ist nahezu konstant geblieben. In der Vorher-Erhebung war der Anteil bei 52,0 % und in der Nachher-Erhebung lag dieser bei 51,4 % (Tabelle 110). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,914) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,03-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 1,03, 95% CI [0,67, 1,57]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,97-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,97, 95% CI [0,64, 1,49]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen etwas seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 110: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die DR

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (DR >2,0 m/s²)	51	329	52,0	51,4
Unkritisch (DR <=2,0 m/s²)	47	311	48,0	48,6
Gesamt	98	640	100,0	100,0

4.3.4.4 Risikobewertung der Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw

Im Hinblick auf die Kritikalitätsmetriken steht vor allem die Deceleration Rate (DR) an Kreuzungen im Nachher-Beobachtungszeitraum in einem statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung (p=0,000). Das Odds Ratio ist 4,04-mal so hoch für kritische Situationen (OR = 4,04, 95% CI [2,47, 6,60]), d.h. kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung häufiger aufgetreten. Bei den anderen untersuchten Metriken ist im

Nachher-Beobachtungszeitraum entweder kein statistisch signifikanter Zusammenhang festzustellen, oder das Konfidenzintervall für die Odds Ratio ist sehr breit bzw. wurde durch eine Haldane-Anscombe Korrektur berechnet, was auf die geringe bzw. fehlende Anzahl an Beobachtungen zurückzuführen ist und damit die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind. Metriken, welche inklusive dem Konfidenzintervall unter einem Odds Ratio von 1,0 liegen, deuten auf keinen negativen Effekt durch die Grünpfeilregelung hin. Sind die Odds Ratio über 1,0, so deutet das auf einen negativen Effekt durch die Grünpfeilregelung hin. In Abbildung 109 und Tabelle 111 sind die Daten zusammengefasst.

Abbildung 109: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken

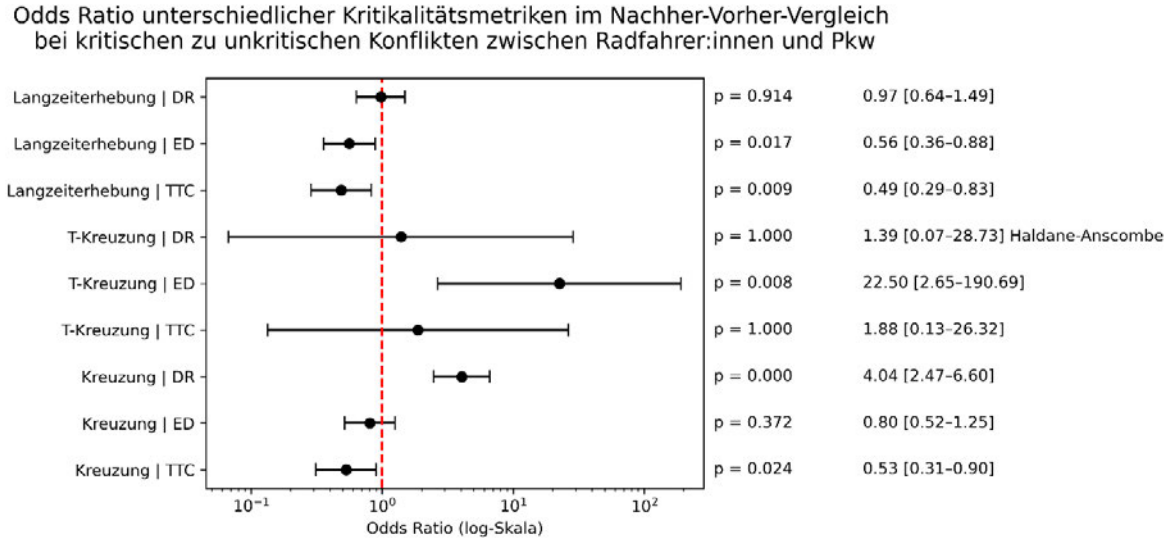


Tabelle 111: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken

Kreuzungstyp	Metrik	OR	p-Wert Zusammenhang	Korrektur
Kreuzung	TTC	0,53 CI [0,31, 0,9]	0,024	keine
	ED	0,8 CI [0,52, 1,25]	0,372	keine
	DR	4,04 CI [2,47, 6,6]	0,000	keine
T-Kreuzung	TTC	1,88 CI [0,13, 26,32]	1,000	keine
	ED	22,5 CI [2,65, 190,69]	0,008	keine
	DR	1,39 CI [0,07, 28,73]	1,000	Haldane-Anscombe
Langzeiterhebung	TTC	0,49 CI [0,29, 0,83]	0,009	keine
	ED	0,56 CI [0,36, 0,88]	0,017	keine
	DR	0,97 CI [0,64, 1,49]	0,914	keine

4.3.5 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen

4.3.5.1 Kreuzung mit Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot"

4.3.5.1.1 Time To Collision

Die durchschnittliche TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen ist in der Nachher-Erhebung deutlich höher als in der Vorher-Erhebung. Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, $H(1) = 33{,}93$, $p = 0{,}000$, $\varepsilon^2 = 0{,}026$. Die Verteilung der TTC ist in Abbildung 110 als Histogramm und kumulative Funktion und in Abbildung 111 als Boxplot dargestellt. Die statistischen Kennwerte sind in Tabelle 112 zusammengefasst.

Abbildung 110: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

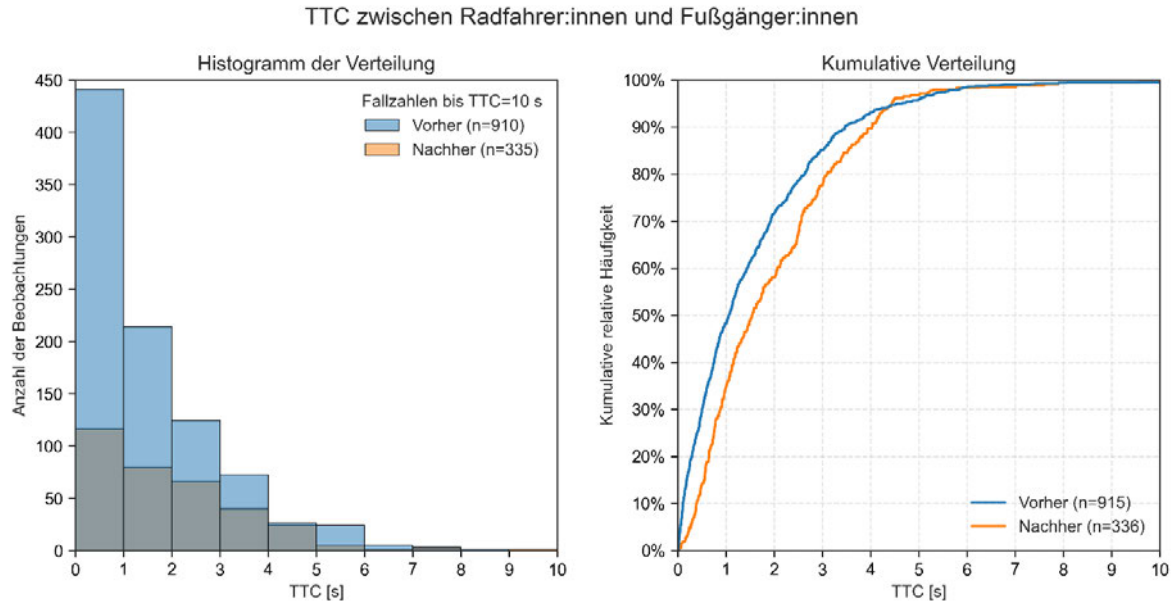


Abbildung 111: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

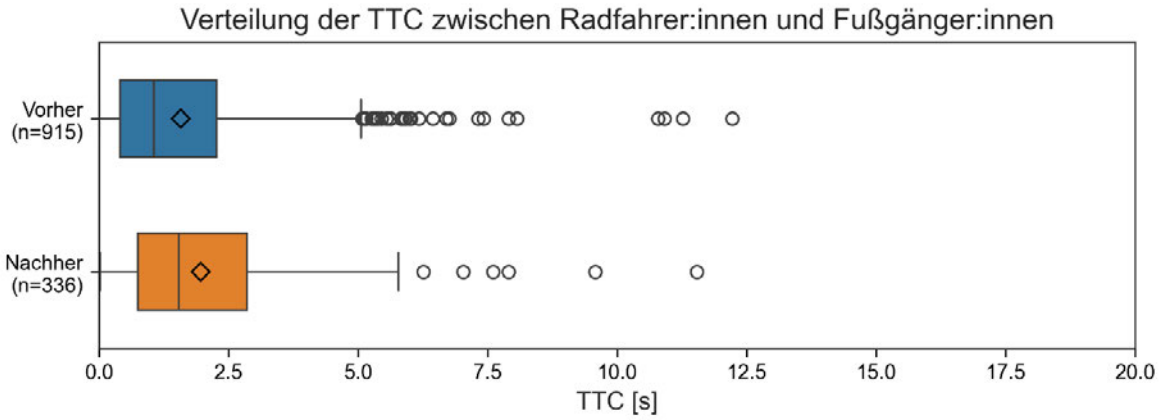


Tabelle 112: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	915	1,6	2,1	0,0	0,4	1,1	2,3	45,9
Nachher	336	2,0	1,6	0,0	0,8	1,5	2,9	11,5

Der Anteil der kritischen TTC ist von 61,3 % auf 48,8 % gesunken (Tabelle 113). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,000) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,66-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,66, 95% CI [1,29, 2,14]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,60-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,60, 95% CI [0,47, 0,77]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 113: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (TTC <=1,5 s)	561	164	61,3	48,8
Unkritisch (TTC >1,5 s)	354	172	38,7	51,2
Gesamt	915	336	100,0	100,0

4.3.5.1.2 Post Encroachment Time

Die durchschnittliche PET war in der Nachher-Erhebung mit 5,7 s (SA=4,9) geringer als in der Vorher-Erhebung (PET=6,6 s (SA=6,8)). Dennoch konnte mit einem Kruskal–Wallis kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden, H(1) = 0,00, p = 0,983, ε^2 = -0,001. Die kumulative Verteilung der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen ist in Abbildung 112 und als Boxplot in Abbildung 113 dargestellt. Die statistischen Kennwerte sind in Tabelle 114 zusammengefasst.

Abbildung 112: Histogramm und kumulative Verteilung der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

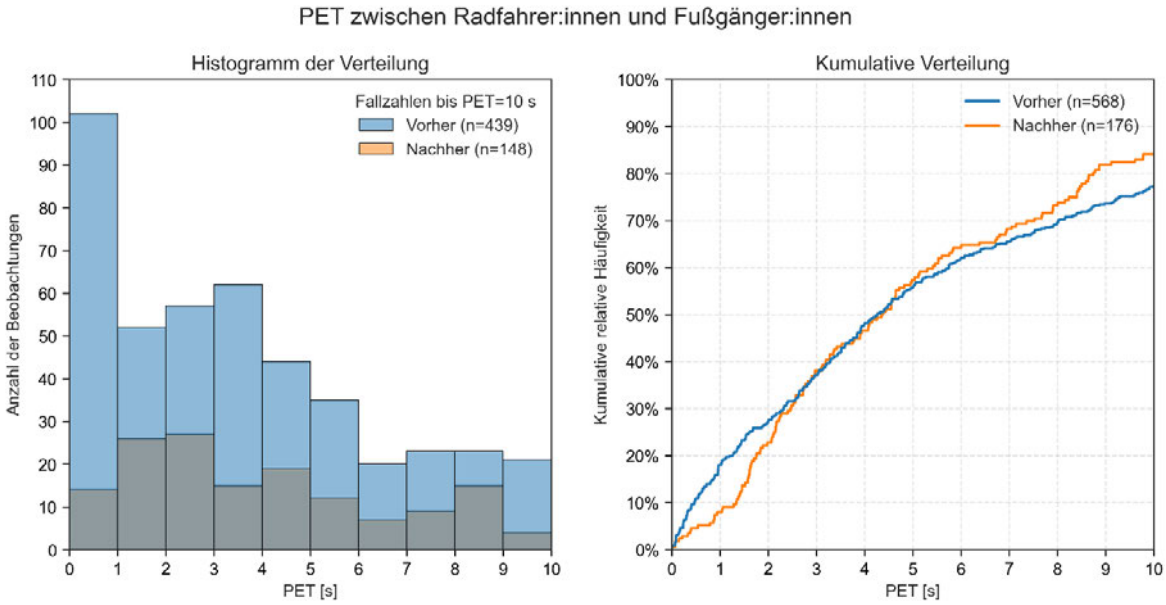


Abbildung 113: Boxplot der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

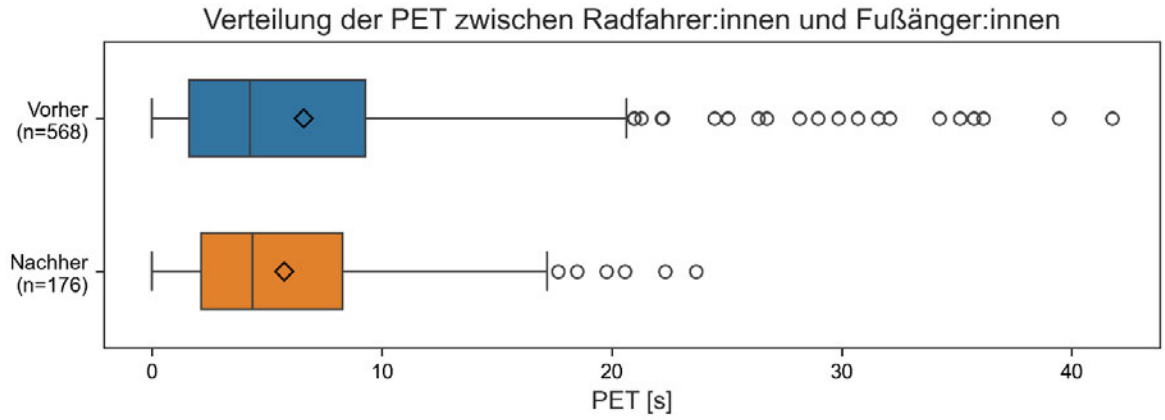


Tabelle 114: Deskriptive Kennwerte der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	568	6,6	6,8	0,0	1,6	4,3	9,3	41,8
Nachher	176	5,7	4,9	0,0	2,1	4,4	8,3	23,7

Der Anteil der kritischen PET ist von 23,2 % auf 13,6 % gesunken (Tabelle 115). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,006) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,92-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,92, 95% CI [1,20, 3,08]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,52-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,52, 95% CI [0,33, 0,84]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 115: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die PET

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (PET <=1,5 s)	132	24	23,2	13,6
Unkritisch (PET >1,5 s)	436	152	76,8	86,4
Gesamt	568	176	100,0	100,0

4.3.5.1.3 Euclidean Distance

In Bezug auf den minimalen Abstand zwischen den Radfahrer:innen und Fußgänger:innen hat sich im Vorher-Nachher-Vergleich signifikant verändert (Abbildung 114 und Abbildung 115). Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, $H(1) = 17,09$, $p = 0,000$, $\varepsilon^2 = 0,011$. Der durchschnittliche Minimalabstand hat sich von 6,0 m (SA=5,1) auf 6,8 m (SA=4,6) erhöht. Die statistischen Kennwerte sind in Tabelle 116 zusammengefasst.

Abbildung 114: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

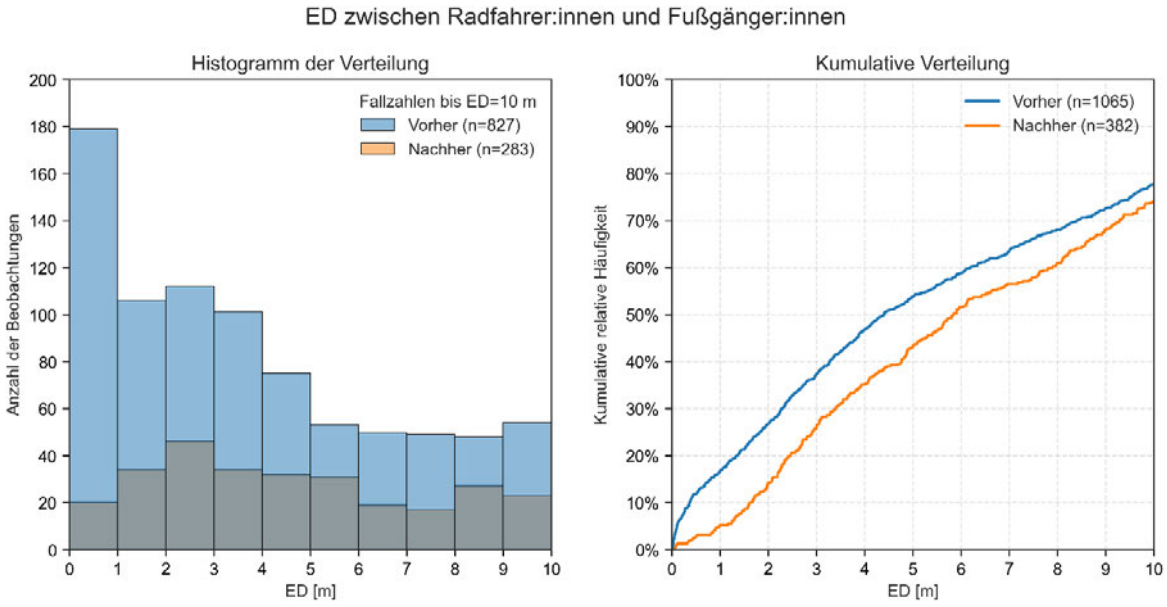


Abbildung 115: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

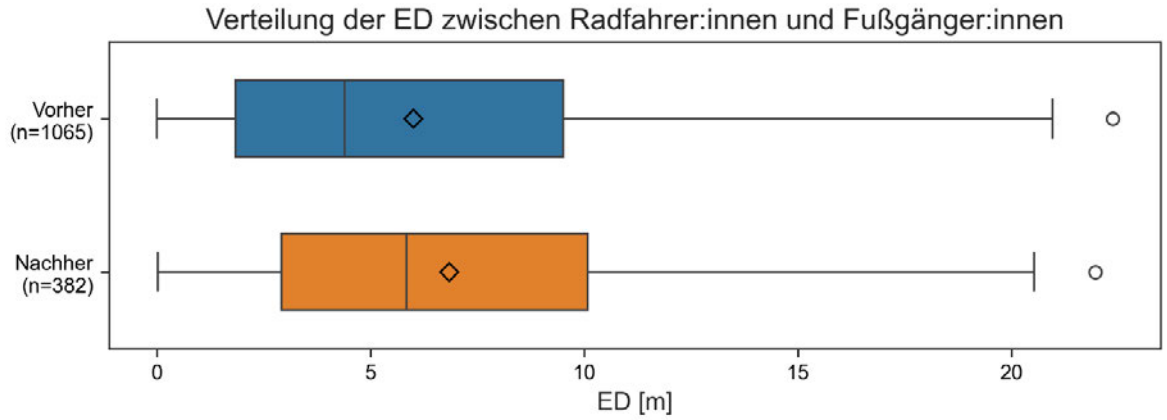


Tabelle 116: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	1.065	6,0	5,1	0,0	1,8	4,4	9,5	22,4
Nachher	382	6,8	4,6	0,0	2,9	5,8	10,1	22,0

Der Anteil der kritischen ED ist von 63,5 % auf 56,5 % gesunken (Tabelle 117). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,020) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,34-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,34, 95% CI [1,05, 1,69]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,75-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,75, 95% CI [0,59, 0,95]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 117: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (ED <=7,0 m)	676	216	63,5	56,5
Unkritisch (ED >7,0 m)	389	166	36,5	43,5
Gesamt	1065	382	100,0	100,0

4.3.5.2 T-Kreuzung mit Regelung „Geradeausfahren bei Rot"

4.3.5.2.1 Time To Collision

Hinsichtlich der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Vorher- und der Nachher-Erhebung (Kruskal–Wallis, H(1) = 0,09, p = 0,758, ε^2 = -0,008). Die durchschnittliche TTC war in der

Vorher-Erhebung bei 1,7 s (SA=1,7) und in der Nachher-Erhebung ebenfalls bei 1,7 s (SA=1,2). Die Verteilung ist in Abbildung 116 und Abbildung 117 dargestellt, sowie in Tabelle 118 die statistischen Kennwerte zusammengefasst.

Abbildung 116: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

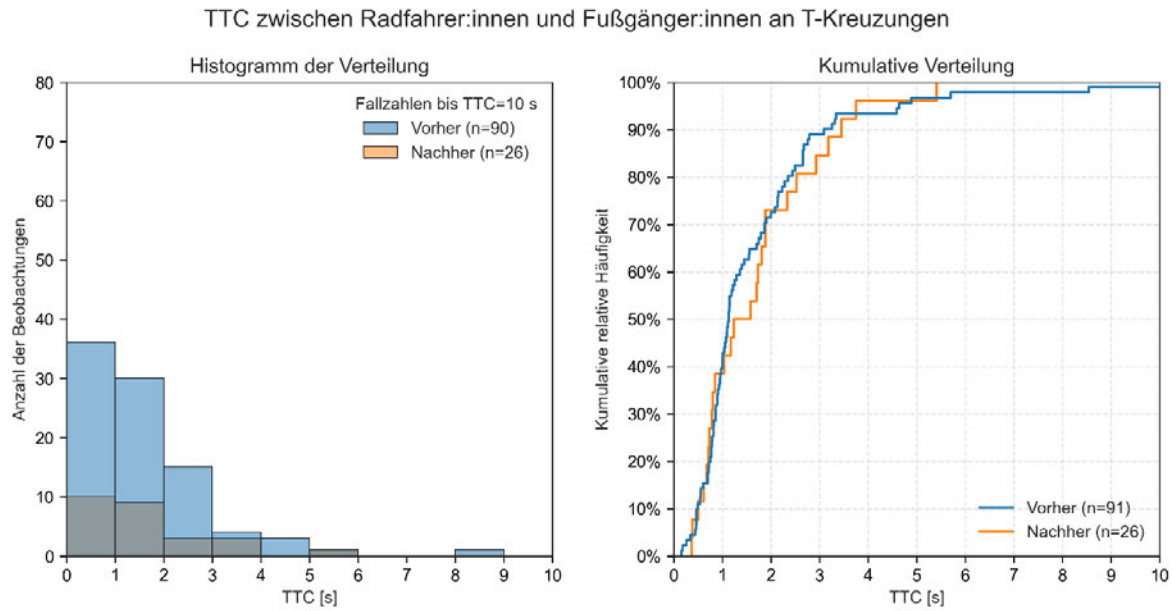


Abbildung 117: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

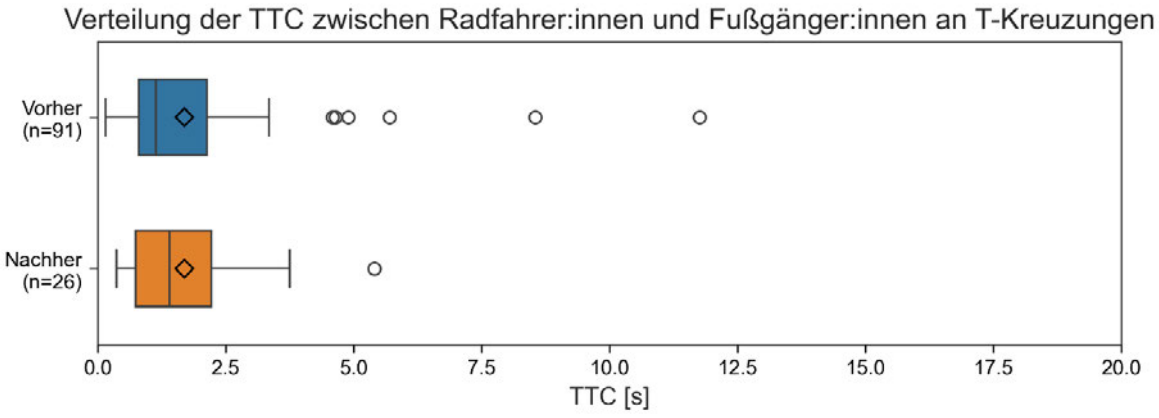


Tabelle 118: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	91	1,7	1,7	0,2	0,8	1,1	2,1	11,8
Nachher	26	1,7	1,2	0,4	0,7	1,4	2,2	5,4

Der Anteil der kritischen TTC ist von 62,6 % auf 50,0 % gesunken (Tabelle 119). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,265) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,68-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,68, 95% CI [0,70, 4,03]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,60-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,60, 95% CI [0,24, 1,44]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen tendenziell seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 119: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (TTC <=1,5 s)	57	13	62,6	50,0
Unkritisch (TTC >1,5 s)	34	13	37,4	50,0
Gesamt	91	26	100,0	100,0

4.3.5.2.2 Post Encroachment Time

Die durchschnittliche PET war in der Nachher-Erhebung mit 6,3 s (SA=6,9) tendenziell höher als in der Vorher-Erhebung (5,0 s, SA=4,1). Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, $H(1) = 0,29$, $p = 0,593$, $\varepsilon^2 = -0,008$. Die Verteilung ist in Abbildung 118 und Abbildung 119 dargestellt, mit den statistischen Kennwerten in Tabelle 120.

Abbildung 118: Histogramm und kumulative Verteilung der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

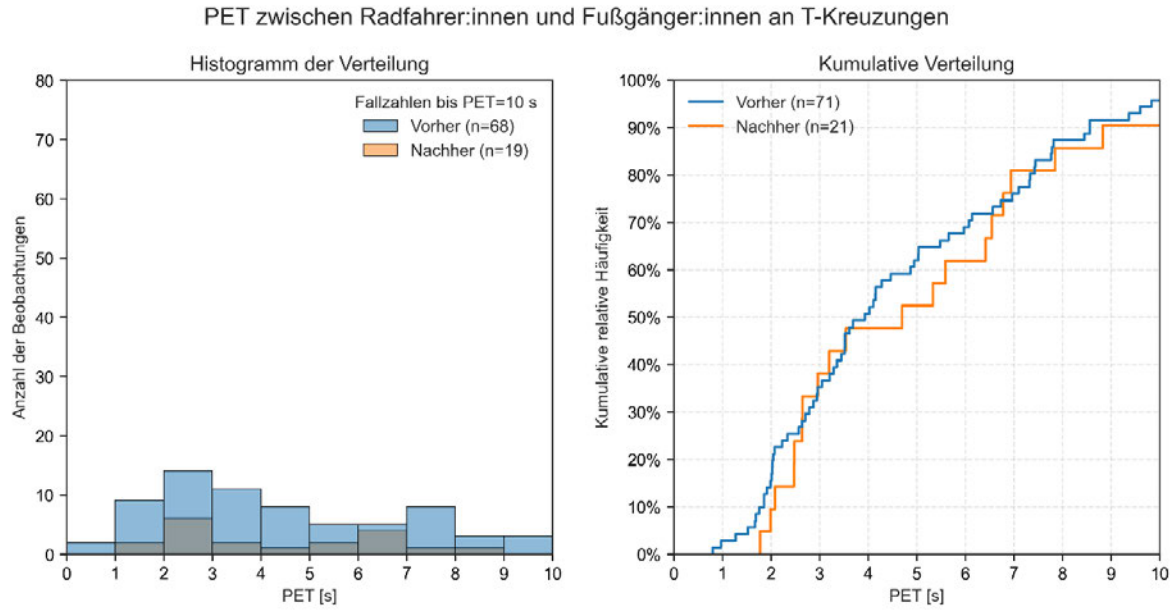


Abbildung 119: Boxplot der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

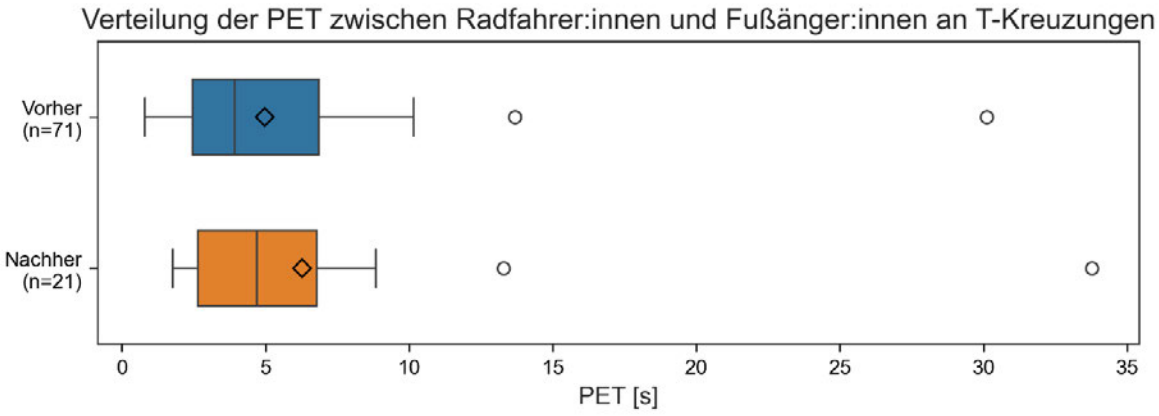


Tabelle 120: Deskriptive Kennwerte der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	71	5,0	4,1	0,8	2,5	3,9	6,8	30,1
Nachher	21	6,3	6,9	1,8	2,6	4,7	6,8	33,8

Der Anteil der kritischen PET war in der Vorher-Erhebung 4,2 % (Tabelle 121) In der Nachher-Erhebung konnte keine Situation festgestellt werden, in welcher der kritische PET Wert unterschritten wurde. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 1,000) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 2,20-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 2,00, 95% CI [0,11, 44,24]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,46-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,46, 95% CI [0,02, 9,17]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind. Eine oder mehrere Zellen enthielten den Wert 0. Es wurde demzufolge eine Haldane–Anscombe-Korrektur (+0.5) angewendet, um Odds Ratio und Konfidenzintervalle berechnen zu können. Die Ergebnisse sind daher vorsichtig zu interpretieren.

Tabelle 121: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die PET

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (PET <=1,5 s)	3	0	4,2	0,0
Unkritisch (PET >1,5 s)	68	21	95,8	100,0
Gesamt	71	21	100,0	100,0

4.3.5.2.3 Euclidean Distance

Der durchschnittliche minimale Abstand zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen vergrößerte sich von 6,6 m (SA=4,6) auf 7,7 m (SA=5,5) im Vergleich der Vorher-Nachher-

Erhebung. Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 0,45, p = 0,502, ε^2 = -0,004. Die Verteilungen sind in Abbildung 120 und Abbildung 121 dargestellt. In Tabelle 122 sind die statistischen Kennwerte zusammengefasst.

Abbildung 120: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

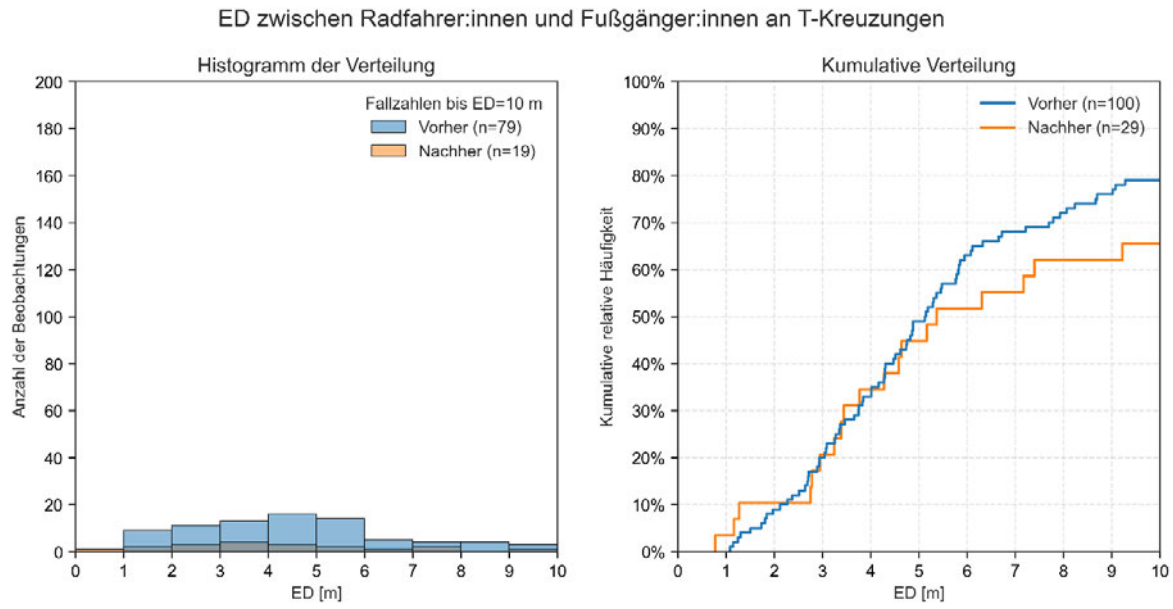


Abbildung 121: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

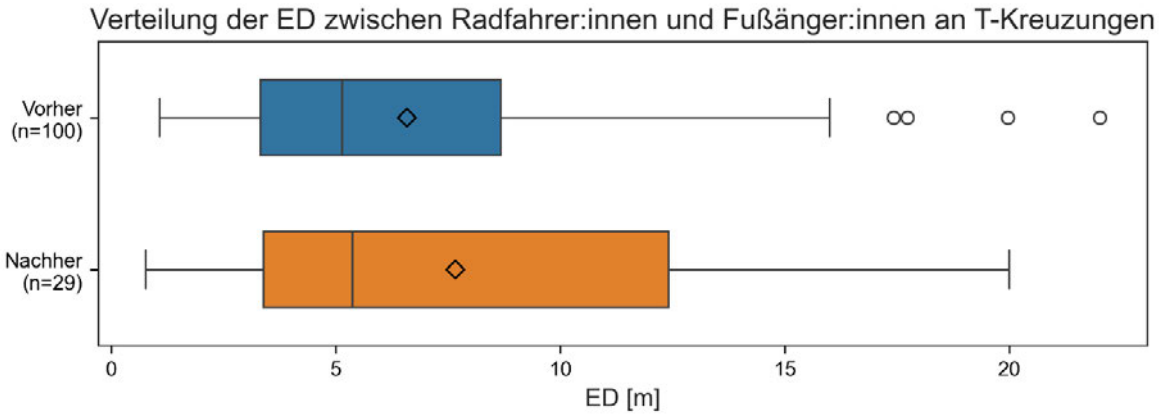


Tabelle 122: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	100	6,6	4,6	1,1	3,3	5,1	8,7	22,0
Nachher	29	7,7	5,5	0,8	3,4	5,4	12,4	20,0

Der Anteil der kritischen ED ist von 68,0 % auf 55,2 % gesunken (Tabelle 123). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,268) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,73-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,73, 95% CI [0,74, 4,01]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,58-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,58, 95% CI [0,25, 1,35]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 123: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (ED <=7,0 m)	68	16	68,0	55,2
Unkritisch (ED >7,0 m)	32	13	32,0	44,8
Gesamt	100	29	100,0	100,0

4.3.5.3 Langzeiterhebung

4.3.5.3.1 Time To Collision

Die Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung ist in Abbildung 122 und Abbildung 123 dargestellt. In Tabelle 124 sind die deskriptiven Kennwerte zusammengefasst. Die durchschnittliche TTC in der

Vorher-Erhebung lag bei 1,0 s (SA=1,1) und in der Nachher-Erhebung bei 1,1 s (SA=1,0). Ein Kruskal–Wallis-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, $H(1) = 2{,}26$, $p = 0{,}133$, $\varepsilon^2 = 0{,}002$.

Abbildung 122: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

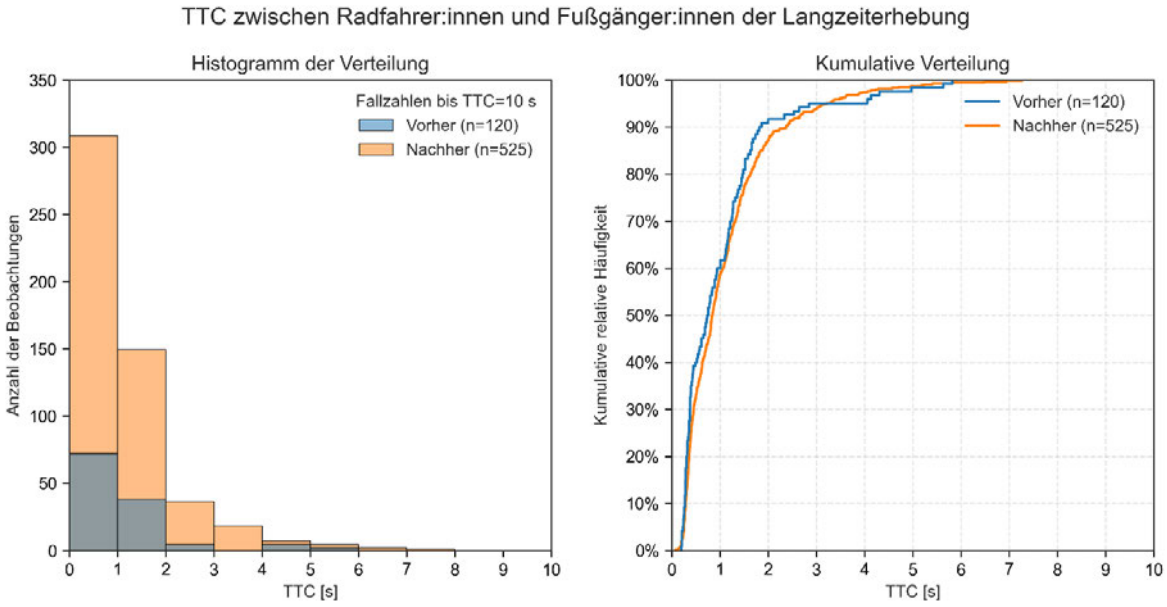


Abbildung 123: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

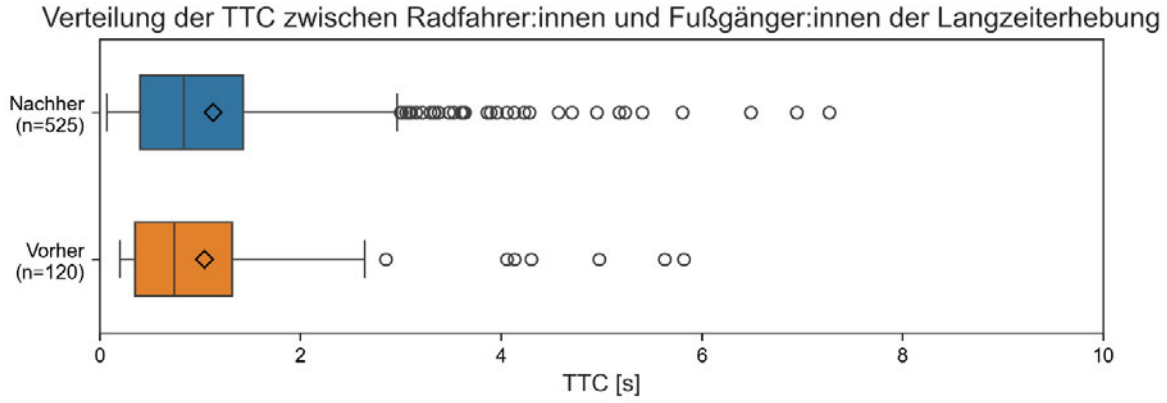


Tabelle 124: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	120	1,0	1,1	0,2	0,4	0,7	1,3	5,8
Nachher	525	1,1	1,0	0,1	0,4	0,8	1,4	7,3

Der Anteil der kritischen TTC ist leicht von 80,8 % auf 77,1 % gesunken (Tabelle 125). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,465) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,25-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,25, 95% CI [0,75, 2,06]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,80-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,80, 95% CI [0,49, 1,32]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 125: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (TTC <=1,5 s)	97	405	80,8	77,1
Unkritisch (TTC >1,5 s)	23	120	19,2	22,9
Gesamt	120	525	100,0	100,0

4.3.5.3.2 Post Encroachment Time

Die durchschnittliche PET war in der Nachher-Erhebung mit 5,1 s (SA=3,4) tendenziell niedriger als in der Vorher-Erhebung (5,4 s, SA=3,5). Ein Kruskal–Wallis-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 0,57, p = 0,449, ε^2 = -0,001. Die Verteilung ist in Abbildung 124 und Abbildung 125 dargestellt, mit den statistischen Kennwerten in Tabelle 126.

Abbildung 124: Histogramm und kumulative Verteilung der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

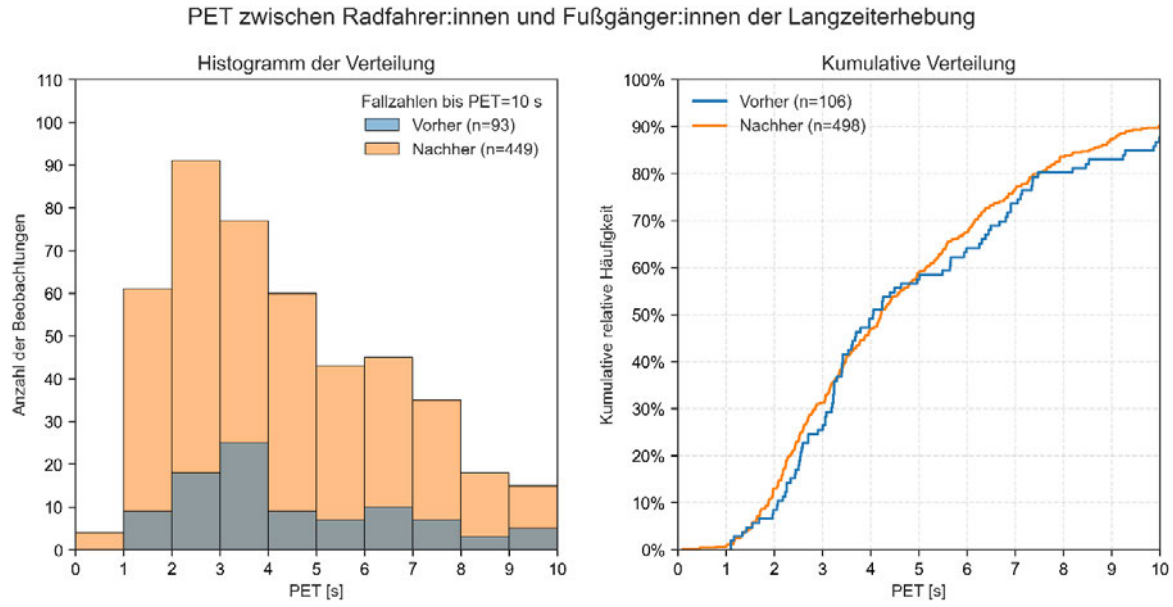


Abbildung 125: Boxplot der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

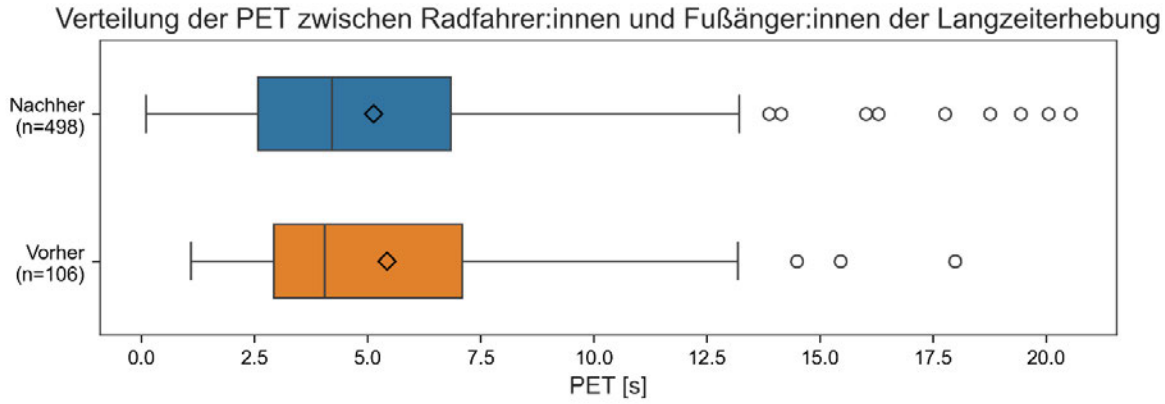


Tabelle 126: Deskriptiven Kennwerte der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	106	5,4	3,5	1,1	2,9	4,1	7,1	18,0
Nachher	498	5,1	3,4	0,1	2,6	4,2	6,8	20,5

Der Anteil der kritischen PET ist leicht von 4,7 % auf 4,4 % gesunken (Tabelle 127). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,800) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 1,07-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 1,07, 95% CI [0,40, 2,90]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,93-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 0,93, 95% CI [0,35, 2,52]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 127: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die PET

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (PET <=1,5 s)	5	22	4,7	4,4
Unkritisch (PET >1,5 s)	101	476	95,3	95,6
Gesamt	106	498	100,0	100,0

4.3.5.3.3 Euclidean Distance

Der durchschnittliche minimale Abstand zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen verringerte sich geringfügig von 4,9 m (SA=4,1) auf 4,7 m (SA=3,6) im Vergleich der Vorher-Nachher-Erhebung. Ein Kruskal–Wallis-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, H(1) = 0,01, p = 0,930, ε^2 = -0,001. Die Verteilungen sind in Abbildung 126 und Abbildung 127 dargestellt. In Tabelle 128 sind die statistischen Kennwerte zusammengefasst.

Abbildung 126: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

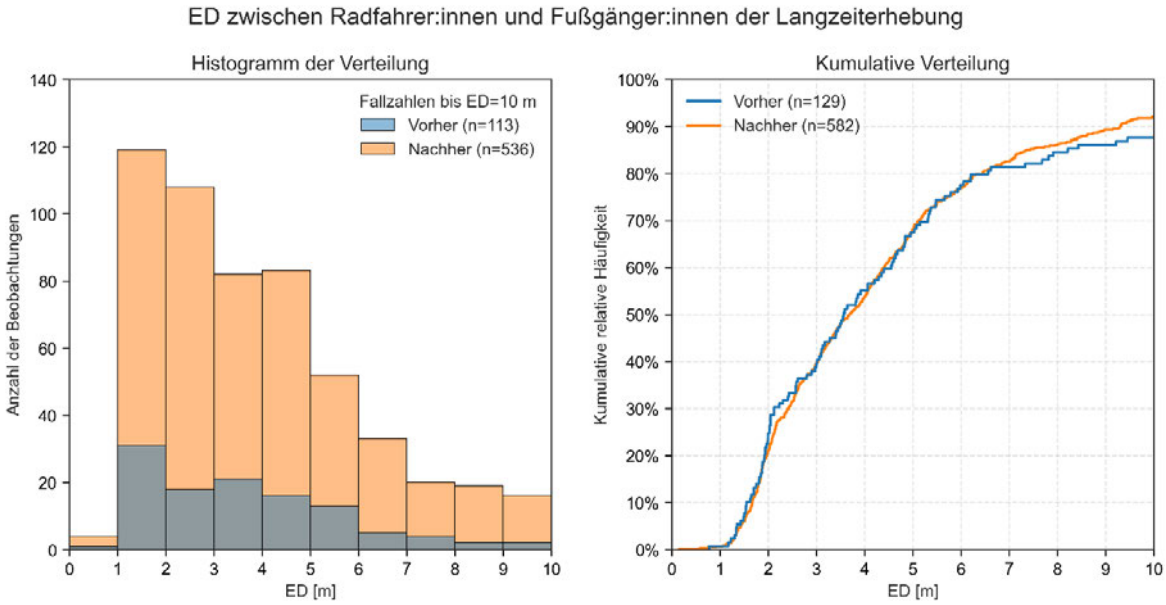


Abbildung 127: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

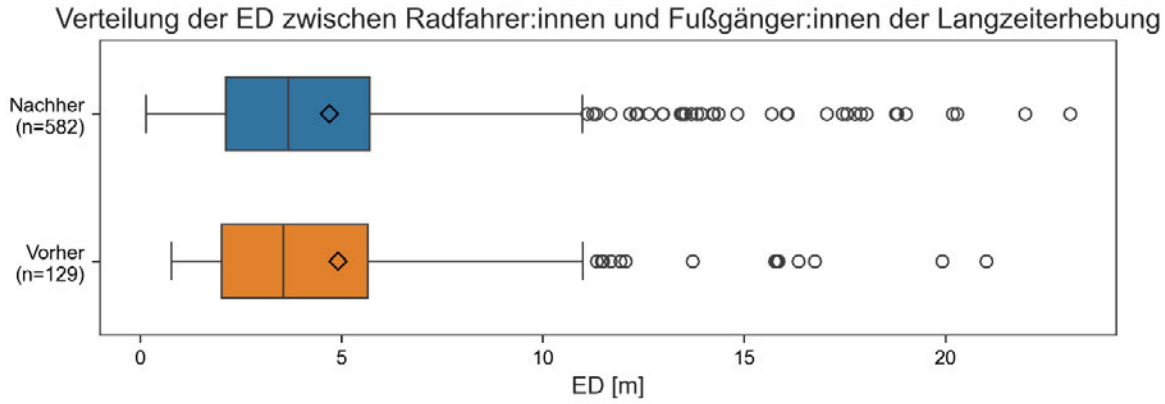


Tabelle 128: Deskriptiven Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung

Erhebungsphase	n	MW	SA	MIN	25 %	50 %	75 %	MAX
Vorher	129	4,9	4,1	0,8	2,0	3,6	5,7	21,0
Nachher	582	4,7	3,6	0,2	2,1	3,7	5,7	23,1

Der Anteil der kritischen ED ist von 81,4 % auf 82,6 % gesunken (Tabelle 129). Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 0,703) zwischen den Variablen. Die Chancen für kritische Situationen in der Vorher-Erhebung sind im Vergleich zur Nachher-Erhebung 0,92-mal so hoch wie für unkritische Situationen (OR = 0,92, 95% CI [0,56, 1,50]). Das deutet darauf hin, dass kritische Situationen seltener in der Vorher-Erhebung aufgetreten sind als im Vergleich zur Nachher-Erhebung. Es bedeutet weiter, dass die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,09-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 1,09, 95% CI [0,67, 1,78]). Das entspricht der Gegenperspektive und zeigt, dass kritische Situationen häufiger in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind.

Tabelle 129: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED

Verhaltensgruppen	Anzahl der Beobachtungen		Relativanteil der Beobachtungen	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Kritisch (ED <=7,0 m)	105	481	81,4	82,6
Unkritisch (ED >7,0 m)	24	101	18,6	17,4
Gesamt	129	582	100,0	100,0

4.3.5.4 Risikobewertung der Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen

Bei der Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen wurde im Nachher-Beobachtungszeitraum keine signifikante Zunahme an kritischen Situationen festgestellt (Abbildung 128, Tabelle 130). Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher- Beobachtungszeitraum niedriger im Vergleich zum Vorher-Beobachtungszeitraum. D.h. kritische Situationen sind im Nachher-Beobachtungszeitraum seltener aufgetreten. Lediglich

bei der Euclidean Distance (ED) waren die Chancen für kritische Situationen im Nachher-Beobachtungszeitraum höher, jedoch statistisch nicht signifikant. Aus den Beobachtungsdaten kann durch die Grünpfeilregelung kein negativer Effekt auf die Kritikalität unterschiedlicher Metriken abgeleitet werden. Metriken, welche inklusive dem Konfidenzintervall unter einem Odds Ratio von 1,0 liegen, deuten auf keinen negativen Effekt durch die Grünpfeilregelung hin. Sind die Odds Ratio über 1,0, so deutet das auf einen negativen Effekt durch die Grünpfeilregelung hin. Metriken mit breitem Konfidenzintervall und gegebenenfalls einer Haldane-Anscombe Korrektur sind mit Vorsicht zu interpretieren, da hierbei entweder die Anzahl der Beobachtungen sehr gering war oder zur korrekten Berechnung der Odds-Ratio gänzlich fehlten.

Abbildung 128: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken

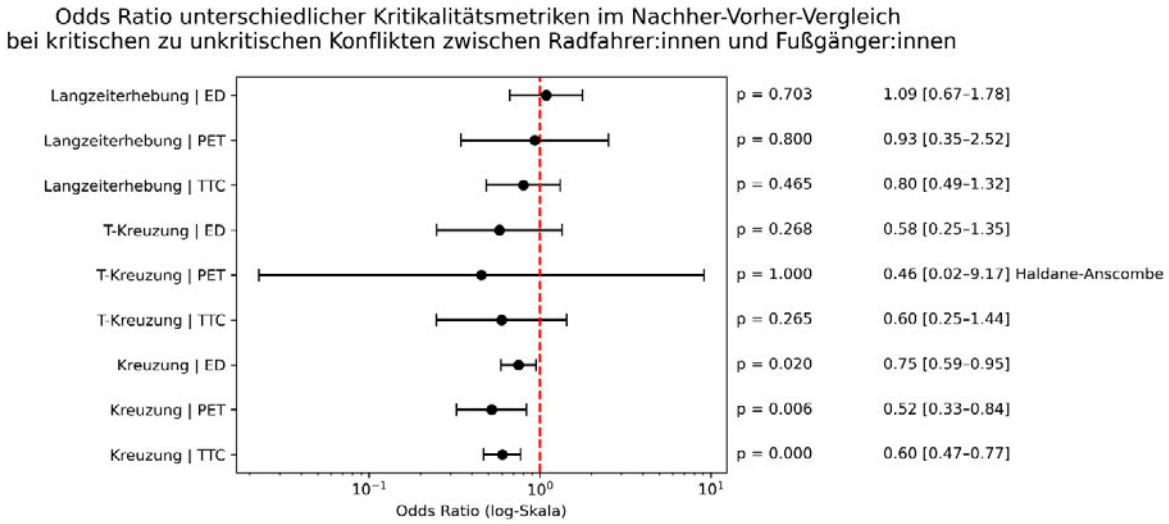


Tabelle 130: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken

Kreuzungstyp	Metrik	OR	p-Wert Zusammenhang	Korrektur
Kreuzung	TTC	0,6 CI [0,47, 0,77]	0,000	keine
	ED	0,75 CI [0,59, 0,95]	0,020	keine
	DR	1,39 CI [0,07, 28,73]	1,000	Haldane-Anscombe
T-Kreuzung	TTC	0,6 CI [0,25, 1,44]	0,265	keine
	ED	0,46 CI [0,02, 9,17]	1,000	Haldane-Anscombe
	DR	0,58 CI [0,25, 1,35]	0,268	keine
Langzeiterhebung	TTC	0,8 CI [0,49, 1,32]	0,465	keine
	ED	0,93 CI [0,35, 2,52]	0,800	keine
	DR	1,09 CI [0,67, 1,78]	0,703	keine

5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Untersuchung der Auswirkungen der Grünpfeilregelung auf die Verkehrssicherheit bzw. dem Verhalten der Radfahrer:innen an derart ausgeführten Kreuzungsrelationen erfolgte durch drei unterschiedliche Ansätze. In einer Umfrage sollten Radfahrer:innen ihre Meinung zur Verkehrssicherheit und der Grünpfeilregelung durch eine standardisierte Befragung wiedergeben. Dabei nützten viele Teilnehmer:innen die offenen Fragen für zusätzliche Rückmeldungen. In einer Analyse von Verkehrsunfällen aus dem UDM und der Unfalldatenbank CEDATU wurde die geänderte Unfallsituation durch die Grünpfeilregelung dargestellt. Dabei wurden die Unfalldaten, soweit es möglich war, in einen Zeitraum vor und nach Kundmachung der Grünpfeilregelung unterteilt. Schließlich wurde in einer Verkehrsbeobachtung das Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung untersucht. Diese Beobachtung wurde als eine Vorher-Nachher-Studie konzipiert, wobei an einer Kreuzung über einen Zeitraum von mehreren Monaten das Verhalten der Radfahrer:innen beobachtet wurde.

5.1 Befragung

An der Befragung nahmen mehr als 1.000 Teilnehmer:innen teil. Jedoch wurden nicht alle Fragen vollständig befüllt. Teilnehmer:innen mit einer unzureichenden Anzahl an ausgefüllten Fragen wurden aus der Auswertung entfernt. Als Schwellenwert wurde eine untere Ausreißergrenze nach Tukey [139] festgelegt. Schließlich konnten 835 beantwortete Fragebögen für eine Auswertung verwertet werden, wobei auch in diesen nicht alle Fragen vollständig beantwortet waren. Daher unterscheidet sich die Fallzahl einzelner Fragestellungen.

5.1.1 Allgemeine Erkenntnisse

An der Umfrage nahmen fast doppelt so viele Männer als Frauen teil. Die Männer waren zwischen 21 und 84 Jahre alt, bei einem durchschnittlichen Alter von 43,4 (SA=13,5) Jahren. Die Spannweite bei den Frauen reichte von 17 bis 80 Jahren, bei einem durchschnittlichen Alter von 42,3 (SA=12,1) Jahren. Die Teilnehmer:innen der Umfrage

nutzen das Fahrrad täglich oder zumindest mehrmals in der Woche. Dabei werden tägliche Wegstrecken von bis zu 10 km von 60 % der Teilnehmer:innen zurückgelegt. Ein Fünftel gab an, täglich Wegstrecken bis zu 20 km zu fahren. Der wesentliche Zweck ist der Weg zur Arbeit/Schule/Ausbildungsstätte aber auch zum Einkauf und in der Freizeit wird das Fahrrad gerne genutzt. Die Motivation für das Radfahren wird von den Teilnehmer:innen als Beitrag zur Gesundheit, das Wohlbefinden, Zeitersparnis und umweltspezifische Aspekte (weniger Lärm, Emissionen) gesehen. Allerdings wird aus Ihrer Sicht die Fahrradnutzung durch Mängel in der Infrastruktur (schmale bzw. unterbrochene Wege, seitlicher Bewuchs, Engstellen) und rücksichtsloses Verhalten (knappes Überholen, Abdrängen) negativ beeinflusst. Die Radfahrer:innen geben zu, manchmal auch riskanter zu fahren und an Kreuzungen wird „vorgeschlängelt". Dennoch gaben die meisten Teilnehmer:innen der Befragung an, an Kreuzungen bei Rot nicht nach rechts abzubiegen bzw. an T-Kreuzungen bei Rot geradeauszufahren. Diese beiden Aussagen sind jedoch widersprüchlich zur Fragestellung, ob viele Radfahrer:innen an signalgeregelten Kreuzungen auch bei Rot nach rechts abbiegen. Hierbei stimmen die Teilnehmer:innen der Fragestellung zu. Der Unterschied kommt vermutlich aus der Fragestellung, da zunächst das eigene Verhalten gefragt und anschließend die Fragestellung allgemein gehalten wurde, was darauf schließen lässt, dass andere Radfahrer:innen sehr wohl auch bei Rot an Kreuzungen abbiegen und „Ich“ selbst halte mich jedenfalls an die Regelungen. Ein Item zur Nutzung des Gehsteigs als Ausweichroute wurde leider nicht berücksichtigt. Hier wären die Angaben zur Nutzung interessant. Damit könnten die Meinungen zu Gehsteignutzung der Verkehrsbeobachtung gegenübergestellt werden. Die Teilnehmer:innen sind auch der Meinung, dass an Kreuzungen Konflikte nicht durch Radfahrer:innen ausgelöst werden. Es sind eher die motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen, die den Vorrang der Radfahrer:innen ignorieren und zu wenig Rücksicht auf Radfahrer:innen nehmen.

Obwohl sich der Großteil sehr bzw. eher sicher fühlt, gaben durchschnittlich weniger als zwei Drittel der Teilnehmer:innen an, den Helm „(So gut wie) immer“ zu tragen. Dabei unterscheidet sich die Helmtragequote zwischen den Geschlechtern. Frauen sind hierbei sicherheitsbewusster und benützten den Helm häufiger als Männer. In der Befragung wurden allerdings nur diese beiden Merkmale abgefragt und es bestand für andere Teilnehmer:innen nur die Möglichkeit das Item „keine Angabe“ zu wählen, sofern die beiden anderen Items nicht zutrafen. Die Helmtragequote ist ferner vom Alter abhängig. Dabei fallen die jüngeren und älteren Teilnehmer:innen mit einer geringeren Tragequote gegenüber den 30 bis 64-jährigen auf. Ebenfalls spielt die tägliche Fahrleistung bei der Helmtragequote eine wesentliche Rolle. Vielfahrer, mit einer täglichen Fahrleistung von

mehr als 20 km haben eine fast doppelt so hohe Helmtragequote als Teilnehmer:innen mit einer Fahrleistung von weniger als 1 km.

Abseits der standardisierten Fragen zur Schutzausrüstung (Helm), nutzten die Teilnehmer:innen auch die Möglichkeit in den offenen Fragen Erfahrungen und Erlebnisse im Straßenverkehr wiederzugeben. Radfahrer:innen erleben ihre Sicherheit im Straßenverkehr primär als Platz- und Sichtfrage. Sobald der eigene Fahrstreifen schmal, neben Parkreihen oder im Mischverkehr verläuft, steigen die Risiken. Es kommt zu knappen Überholvorgängen, Dooring und Tote Winkel Situationen beim Abbiegen. Hinzu kommt die systematische Entwertung des Vorrangs von Radfahrer:innen an ungeregelten Kreuzungen ebenso wie auf Radüberfahrten. Viele Konflikte entstehen durch infrastrukturelle Mängel. Von den Radfahrer:innen wird angegeben, dass Radwege abrupt enden, Haltelinien und Ampelschaltungen für die Autofahrer:innen lesbarer sind als für Radfahrer:innen. Radfahrer:innen bemängeln auch das Baustellenmanagement, welches Kfz priorisiert, während Radwege verparkt oder gesperrt werden. Witterungsbedingungen, Dunkelheit und schlechte Fahrbahnverhältnisse verschärfen das Risiko, besonders bei Schienen und Laub. Auffällig ist jedoch eine etwas ambivalente Perspektive der Radfahrer:innen. Einerseits erfolgt Kritik an rücksichtslosen Autofahrer:innen, andererseits werden aber auch die schnellen E-Bikes und Elektro-Scootern und unachtsamen Radfahrer:innen bei beengten Platzverhältnissen kritisiert. Wo jedoch die Infrastruktur klar getrennt ist, wird das sofort als entlastend wahrgenommen. Die Unsicherheit entsteht weniger aus „Fehlern Einzelner“ als aus einem System, das aus der Sicht der Radfahrer:innen den Radverkehr räumlich, zeitlich und kommunikativ nachordnet. Wo Infrastruktur konsequent Platz, Sicht und klare Vorrangbeziehungen schafft, verschwinden viele der beschriebenen Konflikte. Sicherheit ist damit plan- und vollzugsabhängig und nicht primär eine Frage individueller Vorsicht.

Eine weiterer Punkt der Befragung betraf das Verhalten von Radfahrer:innen und Rotlichtmissachtung. Die qualitativen Aussagen zu Rotlichtmissachtungen zeichnen ein konsistentes Bild. Missachtungen Radfahrer:innen sind meist eine situative, oft sicherheits- und effizienzgetriebene Entscheidung. Viele Radfahrer:innen akzeptieren rote Signale, wenn sie als sinnvoll und verlässlich erlebt werden. Wo Anlagen jedoch Radfahrer:innen nicht erkennen, Wartezeiten unverhältnismäßig lang und die Grünphasen zu kurz sind oder die Schaltung offenkundig den Kfz-Verkehrt priorisiert, kippt die Akzeptanz. Die Grünpfeil-Regelung legitimiert das, was Radfahrende in leeren, übersichtlichen Situationen ohnehin als sicher ansehen, und wird daher gerne angenommen. Zugleich bleibt das Motiv niemanden zu gefährden oder zu behindern und

rücksichtnehmen auf andere Verkehrsteilnehmer:innen ein zentraler Punkt. Wesentlich scheint auch die Vorbildwirkung gegenüber Kindern zu sein, was häufig betont wird. Dem steht eine kleinere Gruppe gegenüber, die Verstöße grundsätzlich ablehnt und auf die kollektive Reputation des Radverkehrs verweist. Regeln werden eher eingehalten, wenn Radfahrer:innen an Ampeln besser erfasst werden und je verständlicher und kürzer die Wartezeiten sind. Umgekehrt führen als unfair wahrgenommene Ampelschaltungen zu regelwidrigem Verhalten. Dennoch steht die Sicherheit im Vordergrund.

Die Teilnehmer:innen nützten die Möglichkeiten der offenen Fragen für ein umfassendes Feedback zur Grünpfeilregelung. Die Aussagen zeichnen ein heterogenes Bild der Grünpfeil-Regelung für Radfahrer:innen. Während sie in Wien bereits vielerorts genutzt und als alltagstaugliche Erleichterung erlebt wird, berichten Befragte aus Graz und anderen Städten, die Regel kaum je anzutreffen. Ein wiederkehrender Kritikpunkt sind schlecht sichtbare oder zu kleine Zusatztafeln, die von Radfahrer:innen häufig übersehen werden. Eine Problematik sehen die Teilnehmer:innen im unterschiedlichen Verhalten der Radfahrer:innen an den Kreuzungen. Einige nutzen die Regelung, wiederum andere nutzen diese nicht und bleiben bei Rot stehen. Das führt zu Konflikten zwischen Radfahrer:innen, welche auch bei Rot nach rechts abbiegen und jenen, welche an der Haltelinie stehen bleiben. Es wird auch angemerkt, dass für Autofahrer:innen die Regelung nicht kenntlich gemacht wird und das zu Missverständnissen führt, die bis zu offenen Konflikten reichen („Radfahrer:innen fährt bei Rot“). Inhaltlich spaltet vor allem die Anhaltepflicht: Für die einen ist sie Sicherheitsanker und klarer Rahmen, für die anderen verschenkt sie den zentralen Vorteil des Fahrrads – die Fahrdynamik. Viele fordern daher, die Verpflichtung zum Halt in ein „Vorrang geben“ zu überführen, zumindest an ausgewählten, übersichtlichen Knoten, und insgesamt deutlich mehr Grünpfeile anzubringen, insbesondere für Geradeausfahrten an T-Kreuzungen. Gleichzeitig wird betont, dass weder Fußgänger:innen noch der Querverkehr gefährdet oder behindert werden dürfen. Hinter der Debatte steht eine grundsätzliche Kritik an ampellastigen und Kfz-zentrierten Schaltungen: Langes Warten bei leerer Querung, Bettelampeln und schlechte Detektion mindern die Akzeptanz. Wo Beschilderung klar, sichtbar und bekannt ist, steigt die Bereitschaft zur regelkonformen Nutzung; wo sie fehlt oder unklar ist, kippt Verhalten schneller ins „pragmatische“ – mit entsprechenden Risiken für Sicherheit und Reputation des Radverkehrs. Ein Paket aus besserer Sichtbarkeit, gezielter Ausweitung und klarer Kommunikation kann die Wirkung der Grünpfeil-Regel stärken und Konflikte reduzieren.

Es wurde verabsäumt ein eigenes Item zu Kreuzungen mit Grünpfeil und dem „Vorrang geben Prinzip“ abzufragen. Somit liegen dazu nur Kommentare aus den offenen Fragen vor.

Ein Item zu Spill-Over Effekten wäre in der Umfrage ebenfalls sinnvoll gewesen, um zumindest die Meinung der Teilnehmer:innen zu solchen Effekten festzustellen. Insbesondere, ob aus Sicht der Teilnehmer:innen an anderen Kreuzungen ein ähnliches Verhalten zu erwarten wäre.

5.1.2 Hypothese 1: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird das verpflichtende Anhalten vor dem Abbiegen nach rechts von Radfahrer:innen missachtet.

Die Teilnehmer:innen der Umfrage sind größtenteils skeptisch, das Radfahrer:innen die Grünpfeil-Regelung bestimmungsgemäß einhalten werden. 24,67 % stimmen der Aussage zu, dass ein verpflichtendes Anhalten von den Radfahrer:innen missachtet wird und 43,59 % stimmen dieser Aussage eher zu. Ein Vorzeichen-Test ergab für das Item 'Viele Radfahrer:innen werden an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten' gegen den Referenzwert einen signifikanten Unterschied (n = 653, Mdn = 4,0, IQR = 2,0; positiv = 570, negativ = 83, p = 0,000 (Anteil positiv = 0,87).

> Ein Vorzeichen-Rang-Test gegen den Neutralpunkt zeigt einen hochsignifikanten Unterschied. Die Antworten liegen überwiegend über dem Neutralpunkt, was auf eine Zustimmung hindeutet, dass das verpflichtende Anhalten von Radfahrer:innen an Grünpfeil-Kreuzungen missachtet wird.

5.1.3 Hypothese 2: Bei geringem Verkehrsaufkommen werden viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten.

Für die meisten Teilnehmer:innen scheint es klar zu sein, dass sich Radfahrer:innen bei geringem Verkehrsaufkommen nicht an die Regelung halten werden. 45,51 % stimmen dem voll zu und 36,53 % stimmen dem eher zu. Hingegen glauben nur 0,48 % (stimme der Aussage nicht zu), dass auch bei geringem Verkehrsaufkommen Radfahrer:innen anhalten und erst dann die Regelung in Anspruch nehmen werden und 2,4 % stimmen dieser Aussage eher nicht zu. Ein Vorzeichen-Test ergab für das Item 'Bei geringem Verkehrsaufkommen werden viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung

nicht anhalten' gegen den Referenzwert einen signifikanten Unterschied (n = 709, Mdn = 4,00, IQR = 1,0; positiv = 685, negativ = 24, p = 0,000 (Anteil positiv = 0,97)).

Ein Vorzeichen-Rang-Test gegen den Neutralpunkt zeigt einen hochsignifikanten Unterschied. Die Antworten liegen überwiegend über dem Neutralpunkt, was auf eine Zustimmung hindeutet, dass bei geringem Verkehrsaufkommen viele Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung nicht anhalten werden.

5.1.4 Hypothese 3: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird sich die Anzahl an Konflikten mit Fußgänger:innen erhöhen.

Aus Sicht der Teilnehmer:innen wird sich die Anzahl an Konflikten zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen nicht erhöhen. 6,95 % stimmen der Aussage 'Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen' zu und 29,7 % stimmen eher nicht zu. Hingegen würden 12,22 % der Aussage nicht zustimmen und 22,75 % würden eher nicht zustimmen. Ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für das Item 'Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit Fußgänger:innen erhöhen' gegen den Referenzwert ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied (n = 767, Mdn = 3,0, IQR = 2,0; p = 0,208).

Ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test gegen den Neutralpunkt zeigte keinen signifikanten Unterschied. Die Antworten liegen überwiegend im Bereich des Neutralpunkts, was weder auf Zustimmung noch auf Ablehnung hindeutet, dass sich die Anzahl an Konflikten an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung erhöht.

5.1.5 Hypothese 4: An Kreuzungen mit Grünpfeilregelung wird sich die Anzahl an Konflikten mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen.

Tendenziell eine höhere Ablehnung kann für Konflikten mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen festgestellt werden. Zur Aussage 'Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen' stimmen 20,84 % der Teilnehmer:innen nicht zu und 28,74 % stimmen der Aussage eher nicht zu. Es glauben nur 6,11 % der Teilnehmer:innen, dass sich die Konflikte

erhöhen werden (stimme voll zu) und 17,49 % stimmen der Aussage eher zu. Ein Vorzeichen-Test für das Item 'Durch die Grünpfeilregelung wird sich die Zahl der Konfliktsituationen mit motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen erhöhen' gegen den Referenzwert ergab einen statistisch signifikanten Unterschied (n = 611, Mdn = 2,0, IQR = 2,0; positiv = 197, negativ = 414, p = 0,000 (Anteil positiv = 0,32)).

„Der Vorzeichen-Test gegen den Neutralpunkt (3) war hochsignifikant (p = 0.000). Mit einem Median von 2,0 (IQR = 2,0) und einem Verhältnis von 197 positiven zu 414 negativen Differenzen sprechen die Daten für eine Ablehnung der Aussage, dass sich die Zahl der Konfliktsituationen erhöht."

> Ein Vorzeichen-Test gegen den Neutralpunkt zeigte einen signifikanten Unterschied. Aus dem höheren Anteil an negativen Differenzen sprechen die Daten für eine Ablehnung der Aussage, dass sich die Zahl der Konfliktsituationen erhöht.

5.2 Unfallanalyse

Aus den UDM Unfalldaten wurden insbesondere die makroskopischen Daten ausgewertet. Hierbei kann ein geändertes Verhalten durch die Grünpfeilverordnung beobachtet werden. Insbesondere stehen hierbei die Veränderungen in einzelnen Unfalltypen und Änderungen bei den Verletzungshäufigkeit der Verkehrsteilnehmer:innen im Vordergrund. Die Tiefenanalyse der CEDATU liefert detaillierte Einblicke in unfallkausale Faktoren im Vorher-Nachher-Vergleich, d.h. wie wirkt sich die Grünpfeilregelung auf das unfallkausale Verhalten der Verkehrsteilnehmer:innen aus.

5.2.1 Allgemeine Erkenntnisse

Für die Analyse von Unfällen an Kreuzungen mit Grünpfeilen wurden unterschiedliche Datenquellen verknüpft. Der UDM diente als Basisdatensatz für die makroskopische Analyse der Unfalldaten. Die Standorte von Kreuzungen mit Grünpfeilen wurden von Städten und Gemeinden mit mehr als 20.000 Einwohner:innen zur Verfügung gestellt. Die Städte wurden angeschrieben, mit der Bitte, entsprechende Grünpfeil-Kreuzungen und deren Standorte bekanntzugeben. Jene Städte, von welchen eine Rückmeldung erfolgte, sind in der Danksagung angegeben. Eine weitere Datenquelle zu Standorten von

Kreuzungen mit Grünpfeilen diente ein Datensatz der Radlobby Österreich. In den Datensätzen sind sowohl die Unfälle als auch die Grünpfeil-Kreuzungen bzw. den Grünpfeilrelationen verortet. Es wurden nur jene Unfälle als „Grünpfeil-Kreuzungs-Unfälle“ berücksichtigt, welche einen bestimmten Abstand zur Kreuzungsrelation mit Grünpfeil aufwiesen. In den Standortdaten bezog sich die Positionsangabe nicht notwendigerweise exakt auf die Kreuzungsrelation, sondern es konnte auch der Kreuzungsmittelpunkt angegeben sein. Daher wurden für die Analyse unterschiedliche Abstände der Unfallstelle (10 m, 20 m und 40 m) zur Positionsangabe der Grünpfeilkreuzung gewählt. Dahingehend gibt es Unschärfen bei den Auswertungen. Bei Standortdaten, welche sich auf den Kreuzungsmittelpunkt beziehen, bleiben bei großen Kreuzungen Unfälle unberücksichtigt. Bei kleineren Kreuzungen können auch Unfälle miteinbezogen werden, welche nicht notwendigerweise direkt mit der Grünpfeilkreuzung in Verbindung stehen. Die Datensätze beinhalteten auch die zeitliche Zuordnung der Kundmachung. Dadurch war eine Vorher-Nachher-Untersuchung der Auswirkungen der Grünpfeilregelung möglich. Mittlerweile werden im UDM Unfälle an Grünpfeilkreuzungen durch ein eigenes Merkmal gekennzeichnet. Allerdings konnten damit Unfälle von Beginn der Grünpfeilregelung an nicht untersucht werden und andererseits war die Anzahl an Unfällen mit dem Merkmal für die gegenständliche Untersuchung nicht ausreichend, um schlüssige Ergebnisse abzuleiten.

Der häufigste Unfallgegner an Kreuzungen mit Grünpfeil ist der Pkw. Dies sowohl im Vorher- als auch Nachher-Beobachtungszeitraum. Weitere Unfallgegner:innen sind Fußgänger:innen und Lkw sowie andere Radfahrer:innen bzw. E-Scooter-Lenker:innen. Im Vorher-Nachher-Vergleich gab es keine statistisch signifikanten Änderungen in der Verletzungshäufigkeit. Ebenso konnte in der Verletzungsschwere keine statistisch signifikanten Änderungen im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden.

Für die Tiefenanalyse der Verkehrsunfälle wurden die Unfalldaten der CEDATU ausgewertet. Auch hier wurden, analog zur makroskopischen Unfallauswertung des UDM, die relevanten Unfälle mit Grünpfeilzuordnung identifiziert und ausgewertet. Die wesentlichen Unterschiede waren in dieser Analyse die unfalltechnische Rekonstruktion der Unfälle und die Zuordnung von unfallbegünstigenden und unfallkausalen Faktoren. Die Unfallverursacher:innne sind größtenteils bei den Unfallgegner:innen von Radfahrer:innen zu finden. Aber auch ein Drittel der Radfahrer:innen können als Unfallverursacher:innen identifiziert werden. In einem weitaus kleineren Anteil an Unfällen sind beide Unfallbeteiligten im gleichen Maße am zu Stande kommen der Kollision verantwortlich. Bei den Radfahrer:innen sind tendenziell „Vorrangverletzungen“ die unfallkausalen

Faktoren und bei den Unfallgegner:innen ist dies die „Unaufmerksamkeit / Ablenkung". Ein G-Test (Likelihood-Ratio) ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Radfahrer:innen und deren Unfallgegner:innen und den unfallkausalen Faktoren. Im Vorher-Nachher-Vergleich haben Vorrangverletzungen bei den Radfahrer:innen zugenommen. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung konnte jedoch nicht festgestellt werden. In Bezug auf die gefahrene Geschwindigkeit konnte in einer Vorher-Nachher-Betrachtung kein Unterschied festgestellt werden. Das spricht eher dafür, dass die Radfahrer:innen auch vor der Kundmachung der Grünpfeilregelung bei Rot eher nicht angehalten haben und in einem Zug in die Kreuzung eingefahren sind.

5.2.2 Hypothese 5: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Verletzungshäufigkeit von Verkehrsteilnehmer:innen und der Grünpfeilregelung.

Der Anteil der verletzten Lenker:innen von Elektrofahrrädern (inkl. Elektro-Scooter) in unmittelbarer Nähe (Entfernung bis zu 10 m) zur betrachteten Kreuzungsrelationen, erhöhte sich von 15,6 % auf 17,2 %. Bei den mit Muskelkraft betriebenen Radfahrer:innen sank der Anteil von 74,5 % auf 71,9 %. Die Anteile bei den Fußgänger:innen blieben unverändert bei 7,8 %. Im Umkreis von 20 m zur Grünpfeilrelation war hingegen eine Zunahme bei den verletzten Fußgänger:innen festzustellen (6,4 % auf 8,2 %). Ebenso stiegen die Anteile bei den Elektrofahrrädern (inkl. Elektro-Scooter) (14,5 % auf 17,0 %) und sanken, bei den mit Muskelkraft betriebenen Radfahrer:innen (75,9 % auf 72,1 %). Ein ähnliches Bild liegt bei Unfällen in einer Entfernung von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation vor. Es konnte ein geringer Anstieg an verletzten Lenker:innen von Elektrofahrrädern (inkl. Elektro-Scooter) von 13,1 % auf 14,3 % beobachtet werden. Bei den mit Muskelkraft betriebenen Radfahrer:innen reduzierte sich der Anteil von 78,3 % auf 75,0 % und Unfälle mit Fußgänger:innen nahmen geringfügig zu (5,9 % auf 7,0 %). In allen untersuchten Bereichen konnte durch einen Chi^2 kein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt werden (Entfernung 10 m: Chi^2 (3) = 0,40, p=0,940; Entfernung 20 m: Chi^2 (3) = 1,99, p=0,575; Entfernung 40 m: Chi^2 (3) = 1,28, p=0,734).

Ein Indiz dafür, dass es in Nähe zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation zu einer Zunahme bei den Verletzungen kommt, ist aus den Daten nicht abzuleiten.

Die Nullhypothese für die Verletzungshäufigkeit in einer Entfernung von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation kann nicht abgelehnt werden.

Die Nullhypothese für die Verletzungshäufigkeit in einer Entfernung von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation kann nicht abgelehnt werden.

Die Nullhypothese für die Verletzungshäufigkeit in einer Entfernung von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation kann nicht abgelehnt werden.

5.2.3 Hypothese 6: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung.

Die pre-post Analyse der Verkehrsunfalldaten in unmittelbarer Entfernung zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation (Entfernung 10 m) ergab keine statistisch signifikanten Veränderungen in der Verletzungsschwere der Verkehrsteilnehmer:innen (p=0,194). Dementsprechend konnten auch keine statistisch signifikanten Änderungen in den einzelnen Verkehrsarten festgestellt werden. Die wesentlichen Änderungen betrafen die Verletzungsschwere bei den Radfahrer:innen (p=0,058). Jedoch ist der Anteil der ksi im post-Beobachtungszeitraum gesunken (OR=0,16). Bei den Radfahrer:innen von Elektrorädern (inkl. Elektro-Scootern) gab es einen höheren Anteil im post-Beobachtungszeitraum. Ein Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Grünpfeilregelung ist dennoch statistisch nicht signifikant (p=0,659). Das Odds Ratio ist bei 1,48 (CI [0,26, 8,58]) im Vergleich zum pre-Beobachtungszeitraum. Für Unfälle in einer Entfernung von 20 m wurde kein Zusammenhang zwischen Verletzungsschwere und Grünpfeilregelung festgestellt (p=0,492, OR=0,79 (CI [0,44–1,4])). Auch konnte in einer Entfernung von 40 m der Unfallstelle zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation kein Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung gefunden werden (p=0,583, OR=0,86 (CI [0,55, 1,35])).

Eine Analyse der Hauptunfalltypen, welche durch die Grünpfeilregelung potentiell beeinflusst werden, lässt keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung erkennen (p=0,666). Bei den sekundären Unfalltypen war im post-Beobachtungszeitraum nur ein Verkehrsunfall festzustellen und bei den tertiären Unfalltypen gab es im post-Beobachtungszeitraum keine schwer verletzten oder getöteten Verkehrsteilnehmer:innen.

Die Nullhypothese für die Verletzungsschwere in einer Entfernung von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation kann nicht abgelehnt werden.

Die Nullhypothese für die Verletzungsschwere in einer Entfernung von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation kann nicht abgelehnt werden.

Die Nullhypothese für die Verletzungsschwere in einer Entfernung von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation kann nicht abgelehnt werden.

5.2.4 Hypothese 7: Es besteht kein Zusammenhang zwischen Unfalltypen und der Grünpfeilregelung.

Die häufigsten Unfalltypen an den untersuchten Kreuzungen mit Grünpfeilrelationen konnten nicht direkt mit der Grünpfeilregelung in Zusammenhang gebracht werden. Unter den 15 häufigsten Unfalltypen in einer Entfernung von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation, ist der Unfalltyp 611 der einzige, welcher direkt als Grünpfeilunfalltyp klassifiziert wird. Der Anteil hat sich von 2,4 % auf 4,7 % verdoppelt. Dennoch liegt dieser nur an achthäufigster Stelle. Die Analyse der Unfälle in einer Entfernung von 20 m zur Grünpfeilrelation ergibt ein ähnliches Bild. Hierbei konnte außerdem noch der Unfalltyp 813 als weiterer Grünpfeilunfalltyp festgestellt werden. Der Anteil nahm von 1,2 % auf 2,7 % zu. Unfälle in einer Entfernung von 40 m zur Grünpfeilrelation sind ebenfalls nur diese beiden Unfalltypen in den häufigsten Unfalltypen vertreten. Änderungen bei den Unfalltypen, unabhängig der Entfernung der Unfallstelle zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation, betreffen durchwegs Unfalltypen, welche nicht primär mit der Grünpfeilregelung in Zusammenhang gebracht werden können. Basierend auf einem Chi² Test besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen der Grünpfeilregelung und Unfalltypen.

In unmittelbarer Nähe zu einer Grünpfeilrelation (Unfallstelle ist in einem Abstand von 10 m) konnte für den Unfalltyp 811 eine statistisch signifikante Änderung im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden (Fisher Exakt-Test, p=0,032). Das Odds Ratio war für den Unfalltyp 811 im Vergleich zu den anderen in diesem Umkreis auftretenden Unfalltypen bei 23,56 CI [1,12, 496,81] massiv höher im Nachher-Beobachtungszeitraum. D.h. die Chancen für einen Unfall des Unfalltyps 811 wären 23,56-fach höher nach der Kundmachung des Grünpfeils im Vergleich zu davor. Allerdings ist das Konfidenzintervall sehr breit, was auf die geringe Anzahl an Unfällen in diesem Unfalltyp zurückzuführen ist. Daher ist dieses Ergebnis mit Vorsicht zu interpretieren. Im Abstand von 20 m bzw. 40 m

zur Unfallstelle ergibt sich für den Unfalltyp 811 kein statistisch signifikanter Zusammenhang im Vorher-Nachher-Vergleich (Fisher Exakt-Test, p=0,057 bzw. 0,222).

Für die potenziell durch die Grünpfeilverordnung beeinflussten Unfalltypen konnte kein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit an verletzten Verkehrsteilnehmer:innen im Vorher-Nachher Vergleich festgestellt werden (Chi^2 (3) = 2,89, p=0,410). Auch eine Zusammenfassung der „primären", „sekundären" und „tertiären" Unfallhaupttypen lieferte keinen Zusammenhang (p=0,151, Fisher-Exact Test). Allerdings war das Odds Ratio im post-Beobachtungszeitraum erhöht (OR=1,34, CI [0,9–2,01]).

Die Nullhypothese für die Unfallhäufigkeit und Unfalltyp kann nicht abgelehnt werden.

Die Nullhypothese für die Unfallhäufigkeit und Unfalltyp 811 wird abgelehnt. Jedoch sei hier auf die geringe Fallzahl hingewiesen.

5.2.5 Hypothese 8: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl an Unfällen, in welchen sich Radfahrer:innen im Toten Winkel befinden und Kreuzungen mit Grünpfeilregelung.

Der Relativanteil des Unfalltyps 312, in welchem sich die Radfahrer:innen im Toten Winkel rechts neben dem motorisierten Fahrzeug befinden, ist in unmittelbarem Umkreis der Grünpfeilrelation von 19,4 % auf 14,1 % gesunken. Ein Fisher-Exact Test ergab einen statistisch nicht signifikanten Zusammenhang (p=0,377) zwischen der Unfallhäufigkeit des Unfalltyps 312 im Vergleich zu den restlichen Unfalltypen (im Umkreis von 10 m zur Kreuzungsrelation). Das Odds Ratio ergab sich zu 0,68 (CI [0,32, 1,46]), was eine tendenziell geringere Chance an Unfällen des Unfalltyps 312 hindeuten würde. Erklärbar ist das dadurch, dass die Radfahrer:innen sich weniger häufig im Bereich rechts von den Fahrzeugen aufhalten, da sie die Möglichkeit haben auch bei Rot nach rechts abzubiegen. Für die motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen besteht jedoch eine Wartepflicht. Statistisch signifikant ist der Zusammenhang jedoch nicht. Die Analyse der Unfälle in einem Umkreis von 20 m und 40 m ergab eine ähnliche Tendenz.

Die Nullhypothese kann nicht abgelehnt werden.

5.2.6 Hypothese 9: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Anzahl an Unfällen und Nutzung der Infrastruktur (Gehsteig) als vermeintliche Abkürzung.

Der Relativanteil des Unfalltyps 951, in welchem die Radfahrer:innen vermeintlich den Gehsteig als Abkürzung nützen ist in allen Betrachtungsbereichen um die Grünpfeilrelation gestiegen. Eine Reduktion konnte nicht festgestellt werden.

Die Nullhypothese kann nicht abgelehnt werden.

5.2.7 Hypothese 10: Es besteht kein Zusammenhang zwischen den unfallkausalen Faktoren und der Grünpfeilregelung.

Durch die Grünpfeilregelung hat sich das Verhalten der Radfahrer:innen geändert. Tendenziell haben Vorrangverletzungen durch Radfahrer:innen zugenommen. Dieser unfallkausale Faktor stieg von 5,7 % auf 11,3 %. Bei den Unfallgegner:innen konnte hingegen eine deutlicher Rückgang beim kausalen Unfallfaktor „Unaufmerksamkeit / Ablenkung“ festgestellt werden, von 21,7 % auf 16,1 %. Ebenso ist der kausale Unfallfaktor „Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung“ von 4,7 % auf 1,7 % gesunken. Ein G-Test (Likelihood-Ratio) ergab jedoch keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den kausalen Faktoren und einer Vorher-Nachher-Betrachtung für Radfahrer:innen ($G(9, N = 90) = 10{,}15$, $p = 0{,}339$, $V = 0{,}31$). Ebenso konnte für die Unfallgegner:innen kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den kausalen Faktoren und einer Vorher-Nachher-Betrachtung festgestellt werden (G-Test (Likelihood-Ratio), $G(8, N = 78) = 12{,}35$, $p = 0{,}136$, $V = 0{,}36$)).

Die Nullhypothese kann nicht abgelehnt werden.

5.3 Verkehrsbeobachtung

Für die Verkehrsbeobachtung wurden österreichweit 12 Kreuzungen ausgewählt und von der zuständigen Fachabteilung des BMIMI aus rechtlicher Sicht freigegeben. Die Verkehrsbeobachtung erfolgte durch eine automatisierte Datenerhebung auf Grund von Videodatenaufzeichnungen. Die Bewegungsmuster der Verkehrsteilnehmer:innen wurden

nachfolgend extrahiert und aus den vollständig anonymisierten Mustern das Verhalten der Radfahrer:innen analysiert. Durch das Bewegungsverhalten, d.h. der Fahrlinien und Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer:innen konnten unterschiedliche Verkehrssicherheits-Metriken analysiert werden und so die Auswirkungen der Grünpfeilverordnung in einem Vorher-Nachher-Vergleich bewertet werden. Es wurden infrastrukturelle Variablen, Regelverhalten und Kritikalitätsmetriken analysiert.

5.3.1 Allgemeine Erkenntnisse

Die Verkehrsbeobachtung erfolgte an 12 Kreuzungen in einem Vorher-Nachher-Beobachtungszeitraum. 26.937 Beobachtungen waren im Vorher- und 43.689 im Nachher-Zeitraum der Datenerhebung. Unterteilt wurden die Kreuzungen in neun Kreuzungen mit Querverkehr und drei T-Kreuzungen. An einer Kreuzung erfolgte eine Langzeiterhebung von mehreren Monaten zur Analyse der zeitlichen Änderung des Verhaltens der Radfahrer:innen. Die meisten Radfahrer:innen sind am Morgen zwischen 7 und 8 Uhr unterwegs. Im Laufe des Vormittags nimmt der Anteil ab und steigt nach der Mittagszeit kontinuierlich wieder an, bis ein Höchstwert gegen 3 Uhr erreicht wird. Auf Grund des Erhebungszeitraums von Mai bis Jänner verschiebt sich der Nachmittags-Peak gemäß den Kalendermonaten. Ebenso ist der Anteil an Radfahrer:innen während der Arbeitswoche deutlich höher als im Vergleich dazu am Wochenende.

5.3.1.1 Infrastrukturmerkmale

Eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h in der Zufahrt der Radfahrer:innen führt zu häufigeren Regelmissachtungen als bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Mit 47,9 % sind deutlich mehr Radfahrer:innen bei Rot nach rechts abgebogen als im Vergleich zu 30,2 %. Hingegen war das Verhalten in der Gruppe „Straight At Red“ umgekehrt. In dieser Verhaltensgruppe haben rund die Hälfte der Radfaher:innen auch bei Rot die Kreuzung überquert, wo es bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h 13,8 % waren. Woraufhin dieser Unterschied besteht kann aus den Daten nicht erklärt werden. Ein nicht-regelkonformes Verhalten bei unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Querverkehr ergibt ein differenzierteres Bild. Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h ist hierbei der Anteil der Gruppe „Straight At Red“ mit 50,4 % deutlich höher als bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Hier wird vermutlich das Gefahrenrisiko bei einer niedrigeren Annäherungsgeschwindigkeit als niedriger bewertet. Durch diesen hohen Anteil der „Straight At Red“ ist der Anteil er „Rule Violation At Red“ mit 30,2 % deutlich geringer,

aber dennoch am zweithäufigsten. Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h ist jedoch diese Verhaltensgruppe mit 46,9 % am häufigsten. Das Befahren des Gehsteigs („Pavement At Red“) ist bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h mit einem Anteil von 25,8 % deutlich häufiger als bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h mit 8,8 %. Das Gefahrenbewusstsein der Verhaltensgruppen „Rule Violation At Red“ und „Pavement At Red“ scheint bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit des Querverkehrs von 50 km/h deutlich geringer zu sein. Da sich die die Radfahrer:innen in der Ausfahrt in dieselbe Richtung bewegen, wird womöglich als weniger Riskant eingeschätzt.

Die vorliegenden Sichtweiten nehmen Einfluss auf das Verhalten der Radfahrer:innen. Ist die Sichtweite ausreichend groß, so nimmt auch die Bereitschaft zu bei Rot die Kreuzung zu überqueren. Als Unterscheidungsgrenze für die Sichtweiten wurde eine Sichtweite von 30 m festgelegt. Bei dieser Distanz kann bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h und rechtzeitiger Reaktion eine Kollision noch verhindert werden. Es werden sehr aufmerksame Fahrzeuglenker:innen angenommen, welche unmittelbar nach Erkennen einer Gefahr reagieren und eine Bremsung einleiten. 45,8 % der Radfahrer:innen haben bei einer Sichtweite von mehr als 30 m noch bei Rot die Kreuzung überquert. Hingegen waren es bei einer Sichtweite von weniger als 30 m 17,4 %. Umgekehrt verhält es ich bei den „Rule Violation At Red". Hier ist der Anteil bei 48,7 % bei der geringeren Sichtweite und 32,1 % bei der größeren Sichtweite. Auch wenn hier nur zwei Kategorien in der Sichtweite unterschieden wurden, ist die Bereitschaft die Kreuzung bei Rot zu überqueren bei einer größeren Sichtweite höher.

5.3.1.2 Verhaltensänderungen

Der Großteil an Beobachtungen betraf Situationen, in welchen die Radfahrer:innen bei Grün nach rechts abbogen oder geradeaus fuhren. Eine Unterscheidung, ob die Radfahrer:innen dabei stehen geblieben sind und danach die Grünphase nutzten, wurde nicht getroffen. Der Anteil der Radfahrer:innen bei Grün war an den Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ bei 80,25 % im Vorher-Beobachtungszeitraum. Dieser veränderte sich nur geringfügig auf 80,39 % im Nachher-Beobachtungszeitraum. An den T-Kreuzungen war der Anteil an Radfahrer:innen, welche bei Grünlicht die Kreuzungen befuhren bei 88,75 % im Vorher-Beobachtungszeitraum und 88,0 % im Nachher-Beobachtungszeitraum. An der Kreuzung zur Langzeiterhebung war der Anteil an Radfaher:innen bei Grün 89,05 % im Vorher-Beobachtungszeitraum und 84,56 % im Nachher-Beobachtungszeitraum. Jedenfalls konnte sowohl an den Kreuzungen mit der

Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“, den T-Kreuzungen und der Kreuzung zur Langzeiterhebung eine Zunahme der nicht-regelkonformen Nutzung des Grünpfeils im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden.

An Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ war der Anteil der „Rule Violation At Red“ von 4,6 % auf 5,7 % gestiegen. Die Odds Ratio in dieser Gruppe war in der Nachher-Erhebung 1,27-mal so hoch im Vergleich zu allen anderen Gruppen (OR = 1,27, 95% CI [1,08, 1,50]). Das bedeutet, dass nach Einführung der Grünpfeilregelung die „Rule Violation At Red“ häufiger aufgetreten sind. Ein negativer Einfluss konnte auch bei den „Straight At Red“ festgestellt werden. In dieser Gruppe erhöhte sich der Anteil von 7,1 % auf 10,9 %. Die Odds Ratio in der Nachher-Erhebung waren 1,61-mal so hoch im Vergleich zu allen anderen Gruppen (OR = 1,61 CI [1,42, 1,84]). Diese Zunahme könnte in Zusammenhang mit dem sogenannten „Spill-Over Effekt“ (Übertragungseffekt) stehen. Die Anteile in der „Stress“ Gruppe haben sich nicht wesentlich verändert (0,68 % vs. 0,89 %). Unabhängig von der Regelung nutzen die Radfahrer:innen noch die letzte Gelegenheit bei vermeintlicher Sicherheit die Straße zu überqueren. Positiv wirkte sich die Grünpfeilregelung offenbar auf die Nutzung der Gehwege aus. Sowohl bei den „Pavement At Red“ (3,0 % auf 1,2 %) als auch bei den „Pavement At Green“ (4,4 % auf 0,8 %) konnte ein Rückgang festgestellt werden. Bei den „Pavement At Red“ waren die Odds Ratio in der Nachher-Erhebung 0,40-mal so hoch im Vergleich zu allen anderen Gruppen (OR = 0,40 CI [0,31, 0,51]). Die Benutzung der Gehwege hat somit deutlich abgenommen. Bei den „Pavement At Green“ waren die Odds Ratio in der Nachher-Erhebung 0,18-mal so hoch im Vergleich zu allen anderen Gruppen (OR = 5,53 CI [4,25, 7,18]). Regelkonformes Verhalten („Rule Compliant At Red“) war hingegen deutlich seltener (OR = 0,42 CI [0,16, 1,08]) und verringerte sich von 0,2 % auf 0,08 %.

An T-Kreuzungen hat sich der Anteil der „Rule Violation At Red“ von 3,97 % auf 6,8 % erhöht. Die Chancen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zu allen anderen Gruppen 1,77-mal so hoch (OR = 1,77, 95% CI [1,21, 2,59]). „Rule Violation At Red“ sind nach Einführung der Grünpfeilregelung häufiger aufgetreten. Bei der Gruppe „Stress“ konnte ebenso eine Zunahme der Relativanteile festgestellt werden. Diese stiegen von 1,18 % auf 4,48 %. Die Chancen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zu allen anderen Gruppen 3,94-mal so hoch (OR = 3,94 CI [2,08, 7,44]). Zu den Verhaltensgruppen „Pavement At Green“, „Pavement At Red“ und „Rule Compliant At Red“ können nur Tendenzen angegeben werden, da zur Ermittlung der Odds Ratio entweder eine Berechnungskorrektur erforderlich war - Nullwerte in einzelnen Zellen („Pavement At Red“, „Rule Compliant At Red“) oder aber das Konfidenzintervall sehr breit war

(„Pavement At Green“), da die Fallzahl in einzelnen Zellen sehr gering war. Für „Pavement At Green“ (OR = 0,02 CI [0,01, 0,10], sehr breites Konfidenzintervall in der Gegenperspektive) und „Pavement At Red“ (OR = 0,02 CI [0,00, 0,33], Haldane-Anscombe Korrektur) ergaben sich tendenziell geringere Chancen der Gehwegnutzung nach Einführung der Grünpfeilregelung. Bei „Rule Compliant At Red“ führte es zu einer tendenziellen Zunahme des regelkonformen Verhaltens (OR = 11,48 CI [0,67, 196,15], Haldane-Anscombe Korrektur).

An der Langzeitkreuzung erhöhte sich der Anteil der „Rule Violation At Red“ von 3,04 % auf 6,57 %. Das Odds Ratio war in der Nachher-Erhebung im Vergleich zu allen anderen Gruppen 2,20-mal so hoch (OR = 2,20 95% CI [2,04, 2,40]). Nicht regelkonformes Verhalten der „Rule Violation At Red“ hat somit deutlich zugenommen. Bei den „Straight At Red“ wurde ebenfalls eine Zunahme der Relativanteile von 1,92 % auf 2,41 % festgestellt. Die Odds Ratio in der Nachher-Erhebung waren 1,24-mal so hoch im Vergleich zu allen anderen Gruppen (OR = 1,24 CI [1,10, 1,40]). Diese Zunahme könnte ebenso in Zusammenhang mit dem sogenannten „Spill-Over Effekt“ (Übertragungseffekt) gebracht werden. Die Anteile in der „Stress“ Gruppe haben sich von 3,58 % auf 4,37 % erhöht. Die Chancen für die Gruppe „Stress“ sind in der Nachher-Erhebung 1,21-mal höher als im Vergleich zu allen anderen Gruppen (OR = 1,21 CI [1,11, 1,33]). Die Benützung des Gehwegs bei Rot („Pavement At Red“) verringerte sich von 1,25 % auf 1,06 % und bei Grün („Pavement At Green“) von 1,14 % auf 0,97 %. Das Odds Ratio für „Pavement At Red“ war in der Nachher-Erhebung im Vergleich zu allen anderen Gruppen 0,76-mal so hoch (OR = 0,76, 95% CI [0,64, 0,89]). Für „Pavement At Green“ ergab sich ein Odds Ratio von 0,83 CI [0,70, 0,98]. Somit war für beide Verhaltensgruppen eine statistisch signifikant geringere Nutzung des Gehwegs festzustellen. Regelkonformes Verhalten („Rule Compliant At Red“) erhöhte sich nur marginal von 0,02 % auf 0,06 %. In der Nachher-Erhebung waren die Chancen dieser Verhaltensgruppe im Vergleich zu allen anderen Gruppen 2,49-mal so hoch (OR = 2,49, 95% CI [0,93, 6,67]), allerdings statistisch nicht signifikant. Obwohl tendenziell die Odds für ein regelkonformes Verhalten erhöht sind, ist der Relativanteil dieser Verhaltensgruppe äußerst gering.

Die Kreuzung mit Langzeitbeobachtung ermöglichte es, das Verhalten der Radfahrer:innen über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Bereits in der ersten Woche nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung konnte eine Änderung des Verhaltens festgestellt werden. Der Anteil der Verhaltensgruppe „Rule Violation At Red“ stieg deutlich an und stabilisierte sich nach etwa zwei Wochen auf einem deutlich höheren Niveau. War der Anteil vor der Kundmachung bei etwa 27 %, so lag dieser nach Kundmachung bei rd. 43 %,

bezogen auf ein nicht-regelkonformes Verhalten. Positiv festzustellen war jedenfalls die geringere Nutzung der Gehwege, was mit einem geringeren Konfliktrisiko mit Fußgänger:innen einhergeht. Wird nur das nicht-regelkonforme Verhalten betrachtet, so reduzierte sich der Anteil von 11,7 % auf 6,9 % („Pavement At Red“) bzw. von 10,4 % auf 6,3 % („Pavement At Green“). Das bedeutet, Radfahrer:innen nehmen Veränderungen in ihrer Umgebung wahr. Eine gewisse Eingewöhnungszeit ist dennoch erforderlich, um sich auf geänderte Umstände einzustellen.

Abbiegen nach rechts bzw. geradeaus fahren ohne vorher anzuhalten ist in der Nachher-Beobachtung deutlich häufiger als in der Vorher-Beobachtung, unabhängig davon, ob Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“, T-Kreuzungen oder die Langzeitkreuzung betrachtet werden. Für alle drei Typen konnte ein höherer Anteil in der Nachher-Erhebung beobachtet werden. An Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ war der Anteil der „Rule Violation At Red“ 5,7 %, an T-Kreuzungen lag dieser bei 6,8 % und an der Langzeitkreuzung bei 6,57 %. Somit liegen bei allen drei Kreuzungstypen die Anteile auf einem ähnlichen Niveau und unterscheiden sich nur geringfügig. Jedenfalls hat der Anteil der „Rule Violation At Red“ in der Nachher-Beobachtung zugenommen. Das korreliert jedoch nicht mit dem Ergebnis der Umfrage zur Regelkenntnis. Darin hat ein Großteil der Teilnehmer:innen angegeben die Regelung zu kennen. Entweder kennen die Radfahrer:innen diese Regelung nicht ausreichend, oder diese wird wissentlich ignoriert und als Vorrang geben interpretiert, ungeachtet dessen, dass auf der Zusatztafel „nach Halt“ vermerkt ist.

5.3.1.3 Kritikalitätsmetriken

Zur Bewertung der Kritikalität wurden die Metriken TTC (Time To Collisoin), PET (Post Encroachment Time), DR (Deceleration Rate) und ED (Euclidean Distance) verwendet. Dabei wurde nach der Interaktion zwischen Radfahrer:innen und Pkw bzw. Radfahrer:innen und Fußgänger:innen unterschieden. Bezogen auf die untersuchten Kritikalitätsmetriken scheint es im Durchschnitt zu keinen besonders gefährlichen Situationen gekommen zu sein.

5.3.1.3.1 Radfahrer:innen und Pkw

An Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ hat sich der Anteil der kritischen TTC von 56,4 % auf 40,7 % reduziert. Das Odds Ratio in der Nachher-Erhebung war 0,53-mal so hoch für kritische Situationen, wie für unkritische Situationen (OR = 0,53,

95% CI [0,31, 0,90]). Kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung seltener aufgetreten. Der Anteil an kritischen ED ist von 37,6 % auf 32,2 % gesunken. Auch für diese Metrik sind die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung seltener (OR = 0,80, 95% CI [0,52, 1,25]). Jedoch konnte für die Metrik DR eine Zunahme festgestellt werden. Der Anteil an kritischen Bremsmanövern ist von 51,9 % auf 81,3 % gestiegen. Kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung 4,04-mal so hoch, wie unkritische Situationen (OR = 4,04, 95% CI [2,47, 6,60]) und sind demnach häufiger als in der Vorher-Erhebung.

Eine Bewertung de Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw an T-Kreuzungen ist auf Grund der sehr geringen Beobachtungen nicht sinnvoll. Es wurden nur fünf Situationen in der Nachher-Erhebung aufgezeichnet. In einer konnte eine kritische TTC festgestellt werden. Bei drei Situationen wurde die als kritisch definierte ED unterschritten. Im Falle der Metrik ED wurden alle fünf Situationen als kritisch bewertet.

An der Kreuzung Langzeiterhebung ist der Anteil der kritischen TTC von 43,9 % auf 27,6 % gesunken. Kritische Situationen sind häufiger in der Vorher-Erhebung aufgetreten. Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,49-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,49, 95% CI [0,29, 0,83]). Bei der Metrik ED konnte ebenfalls eine Reduktion der kritischen Situationen von 35,7 % auf 23,8 % festgestellt werden. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung sind 0,65-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,56, 95% CI [0,36, 0,88]). Der Anteil der kritischen DR hat sich nicht wesentlich verändert und blieb nahezu konstant. In der Vorher-Erhebung war dieser bei 52,0 % und in der Nachher-Erhebung bei 51,4 %. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,97-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,97, 95% CI [0,64, 1,49]) und damit sehr leicht gesunken.

Zusammenfassend kann für die Kritikalitätsmetriken zwischen Radfahrer:innen und Pkw festgehalten werden, dass es nur bei der Metrik DR zu einer statistisch signifikanten Zunahme an kritischen Situationen gekommen ist. Die Chancen kritischer Situationen waren im Nachher-Beobachtungszeitraum deutlich höher. Pkw Lenker:innen mussten deutlich stärker verzögern um eine potentielle Kollision zu vermeiden. Allerdings ist der festgelegte Grenzwert zur Unterscheidung zwischen kritischen und unkritischen Situationen mit 2 m/s² auf einem niedrigen Niveau. Bei einem entsprechend höheren Grenzwert würden sich die Anteile kritischer Situationen reduzieren.

5.3.1.3.2 Radfahrer:innen und Fußgänger:innen

An Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ hat sich der Anteil der kritischen TTC von 61,3 % auf 48,8 % reduziert. Das Odds Ratio in der Nachher-Erhebung war 0,60-mal so hoch für kritische Situationen, wie für unkritische Situationen (OR = 0,60, 95% CI [0,47, 0,77]). Kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung seltener aufgetreten. Ebenso konnte bei der PET ein Rückgang der kritischen Situationen von 23,2 % auf 13,6 % festgestellt werden. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,52-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,52, 95% CI [0,33, 0,84]). Kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung seltener aufgetreten. Der Anteil an kritischen ED ist von 63,5 % auf 56,5 % gesunken. Auch für diese Metrik sind die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung seltener (OR = 0,75, 95% CI [0,59, 0,95]).

An T-Kreuzungen ist ein ähnliches Bild festzustellen. Der Anteil an kritischen TTC ist von 62,6 % auf 50,0 % gesunken. Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,60-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,60, 95% CI [0,24, 1,44]). Das bedeutet, kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener. Auf Grund der festgelegten Grenzwerte kritischer PET, waren in der Nachher-Erhebung keine Situationen, zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen, welche als kritisch gelten würden. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung sind 0,46-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,46, 95% CI [0,02, 9,17], Haldane–Anscombe-Korrektur), und bedeutet, dass kritische Situationen tendenziell seltener in der Nachher-Erhebung aufgetreten sind. Bei der ED ist der Anteil kritischer Situationen von 68,0 % auf 55,2 % gesunken. Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,58-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,58, 95% CI [0,25, 1,35]). Kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung seltener aufgetreten.

An der Kreuzung Langzeiterhebung konnte ein Rückgang des Anteils an Situationen mit kritische TTC von 80,8 % auf 77,1 % festgestellt werden. Kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener aufgetreten (OR = 0,80, 95% CI [0,49, 1,32]). Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,80-mal so hoch. Der Anteil kritischer PET hat sich nur unwesentlich von 4,7 % auf 4,4 % verändert. Tendenziell waren kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung niedriger (OR = 0,93, 95% CI [0,35, 2,52]). Auch bei der ED blieb der Anteil kritischen ED nahezu unverändert (von 81,4 % auf 82,6 % gesunken). Die

Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,09-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 1,09, 95% CI [0,67, 1,78]). Tendenziell sind kritische Situationen in der Nachher-Erhebung häufiger aufgetreten.

Zusammenfassend kann für die Kritikalitätsmetriken zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen keine Zunahme an Gefahrensituationen, entsprechend der definierten Grenzwerte, im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden. Weder war dies bei den Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ noch bei T-Kreuzungen der Fall. Auch bei der Kreuzung Langzeiterhebung nahmen kritische Situationen nicht zu. Lediglich für die Metrik ED konnte eine tendenziell höheres Odds Ratio festgestellt werden, jedoch statistisch nicht signifikant.

5.3.2 Hypothese 11: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen in der Zufahrt der Radfahrer:innen.

Das Regelverhalten der Radfahrer:innen in der Zufahrt unterscheidet sich statistisch signifikant bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen ($\chi^2(5, N = 1.678) = 162,62$, $p = 0,000$, $V = 0,31$). Ein Nicht-regelkonformes Verhalten bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h konnte insbesondere bei den „Rule Violation At Red“ (standardisierte Residuen +4,54) festgestellt werden. Es kam aber auch die Nutzung des Gehsteigs deutlich häufiger vor, als erwartet (standardisierte Residuen +4,69). Ebenso sind Radfahrer:innen, die noch bei Gelb („Stress“) in die Kreuzung einfahren, deutlich überrepräsentiert (standardisierte Residuen +3,08). Die beiden Verhaltensgruppen können möglicherweise mit einer geringeren Gefährdungseinschätzung bei der niedrigeren zulässigen Geschwindigkeitsbeschränkung erklärt werden. Hingegen kann das Verhalten bei „Straight At Red“ und einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h nicht erklärt werden (standardisierte Residuen +4,41). Das Gefahrenbewusstsein müsste hierbei höher sein und die Radfahrer:innen eher anhalten, als noch bei Rot die Kreuzung überqueren.

Die Nullhypothese wird verworfen. Es besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und der Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt.

5.3.3 Hypothese 12: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen des Querverkehrs.

Die Analyse des Regelverhaltens bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen im Querverkehr ergab einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(10, N = 1.678) = 195{,}57$, $p = 0{,}000$, $V = 0{,}24$. Bis auf das Verhalten „Straight At Red“ sind alle anderen Verhaltensgruppen bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h deutlich unterrepräsentiert (standardisierte Residuen +4,41). Höhere Querverkehrsgeschwindigkeiten werden von Radfahrer:innen offenbar als riskanter eingeschätzt, was Rotquerungen durch Radfahrer:innen reduziert (standardisierte Residuen bei 50 km/h -6,0). Bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h sind die „Rule Violation At Red“ deutlich überrepräsentiert (standardisierte Residuen +3,08). Im Auslauf bewegen sich die Radfahrer:innen in dieselbe Richtung, was womöglich als weniger Riskant eingeschätzt wird, ungeachtet der Querverkehrsgeschwindigkeit. Auffällig ist auch die deutlich häufigere Benutzung des Gehsteigs als Abkürzung (standardisierte Residuen +6,14). Auch das könnte mit einer geringeren Einschätzung eines Unfallrisikos zu tun haben, da sich die Radfahrer:innen nach dem Abbiegen in den richtungsgleichen Verkehr einordnen.

Die Nullhypothese wird verworfen. Es besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und der Geschwindigkeitsbeschränkung des Querverkehrs.

5.3.4 Hypothese 13: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und Kreuzungen mit und ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen.

Ein Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen zur Kreuzung beeinflusst das Verhalten der Radfahrer:innen. Ein Chi²-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen Kreuzungen mit und ohne Radfahrstreifen, $\chi^2(5, N = 1.678) = 415{,}09$, $p = 0{,}000$, $V = 0{,}50$. Insbesondere begünstigt ein Radfahrstreifen das Queren bei Rot („Straight At Red“, standardisierte Residuen +6,95). Hingegen ist an Kreuzungen ohne einen Radfahrstreifen ein Queren bei Rot deutlich unterrepräsentiert (standardisierte Residuen -10,89). Der Gehsteig wird bei Kreuzungen ohne Radfahrstreifen deutlich häufiger als Ausweichstrecke benutzt. Die standardisierten Residuen sind für „Pavement At Green“ bei +9,87 und für „Pavement At Red“ bei +8,06. Ebenfalls sind Radfahrer:innen im Hinblick auf die

Grünpfeilregelung („Rule Compliant At Red“) deutlich häufiger regeltreu (standardisierte Residuen 2,03). Aber auch noch bei Gelblicht in die Kreuzung einfahren ist deutlich häufiger als erwartet (standardisierte Residuen 2,44).

Die Nullhypothese wird verworfen. Es besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und Vorliegen eines Radfahrstreifens.

5.3.5 Hypothese 14: Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und unterschiedlichen Sichtweiten.

Bei größeren Sichtweiten (>=30 m) ist eine deutlich höhere Bereitschaft zu erkennen, auch bei Rot die Kreuzung geradeaus zu queren. Die standardisierten Residuen sind bei diesem Verhalten („Straight At Red“) am höchsten (+1,95). Hingegen erfolgt bei Kreuzungen mit geringerer Sichtweite ein nicht-regelkonformes Abbiegen bei Rot („Rule Violation At Red“) sowie ein Einfahren in die die Kreuzung bei Gelblicht („Stress“) deutlich häufiger. Die standardisierten Residuen ergeben sich zu +3,52 bzw. +3,98. Aber auch das regelkonforme Abbiegen bei Rot („Rule Compliant At Red“) ist bei geringeren Sichtweiten deutlich häufiger (standardisierte Residuen +2,3). Für die Analyse der Sichtweiten ergab ein Chi²-Test einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Sichtweiten kleiner 30 m und größer als 30 m, $\chi^2(5, N = 1.678) = 74,22$, $p = 0,000$, $V = 0,21$.

Die Nullhypothese wird verworfen. Es besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Regelverhalten der Radfahrer:innen und der Sichtweite.

5.3.6 Hypothese 15: Das Regelverhalten der Radfahrer:innen ändert sich nicht durch die Grünpfeilregelung.

Das Regelverhalten der Radfahrer:innen hat sich durch die Grünpfeilregelung in der Vorher-Nachher-Beobachtung verändert. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab für Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Verhaltensgruppen und der Vorher-Nachher-Beobachtung, $\chi^2(7, N = 14.256) = 790,2$, $p = 0,000$. Eine statistisch signifikante Zunahme konnte bei den

„Straight At Red“ (standardisierte Residuen +3,9) festgestellt werden. Bei den „Pavement At Green“ (standardisierte Residuen -8,01) als auch bei den „Pavement At Red“ (standardisierte Residuen -4,2) konnte ein deutlich geringer Anteil an Radfahrer:innen festgestellt werden.

Ebenso konnte an T-Kreuzungen eine Änderung des Verhaltens der Radfahrer:innen festgestellt werden. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Verhaltensgruppen und der Vorher-Nachher-Beobachtung, $\chi^2(5, N = 2.650) = 131,40$, $p = 0,000$. An T-Kreuzungen wurde eine statistisch signifikante Zunahme der Gruppen „Stress“ festgestellt (standardisierte Residuen +2,65). Hingegen reduzierte sich die Benutzung des Gehsteigs signifikant, sowohl bei den „Pavement At Green“ (standardisierte Residuen -8,01) als auch bei den „Pavement At Red“ (standardisierte Residuen -4,2).

An der Kreuzung zur Beobachtung des Langzeitverhaltens konnte ebenfalls ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Verhalten und der Grünpfeilregelung festgestellt werden. Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Verhaltensgruppen und der Vorher-Nachher-Beobachtung, $\chi^2(5, N = 7.329) = 182,24$, $p = 0,000$. Signifikante Änderungen gab es bei den „Rule Violation At Red“ (standardisierte Residuen +5,47) und die „Pavement At Green“ (standardisierte Residuen -3,37) bzw. die „Pavement At Red“ (standardisierte Residuen -3,8).

Die Nullhypothese für Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ wird verworfen. Es besteht ein statistischer signifikanter Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung.

Die Nullhypothese für T-Kreuzungen wird verworfen. Es besteht ein statistischer signifikanter Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung.

Die Nullhypothese für die Kreuzung mit der Langzeiterhebung wird verworfen. Es besteht ein statistischer signifikanter Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung.

5.3.7 Hypothese 16: Der Anteil der Radfahrer:innen, die bei Rot geradeaus fahren, ist vor und nach der Einführung der Grünpfeilregelung gleich.

Ein Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest ergab für Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Verhaltensgruppen und der Vorher-Nachher-Beobachtung, $\chi^2(7, N = 14.256) = 790,2$, $p = 0,000$. Eine statistisch signifikante Zunahme konnte bei den „Straight At Red“ (standardisierte Residuen +3,9) festgestellt werden. Diese Zunahme könnte auf einen sogenannten „Spill-Over Effekt“ (Übertragungseffekt) zurückzuführen sein. Unter dem Übertragungseffekt wird ein Vorgang verstanden, bei dem Zustand einen anderen Zustand beeinflusst. Die Möglichkeit bei Rot nach rechts abbiegen, wird auch für das geradeaus fahren bei Rot genutzt. Bei der Kreuzung mit Langzeiterhebung konnte dieser Effekt nicht festgestellt werden. An dieser Kreuzung hat der Anteil bei den „Straight At Red“ abgenommen. Allerdings besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang in den anderen Verhaltensgruppen.

Die Nullhypothese für Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ wird verworfen. Es besteht ein statistischer signifikanter Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung.

Die Nullhypothese für die Kreuzung mit der Langzeiterhebung wird verworfen. Es besteht ein statistischer signifikanter Zusammenhang mit der Grünpfeilregelung und dem Verhalten „Straight At Red".

5.3.8 Hypothese 17: Es besteht kein Unterschied im Anteil nicht-regelkonformen Verhaltens zwischen Wochenenden und Wochentagen

Die Auswertung des Verhaltens bezogen auf die Wochentag ergab, gemäß eines Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest, keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen, $\chi^2(7, N = 14.256) = 10,59$, $p = 0,158$.

Die Nullhypothese für die Kreuzung mit der Langzeiterhebung wird nicht verworfen.

5.3.9 Hypothese 18: Bei Radfahrer:innen und Pkw besteht kein Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Situationen einzelner Metriken und der Grünpfeilregelung.

5.3.9.1 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw an Kreuzungen

Die durchschnittliche TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw hat sich in der Nachher-Erhebung auf 3,4 s (SA=4,4) erhöht. In der Vorher-Erhebung konnte eine durchschnittliche TTC von 2,0 s (SA=1,9) festgestellt werden. Ebenso konnte das beim Median festgestellt werden (Mdn = 1,3 s, IQR=2,0 vs. Mdn = 1,8 s, IQR=2,5). Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied in der TTC im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 6,40$, $p = 0,011$, $\varepsilon^2 = 0,023$. Wird eine TTC von kleiner oder gleich 1,5 s als kritisch eingestuft, so konnte in der Nachher-Erhebung ein geringerer Anteil (40,7 %) an kritischen Situationen festgestellt werden als in der Vorher-Erhebung (56,4 %). Ein Fisher-Exakt-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,024$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Jedoch waren die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung, im Vergleich zur Vorher-Erhebung, 0,53-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,53, 95% CI [0,31, 0,90]). Das heißt, die Grünpfeilregelung hatte keine negativen Auswirkungen auf die Metrik TTC.

Der durchschnittliche Abstand (ED) zwischen Radfahrer:innen und Pkw hat sich in der Nachher-Erhebung auf 12,4 m (SA=8,2) erhöht. In der Vorher-Erhebung konnte ein Median von 8,5 m (IQR=9,4) und in der Nachher-Erhebung ein Median von 10,0 m (IQR=11,4) festgestellt werden. Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 2,93$, $p = 0,087$, $\varepsilon^2 = 0,005$. Der Anteil an kritischen Situationen war in der Nachher-Erhebung (32,7 %) tendenziell geringer als in der Vorher-Erhebung (37,6 %). Als kritischer Abstand zwischen den Radfahrer:innen und Pkw wurde ein Abstand von 7,0 m festgelegt. Ein Fisher-Exakt-Test ergab keinen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,372$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung, im Vergleich zur Vorher-Erhebung, ist 0,80-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,80, 95% CI [0,52, 1,25]). Die Grünpfeilregelung hat keine negativen Auswirkungen auf die Metrik ED. Tendenziell ist die ED nach Kundmachung der Grünpfeilregelung höher.

Die mittlere Verzögerung als Indiz für eine erhöhte Notwendigkeit von Gefahrenbremsungen war in der Nachher-Erhebung signifikant höher (9,0 m/s² (SA=12,2)) als in der Vorher-Erhebung (5,5 m/s² (SA=13,1)). Die Medianwerte ergaben sich zu

2,2 m/s² (IQR=3,0) bzw. 3,9 m/s² (IQR=9,0). Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied in der Vorher-Nachher-Erhebung, H(1) = 41,18, p = 0,000, ε² = 0,112. Kritische Verzögerungen waren in der Nachher-Erhebung deutlich häufiger (81,3 %) als in der Vorher-Erhebung (51,9 %). Ein Fisher-Exakt-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,000) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für eine kritische (vs. unkritische) Verzögerung sind nach der Einführung der Grünpfeilregelung im Vergleich zur Erhebung vor der Grünpfeilregelung um den Faktor 4,04 erhöht (OR = 4,04, 95% CI [2,47, 6,60]). Das heißt, die Lenker:innen von Pkw müssen nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung deutlich stärker mit einer Bremsverzögerung reagieren, als davor.

Die Nullhypothese in Bezug auf die TTC wird verworfen; die TTC ist nach Einführung der Grünpfeilregelung höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat keinen negativen Einfluss auf die Metrik TTC und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener.

Die Nullhypothese in Bezug auf die ED wird nicht verworfen; die ED ist nach Einführung der Grünpfeilregelung tendenziell höher als davor.

Die Nullhypothese in Bezug auf die DR wird verworfen; die DR ist nach Einführung der Grünpfeilregelung höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat einen negativen Einfluss auf die Metrik DR und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung häufiger.

5.3.9.2 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw an T-Kreuzungen

Für die Bewertung der TTC in der Nachher-Erhebung standen nur drei Beobachtungen zu Verfügung. Eine Situation wurde als kritisch und zwei als unkritisch bewertet. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 1,000) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung sind 1,88-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 1,88, 95% CI [0,13, 26,32]). Auf Grund der geringen Fallzahl ist dies jedoch vorsichtig zu interpretieren.

Die Analyse der ED ergibt ein ähnliches Bild, wenngleich es in der Nachher-Erhebung fünf Beobachtungen gab. Der Anteil der kritischen ED hat sich von 6,2 % auf 60,0 % erhöht. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,008) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im

Vergleich zur Vorher-Erhebung 22,50-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 22,50, 95% CI [2,65, 190,69]). Auch hier sollten die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden.

Der Anteil der kritischen DR blieb nahezu unverändert und erhöhte sich geringfügig von 48,0 % auf 48,6 %. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (p = 1,000) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 1,39-mal so hoch sind, wie für unkritische Situationen (OR = 1,39, 95% CI [0,07, 28,73]). Es wurde eine Haldane–Anscombe-Korrektur (+0.5) angewendet, um Odds Ratio und Konfidenzintervalle berechnen zu können. Daher sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren.

Die Nullhypothese in Bezug auf kritische Situationen der TTC wird nicht verworfen. Die Grünpfeilregelung hat tendenziell keinen negativen Einfluss auf die Metrik TTC. Auf Grund der geringen Fallzahl ist dies jedoch vorsichtig zu interpretieren.

Die Nullhypothese in Bezug auf kritische Situationen der ED wird verworfen. Kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung häufiger. Auf Grund der geringen Fallzahl ist dies jedoch vorsichtig zu interpretieren.

Die Nullhypothese in Bezug auf kritische Situationen der DR wird nicht verworfen. Die Grünpfeilregelung hat tendenziell keinen negativen Einfluss auf die Metrik DR. Kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung häufiger, jedoch durch eine Haldane-Anscombe-Korrektur bewertet.

5.3.9.3 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw an der Kreuzung Langzeiterhebung

Die durchschnittliche TTC (3,2 s, SA=2,2) bzw. der Median (Mdn=2,8 s, IQR=3,1) war in der Nachher-Erhebung höher als in der Vorher-Erhebung (Mdn=2,3 s, SA=2,2) bzw. der Median (Mdn=1,6 s, IQR=1,9). Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 14,35$, $p = 0,000$, $\varepsilon^2 = 0,028$. Bezogen auf eine kritische TTC ist der Anteil an kritischen Situationen in der Nachher-Erhebung auf 27,6 % gesunken. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang (p = 0,009) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Odds für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im

Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,49-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,49, 95% CI [0,29, 0,83]). Die Grünpfeilregelung hat keine negativen Auswirkungen auf die Metrik TTC.

Der durchschnittliche minimale Abstand (ED) zwischen Radfahrer:innen und Pkw ist von 10,4 m (SA=6,3) bzw. der Median von 9,6 m (IQR=9,7) auf 11,7 m (SA=6,0) bzw. auf 10,6 m (IQR=8,1) gestiegen. Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 5,11$, $p = 0,024$, $\varepsilon^2 = 0,006$. Der Anteil kritischer Abstände ist von 35,7 % auf 23,8 % gesunken. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,017$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Allerdings sind die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,65-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,56, 95% CI [0,36, 0,88]). Die Grünpfeilregelung hat keine negativen Auswirkungen auf die Metrik ED.

Die durchschnittliche Verzögerung (DR) ist in der Nachher-Erhebung niedriger (2,3 m/s², SA=1,7) als in der Vorher-Erhebung (4,2 m/s², SA=14,4). Der Median blieb nahezu unverändert (Mdn=2,1m/s², IQR=1,3 vs. Mdn=2,0 m/s², IQR=1,1). Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 0,01$, $p = 0,925$, $\varepsilon^2 = -0,001$. Bei der Analyse der als kritisch eingestuften Verzögerungswerte konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden (Fisher-Exakt-Test, $p = 0,914$). Der Anteil in der Vorher-Erhebung lag bei 52,0 % und in der Nachher-Erhebung bei 51,4 %. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung sind im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,97-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,97, 95% CI [0,64, 1,49]). Die Grünpfeilregelung hat keine negativen Auswirkungen auf die Metrik DR.

Die Nullhypothese in Bezug auf die TTC wird verworfen; die TTC ist nach Einführung der Grünpfeilregelung höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat keinen negativen Einfluss auf die Metrik TTC und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener.

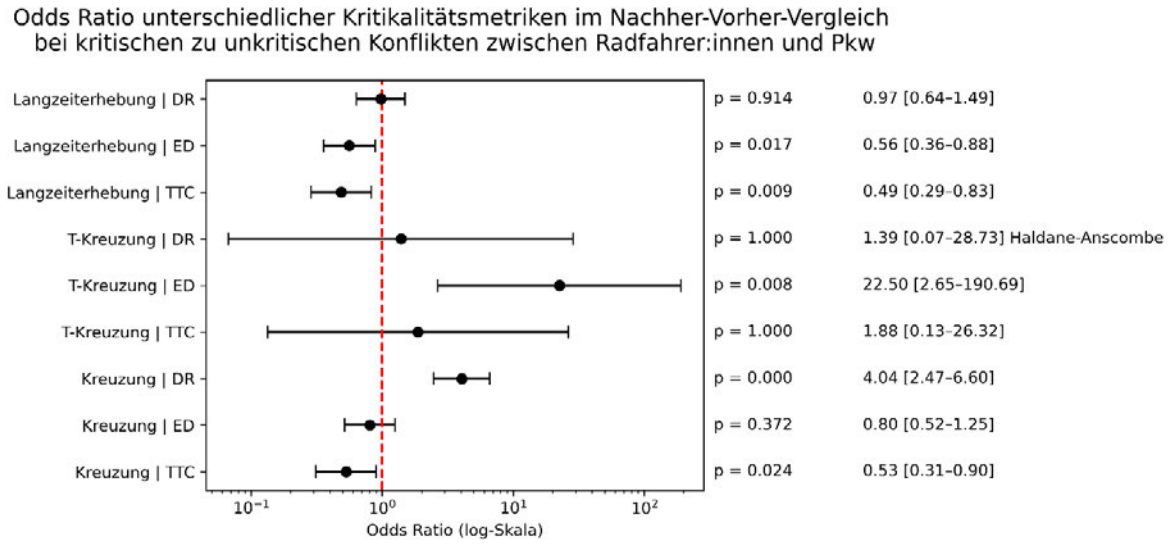
Die Nullhypothese in Bezug auf die ED wird verworfen; die ED ist nach Einführung der Grünpfeilregelung höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat keinen negativen Einfluss auf die Metrik ED und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener.

Die Nullhypothese in Bezug auf die DR wird nicht verworfen.

5.3.9.4 Zusammenfassung Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw

In Abbildung 129 ist der Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Konflikten der untersuchten Metriken im Nachher-Vorher-Vergleich zusammenfassend dargestellt. Statistisch signifikante Zusammenhänge konnten an den Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ für die Metriken TTC und DR, and T-Kreuzungen für die Metrik ED und an der Langzeiterhebung für die Metrik TTC und ED festgestellt werden. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung waren nur an den Kreuzungen für die Metrik DR und an T-Kreuzungen für die Metrik ED erhöht. Es deutet darauf hin, dass Lenker:innen von Pkw durchwegs häufiger eine Verzögerung höherer Intensität einleiten mussten, um potenzielle Kollisionen zu vermeiden. Die höheren Chancen für die ED an T-Kreuzungen sind zwar statistisch signifikant, jedoch wurden in der Nachher-Erhebung nur fünf Situationen beobachtet. Drei davon wurden als kritisch und zwei als unkritisch klassifiziert.

Abbildung 129: Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Konflikten im Nachher-Vorher-Vergleich zwischen Radfahrer:innen und Pkw



5.3.10 Hypothese 19: Bei Radfahrer:innen und Fußgänger:innen besteht kein Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Situationen einzelner Metriken und der Grünpfeilregelung.

5.3.10.1 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen an Kreuzungen

Die durchschnittliche TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen hat sich in der Nachher-Erhebung auf 2,0 s (SA=1,3) erhöht (Vorher-Erhebung 1,6 s, SA=2,1). In der Vorher-Erhebung konnte eine durchschnittliche TTC von 1,6 s (SA=2,1) festgestellt werden. Die Median TTC erhöhte sich von 1,1 s (IQR=1,9) auf 1,5 s (IQR=2,1). Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied in der TTC im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 33,93$, $p = 0,000$, $\varepsilon^2 = 0,026$. Der Anteil an kritischen Situationen lag in der Vorher-Erhebung bei 61,3 % und reduzierte sich auf 48,8 %. Ein Fisher-Exakt-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,000$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung, im Vergleich zur Vorher-Erhebung, 0,60-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,60, 95% CI [0,47, 0,77]). Kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener. Das heißt, die Grünpfeilregelung hatte keine negativen Auswirkungen auf die Metrik TTC.

Bei der PET konnte keine statistisch signifikante Änderung im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden (Kruskal–Wallis Test, $H(1) = 0,00$, $p = 0,983$, $\varepsilon^2 = -0,001$). Die durchschnittliche PET war in der Vorher-Erhebung 6,6 s (SA=6,8) höher als in der Nachher-Erhebung (5,7 s (SA=4,9). Die Median PET änderte sich nur geringfügig von 4,3 s (IQR=7,7) auf 4,4 s (IQR=6,2). Der Anteil an Situationen, welche als potenziell kritisch eingestuft werden, ist von 23,3 % auf 13,6 % gesunken. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,006$) zwischen im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,52-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,52, 95% CI [0,33, 0,84]). Das heißt, die Grünpfeilregelung hatte keine negativen Auswirkungen auf die Metrik ED.

Die durchschnittliche ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen hat sich von 6,0 m (SA=5,1) auf 6,8 m (SA=4,6) bzw. der Median von 4,4 m (IQR=7,7) auf 5,8 m (IQR=7,2) erhöht. Ein Kruskal–Wallis ergab einen signifikanten Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 17,09$, $p = 0,000$, $\varepsilon^2 = 0,011$. Der Anteil kritischer Abstände zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen ist von 63,5 % auf 56,5 % gesunken. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,020$) im Vorher-

Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung sind 0,75-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,76, 95% CI [0,59, 0,95]). Die Grünpfeilregelung hat keine negativen Auswirkungen auf die Metrik ED.

Die Nullhypothese in Bezug auf die TTC wird verworfen; die TTC ist nach Einführung der Grünpfeilregelung höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat keinen negativen Einfluss auf die Metrik TTC und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener.

Die Nullhypothese in Bezug auf die PET wird verworfen; die PET ist nach Einführung der Grünpfeilregelung höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat keinen negativen Einfluss auf die Metrik PET und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener.

Die Nullhypothese in Bezug auf die ED wird verworfen; die ED ist nach Einführung der Grünpfeilregelung höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat keinen negativen Einfluss auf die Metrik ED und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener.

5.3.10.2 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen an T-Kreuzungen

Die durchschnittliche TTC war in der Vorher-Erhebung bei 1,7 s (SA=1,7) und in der Nachher-Erhebung ebenfalls bei 1,7 s (SA=1,2). Die Median TTC erhöhte sich von 1,1 s (IQR=1,3) auf 1,4 s (IQR=1,5). Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied in der TTC im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 0,09$, $p = 0,758$, $\varepsilon^2 = -0,008$. Der Anteil an kritischen Situationen lag in der Vorher-Erhebung bei 62,6 % und reduzierte sich auf 50,0 %. Ein Fisher-Exakt-Test ergab jedoch keinen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,265$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung, im Vergleich zur Vorher-Erhebung, 0,60-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,60, 95% CI [0,24, 1,44]). Kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener. Das heißt, die Grünpfeilregelung wirkt sich tendenziell nicht negativ auf die Metrik TTC aus.

Bei der PET konnte keine statistisch signifikante Änderung im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden (Kruskal–Wallis Test, $H(1) = 0,29$, $p = 0,593$, $\varepsilon^2 = -0,008$). Die

durchschnittliche PET war in der Vorher-Erhebung 6,3 s (SA=6,9) höher als in der Nachher-Erhebung (5,0 s (SA=4,1). Die Median PET änderte sich von 3,9 s (IQR=4,3) auf 4,7 s (IQR=4,2). Der Anteil an Situationen, welche als potenziell kritisch eingestuft werden, war in der Vorher-Erhebung bei 4,2 %. In der Nachher-Erhebung wurde keine kritische Situationen festgestellt. Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,46-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,46, 95% CI [0,02, 9,17]). Um die Odds Ratio und Konfidenzintervalle berechnen zu können wurde eine Haldane–Anscombe-Korrektur (+0.5) angewendet und die Ergebnisse sind daher vorsichtig zu interpretieren.

Die durchschnittliche ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen hat sich von 6,6 m (SA=4,6) auf 7,7 m (SA=5,5) bzw. der Median von 5,1 m (IQR=5,4) auf 5,4 m (IQR=9,0) erhöht. Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 0,45$, $p = 0,502$, $\varepsilon^2 = -0,004$. Der Anteil kritischer Abstände zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen ist von 68,0 % auf 55,2 % gesunken. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,020$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung sind 0,58-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,58, 95% CI [0,25, 1,35]). Die Grünpfeilregelung hat keine negativen Auswirkungen auf die Metrik ED.

Die Nullhypothese in Bezug auf die TTC wird nicht verworfen; die TTC hat sich nach Einführung der Grünpfeilregelung nicht verändert. Die Grünpfeilregelung hat tendenziell keinen negativen Einfluss auf die Metrik TTC und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener.

Die Nullhypothese in Bezug auf die PET wird nicht verworfen; die PET ist nach Einführung der Grünpfeilregelung tendenziell niedriger. Kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener, jedoch durch eine Haldane-Anscombe-Korrektur bewertet.

Die Nullhypothese in Bezug auf die ED wird nicht verworfen; die ED ist nach Einführung der Grünpfeilregelung tendenziell höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat keinen negativen Einfluss auf die Metrik ED und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung seltener.

5.3.10.3 Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen an der Kreuzung Langzeiterhebung

Die durchschnittliche TTC war in der Vorher-Erhebung bei 1,0 s (SA=1,1) und in der Nachher-Erhebung bei 1,1 s (SA=1,0). Die Median TTC erhöhte sich von 0,7 s (IQR=0,9) auf 0,8 s (IQR=1,0). Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied in der TTC im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 2,26$, $p = 0,133$, $\varepsilon^2 = 0,002$. Der Anteil an kritischen Situationen lag in der Vorher-Erhebung bei 80,8 % und reduzierte sich leicht auf 77,1 %. Ein Fisher-Exakt-Test ergab jedoch keinen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,465$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung, im Vergleich zur Vorher-Erhebung, 0,80-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,80, 95% CI [0,49, 1,32]). Kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener. Das heißt, die Grünpfeilregelung wirkt sich tendenziell nicht negativ auf die Metrik TTC aus.

Bei der PET konnte keine statistisch signifikante Änderung im Vorher-Nachher-Vergleich festgestellt werden (Kruskal–Wallis Test, $H(1) = 0,57$, $p = 0,449$, $\varepsilon^2 = -0,001$). Die durchschnittliche PET war in der Vorher-Erhebung 5,4 s (SA=3,5) höher als in der Nachher-Erhebung (5,1 s (SA=3,4). Die Median PET änderte sich von 4,1 s (IQR=4,2) auf 4,2 s (IQR=4,2). Der Anteil an Situationen, welche als potenziell kritisch eingestuft werden, war in der Vorher-Erhebung bei 4,2 %. In der Nachher-Erhebung wurde keine kritische Situationen festgestellt. Ein Fisher-Exakt-Test ergab jedoch keinen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,800$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen sind in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung 0,93-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 0,93, 95% CI [0,35, 2,52]).

Die durchschnittliche ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen hat sich von 4,9 m (SA=4,1) auf 4,7 m (SA=3,6) bzw. der Median von 3,6 m (IQR=3,7) auf 3,7 m (IQR=3,6) geringfügig geändert. Ein Kruskal–Wallis ergab keinen signifikanten Unterschied im Vorher-Nachher-Vergleich, $H(1) = 0,01$, $p = 0,930$, $\varepsilon^2 = -0,001$. Der Anteil kritischer Abstände zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen ist von 81,4 % auf 82,6 % leicht gestiegen. Ein Fisher-Exakt-Test zeigte keinen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,703$) im Vorher-Nachher-Vergleich. Die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung sind 1,09-mal so hoch, wie für unkritische Situationen (OR = 1,09, 95% CI [0,67, 1,78]). Die Grünpfeilregelung wirkt sich tendenziell leicht negativ auf die Metrik ED aus.

Die Nullhypothese in Bezug auf die TTC wird nicht verworfen; die TTC hat sich nach Einführung der Grünpfeilregelung nicht verändert. Die Grünpfeilregelung hat tendenziell keinen negativen Einfluss auf die Metrik TTC und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener.

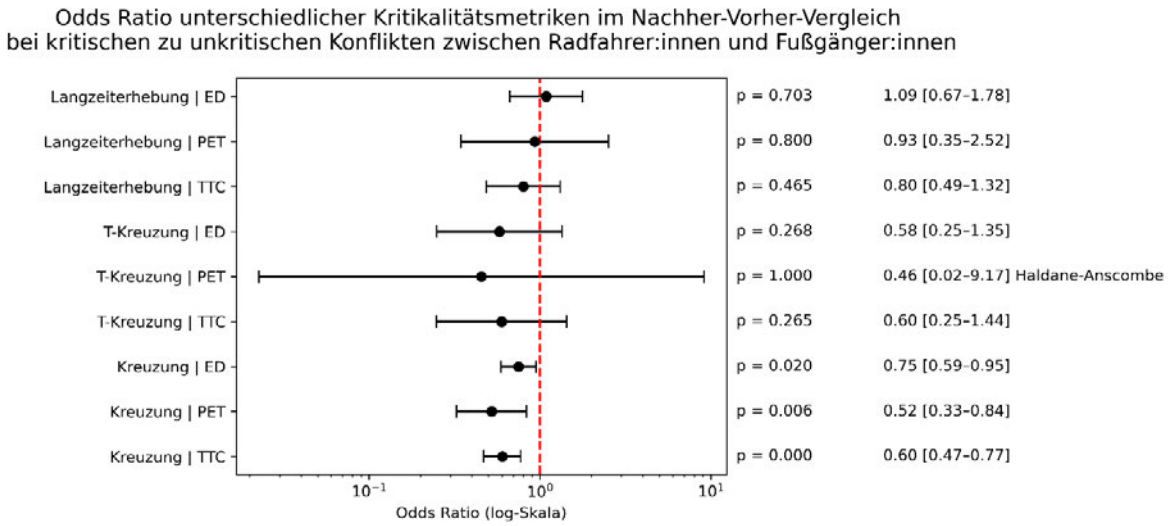
Die Nullhypothese in Bezug auf die PET wird nicht verworfen; die PET ist nach Einführung der Grünpfeilregelung tendenziell niedriger. Kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell seltener.

Die Nullhypothese in Bezug auf die ED wird nicht verworfen; die ED ist nach Einführung der Grünpfeilregelung tendenziell etwas höher als davor. Die Grünpfeilregelung hat tendenziell einen leicht negativen Einfluss auf die Metrik ED und kritische Situationen waren in der Nachher-Erhebung tendenziell häufiger.

5.3.10.4 Zusammenfassung Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen

In Abbildung 130 ist der Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Konflikten der untersuchten Metriken im Nachher-Vorher-Vergleich zusammenfassend dargestellt. Statistisch signifikante Zusammenhänge konnten nur an den Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ festgestellt werden. Allerdings waren hierbei die Chancen für kritische Situationen in der Nachher-Erhebung im Vergleich zur Vorher-Erhebung durchwegs statistisch signifikant geringer.

Abbildung 130: Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Konflikten im Nachher-Vorher-Vergleich zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen



5.4 Einsatzkriterien für die Grünpfeilregelung - Arbeitspapier Nr. 36

Im Folgenden werden jene Kriterien, welche entweder direkt oder indirekt analysiert wurden, bewertet.

5.4.1 Kreuzungen

5.4.1.1 Geschwindigkeit

Ein Abbiegen nach rechts, ohne vorher anzuhalten („Rule Violation At Red“), ist bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h signifikant häufiger als bei 30 km/h. Bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 30 km/h zeigte sich aber auch ein signifikant höherer Anteil an Radfahrer:innen, welche die Kreuzung bei Rot geradeaus überquerten. Bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h kommt allerdings auch noch dazu, dass Radfahrer:innen deutlich häufiger den Gehweg als Abkürzung nutzten und sich vermutlich nach der Kreuzung in den Verkehr einordnen. Die Einschränkung der zulässigen Annäherungsgeschwindigkeit der Zufahrt 2 von mehr als 50 km/h ist daher jedenfalls zu vermeiden, insbesondere im Zusammenhang mit zulässigen Anfahrsichtweiten.

5.4.1.2 Anfahrsichtweiten

Bezogen zum Regelverhalten der Radfahrer:innen ist bei geringerer Sichtweite ein Abbiegen nach rechts („Rule Violation At Red“) und bei einer durchschnittlichen Sichtweite von mehr als 30 m das geradeaus Queren („Straight At Red“) die häufigste Regelmissachtung. Bei einer angenommenen Vorbremszeit (Reaktionszeit) von einer Sekunde und einer Notbremsung mit 7 m/s² würde bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h eine Sichtweite von etwas weniger als 30 m eine Kollision verhindern. Dies unter der Annahme einer unmittelbaren Reaktion auf das Einfahren der Radfahrer:innen. Die erforderlichen Anfahrsichtweiten für die sich auf Zufahrt 2 annähernden Fahrzeuge sind im Arbeitspapier 36, gemäß RVS 03.05.12 (Tabelle 9), festgelegt. Hierbei wäre bei einer zulässigen Geschwindigkeit des Querverkehrs von 50 km/h eine Sichtweite von 70 m erforderlich. Bei 30 km/h wäre die erforderliche Sichtweite 35 m. Geht man für die erforderliche Anfahrsichtweite für Kreuzungen mit der Grünpfeil Regelung von einer Vorbremszeit von 1,2 s (gemäß RVS 03.02.12) aus und berücksichtigt eine Bremsverzögerung von 2,0 m/s² (gemäß von Hyden [124] (zitiert in Archer [95]) als kritischer Wert eingestuft), so ergeben sich Anfahrsichtweiten, welche der derzeitigen erforderlichen Anfahrsichtweiten des Arbeitspapiers 36 entsprechen. Die erforderlichen Anfahrsichtweiten für Sichtfelder vor Schutzwegen, gemäß RVS 03.02.12 Tabelle 5, basieren auf einer Bremsverzögerung zwischen 3,5 m/s² und 4,5 m/s² und einer Vorbremszeit von 1,2 s und sind dementsprechend geringer. Für eine Kfz Geschwindigkeit (v85) von 50 km/h wäre die erforderliche Sichtweite 45 m und bei 30 km/h 20 m. Die erforderlichen Sichtfelder für Radfahrüberfahrten, gemäß RVS 03.02.13 Tabelle 6, entsprechen den erforderlichen Sichtweiten vor Schutzwegen, gemäß RVS 03.02.12 Tabelle 5 und sind ebenso geringer als die erforderlichen Anfahrsichtweiten des Arbeitspapiers 36. Somit sind die derzeit festgelegten, erforderlichen Sichtweiten für den motorisierten Verkehr sowie auch Radverkehr im Arbeitspapier 36 großzügig bemessen. Vor dem Hintergrund der Regelmissachtung durch die Radfahrer:innen, d.h. des nicht Anhaltens, wäre eine Quersichtweite (analog zur Strecke c der RVS 03.02.13, Abbildung 7) ein mögliches weiteres Ausschlusskriterium.

5.4.1.3 Gleise in Ausfahrt

Der Anteil an Radfahrer:innen, welche vor einem Abbiegen nicht anhielten („Rule Violation At Red“), hat in der Nachher-Beobachtung statistisch signifikant zugenommen. Durch das Abbiegen ohne Anzuhalten ist mit einem größeren Kurvenradius beim Abbiegen zu rechnen und daher ein höherer seitlicher Abstand der Radfahrer:innen zum Fahrbahnrand in der Ausfahrt erforderlich. Eine explizite Auswertung der Seitenabstände

in der Ausfahrt erfolgte nicht. Ein Mindestabstand von 1,5 m zwischen dem Verkehrsraum der Straßenbahn und dem Fahrbahnrand erscheint sinnvoll. Durch den zunehmenden Anteil an Lastenrädern im Straßenverkehr müssten diese auch in die Betrachtung miteinbezogen werden. Eine Unterscheidung zwischen Fahrrädern, Elektrofahrrädern oder Lastenrädern wurde in der Beobachtungsstudie jedoch nicht getroffen. In wie weit nun Lastenräder vor dem Abbiegen anhalten, ist nicht bekannt. Durch das höhere Gewicht ist es jedoch möglich, dass ein Anhalten und erneutes Beschleunigen und damit verbundenen Kraftaufwandes, eher vermieden wird. Durch eine größere Breite von Lastenrädern und höherem Gewicht wäre der derzeit festgelegte Mindestabstand von 1,5 m zu evaluieren.

5.4.1.4 Gegenläufiger Linksabbiegeverkehr

In der Nachher-Erhebung wurde sowohl eine Zunahme bei der Missachtung des verpflichtenden Anhaltens („Rule Violation At Red“) als auch beim Queren der Kreuzung („Straight At Red“) festgestellt. Ein Ausschluss von Kreuzungen, in welchen der gegenläufige Linksabbiegeverkehr in einer eigenen Phase (grüner Richtungspfeil) und der Fahrradverkehr in der Ausfahrt im Mischprinzip (gemäß RVS 03.02.13 (z.B. Mischverkehr auf der Fahrbahn, Mehrzweckstreifen)) geführt wird, ist daher sinnvoll.

5.4.1.5 Unfallhäufungsstellen

An den untersuchten Kreuzungen wurden keine Unfallhäufungen festgestellt. Auch die Auswertung der Unfalldaten des UDM zeigte keine Zunahme an Unfällen, welche in Zusammenhang mit der Grünpfeil Regelung stehen könnten. Eine Grünpfeil Regelung an Kreuzungen mit bestehenden Unfallhäufungen ist daher nicht zielführend.

5.4.2 T-Kreuzungen

5.4.2.1 Geschwindigkeit

Der Anteil an nicht-regelkonformen Verhaltens an T-Kreuzungen („Rule Violation At Red“) hat in der Nachher-Beobachtung zugenommen. Es erfolgte jedoch keine Auswertung der zulässigen Geschwindigkeiten an T-Kreuzungen. Analog zu Kreuzungen ist eine zulässige Annäherungsgeschwindigkeit der Zufahrt 2 von mehr als 50 km/h zu vermeiden, insbesondere im Zusammenhang mit zulässigen Anfahrsichtweiten.

5.4.2.2 Anfahrsichtweiten

Wie bei den Kreuzungen wurde auch bei den T-Kreuzungen eine Zunahme bei den Regelmissachtungen festgestellt („Rule Violation At Red“). Die Unfallanalyse ergab jedoch keine Zunahme an Unfällen mit den aus der Zufahrt 2 kommenden Fahrzeugen. In den Post-Unfallzahlen wurde kein Unfall dieses Unfalltyps festgestellt. Aus der Verkehrsbeobachtung konnte ebenfalls keine Zunahme an Konflikten zwischen Radfahrer:innen und Pkw festgestellt werden. Eine Anpassung der erforderlichen Sichtweite an die Sichtweiten gemäß RVS 03.02.12 und RVS 03.02.13 wäre jedoch sinnvoll.

5.4.2.3 Gleise in Ausfahrt

Der Anteil an Radfahrer:innen, welche vor einem geradeaus weiterfahren nicht anhielten („Rule Violation At Red“), hat in der Nachher-Beobachtung signifikant zugenommen. Eine Auswertung der Seitenabstände der Radfahrer:innen zum Fahrbahnrand in der Ausfahrt erfolgte nicht. Ein Mindestabstand von 1,5 m zwischen dem Verkehrsraum der Straßenbahn und dem Fahrbahnrand erscheint sinnvoll. Durch den zunehmenden Anteil an Lastenrädern im Straßenverkehr müssten diese auch in die Betrachtung miteinbezogen werden. Eine Unterscheidung zwischen Fahrrädern, Elektrofahrrädern oder Lastenrädern wurde in der Beobachtungsstudie jedoch nicht getroffen. Durch eine größere Breite von Lastenrädern wäre der derzeit festgelegte Mindestabstand von 1,5 m zu evaluieren.

6 Fazit

Die mit 1. Oktober 2022 in Kraft getretene 33. StVO-Novelle ermöglicht durch Anbringung einer Zusatztafel für Radfahrer:innen, nach vorherigem Halt, ein Abbiegen nach rechts bzw. geradeausfahren an T-Kreuzungen, selbst wenn die Verkehrssignalanlage Rot anzeigt. Das Ziel der Untersuchung war die Bewertung der Auswirkungen dieser neuen Regelung auf die Verkehrssicherheit. Dazu kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Eine Befragung sollte die Meinung von Radfahrer:innen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit und die Regelung liefern, eine Unfallanalyse die geänderte Unfallcharakteristik aufzeigen und durch eine Verkehrsbeobachtung das Verhalten der Radfahrer:innen an diesen spezifischen Kreuzungen in einer Vorher-Nachher-Untersuchung objektiv vergleichen. Nachfolgend werden die Erkenntnisse aus der Untersuchung zusammengefasst.

Die Teilnehmer:innen der Befragung sehen die Grünpfeilregelung als Erleichterung im Alltag und nehmen diese dankend an. Kritisiert wird die teilweise schlecht sichtbaren und unter Umständen zu kleinen Zusatztafeln. Da die Grünpfeilregelung nur den Radfahrer:innen kenntlich gemacht wird, kann das mit dem Querverkehr zu kritischen Situationen führen (was zumindest für die Kritikalitätsmetrik Deceleration Rate festgestellt wurde), wenngleich die Radfahrer:innen verpflichtend anhalten müssten und somit die Situationen entschärft wären. Jedenfalls sind die Teilnehmer:innen der Meinung, der Querverkehr müsste über die geltende Regelung informiert sein, um unvorhergesehene und kritische Situationen eher zu vermeiden, da die allgemeine Meinung herrscht, die Radfahrer:innen missachten das verpflichtenden Anhalten. Daher wird in den offenen Fragen auch gefordert, das verpflichtende Anhalten in ein „Vorrang geben Prinzip“ zu ändern. Die Teilnehmer:innen der Befragung sind sich jedenfalls einig, dass eine Rechtsabbiegen bei Rot nur an Kreuzungen erlaubt werden sollte, wo es auch die Verkehrssicherheit zulässt. Zur Frage, ob eine Grünpfeilregelung an allen ampelgeregelten Kreuzungen zugelassen werden sollte, stimmen die Teilnehmer:innen tendenziell eher nicht zu. Ein generelles „Vorrang geben Prinzip“ für Radfahrer:innen an jeder Kreuzung wird von den Teilnehmer:innen der Befragung abgelehnt.

Die Verletzungshäufigkeit der Verkehrsteilnehmer:innen wurde in unterschiedlichen Abständen der Unfallstelle zur Grünpfeilkreuzung untersucht. Der Anteil an verletzten Radfahrer:innen hat sich nicht wesentlich verändert. Tendenziell haben sich die Anteile verringert. Bei den Fußgänger:innen konnte eine Zunahme der Verletzungshäufigkeit

festgestellt werden. Allerdings konnte aus den Unfalldaten kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Verletzungshäufigkeit von Verkehrsteilnehmer:innen und der Grünpfeilregelung abgeleitet werden. Die Verletzungshäufigkeit bei den Radfahrer:innen hat im Vorher-Nachher-Vergleich abgenommen.

Aus den Unfalldaten konnte kein Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und der Grünpfeilregelung abgeleitet werden. Obwohl der Anteil an verletzten Fußgänger:innen zugenommen hat, konnte bei der Verletzungsschwere keine Zunahme festgestellt werden.

Die Unfallhäufigkeit des Unfalltyps 811 (an Kreuzungen queren Fußgänger:innen von rechts und Fahrzeuge fahren geradeaus) hat statistisch signifikant zugenommen. Das bedeutet ein höheres Unfallrisiko zwischen Radfahrer:innen, die bei Rot geradeaus fahren und Fußgänger:innen, die bei Grün von rechts die Fahrbahn queren. Die Anzahl an Unfällen im Vorher-Nachher-Vergleich war jedoch sehr gering und damit das Konfidenzintervall sehr breit war, sodass die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Es besteht kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl an Unfällen, in welchen sich Radfahrer:innen im Toten Winkel befinden und Kreuzungen mit Grünpfeilregelung. Es wurde erwartet, dass sich Unfälle des Unfalltyps 312 (Radfahrer:innen fahren geradeaus und Fahrzeuge biegen nach rechts ab) durch die Grünpfeilregelung reduzieren, da Radfahrer:innen auch bei Rot abbiegen dürften und sich somit die Anzahl an Radfahrer:innen im Gefahrenbereich des Toten Winkels reduzieren. Dies konnte aus den Unfalldaten jedoch nicht abgeleitet werden. Die Änderungen waren statistisch nicht signifikant. Tendenziell hat sich das Odds Ratio allerdings verringert, was auf einen positiven Effekt der Grünpfeilregelung schließen lässt.

Der Unfalltyp 951 kennzeichnet Situationen, in welchen Radfahrer:innen von der Seite die Fahrbahn queren oder sich in die Fahrbahn einordnen. Es wurde vermutet, dass Radfahrer:innen die Kreuzung über den Gehsteig abkürzen und sich nach der Kreuzung in den Verkehr einordnen. Es wurde vermutet, dass durch die Grünpfeilregelung derartige Unfallsituationen abnehmen. Dieser Unfalltyp hat im Nachher-Zeitraum tendenziell zugenommen.

Die Tiefenanalyse lieferte Erkenntnisse zu den unfallbegünstigenden und unfallkausalen Faktoren. Durch die Grünpfeilregelung konnte tendenzielle eine Zunahme an

Vorrangverletzungen bei den Radfahrer:innen festgestellt werden. Hingegen haben die unfallkausalen Faktoren „Unaufmerksamkeit / Ablenkung“ sowie „Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung“ bei den Unfallgegner:innen abgenommen. Dies weist daraufhin, dass Radfahrer:innen ein verpflichtendes Anhalten eher missachten. Die Unfallgegner:innen werden in diesem Zusammenhang vom Einfahren der Radfahrer:innen in die Kreuzung überrascht, da der Querverkehr vermeintlich Rot hat und haben keine Möglichkeit mehr rechtzeitig zu reagieren. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den unfallkausalen Faktoren und der Grünpfeilregelung konnte allerdings nicht festgestellt werden.

Geschwindigkeitsbeschränkungen spielen eine Rolle beim Verhalten der Radfahrer:innen. Ein nicht-regelkonformes Verhalten konnte eher bei niedrigeren Geschwindigkeitsbeschränkungen festgestellt werden. Insbesondere in der Zufahrt zur Kreuzung missachten Radfahrer:innen die Regelungen. Es wird häufiger auch bei Rot nach rechts abgebogen aber auch noch versucht bei Grün blinkendem Licht bzw. bei Orange die Kreuzung zu überqueren. Die Einschätzung des Unfallrisikos wird bei niedrigeren Geschwindigkeiten vermutlich als geringer eingeschätzt als bei höheren. Allerdings ist bei höheren zulässigen Geschwindigkeiten das Queren der Kreuzung bei Rot deutlich häufiger als dies erwartet wurde. Dies ist widersprüchlich, denn gerade bei höheren Geschwindigkeiten müsste ein Überqueren der Kreuzung als gefährlicher empfunden werden und der Anteil dieser Verhaltensgruppe eigentlich geringer sein. Dieses Verhalten ist aus den Daten nicht erklärbar.

Im Gegensatz dazu ist bei höheren zulässigen Geschwindigkeitsbeschränkungen im Querverkehr ein Queren der Kreuzung bei Rot durch Radfahrer:innen deutlich geringer im Vergleich zu niedrigeren zulässigen Geschwindigkeitsbeschränkungen. Das ist stimmig, denn eine höhere Geschwindigkeit wird mit einem höheren Unfallrisiko assoziiert. Auffällig ist aber die höhere Bereitschaft bei höheren zulässigen Geschwindigkeitsbeschränkungen bei Rot nach rechts abzubiegen. Dies wiederum steht im Gegensatz zur Analyse der Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt der Radfahrer:innen. Eine mögliche Erklärung ist die Kenntnis der eigenen zulässigen Geschwindigkeitsbeschränkung, jedoch nicht jener des Querverkehrs. Allerdings dürfte bei häufiger Nutzung der Kreuzungen die Geschwindigkeitssituationen den Radfahrer:innen bekannt sein. Auffällig war weiters auch die deutlich häufigere Nutzung des Gehsteigs bei höheren Geschwindigkeitsbeschränkungen im Querverkehr.

Ein Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen begünstigt Regelmissachtungen beim Geradeausfahren. Es wurden deutlich mehr Radfahrer:innen beobachtet, die die Kreuzung bei Rot überquerten als bei Kreuzungen ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen. Ist hingegen kein Radfahrstreifen in der Zufahrt, so verhielten sich die Radfahrer:innen, zumindest beim Queren der Kreuzung, deutlich häufiger regelkonform. Ein Radfahrstreifen in der Zufahrt führt zu einer geringeren Befahrung des Gehsteigs. Ist jedoch ein Radfahrstreifen in der Ausfahrt vorhanden, so wurde von den Radfahrer:innen über den Gehsteig abgekürzt. Wird der Radfahrstreifen nur durch Bodenmarkierungen vom Gehsteig getrennt, so dringen Radfahrer:innen deutlich häufiger in den Bewegungsraum der Fußgänger:innen ein, als bei baulich getrennten Radfahrstreifen.

Bei größeren Sichtweiten ist eine höhere Bereitschaft zu erkennen, dass Radfahrer:innen die Kreuzung bei Rot überqueren. An Kreuzungen mit geringerer Sichtweite wird hingegen bei Rot eher nach rechts abgebogen. Ebenfalls wird bei geringeren Sichtweiten noch versucht bei Gelblicht die Kreuzung zu überqueren.

Durch die Grünpfeilregelung konnte ein verändertes Verhalten der Radfahrer:innen festgestellt werden. An Kreuzungen mit der Regelung „Rechts Abbiegen bei Rot“ änderte sich der Anteil nicht-regelkonformen Verhaltens nicht wesentlich. Allerdings wurde innerhalb der Verhaltensgruppen eine deutliche Änderung festgestellt. Insbesondere die Radfahrer:innen, welche auch bei Rot geradeaus fuhren, hat nach der Kundmachung deutlich zugenommen. Ebenfalls konnte eine Zunahme bei den Radfahrer:innen festgestellt werden, welche ohne anzuhalten bei Rot nach rechts abbogen. Einen positiven Effekt hat die Grünpfeilregelung allerdings auf die Nutzung von Gehsteigen. Diese Anteile nahmen deutlich ab, sowohl bei Rot- als auch bei Grünlicht. An T-Kreuzungen wird bei Rot ohne Anzuhalten weitergefahren. Durch die Grünpfeilregelung hat der Anteil an Radfahrer:innen in dieser Verhaltensgruppe zugenommen. Eine deutliche Zunahme konnte auch bei den Radfahrer:innen, welche bei Gelblicht noch geradeaus fuhren festgestellt werden. Ähnliche Ergebnisse lagen auch für die Kreuzung zur Langzeiterhebung vor, wenngleich die Anteile jene Radfahrer:innen, welche ohne Anzuhalten bei Rot nach rechts abbogen deutlich höher waren, als im Vergleich zu den anderen Kreuzungen.

Die Teilnehmer:innen der Befragung waren der Meinung, dass sich Radfahrer:innen nicht an das verpflichtende Anhalten vor dem Abbiegen halten werden. Dieser Aussage wurde überwiegend zugestimmt und konnte durch die Verkehrsbeobachtung bestätigt werden. Radfahrer:innen missachten nicht ausschließlich die Regelung, doch sind deutlich mehr

Radfahrer:innen nach Kundmachung der Grünpfeilregelung ohne Anzuhalten bei Rot nach rechts abgebogen.

Neben dem Verhalten wurden auch unterschiedliche Kritikalitätsmetriken bewertet. Dabei wurden kritische Situationen zwischen Radfahrer:innen und Pkw bzw. Radfahrer:innen und Fußgänger:innen unterschieden. Nach Kundmachung der Grünpfeilregelung konnte bei der Metrik TTC keine höhere Anzahl an kritischen Situationen zwischen Radfahrer:innen und Pkw festgestellt werden. Kritische Situationen waren nach Kundmachung seltener, die Grünpfeilregelung hatte keine negativen Auswirkungen auf diese Metrik. Der Minimalabstand (ED) zwischen den beiden Verkehrsteilnehmer:innen hatte sich nach Kundmachung der Grünpfeilregelung erhöht. Kritische Situationen bezogen auf die ED haben sich in der Nachher-Beobachtung tendenziell verringert. Bei der Metrik DR (Verzögerungsrate) wurde eine Zunahme an kritischen Situationen durch einen Bremseingriff der Pkw-Lenker:innen festgestellt. Die Grünpfeilregelung hat diese Metrik negativ beeinflusst, d.h. der Anteil an kritischen Bremsmanövern war im Nachher-Erhebungszeitraum höher als im Vorher-Erhebungszeitraum. An T-Kreuzungen konnte kein negativer Effekt der Grünpfeilregelung auf die Metrik TTC festgestellt werden. Die Anzahl an Beobachtungen ist allerdings gering. Bei der Metrik ED waren kritische Situationen im Nachher-Erhebungszeitraum häufiger, allerdings sind auch hier die Fallzahlen relativ gering und die Aussagekraft mit gewisser Vorsicht zu interpretieren. Auf die Metrik DR hat die Grünpfeilregelung an T-Kreuzungen keinen negativen Einfluss. An der Kreuzung mit Langzeitbeobachtung konnte für diese drei Metriken kein negativer Effekt festgestellt werden. Die Meinung der Teilnehmer:innen der Umfrage, dass sich Konflikte zwischen Radfahrer:innen und Pkw durch die Grünpfeilregelung erhöhen werden, konnte durch die Verkehrsbeobachtung nicht bestätigt werden.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Beobachtungen zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen. Kritische Situationen bei der Metrik TTC haben nach Kundmachung der Grünpfeilregelung nicht zugenommen. Ebenso wurde bei der Metrik PET als auch ED keine Zunahme an kritischen Situationen festgestellt. An Kreuzungen, an welchen auch bei Rot nach rechts abgeboben werden darf, hat die Grünpfeilregelung keine negativen Auswirkungen auf kritische Situationen. An T-Kreuzungen war für die TTC, PET und ED keine negativen Auswirkungen festzustellen. Alle Metriken waren, bezogen auf die kritische Situationen, im Nachher-Beobachtungszeitraum tendenziell seltener. Dies korreliert nicht gänzlich mit den Ergebnissen der Unfallanalyse zu Unfalltyp 811, welcher im Nachher-Beobachtungszeitraum deutlich zugenommen hat. Allerdings bei einer sehr geringen Zahl an Unfällen. An der Kreuzung mit Langzeitbeobachtung wurde für die TTC

und PET keine Zunahme an kritischen Situationen festgestellt werden. Hingegen gab waren bei der ED kritische Situationen im Nachher-Beobachtungszeitraum tendenziell etwas häufiger. Aus der Befragung ging keine eindeutige Tendenz hervor. Es gab weder eine Zustimmung noch Ablehnung zu der Frage, ob sich die Anzahl an Konflikten zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen durch die Grünpfeilregelung erhöhen wird. Die Verkehrsbeobachtung zeigte jedenfalls keine negativen Auswirkungen auf die kritischen Situationen durch die Grünpfeilregelung.

Folgendes Fazit kann aus der Untersuchung abgeleitet werden.

Die Unfallanalyse zeigt, dass infolge der Grünpfeilregelung weder die Unfallzahlen noch die Verletzungsschwere signifikant zunehmen. Die Tiefenanalyse weist jedoch auf eine Zunahme von Vorrangverletzungen durch Radfahrer:innen hin; zugleich wurden Reaktionsverspätungen der Unfallgegner:innen seltener als unfallkausaler Faktor identifiziert.

Als positiver Effekt kann die tendenzielle Abnahme von Unfällen im Toten Winkel festgestellt werden, wenngleich dieser statistisch nicht signifikant nachweisbar ist.

Nach Kundmachung der Grünpfeilregelung wurde das Ignorieren des verpflichtenden Anhaltens durch Radfahrer:innen deutlich häufiger. An den untersuchten Kreuzungen zeigten sich keine ausgeprägten negativen Effekte der Grünpfeilregelung auf die Kritikalität von Verkehrssituationen. Der überwiegende Teil der Metriken wies weder in den Interaktionen zwischen Radfahrer:innen und Pkw noch zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen eine Zunahme kritischer Situationen auf.

Die derzeit gültigen Einsatzkriterien für die Grünpfeilregelung des Arbeitspapiers Nr. 36 sind ausreichend, um eine verkehrssichere Nutzung der Regelung zu gewährleisten.

7 Ausblick und resultierende Forschungsfragen

Mit der Befragung sollten subjektive Meinungen und Eindrücke zum Verhalten an Kreuzungen – insbesondere mit Grünpfeilregelung – erhoben werden. Tatsächlich wurden jedoch überwiegend Radfahrer:innen einbezogen, sodass die Perspektive motorisierter Fahrzeuglenker:innen weitgehend fehlt. Künftig sollten daher auch motorisierte Verkehrsteilnehmer:innen die Möglichkeit erhalten, ihre Sicht auf neue Regelungen darzulegen.

Die Verkehrsbeobachtung erfolgte automatisiert mit einem Videokamerasystem. Trotz Hinweisen auf die Datenaufzeichnung zeigten die Radfahrer:innen kein erkennbar verändertes Verhalten; dies spricht für natürliche Bedingungen. Ein Mehrwert ergäbe sich durch die Verknüpfung von Beobachtung und Befragung: Zumindest für eine kleine Stichprobe wäre eine kurze Befragung direkt an den Kreuzungen sinnvoll, um Motive für Regelmissachtungen besser zu verstehen.

Durch die Grünpfeilregelung ließ sich ein Verhaltenswechsel beobachten: Radfahrer:innen bogen bei Rot häufiger nicht regelkonform ab oder fuhren an T-Kreuzungen geradeaus weiter. Der Anteil derjenigen, die bei Rot anhalten und die nächste Grünphase abwarten, sind entweder in der Gruppe „Straight at Green“ oder „Turn at Green“ enthalten. Es wurde nicht separat untersucht, ob es hierbei zu Konflikten mit nachfolgenden Radfahrer:innen kommt, welche die Grünpfeilregelung nützten. In den qualitativen Rückmeldungen wurde allerdings berichtet, dass es zu Konflikten kommt, wenn einzelne Radfahrer:innen die Grünpfeilregelung nicht nutzen, nachfolgende jedoch schon. Es sollte daher diese Situationen gesondert analysiert werden.

In der Verhaltensbeobachtung zeigte sich ein Spill-over-Effekt: Der Anteil der „Straight at Red“-Manöver hat signifikant zugenommen, d.h. es wurde ein erhöhter Anteil an Radfahrer:innen festgestellt, welcher nach der Einführung der Grünpfeilregelung die Kreuzungen auch bei Rot geradeaus überquerten. Inwieweit sich die Grünpfeilregelung auf andere Kreuzungen auswirkt - ob es bei Kreuzungen ohne Grünpfeilregelung zu einer Zunahme an Radfahrer:innen kam, welche bei Rot abbiegen - wurde nicht erhoben. Es bleibt daher offen, ob an Kreuzungen ohne Grünpfeil ebenfalls häufiger bei Rot nach

rechts abgebogen wird, obwohl dafür keine rechtliche Grundlage besteht. Dieser Aspekt sollte in weiteren Untersuchungen geprüft werden.

Ein weiterer Spill-over-Effekt der Grünpfeilregelung könnte sich an nicht signalgeregelten Kreuzungen ergeben. Zum Verhalten von Radfahrer:innen an nicht signalgeregelten Kreuzungen fehlen bislang grundsätzliche Erkenntnisse. Für ein umfassendes Bild sollten daher auch Kreuzungen mit „Vorrang geben“, „Stop“ und Rechtsvorrang einbezogen werden.

8 Danksagung

Die Autoren des gegenständlichen Berichts möchten sich für die Unterstützung der Radlobby Österreich bedanken. Durch die Daten zu den Standorten an Grünpfeilrelationen konnte geänderte Unfallcharakteristiken durch die Grünpfeilregelung ausgewertet werden. Ferner möchten sich die Autoren für die Unterstützung bei der Befragung bedanken. Durch die Verbreitung der Umfrage durch die Radlobby Österreich konnte eine große Anzahl an Teilnehmer:innen aus ganz Österreich befragt werden.

Die Autoren möchten sich weiters für die Mitarbeit bei der Erhebung der Kreuzungsstandorte bei folgenden Städten bedanken. Durch die Unterstützung konnte die makroskopische Unfalldatenauswertung weiter verbessert werden. Folgende Städte haben entsprechende Standorte zu Grünpfeilkreuzungen rückgemeldet (in absteigender Reihenfolge nach Einwohnerzahl):

- Wien
- Graz
- Linz
- Salzburg
- Innsbruck
- Klagenfurt
- Villach
- Wels
- St. Pölten
- Dornbirn
- Wiener Neustadt
- Steyr
- Feldkirch
- Bregenz
- Leonding
- Klosterneuburg
- Baden
- Krems an der Donau
- Traun
- Lustenau

- Leoben
- Amstetten
- Kapfenberg
- Hallein
- Schwechat
- Mödling
- Hohenems

Anhang

Anhang A: Factsheet Kreuzungen

Kreuzung 1: Graz 1

Kreuzungscharakteristik

- Kreuzungstyp: Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: Gebäude, parkende Fahrzeuge, Baum
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 25 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 74
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 106
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen: ja (Bodenmarkierung)
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Konflikte mit
  - Motorisiertem Verkehr
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Unfalltyp 411: 4 Unfälle

Anhang Abbildung 1: Kartenausschnitt der Kreuzung Graz 1 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 2: Satellitenbild der Kreuzung Graz 1 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 2: Graz 2

Kreuzungscharakteristik

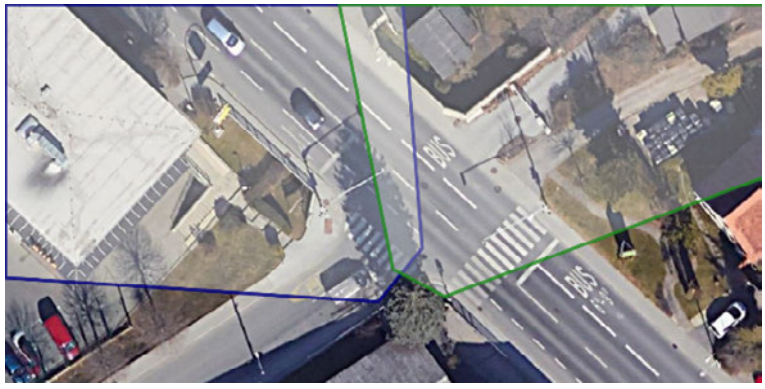
- Kreuzungstyp: T-Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: keine
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: Radfahrer:innen und motorisierter Verkehr bewegen sich beide auf Zufahrt 1
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 71
- Zufahrt 1

  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Zufahrt 2
  - Keine Zufahrt 2 gemäß der Grünpfeilregelung; Radfahrer:innen und motorisierter Verkehr bewegen sich beide auf Zufahrt 1
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Konflikte mit
  - keinen Verkehrsteilnehmer:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - keine Unfälle

Anhang Abbildung 3: Kartenausschnitt der Kreuzung Graz 2 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 4: Satellitenbild der Kreuzung Graz 2 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 3: Hohenems

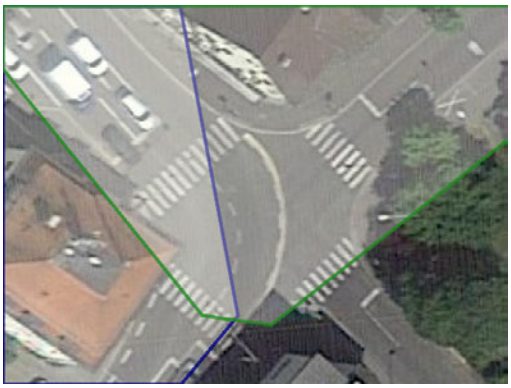
Kreuzungscharakteristik

- Kreuzungstyp: Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: Gebäude
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 30 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 90
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 100
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Konflikte mit
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Unfalltyp 411: 1 Unfall

Anhang Abbildung 5: Kartenausschnitt der Kreuzung Hohenems mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 6: Satellitenbild der Kreuzung Hohenems mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



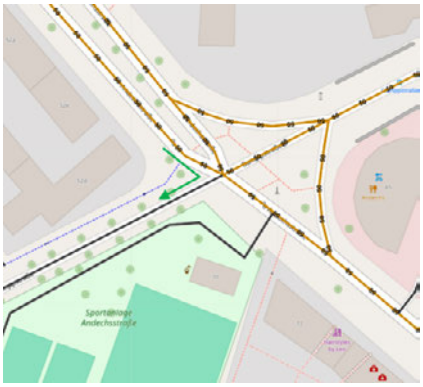
Kreuzung 4: Innsbruck

Kreuzungscharakteristik

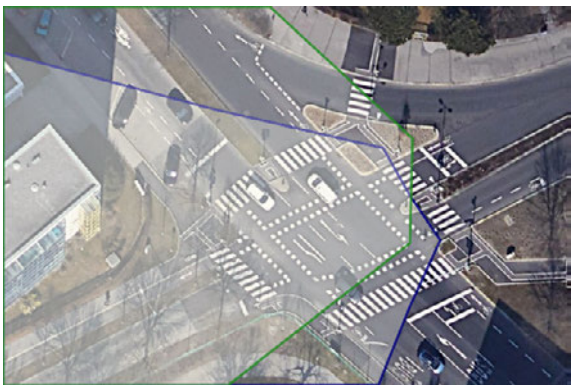
- Kreuzungstyp: Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: keine
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 80 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: Radfahrer:innen und motorisierter Verkehr bewegen sich beide auf Zufahrt 1
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 75

- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Zufahrt 2
  - Keine Zufahrt 2 gemäß der Grünpfeilregelung; Radfahrer:innen und motorisierter Verkehr bewegen sich beide auf Zufahrt 1
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: keine angegeben, Fahrverbot für nichtöffentlichen Verkehr
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (baulich getrennt)
- Konflikte mit
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Keine Unfälle

Anhang Abbildung 7: Kartenausschnitt der Kreuzung Innsbruck mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 8: Satellitenbild der Kreuzung Innsbruck mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



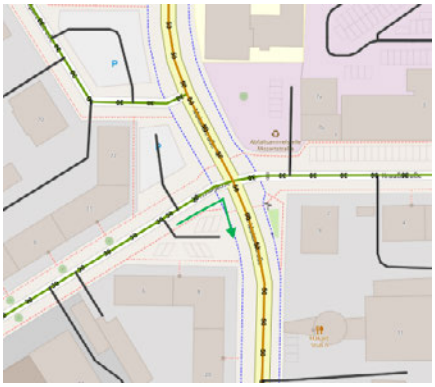
Kreuzung 5: Linz 1

Kreuzungscharakteristik

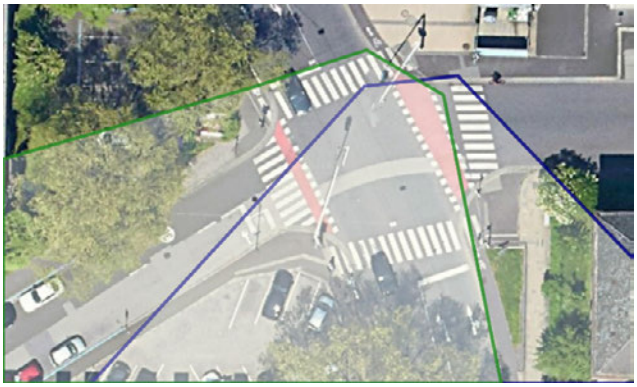
- Kreuzungstyp: Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: Baum, Gebüsch, parkende Fahrzeuge
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 20 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 78
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 90
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (baulich getrennt)
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (baulich getrennt)
- Konflikte mit
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)

- Unfalltyp 312: 1 Unfall
- Unfalltyp 411: 1 Unfall
- Unfalltyp 511: 2 Unfälle
- Unfalltyp 811: 1 Unfall

Anhang Abbildung 9: Kartenausschnitt der Kreuzung Linz 1 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 10: Satellitenbild der Kreuzung Linz 1 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 6: Linz 2

Kreuzungscharakteristik

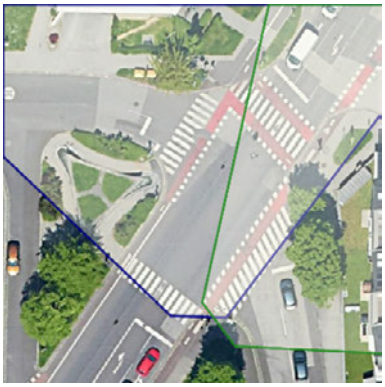
- Kreuzungstyp: Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts

- Sichtbehinderungen: Baum, Hecke, Gebüsch, Gebäude
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 35 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 45
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 119
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (baulich getrennt)
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (baulich getrennt)
- Konflikte mit
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Unfalltyp 322: 1 Unfall
  - Unfalltyp 411: 1 Unfall

Anhang Abbildung 11: Kartenausschnitt der Kreuzung Linz 2 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 12: Satellitenbild der Kreuzung Linz 2 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 7: Wien 1

Kreuzungscharakteristik

- Kreuzungstyp: Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: Gebäude, parkende Fahrzeuge
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 30 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 110
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 84
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (baulich getrennt)
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Konflikte mit
  - Motorisiertem Verkehr
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen

- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Unfalltyp 321: 1 Unfall
  - Unfalltyp 322: 5 Unfälle
  - Unfalltyp 411. 3 Unfälle
  - Unfalltyp 451: 1 Unfall
  - Unfalltyp 951: 1 Unfall

Anhang Abbildung 13: Kartenausschnitt der Kreuzung Wien 1 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 14: Satellitenbild der Kreuzung Wien 1 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 8: Wien 2

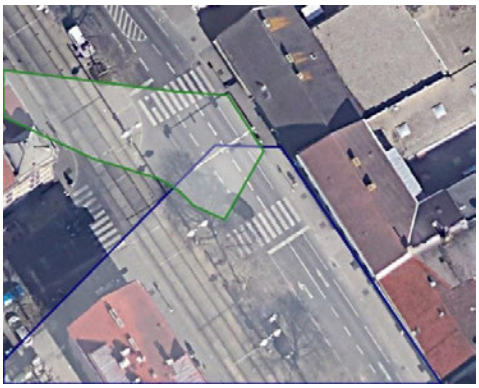
Kreuzungscharakteristik

- Kreuzungstyp: T-Kreuzung
- Regelung: Geradeaus fahren
- Sichtbehinderungen: Gebäude
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 50 m
- Sichtbehinderungen: Gebäude, parkende Fahrzeuge
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 90
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 180
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 50 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Konflikte mit
  - Motorisiertem Verkehr
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - keine Unfälle

Anhang Abbildung 15: Kartenausschnitt der Kreuzung Wien 2 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 16: Satellitenbild der Kreuzung Wien 2 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 9: Mödling 1

Kreuzungscharakteristik

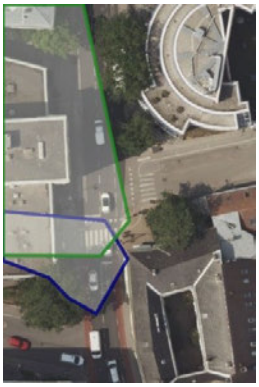
- Kreuzungstyp: T-Kreuzung
- Regelung: Geradeaus fahren
- Sichtbehinderungen: keine
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 45 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 90
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 180
- Zufahrt 1

  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Konflikte mit
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Keine Unfälle

Anhang Abbildung 17: Kartenausschnitt der Kreuzung Mödling 1 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 18: Satellitenbild der Kreuzung Mödling 1 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 10: Mödling 2

Kreuzungscharakteristik

- Kreuzungstyp: Kreuzung
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: Hecke, Baum
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 15 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 42
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 154
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Konflikte mit
  - Motorisiertem Verkehr
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen

- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Unfalltyp 051: 1 Unfall
  - Unfalltyp 312: 1 Unfall

Anhang Abbildung 19: Kartenausschnitt der Kreuzung Mödling 2 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 20: Satellitenbild der Kreuzung Mödling 2 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 11: Mödling 3

Kreuzungscharakteristik

- Kreuzungstyp: T-Kreuzung, Möglichkeit für Radfahrer:innen nach der Kreuzung nach rechts abzubiegen
- Regelung: Geradeaus fahren

- Sichtbehinderungen: Gebäude
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 22 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 95
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 180
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Konflikte mit
  - Motorisiertem Verkehr
- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Unfalltyp 031: 1 Unfall
  - Unfalltyp 091: 1 Unfall

Anhang Abbildung 21: Kartenausschnitt der Kreuzung Mödling 3 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 22: Satellitenbild der Kreuzung Mödling 3 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Kreuzung 12: Mödling 4

Kreuzungscharakteristik

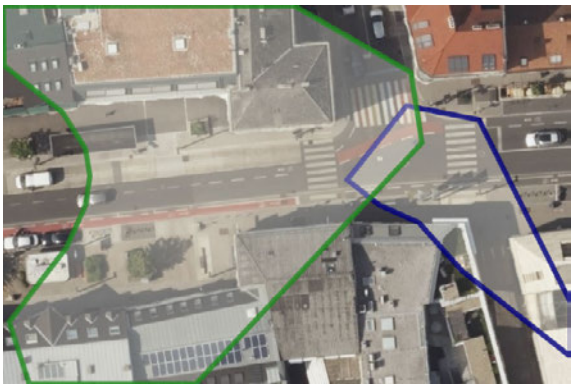
- Kreuzungstyp: Kreuzung, versetzt
- Regelung: Abbiegen nach rechts
- Sichtbehinderungen: Gebäude, parkende Fahrzeuge, Baum
- Sichtweite an der Haltelinie der Radfahrer:innen: 25 m
- Kreuzungswinkel
  - Zufahrt 1 und Zufahrt 2: 78
  - Zufahrt 1 und Ausfahrt: 102
- Zufahrt 1
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 30 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: nein
- Zufahrt 2
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Ausfahrt
  - Geschwindigkeitsbeschränkung: 40 km/h
  - Radfahrstreifen/Radweg: ja (Bodenmarkierung)
- Konflikte mit
  - Motorisiertem Verkehr
  - Radfahrer:innen
  - Fußgänger:innen

- Unfalldaten (Unfälle innerhalb von 20 m zur Grünpfeil-Relation)
  - Unfalltyp 312: 1 Unfall
  - Unfalltyp 121: 1 Unfall

Anhang Abbildung 23: Kartenausschnitt der Kreuzung Mödling 4 mit Kennzeichnung des Grünpfeils



Anhang Abbildung 24: Satellitenbild der Kreuzung Mödling 4 mit Kennzeichnung der Kamerasichtbereiche



Anhang B: Unfallanalyse

Verkehrsart gruppiert

Anhang Tabelle 1: Verkehrsarten im UDM

Verkehrsart ID UDM	Verkehrsart	Gruppiert
0	unbekannt	Sonstige Beteiligte
1	Motorfahrrad L1 (Moped)	Einspurige Fahrzeuge
2	Motorrad L3e oder Motorrad mit Beiwagen L4e	Einspurige Fahrzeuge
3	Pkw, Kombi M1; mit bis zu 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz	Pkw
4	Omnibus M2 oder M3; mit mehr als 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz	Bus
5	Dreirädriges Kleinkraftrad L2e	Sonstige Beteiligte
6	Motordreirad L5e	Sonstige Beteiligte
7	Vierrädriges Leichtkraftfahrzeug L6e (Microcar, Mini-Quad) bis 45 km/h, bis 50 ccm, bis 4kW	Sonstige Beteiligte
8	Vierrädriges Kraftfahrzeug im Sinne der Richtlinie 2002/24/EG L7e (Quad)	Sonstige Beteiligte
17	Straßenbahn	Sonstige Beteiligte
18	Eisenbahn	Sonstige Beteiligte
19	Fahrrad, Elektro-Fahrrad (bis 2022 inkl. Elektro-Scooter)	Fahrrad
20	Kleinmotorrad L3e oder Kleinmotorrad mit Beiwagen L4e; <50 ccm	Einspurige Fahrzeuge
22	Fußgänger	Fußgänger:innen
24	Leichtmotorrad L3e oder Leichtmotorrad mit Beiwagen L4e; max. 35 kW und einem Verhältnis Leistung/Leergewicht von nicht mehr als 0,2 kW/kg	Einspurige Fahrzeuge

Verkehrsart ID UDM	Verkehrsart	Gruppiert
25	Scooter	Spiel-, Sportgeräte
29	sonstiger Beteiligter	Sonstige Beteiligte
101	Mehrspuriges Kraftfahrzeug L5 (MicroCar)	Sonstige Beteiligte
102	Invalidenfahrzeug (Kfz <300kg Eigengewicht, <30km/h)	Sonstige Beteiligte
103	Mehrspuriges Kraftfahrzeug L2	Sonstige Beteiligte
104	Lastkraftwagen N1, bis 3,5 t	Lkw
105	Lastkraftwagen N2, größer 3,5 t bis 12 t	Lkw
106	Lastkraftwagen N3, größer 12 t	Lkw
107	Sattelzugfahrzeug N1, bis 3,5 t	Lkw
108	Sattelzugfahrzeug N2, größer 3,5 t bis 12 t	Lkw
109	Sattelzugfahrzeug N3, größer 12 t	Lkw
110	Motor- und Transportkarren, selbstfahrende Arbeitsmaschine, Sonderkraftfahrzeug	Sonstige Beteiligte
111	Zugmaschine (Traktor)	Sonstige Beteiligte
113	Spiel-, Sportgeräte: Kinderfahrrad	Spiel-, Sportgeräte
114	Spiel-, Sportgeräte: Rollschuhe, Inlineskates	Spiel-, Sportgeräte
115	Spiel-, Sportgeräte: Skateboard und dergleichen	Spiel-, Sportgeräte
116	Spiel-, Sportgeräte: Tretroller, MicroScooter	Spiel-, Sportgeräte
117	Spiel-, Sportgeräte: Rodel	Spiel-, Sportgeräte
118	Spiel-, Sportgeräte: Sonstige	Spiel-, Sportgeräte
120	Spiel- und Sportgeräte: Einrad	Spiel-, Sportgeräte
121	Sonstige Beteiligte: Pferd	Sonstige Beteiligte
122	Sonstige Beteiligte: Kutsche	Sonstige Beteiligte
123	Sonstige Beteiligte: Elektr. Rollstuhl	Sonstige Beteiligte

Verkehrsart ID UDM	Verkehrsart	Gruppiert
124	Sonstige Beteiligte: Senioren bzw. Invalidenfahrzeuge	Sonstige Beteiligte
125	Spiel- und Sportgeräte: Hoverboard	Spiel-, Sportgeräte

Verkehrsunfälle im Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

Anhang Tabelle 2: Anteil der Unfalltypen im Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

	Pre		Post	
Unfalltyp	**Absolut**	**Relativ**	**Absolut**	**Relativ**
021	1	0,34	0	0,0
051	8	2,72	1	1,56
112	0	0,0	1	1,56
121	4	1,36	0	0,0
123	1	0,34	1	1,56
151	4	1,36	0	0,0
161	7	2,38	3	4,69
172	2	0,68	0	0,0
221	1	0,34	0	0,0
224	1	0,34	0	0,0
231	1	0,34	0	0,0
291	1	0,34	0	0,0
311	6	2,04	0	0,0
312	57	19,39	9	14,06
313	2	0,68	0	0,0
322	18	6,12	5	7,81
323	1	0,34	0	0,0
391	3	1,02	0	0,0
411	54	18,37	14	21,88

	Pre		Post	
Unfalltyp	**Absolut**	**Relativ**	**Absolut**	**Relativ**
431	2	0,68	0	0,0
451	16	5,44	5	7,81
461	2	0,68	0	0,0
462	1	0,34	0	0,0
491	1	0,34	0	0,0
511	27	9,18	9	14,06
591	3	1,02	0	0,0
611	7	2,38	3	4,69
621	2	0,68	0	0,0
622	1	0,34	0	0,0
632	1	0,34	0	0,0
742	3	1,02	0	0,0
811	0	0,0	2	3,12
812	16	5,44	1	1,56
813	2	0,68	1	1,56
814	2	0,68	0	0,0
821	2	0,68	2	3,12
824	1	0,34	0	0,0
851	8	2,72	0	0,0
871	1	0,34	0	0,0
873	2	0,68	0	0,0
881	2	0,68	0	0,0
891	3	1,02	0	0,0
951	12	4,08	6	9,38
991	5	1,7	1	1,56
Gesamt	294	100	64	100

Verkehrsunfälle im Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

Anhang Tabelle 3: Anteil der Unfalltypen im Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

	Pre		Post	
Unfalltyp	**Absolut**	**Relativ**	**Absolut**	**Relativ**
021	1	0,13	0	0,0
051	19	2,5	3	2,04
111	1	0,13	0	0,0
112	0	0,0	2	1,36
121	5	0,66	0	0,0
123	1	0,13	1	0,68
131	1	0,13	0	0,0
141	1	0,13	0	0,0
151	7	0,92	0	0,0
161	18	2,37	6	4,08
172	3	0,39	0	0,0
181	5	0,66	0	0,0
221	1	0,13	0	0,0
224	1	0,13	0	0,0
231	1	0,13	0	0,0
241	2	0,26	2	1,36
291	2	0,26	0	0,0
311	8	1,05	0	0,0
312	157	20,63	25	17,01
313	2	0,26	0	0,0
321	0	0,0	1	0,68
322	54	7,1	10	6,8
323	2	0,26	1	0,68
332	1	0,13	0	0,0
391	9	1,18	0	0,0

		Pre		Post
Unfalltyp	**Absolut**	**Relativ**	**Absolut**	**Relativ**
411	147	19,32	33	22,45
421	1	0,13	0	0,0
431	3	0,39	0	0,0
451	58	7,62	16	10,88
461	3	0,39	0	0,0
462	4	0,53	0	0,0
491	6	0,79	0	0,0
511	80	10,51	18	12,24
591	7	0,92	0	0,0
611	10	1,31	3	2,04
621	2	0,26	0	0,0
622	7	0,92	0	0,0
631	1	0,13	0	0,0
632	1	0,13	0	0,0
633	3	0,39	0	0,0
691	9	1,18	0	0,0
742	8	1,05	1	0,68
811	3	0,39	3	2,04
812	27	3,55	6	4,08
813	9	1,18	4	2,72
814	7	0,92	0	0,0
821	2	0,26	4	2,72
824	2	0,26	0	0,0
851	15	1,97	0	0,0
871	2	0,26	0	0,0
873	2	0,26	0	0,0
881	2	0,26	0	0
891	8	1,05	0	0
951	18	2,37	7	4,76
991	11	1,45	1	0,68
Gesamt	761	100	147	100

Verkehrsunfälle im Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

Anhang Tabelle 4: Anteil der Unfalltypen im Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation

	Pre		Post	
Unfalltyp	**Absolut**	**Relativ**	**Absolut**	**Relativ**
021	1	0,08	0	0
031	1	0,08	0	0
051	31	2,54	8	3,29
111	2	0,16	0	0
112	3	0,25	2	0,82
121	6	0,49	1	0,41
123	3	0,25	2	0,82
131	1	0,08	0	0
141	1	0,08	0	0
151	15	1,23	0	0
161	30	2,45	7	2,88
172	3	0,25	0	0
181	7	0,57	0	0
191	1	0,08	0	0
221	1	0,08	0	0
224	1	0,08	0	0
231	5	0,41	2	0,82
241	6	0,49	5	2,06
291	2	0,16	0	0
311	13	1,06	0	0
312	243	19,89	42	17,28
313	4	0,33	0	0
321	1	0,08	1	0,41
322	94	7,69	23	9,47
323	2	0,16	1	0,41

		Pre		Post
Unfalltyp	**Absolut**	**Relativ**	**Absolut**	**Relativ**
332	1	0,08	0	0
391	24	1,96	0	0
411	209	17,1	60	24,69
421	1	0,08	0	0
431	4	0,33	0	0
451	94	7,69	20	8,23
461	3	0,25	0	0
462	4	0,33	0	0
491	10	0,82	0	0
511	154	12,6	26	10,7
591	11	0,9	0	0
611	12	0,98	4	1,65
612	2	0,16	0	0
621	3	0,25	0	0
622	11	0,9	1	0,41
631	1	0,08	0	0
632	2	0,16	0	0
633	3	0,25	1	0,41
691	16	1,31	0	0
742	13	1,06	2	0,82
811	7	0,57	3	1,23
812	39	3,19	8	3,29
813	13	1,06	8	3,29
814	7	0,57	0	0
821	4	0,33	4	1,65
823	2	0,16	0	0
824	4	0,33	0	0
851	17	1,39	0	0
871	4	0,33	0	0
873	2	0,16	0	0
881	3	0,25	0	0

	Pre		Post	
Unfalltyp	**Absolut**	**Relativ**	**Absolut**	**Relativ**
890	1	0,08	0	0
891	10	0,82	0	0
948	12	0,98	4	1,65
951	28	2,29	7	2,88
991	14	1,15	1	0,41
Gesamt	1.222	100	243	100

Anhang C: Unfallbegünstigende und unfallkausale Faktoren

Anhang Tabelle 5: Unfallbegünstigenden und unfallkausale Faktoren der Unfalldatenbank CEDATU

Hauptgruppe	UGID	Untergruppe
Mensch	**101**	Eingenommene Substanzen
	102	Fahrerzustand
	103	Psychische Belastung
	104	Ruhender Verkehr
	105	Falsches Verhalten der Fußgänger:innen
	106	Überholen
	107	Vorrangverletzung
	108	Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren
	109	Falsches Verhalten gegenüber den Fußgänger:innen
	110	Fehler der Fahrzeuglenker:innen, Straßenbenutzung
	111	Unaufmerksamkeit / Ablenkung
	112	Sicherheitsabstand / Reaktionsverspätung
	113	Geschwindigkeit
	114	Physischer Zustand
	115	Erfahrung
	116	Sicherheitsmaßnahmen
	117	Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer:innen

Hauptgruppe	UGID	Untergruppe
	188	Mensch andere
Fahrzeug	**201**	Technische Mängel
	202	Beladung
	203	Struktur
	204	Sichteinschränkung
	288	Fahrzeug andere
Infrastruktur	**301**	Straßenzustand
	302	Fahrbahnschäden
	303	Fahrbahnbelag
	304	Straßenverlauf und -führung
	305	Seitenlayout
	306	Sichtweite/Sichteinschränkung
	307	Verkehrslage
	308	Schutzweg/Radweg
	309	Geschwindigkeitsbeschränkung
	310	Verkehrszeichen / Beleuchtung
	388	Infrastruktur andere
Witterung und Licht	**401**	Lichtverhältnisse
	402	Niederschlag
	403	Witterung
Sonstige Faktoren	**501**	Wild
	502	Plötzliches Hindernis
	503	sonstige Faktoren

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Studien zur Rotlichtmissachtung 28
Tabelle 2: Faktoren, die eine Rotlichtmissachtung begünstigen 34
Tabelle 3: Potenzielle Unfalltypen bei Kreuzungsrelationen mit Grünpfeilregelung 53
Tabelle 4: Stichprobe zur Tiefenanalyse von Unfällen mit Radfahrer:innen auf Kreuzungen (inkl. Unfällen mit Fußgänger:innen) im Ortsgebiet und zwei Verkehrsteilnehmer:innen . 57
Tabelle 5: Verkehrsteilnehmer:innen in Unfällen mit Radfahrer:innen auf Kreuzungen (inkl. Unfällen mit Fußgänger:innen) im Ortsgebiet 58
Tabelle 6: Untersuchte Kreuzungen 59
Tabelle 7: Charakteristik der untersuchten Kreuzungen mit Grünpfeil-Regelung 60
Tabelle 8: Erhebungszeiträume an den untersuchten Kreuzungen mit Grünpfeil-Regelung 62
Tabelle 9: Übersicht über die zur Analyse erhobenen Bilddaten an den unterschiedlichen Standorten 65
Tabelle 10: Detektionsergebnisse auf separatem Testdatensatz, bestehend aus 1.021 manuell annotierten Einzelbildern, zur Validierung des eingesetzten Detektionsmodells. 69
Tabelle 11: Exemplarische Auswertung der unterschiedlichen Verhaltensgruppen für einen Beobachtungstag. 75
Tabelle 12: Definition der Konfliktlevels basierend auf der DST [125]. 84
Tabelle 13: Geschlecht 93
Tabelle 14: Deskriptive Kennwerte zum Alter bezogen auf das Geschlecht 93
Tabelle 15: Absolutwerte Nutzung Verkehrsmittel im Alltag 94
Tabelle 16: Relativanteile Nutzung Verkehrsmittel im Alltag 95
Tabelle 17: Fahrradtyp 96
Tabelle 18: Tägliche Fahrleistung 97
Tabelle 19: Helmtragequote nach Geschlecht 98
Tabelle 20: Helmtragequote nach Altersgruppen 98
Tabelle 21: Absolutwerte der Helmtragequote nach Fahrleistung 98
Tabelle 22: Relativanteile der Helmtragequote nach Fahrleistung 99
Tabelle 23: Absolutwerte für die Fragestellung „Motivation Radfahren" 100
Tabelle 24: Relativanteile für die Fragestellung „Motivation Radfahren" 101
Tabelle 25: Absolutwerte für die Fragestellung „Motivation Radfahren" 102
Tabelle 26: Einschätzung der persönlichen Sicherheit 103
Tabelle 27: Absolutantworten zu Aussagen gefühlter Sicherheit 106
Tabelle 28: Relativanteile zu Aussagen gefühlter Sicherheit 107
Tabelle 29: Absolutantworten zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen 109

Tabelle 30: Relativanteile zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen 110
Tabelle 31: Absolutantworten zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen bei Rot 112
Tabelle 32: Relativanteile zum Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen bei Rot .. 113
Tabelle 33: Verhalten anderer Radfahrer:innen an Kreuzungen 114
Tabelle 34: Absolutantworten zum Informationsstand zur Grünpfeilregelung 115
Tabelle 35: Relativanteile zum Informationsstand zur Grünpfeilregelung 116
Tabelle 36: Absolutantworten zur Regelkenntnis Grünpfeil 117
Tabelle 37: Relativanteile zur Regelkenntnis Grünpfeil 117
Tabelle 38: Absolutantworten zur Erwartungshaltung zur Grünpfeilregelung 119
Tabelle 39: Relativanteile zur Erwartungshaltung zur Grünpfeilregelung 120
Tabelle 40: Ergebnisse Hypothesentest gegen den neutralen Mittelpunkt 121
Tabelle 41: Einschätzung der persönlichen Sicherheit an Grünpfeil-Kreuzungen 122
Tabelle 42: Absolutantworten zu Vorschlägen zur Grünpfeilregelung 123
Tabelle 43: Relativanteile zu Vorschlägen zur Grünpfeilregelung 124
Tabelle 44: Kumulierte Anzahl der Lenker:innen oder Fußgänger:innen gemäß der Verkehrsart in unterschiedlichen Abständen zur Kreuzungsrelation 125
Tabelle 45: Kumulierte Anzahl der verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in unterschiedlichen Abständen zur Kreuzungsrelation 125
Tabelle 46: Anzahl der beteiligen Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 126
Tabelle 47: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen nach dem Verletzungsgrad in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet) 130
Tabelle 48: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 10 m zur Grünpfeilrelation 133
Tabelle 49: Anzahl der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 134
Tabelle 50: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen nach dem Verletzungsgrad in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet) 137
Tabelle 51: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 20 m zur Grünpfeilrelation 140
Tabelle 52: Anzahl der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 141

Tabelle 53: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen nach dem Verletzungsgrad in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet) 145
Tabelle 54: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation 148
Tabelle 55: Verletzungsschwere der ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen der Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt; svl: schwer verletzt; tot: getötet) 150
Tabelle 56: Verletzungsschwere der ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen der primären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt; svl: schwer verletzt; tot: getötet) 151
Tabelle 57: Verletzungsschwere der männlichen und weiblichen ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen in den Unfällen der primären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt, svl: schwer verletzt, tot: getötet) 152
Tabelle 58: Verletzungsschwere der ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen der tertiären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation (lvl: leicht verletzt; svl: schwer verletzt; tot: getötet) 153
Tabelle 59: Verletzungsschwere der männlichen und weiblichen ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen in den Unfällen der primären Hauptunfalltypen an Kreuzungen in einem Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation 154
Tabelle 60: Kollisionsgegner bei Fahrradunfällen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung 155
Tabelle 61: Verletzungsschwere der Unfallgegner bei Unfällen mit unverletzten Radfahrer:innen 157
Tabelle 62: Verletzungsschwere der Unfallgegner bei Unfällen mit leicht verletzten Radfahrer:innen 157
Tabelle 63: Verletzungsschwere der Unfallgegner bei Unfällen mit schwer verletzten Radfahrer:innen 158
Tabelle 64: Reaktionsverhalten vor der Kollision der Radfahrer:innen und Unfallgegner:innen 159
Tabelle 65: Reaktionsverhalten vor der Kollision der Radfahrer:innen 160
Tabelle 66: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren 162
Tabelle 67: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bezogen auf den jeweiligen Unfallbeteiligten 164
Tabelle 68: Absolute und relative Häufigkeiten der unfallkausalen Faktoren in einer Vorher-Nachher-Betrachtung 169

Tabelle 69: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bei Radfahrer:innen in einer Vorher-Nachher-Betrachtung 170
Tabelle 70: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bei den Unfallgegner:innen in einer Vorher-Nachher-Betrachtung 171
Tabelle 71: Anteil der Beobachtungen bezogen auf den Kreuzungstyp 172
Tabelle 72: Anteil der Beobachtungen im Tagesverlauf 173
Tabelle 73: Beobachtungen im Erhebungsmonat 174
Tabelle 74: Anteil der Beobachtungen im Wochenverlauf 175
Tabelle 75: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt der Radfahrer:innen 177
Tabelle 76: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung des Querverkehrs 179
Tabelle 77: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen 181
Tabelle 78: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Zufahrt der Radfahrer:innen 183
Tabelle 79: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Ausfahrt der Radfahrer:innen 184
Tabelle 80: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Ausfahrt der Radfahrer:innen .. 186
Tabelle 81: Nicht-regelkonformes Verhalten von Radfahrer:innen in Bezug auf die Sichtweite 187
Tabelle 82: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) 190
Tabelle 83: Odds Ratio der unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) 191
Tabelle 84: Tagesverteilung des Verhaltens der Radfahrer:innen 192
Tabelle 85: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) bezogen auf den Wochentag 194
Tabelle 86: Relativer Anteil der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) bezogen auf den Wochentag 195
Tabelle 87: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 196
Tabelle 88: Odds Ratio der unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 198

Tabelle 89: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 199
Tabelle 90: Odds Ratio der unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeitkreuzung 200
Tabelle 91: Zeitliche Veränderung des Verhaltens der Radfahrer:innen vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung 202
Tabelle 92: Odds Ratio der nicht-regelkonformen Verhaltensgruppen (inkl. „Rule Compliant At Red“) im Nachher-Vorher und Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeitkreuzung 206
Tabelle 93: Tagesverteilung des Verhaltens der Radfahrer:innen der Langzeiterhebung 207
Tabelle 94: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen bezogen auf den Wochentag der Langzeiterhebung 209
Tabelle 95: Relativer Anteil der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen bezogen auf den Wochentag der Langzeiterhebung 210
Tabelle 96: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 212
Tabelle 97: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC 212
Tabelle 98: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 214
Tabelle 99: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED 214
Tabelle 100: Deskriptive Kennwerte der DR von Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 216
Tabelle 101: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die DR 216
Tabelle 102: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC 217
Tabelle 103: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED 219
Tabelle 104: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die DR 220
Tabelle 105: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 222
Tabelle 106: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC 222
Tabelle 107: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 224

Tabelle 108: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED 224
Tabelle 109: Deskriptive Kennwerte der DR zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 226
Tabelle 110: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die DR 226
Tabelle 111: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken 228
Tabelle 112: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen 230
Tabelle 113: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC 230
Tabelle 114: Deskriptive Kennwerte der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen 232
Tabelle 115: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die PET 232
Tabelle 116: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen 234
Tabelle 117: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED 234
Tabelle 118: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 236
Tabelle 119: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC 236
Tabelle 120: Deskriptive Kennwerte der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 238
Tabelle 121: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die PET 238
Tabelle 122: Deskriptive Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 240
Tabelle 123: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED 240
Tabelle 124: Deskriptive Kennwerte der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 242
Tabelle 125: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die TTC 242

Tabelle 126: Deskriptiven Kennwerte der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung..... 244
Tabelle 127: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die PET 244
Tabelle 128: Deskriptiven Kennwerte der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung..... 246
Tabelle 129: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf die ED..... 246
Tabelle 130: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken 248

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Symbolische Darstellung der Kreuzungsrelationen in Zusammenhang mit dem Grünpfeil an Kreuzungen und T-Kreuzungen [1] 19
Abbildung 2: Verkehrsschilder für rechtsabbiegende und geradeaus fahrende Radfahrer:innen an Kreuzungen mit Rotlicht [41]. 36
Abbildung 3: Gestaltung einer Kreuzung mit Rechtsabbiegemöglichkeit für Radfahrer:innen in Dänemark (Quelle: [43]) 38
Abbildung 4: Verkehrszeichen „Grünpfeilschild mit Beschränkung auf den Radverkehr“ [14] 38
Abbildung 5: Signalisierung des Rechtsabbiegens bei Rot für Radfahrer:innen in Frankreich [12] 40
Abbildung 6: Zusätzliches Verkehrsschild für Radfahrer:innen an lichtsignalgeregelten Kreuzungen (Quelle: [45]) 41
Abbildung 7: Signalisierung freies Rechtsabbiegen bei Rot für Radfahrer [48] 42
Abbildung 8: Exemplarisches Beispiel einer Kreuzung mit Grünpfeilregelung und gekennzeichnete Unfälle unter Berücksichtigung unterschiedlicher Entfernungen der Verkehrsunfälle zur Kreuzung. 51
Abbildung 9: Struktur der Unfallfaktoren in der CEDATU 56
Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Datenerhebung unterteilt in die Vorher- und Nachher-Erhebungsphasen mit Kennzeichnung der Kundmachung der neuen „Rechtsabbiegen bei Rot“ Verordnung 61
Abbildung 11: Exemplarische Kameraausrichtung und Fahrtrajektorien an einer ausgewählten Kreuzung. 64
Abbildung 12: Beispielbilder aus dem annotierten Datensatz zur Erkennung des Ampelstatus. 66
Abbildung 13: Beispielhafte Ausgabe der bildbasierten VLSA Statuserkennung. Der Verlauf zeigt die erkannten Ampelphasen einer VLSA für Fußgänger:innen. 67
Abbildung 14: Übersicht des eingesetzten Multi-Object Tracking-by-Detection Ansatzes zur bildbasierten Extraktion der im Weltkoordinatensystem verorteten Trajektorien. 68
Abbildung 15: Bereiche von besonderem Interesse und Konfliktzonen an einer ausgewählten Kreuzung (exemplarische Darstellung). 71
Abbildung 16: Verhaltensgruppen der Radfahrer:innen inklusiver der farblich gekennzeichneten Ampelphasenschaltung der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen an Kreuzungen. 72

Abbildung 17: Verhaltensgruppen der Radfahrer:innen inklusiver der farblich gekennzeichneten Ampelphasenschaltung der beteiligten Verkehrsteilnehmer:innen an T-Kreuzungen. 73
Abbildung 18: Exemplarische Darstellung der Fahrtrajektorien der Radfahrer:innen der unterschiedlichen Verhaltensgruppen für einen Beobachtungstag. 74
Abbildung 19: Verlauf der theoretischen TTC Kurve mit Kennzeichnung der Minimum TTC [98]. 77
Abbildung 20: Theoretischer Verlauf der TTC mit einem Reaktionsmanöver und Kennzeichnung der TA [94]. 78
Abbildung 21: Beispiele von TTC Kurven mit Kennzeichnung kritischer Bereiche. Die TET ist der Zeitbereich, in welchem die TTC unter einem Grenzbereich TTC* liegt. Die TIT wird als Integral über die TTC im kritischen Bereich gebildet [100] adaptiert nach [108]. 79
Abbildung 22: Veranschaulichung der PET [112]. 81
Abbildung 23: Unterschiedliche Konfliktsituationen bei der Betrachtung der PET (vergleiche [100]). 82
Abbildung 24: Definition des Sicherheitsabstandes bei unterschiedlichen Szenarien, in welchen entweder die Fußgänger:innen oder der Pkw den Kreuzungspunkt der Bewegungstrajektorien zuerst erreicht [128]. 86
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen dem Risikobereich und der Bewegungsrichtung des Konfliktgegners [129]. 87
Abbildung 26: Altersverteilung nach Geschlecht 93
Abbildung 27: Nutzung Verkehrsmittel im Alltag 94
Abbildung 28: Tägliche Fahrleistung 96
Abbildung 29: Motivation Radfahren 100
Abbildung 30: Zweck Radfahren 102
Abbildung 31: Einschätzung der persönlichen Sicherheit 103
Abbildung 32: Gefühlte Sicherheit der Radfahrer:innen 105
Abbildung 33: Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen 108
Abbildung 34: Verhalten von Radfahrer:innen an Kreuzungen bei Rot 112
Abbildung 35: Informationsstand zur Grünpfeilregelung 115
Abbildung 36: Regelkenntnis Grünpfeil 116
Abbildung 37: Erwartungshaltung zur Grünpfeilregelung 118
Abbildung 38: Vorschläge zur Grünpfeilregelung 123
Abbildung 39: Absolute Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 127
Abbildung 40: Relative Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 127

Abbildung 41: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 129
Abbildung 42: Verteilung der häufigsten Unfalltypen mit verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 10 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 131
Abbildung 43: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 10 m zur Grünpfeilrelation 132
Abbildung 44: Absolute Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 134
Abbildung 45: Relative Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 135
Abbildung 46: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 136
Abbildung 47: Verteilung der häufigsten Unfalltypen mit verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 20 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 138
Abbildung 48: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 20 m zur Grünpfeilrelation 139
Abbildung 49: Absolute Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 142
Abbildung 50: Relative Häufigkeit der Kollisionspaarungen beteiligte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 142
Abbildung 51: Verletzte Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 144
Abbildung 52: Verteilung der häufigsten Unfalltypen mit verletzten Verkehrsteilnehmer:innen in einem Abstand von 40 m zur Grünpfeil-Kreuzungsrelation 146
Abbildung 53: Odds Ratio einzelner Unfalltypen im Nachher-Vorher-Vergleich in Bezug auf alle anderen Unfalltypen im Umkreis von 40 m zur Grünpfeilrelation 147
Abbildung 54: Kollisionsgegner bei Fahrradunfällen an Kreuzungen mit Grünpfeilregelung 155
Abbildung 55: Verletzungsschwere der Unfallgegner in Bezug zur Verletzungsschwere der Radfahrer:innen 156
Abbildung 56: Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit der Unfallbeteiligten 159
Abbildung 57: Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit der Radfahrer:innen im Pre-Post Vergleich 160
Abbildung 58: Unfallverursachende Verkehrsteilnehmer:innen 161
Abbildung 59: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren 162
Abbildung 60: Relative Häufigkeit der unfallkausalen Faktoren bezogen auf den jeweiligen Unfallbeteiligten 163

Abbildung 61: Korrelation der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Radfahrer:innen 165
Abbildung 62: Korrelation der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Unfallgegner:innen von Radfahrer:innen 166
Abbildung 63: Häufigkeit der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Radfahrer:innen 167
Abbildung 64: Häufigkeit der unfallkausalen und unfallbegünstigenden Faktoren aus der Perspektive der Unfallgegner:innen von Radfahrer:innen 168
Abbildung 65: Relative Häufigkeiten der unfallkausalen Faktoren in einer Vorher-Nachher-Betrachtung 169
Abbildung 66: Vorher-Nachher Beobachtungen im Tagesverlauf 172
Abbildung 67: Beobachtungen im Tagesverlauf und Erhebungsmonat 174
Abbildung 68: Beobachtungen im Wochenverlauf 175
Abbildung 69: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt (Zufahrt 1) der Radfahrer:innen 177
Abbildung 70: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Zufahrt (Zufahrt 1) der Radfahrer:innen 178
Abbildung 71: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung des Querverkehrs 179
Abbildung 72: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Geschwindigkeitsbeschränkung des Querverkehrs 180
Abbildung 73: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen 181
Abbildung 74: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Zufahrt der Radfahrer:innen 182
Abbildung 75: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Zufahrt der Radfahrer:innen 182
Abbildung 76: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Ausfahrt der Radfahrer:innen 184
Abbildung 77: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen mit bzw. ohne Radfahrstreifen in der Ausfahrt der Radfahrer:innen 185

Abbildung 78: Nicht-regelkonformen Verhalten (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf den Radfahrstreifentyp in der Ausfahrt der Radfahrer:innen .. 185
Abbildung 79: Nicht-regelkonformes Verhalten von Radfahrer:innen in Bezug auf die Sichtweite 187
Abbildung 80: Standardisierte Residuen nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) an Kreuzungen bezogen auf die Sichtweite 188
Abbildung 81: Verhalten der Radfahrer:innen vor und nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) 189
Abbildung 82: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) 190
Abbildung 83: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) 193
Abbildung 84: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen (exkl. Langzeitkreuzung) bezogen auf den Wochentag 194
Abbildung 85: Verhalten der Radfahrer:innen vor und nach der Kundmachung der Grünpfeilregelung an T-Kreuzungen 196
Abbildung 86: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 197
Abbildung 87: Verhalten der Radfahrer:innen unmittelbar vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung 201
Abbildung 88: Zeitliche Veränderung des Verhaltens der Radfahrer:innen vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung 201
Abbildung 89: Zeitliche Veränderung des nicht-regelkonformen Verhaltens (inkl. „Rule Compliant At Red“) vor und nach Einführung der Grünpfeilregelung der Langzeiterhebung 204
Abbildung 90: Vorher-Nachher-Vergleich des nicht-regelkonformen Verhaltens der Radfahrer:innen (inkl. „Rule Compliant At Red“) der Langzeiterhebung 205
Abbildung 91: Standardisierte Residuen des nicht-regelkonformen Verhaltens der Radfahrer:innen im Vorher-Nachher-Vergleich (inkl. „Rule Compliant At Red“) der Langzeiterhebung 205
Abbildung 92: Standardisierte Residuen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung im Tagesverlauf 208
Abbildung 93: Anzahl der Beobachtungen in den unterschiedlichen Verhaltensgruppen im Vorher-Nachher-Vergleich bezogen auf den Wochentag der Langzeiterhebung 209
Abbildung 94: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 211

Abbildung 95: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 211
Abbildung 96: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 213
Abbildung 97: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 213
Abbildung 98: Histogramm und kumulative Verteilung der DR von Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 215
Abbildung 99: Boxplot der DR von Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich 215
Abbildung 100: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 217
Abbildung 101: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 218
Abbildung 102: Histogramm und kumulative Verteilung der DR zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 220
Abbildung 103: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 221
Abbildung 104: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 221
Abbildung 105: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 223
Abbildung 106: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 223
Abbildung 107: Histogramm und kumulative Verteilung der DR zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 225
Abbildung 108: Boxplot der DR zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 225
Abbildung 109: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Pkw im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken..... 227
Abbildung 110: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen..... 229
Abbildung 111: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen 229
Abbildung 112: Histogramm und kumulative Verteilung der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen..... 231
Abbildung 113: Boxplot der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen 231

Abbildung 114: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen 233
Abbildung 115: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an Kreuzungen 233
Abbildung 116: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 235
Abbildung 117: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 235
Abbildung 118: Histogramm und kumulative Verteilung der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 237
Abbildung 119: Boxplot der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 237
Abbildung 120: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 239
Abbildung 121: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich an T-Kreuzungen 239
Abbildung 122: Histogramm und kumulative Verteilung der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 241
Abbildung 123: Boxplot der TTC zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 241
Abbildung 124: Histogramm und kumulative Verteilung der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 243
Abbildung 125: Boxplot der PET zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 243
Abbildung 126: Histogramm und kumulative Verteilung der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 245
Abbildung 127: Boxplot der ED zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Vorher-Nachher-Vergleich der Langzeiterhebung 245
Abbildung 128: Kritikalität zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen im Nachher-Vorher-Vergleich bezogen kritische zu unkritische Situationen der untersuchten Metriken 247
Abbildung 129: Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Konflikten im Nachher-Vorher-Vergleich zwischen Radfahrer:innen und Pkw 278
Abbildung 130: Zusammenhang zwischen kritischen und unkritischen Konflikten im Nachher-Vorher-Vergleich zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen 284

Literaturverzeichnis

[1] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, “Arbeitspapier Nr. 36: Einsatzkriterien für die Zusatztafel mit Grünpfeil für den Fahrradverkehr,” 2023.

[2] Mamlouk, M., “Right Turn on Red: Utilization and Impact,” Final Report, 1976.

[3] Maier, R., Hantschel, S., Ortlepp, J., and Butterwegge, P., “Sicherheit von Grünpfeilen,” Forschungsbericht / Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V, Nr. 31, GDV, Berlin, ISBN 978-3-939163-59-6, 2015.

[4] Zador, P.L., “Right-Turn-on-Red Laws and Motor Vehicle Crashes,” Research Note 104, 1982.

[5] Dussault, C., “Safety Effects Of Right Turn On Red: A Meta-Analysis,” *8th, Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference*, 8th, Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference, Saskatoon:427–440, 1993.

[6] Retting, R.A., Nitzburg, M.S., Farmer, C.M., and Knoblauch, R.L., “Field Evaluation of Two Methods for Restricting Right Turn on Red to Promote Pedestrian Safety,” ITE Journal (Institute of Transportation Engineers) 72, 2001.

[7] Preusser, D.F., Leaf, W.A., DeBartolo, K.B., Blomberg, R.D. et al., “The effect of right-turn-on-red on pedestrian and bicyclist accidents,” DOT HS 806 182, 1981.

[8] State of Idaho, “Title 49 Motor Vehicles, Chapter 7 Pedestrians and Bicycles: 49 720,”

[9] Nederlandse overheid, “Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990: RVV 1990,”

[10] Ceunynck, T. de, Daniels, S., Vanderspikken, B., Brijs, K. et al., “Is there a spillover effect of a right turn on red permission for bicyclists?,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 36(1):35–45, 2016, doi:https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.10.016

[11] Knudsen, N. and Møller-Lange, M., “Følgeeffekter ved tilladelse af højresving for rødt for cyklister,” *Annual Transport Conference at Aalborg University 2021*, Annual Transport Conference at Aalborg University, 17/08/2021, 2021.

[12] CERTU, “Cédez-le-passage cycliste au feu rouge,” 89, 2012.

[13] Niestegge, M., Schüller, H., Hantschel, S., Schröter, B. et al., “Pilotversuch des Rechtsabbiegens von Rad Fahrenden bei Rot,” Verkehrstechnik V 355, 2022.

[14] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, “Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO),”

[15] Wu, C., Yao, L., and Zhang, K., “The red-light running behavior of electric bike riders and cyclists at urban intersections in China: an observational study,” *Accident Analysis & Prevention* 49:186–192, 2012, doi:10.1016/j.aap.2011.06.001.

[16] Johnson, M., Newstead, S., Charlton, J., and Oxley, J., “Riding through red lights: the rate, characteristics and risk factors of non-compliant urban commuter cyclists,” *Accident; analysis and prevention* 43(1):323–328, 2011, doi:10.1016/j.aap.2010.08.030.

[17] Bacchieri, G., Barros, A.J.D., Dos Santos, J.V., and Gigante, D.P., “Cycling to work in Brazil: users profile, risk behaviors, and traffic accident occurrence,” *Accident; analysis and prevention* 42(4):1025–1030, 2010, doi:10.1016/j.aap.2009.12.009.

[18] Johnson, M., Charlton, J., Oxley, J., and Newstead, S., “Why do cyclists infringe at red lights? An investigation of Australian cyclists' reasons for red light infringement,” *Accident; analysis and prevention* 50:840–847, 2013, doi:10.1016/j.aap.2012.07.008.

[19] Schleinitz, K., Petzoldt, T., Kröling, S., Gehlert, T. et al., “(E-)Cyclists running the red light - The influence of bicycle type and infrastructure characteristics on red light violations,” *Accident; analysis and prevention* 122:99–107, 2019, doi:10.1016/j.aap.2018.10.002.

[20] Schramm, A., Rakotonirainy, A., and Haworth, N., “How much does disregard of road rules contribute to bicycle-vehicle collisions?,” *National Conference of the Australasian College of Road Safety and the Travelsafe Committee of the Queensland*

Parliament, National Conference of the Australasian College of Road Safety and the Travelsafe Committee of the Queensland Parliament, Brisbane, Australia, 2008.

[21] Schröter, B., Hantschel, S., Niestegge, M., Schüller, H. et al., "Introducing right turn on red for cyclists—a before-after study on behavioural adaption in Germany," *TSR* 7:e000062, 2024, doi:10.55329/iehf1403.

[22] Twaddle, H. and Busch, F., "Binomial and multinomial regression models for predicting the tactical choices of bicyclists at signalised intersections," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 60(1):47–57, 2019, doi:10.1016/j.trf.2018.10.002.

[23] Allen, D., Bygrave, S., and Harper, H., "Behaviour at cycle advanced stop lines," Project Report PPR240, 2005.

[24] Tarrier, M., Abbott, L., Obee, M., Batchelor, H. et al., "Proportion of Cyclists Who Violate Red Lights in London," RNPR Traffic Note 8, 2007.

[25] Johnson, M., Charlton, J., and Oxley, J., "Cyclists and red lights - a study of behaviour of commuter cyclists in Melbourne," *Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference 2008*, Proceedings 2008 Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Adelaide, Australia, 10/11/08 - 12/11/08, 2008.

[26] Zeibots, M., Baumann, C., Breannan, T., and Besh, T., "Intersection interactions: cyclist behaviour at Sydney CDB cycleway intersections," 2012.

[27] Monsere, C., Figliozzi, M., Thompson, S., and PAULSEN, K., "Operational Guidance For Bicycle-Specific Traffic Signals in the United States," FHWA-OR-RD-14-06 Final Report, 2013, doi:10.15760/trec.146.

[28] Zhang, Y. and Wu, C., "The effects of sunshields on red light running behavior of cyclists and electric bike riders," *Accident; analysis and prevention* 52:210–218, 2013, doi:10.1016/j.aap.2012.12.032.

[29] Pai, C.-W. and Jou, R.-C., “Cyclists' red-light running behaviours: an examination of risk-taking, opportunistic, and law-obeying behaviours,” *Accident; analysis and prevention* 62:191–198, 2014, doi:10.1016/j.aap.2013.09.008.

[30] Richardson, M. and Caulfield, B., “Investigating traffic light violations by cyclists in Dublin City Centre,” *Accident; analysis and prevention* 84:65–73, 2015, doi:10.1016/j.aap.2015.08.011.

[31] Yang, X., Abdel-Aty, M., Huan, M., Jia, B. et al., “The effects of traffic wardens on the red-light infringement behavior of vulnerable road users,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 37(6):52–63, 2016, doi:10.1016/j.trf.2015.12.009.

[32] Brezina, T. and Hildebrandt, B., “Where do Cyclists Run Red Lights? An Investigation Into Infrastructural Circumstances,” in: Čokorilo, O. (ed.), *ICTTE: International Conference on Traffic and Transport Engineering : November 24-25, 2016, Belgrade, Serbia*, City Net Scientific Research Center Ltd, Belgrade, ISBN 978-86-916153-3-8, 2016.

[33] Fraboni, F., Marín Puchades, V., Angelis, M. de, Pietrantoni, L. et al., “Red-light running behavior of cyclists in Italy: An observational study,” *Accident; analysis and prevention* 120:219–232, 2018, doi:10.1016/j.aap.2018.08.013.

[34] Bai, L. and Sze, N.N., “Red light running behavior of bicyclists in urban area: Effects of bicycle type and bicycle group size,” *Travel Behaviour and Society* 21(7):226–234, 2020, doi:10.1016/j.tbs.2020.07.003.

[35] Rosén, E. and Sander, U., “Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed,” *Accident Analysis & Prevention* 41(3):536–542, 2009, doi:10.1016/j.aap.2009.02.002.

[36] Thom, R.G. and Clayton, A.M., “Low-cost opportunities for making cities bicycle-friendly based on a case study analysis of cyclist behavior and accidents / Robert G. Thom and Alan M. Clayton,” [s.n.], [S.l.], 1992.

[37] Lawson, S.D., “Red-light running: accidents and surveillance cameras / by Stephen D. Lawson,” AA Foundation for Road Safety Research and Birmingham City Council, Basingstoke, ISBN 9780709301790, 1991.

[38] Lutschounig, S. and Robatsch, K., “Rotlichtüberfahrer,” *Zeitschrift für Verkehrsrecht*(41(4)):141–144, 2005.

[39] Yang, X., Huan, M., Si, B., Gao, L. et al., “Crossing at a Red Light: Behavior of Cyclists at Urban Intersections,” *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2012(1):91, 2012, doi:10.1155/2012/490810.

[40] Waard, D. de, Westerhuis, F., and Lewis-Evans, B., “More screen operation than calling: the results of observing cyclists' behaviour while using mobile phones,” *Accident; analysis and prevention* 76:42–48, 2015, doi:10.1016/j.aap.2015.01.004.

[41] BIVV, “Proefproject in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest met de toelating voor fietsers om rechtsaf door rood te rijden (B22) of om rechtdoor door rood te rijden (B23): Pilotprojekt in der Region Brüssel-Hauptstadt, das es Radfahrern erlaubt, bei roter Ampel rechts abzubiegen (B22) oder geradeaus über eine rote Ampel zu fahren (B23),” 2012.

[42] Eriksson, A., “Evaluering af højresving tilladt for rødt for cykler,” 15/15942-1, 2016.

[43] VEJDIREKTORATET, “FORSØG MED HØJRESVING FOR RØDT – FOR CYKLISTER,”

[44] Wikipedia, “Rechts Abbiegen für Radfahrer frei,” https://de.wikipedia.org/wiki/Rechts_Abbiegen_f%C3%BCr_Radfahrer_frei#cite_note-1, September 11, 2024.

[45] Theorie Nederland, “Les 3: Verkeerslichten,” https://www.theorienederland.nl/les-3-verkeerslichten/, November 26, 2024.

[46] Egeler, C., Erzinger, F., Blumenstein, A., Kauffmann, V. et al., “Langsamverkehrsfreundliche Lichtsignalanlagen,” Forschungsprojekt SVI 2011/024, 2015.

[47] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung, “Radfahrer – Rechtsabbiegen bei Rot,” Empfehlung Verkehrstechnik MS.010-2017, 2017.

[48] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung, “Velofahren – Rechtsabbiegen bei Rot: Fachdokumentation,” Verkehrstechnik, Markierung und Signale MS.010-2020, 2020.

[49] Hirzel, D., Plüss, L., and Schneider, S., “Wirkungskontrolle Einführung Rechtsabbiegen bei Rot für Velos: Schlussbericht,” 2021.

[50] Durner, D., Hungerbühler, M., and Treichler, K., “Rechtsabbiegen bei Rot für den Veloverkehr in Zürich,” Info Bulletin 1/21, 2021.

[51] Frey, H. and Leth, U., “Pilotversuch Rechtsabbiegen bei Rot,” Band 084, Februar, 2021.

[52] Meggs, J.N., “Bicycle Safety and Choice: Compounded Public Cobenefits of the Idaho Law Relaxing Stop Requirements for Cycling,” 2010.

[53] bikeleague, “Bicycle Friendly State: "Idaho Stop" and "Dead Red" Laws,” https://bikeleague.org/sites/default/files/IdahoStop-DelawareYield_10_2020.pdf.

[54] Mayerhofer, W., “Das Fokusgruppeninterview,” in: Buber, R. and Holzmüller, H.H. (eds.), *Qualitative Marktforschung: Konzepte - Methoden - Analysen*, Lehrbuch, 2nd ed., Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, ISBN 978-3-8349-9441-7:477–490, 2009.

[55] Kitzinger, J., “Qualitative research. Introducing focus groups,” *BMJ (Clinical research ed.)* 311(7000):299–302, 1995, doi:10.1136/bmj.311.7000.299.

[56] Nyumba, T., Wilson, K., Derrick, C.J., and Mukherjee, N., “The use of focus group discussion methodology: Insights from two decades of application in conservation,” *Methods Ecol Evol* 9(1):20–32, 2018, doi:10.1111/2041-210X.12860.

[57] Flick, U., Kardorff, E.v., Keupp, H., Rosenstiehl, L.v. et al. (eds.), “Handbuch Qualitative Sozialforschung: Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen,” 3rd ed., Beltz Psychologie Verlags Union, Weinheim, ISBN 978-3-621-28074-7, 2012.

[58] Krueger, R.A. and Casey, M.A., “Focus groups: A practical guide for applied research,” 5th ed., SAGE, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, ISBN 9781483365244, 2015.

[59] Rabiee, F., “Focus-group interview and data analysis,” *Proc. Nutr. Soc.* 63(04):655–660, 2004, doi:10.1079/PNS2004399.

[60] Mayring, P., Huber, G.L., Gürtler, L., and Kiegelmann, M. (eds.), “Mixed Methodology in Psychological Research,” Brill | Sense, ISBN 9789087903503, 2007.

[61] Mayring, P., “Generalisierung in qualitativer Forschung [23 Absätze]. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 8(3), Art. 26,” *Forum Qualitative Sozialforschung* 3(8), 2007.

[62] Kvale, S. and Brinkmann, S., “InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing,” 2nd ed., Sage Publ, Thousand Oaks Calif. u.a., ISBN 9780761925422, 2009.

[63] Froschauer, U. and Lueger, M., “Das qualitative Interview: Zur Praxis interpretativer Analyse sozialer Systeme,” UTB Soziologie, vol. 2418, 1st ed., WUV, Wien, ISBN 382522418X, 2003.

[64] Pötschke, M. von, “Potentiale von Online-Befragungen: Erfahrungen aus der Hochschulforschung,” in: Jackob, N., Schoen, H., and Zerback, T. (eds.), *Sozialforschung im Internet*, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, ISBN 978-3-531-16071-9:75–89, 2009.

[65] Gusy, B. and Marcus, K., “Online Befragungen: Eine Alternative zu paper-pencil Befragungen in der Gesundheitsberichterstattung bei Studierenden,” Schriftenreihe des AB Public Health: Prävention und psychosoziale Gesundheitsforschung Nr. 01/P12, 2012.

[66] Statistik Austria, “Standard-Dokumentation Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zur Statistik der Straßenverkehrsunfälle,” 2022.

[67] Tomasch, E., Steffan, H., and Darok, M., “Retrospective accident investigation using information from court,” in: TRA (ed.), *Transport Research Arena 2008 (TRA)*, Ljubljana, Slovenia, April 21-24, ISBN 978-92-79-10039-0, 2008.

[68] Johannsen, H., “Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion: Grundlagen der Unfallaufklärung,” ATZ/MTZ-Fachbuch, 3rd ed., Springer Vieweg, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-01594-7, 2013.

[69] Wagner, H.-J., “Verkehrsmedizin,” Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-642-93244-1, 1984.

[70] Burg, H. and Moser, A., “Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation,” ATZ/MTZ-Fachbuch, 3rd ed., Springer, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-16143-9, 2017.

[71] Steffan, H., “PC-CRASH, A Simulation Program for Car Accidents,” *26th International Symposium on Automotive Technology and Automation*, ISATA, Aachen, 13.-17.September 1993, 1993.

[72] Steffan, H. and Moser, A., “The Collision and Trajectory Models of PC-CRASH,” *International Congress & Exposition*, SAE Technical Papers, FEB. 26, 1996, SAE International, 1996.

[73] Cliff, W.E. and Montgomery, D.T., “Validation of PC-Crash - A Momentum-Based Accident Reconstruction Program,” in: *SAE Technical Papers*, 1996.

[74] Moser, A., Hoschopf, H., Steffan, H., and Kasanicky, G., “Validation of the PC-Crash Pedestrian Model,” in: SAE (ed.), *SAE Technical Paper Series*, SAE Technical Paper Series, 44th Stapp Car Crash Conference (2000), NOV. 06, 2000, SAE International 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 2000.

[75] Baikejuli, M., Shi, J., and Hussain, M., “A study on the probabilistic quantification of heavy-truck crash risk under the influence of multi-factors,” *Accident Analysis & Prevention* 174:106771, 2022, doi:10.1016/j.aap.2022.106771.

[76] Blower, D. and Campbell, K., “Large Truck Crash Causation Study Analysis Series: Methodology of the Large Truck Crash Causation Study,” 2005, doi:10.21949/1502728.

[77] Rahimi, A., Azimi, G., Jin, X., Zhai, L. et al., “Exploring Crash Causation for Large Truck-Involved Accidents: A Hierarchical Framework,” in: Zhang, G. (ed.), *International Conference on Transportation and Development 2020: Transportation Safety*, American Society of Civil Engineers, Reston, ISBN 9780784483145, 2020.

[78] Wallén Warner, H., Ljung Aust, M., Sandin, J., Johansson, E. et al., “Manual for DREAM 3.0, Driving Reliability and Error Analysis Method.: Deliverable D5.6 of the EU FP6 project SafetyNet,” SafetyNet Deliverable D5.6 TREN-04-FP6TR-SI2.395465/506723, 2008.

[79] Tomasch, E. and Steffan, H., “ZEDATU - Zentrale Datenbank tödlicher Unfälle in Österreich - A Central Database of Fatalities in Austria,” in: ESAR (ed.), *2nd International Conference on ESAR (Expert Symposium on Accident Research)*, 2nd International Conference on ESAR, Hanover, Germany, September 1-2, ESAR, 2006.

[80] Kirillova, N., Possegger, H., and Bischof, H., “A Visual Surveillance System to Observe Realistic Road User Behavior for Improved Pedestrian and Cyclist Safety at Crossroads,” *2022 18th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 2022 18th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), Madrid, Spain, 2022, IEEE, ISBN 978-1-6654-6382-9:1–8, 2022.

[81] Schachner, M., Kirillova, N., Weißenbacher, F., Schneider, B. et al., “Observation-based pedestrian scenario extraction for virtual testing,” in: National Highway Traffic Safety Administration (ed.), *The 27th ESV Conference Proceedings*, ESV Conference Proceedings, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Yokohama, Japan, 3-6 April 2023, 2023.

[82] Schachner, M., Schneider, B., Weissenbacher, F., Kirillova, N. et al., “Identifying and Extracting Pedestrian Behavior in Critical Traffic Situations,” in: IEEE (ed.), *26th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*:3943–3949, 2023.

[83] Fukushima, K., “Visual Feature Extraction by a Multilayered Network of Analog Threshold Elements,” *IEEE Trans. Syst. Sci. Cyber.* 5(4):322–333, 1969, doi:10.1109/TSSC.1969.300225.

[84] Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I. et al., “Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting,” *Journal of Machine Learning Research* 15(56):1929–1958, 2014.

[85] Wojke, N., Bewley, A., and Paulus, D., “Simple online and realtime tracking with a deep association metric,” *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Beijing, 2017, IEEE, ISBN 978-1-5090-2175-8:3645–3649, 2017.

[86] Wang, C.-Y., Yeh, I.-H., and Liao, H.-Y.M., “YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information,” 2024, doi:10.48550/arXiv.2402.13616.

[87] Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Bourdev, L. et al., “Microsoft COCO: Common Objects in Context,” 2014, doi:10.48550/arXiv.1405.0312.

[88] Mohr, L., Kirillova, N., Possegger, H., and Bischof, H., “A Comprehensive Crossroad Camera Dataset to Improve Traffic Safety of Mobility Aid Users,” *34th British Machine Vision Conference 2023*, 34th British Machine Vision Conference 2023, Aberdeen, UK, November 20-24, BMVA, 2023.

[89] Ertler, C., Possegger, H., Opitz, M., and Bischof, H., “Pedestrian Detection in RGB-D Images from an Elevated Viewpoint,” *22nd Computer Vision Winter Workshop*, 22nd Computer Vision Winter Workshop, Retz, Austria, February 6-8, 2017.

[90] Munkres, J., “Algorithms for the Assignment and Transportation Problems,” *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics* 5(1):32–38, 1957, doi:10.1137/0105003.

[91] Kalman, R.E., “A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems,” Transactions of the ASME Journal of Basic Engineering, 82 (Series D): 35-45, 1960.

[92] Zhou, K., Yang, Y., Cavallaro, A., and Xiang, T., “Omni-Scale Feature Learning for Person Re-Identification,” 2019, doi:10.48550/arXiv.1905.00953.

[93] Schachner, M., Weissenbacher, F., Kirillova, N., Possegger, H. et al., “Identifying and Extracting Pedestrian Behavior in Critical Traffic Situations,” in: IEEE (ed.), *26th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems: ITSC*, 2023.

[94] Hydén, C., “The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish traffic conflicts technique,” @Lund, Univ., Diss. : 1987, Bulletin. Department of Traffic Planning and Engineering. Lund Institute of Technology, vol. 70, Inst. of Technology Dep. of Traffic Planning and Engineering, Lund, 1987.

[95] Archer, J., “Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections,” Doctoral Thesis, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Sweden, 2005.

[96] Laureshyn, A. and Várhelyi, A., “The Swedish Traffic Conflict Technique: Observer's Manual,” Manual v.1.0, 2018.

[97] Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., and Shelby, Steven, G., “Surrogate Safety Assessment Model and validation: Final report,” FHWA-HRT-08-051, 2008.

[98] Hayward, J.C., “Near miss determination through use of a scale of danger,” 1972.

[99] Allen, B.C., Shin, B.T., and Cooper, P.J., “Analysis of traffic conflicts and collisions,” *Transportation Research Record* 667(667):pp 67-74, 1978.

[100] Laureshyn, A., Jonsson, C., Ceunynck, T. de, Svensson, A. et al., “Review of current study methods for VRU safety: Appendix 6 – Scoping review: surrogate measures of safety in site-based road traffic observations,” Deliverable 2.1 – part 4, 2016.

[101] Li, L., Gan, J., Yi, Z., Qu, X. et al., “Risk perception and the warning strategy based on safety potential field theory,” *Accident; analysis and prevention* 148:105805, 2020, doi:10.1016/j.aap.2020.105805.

[102] Nadimi, N., Behbahani, H., and Shahbazi, H., “Calibration and validation of a new time-based surrogate safety measure using fuzzy inference system,” *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 3(1):51–58, 2016, doi:10.1016/j.jtte.2015.09.004.

[103] Nadimi, N., Ragland, D.R., and Mohammadian Amiri, A., “An evaluation of time-to-collision as a surrogate safety measure and a proposal of a new method for its application in safety analysis,” *Transportation Letters* 12(7):491–500, 2020, doi:10.1080/19427867.2019.1650430.

[104] Gettman, D. and Head, L., “Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models,” 1840:104–115, 2003, doi:10.3141/1840-12.

[105] van der Horst, R., “A Time-based Analysis of Road User Behaviour in Normal and Critical Encounters,” Doctoral Thesis, Technische Universität Delft, Delft, 1990.

[106] Hydén, C. and Linderholm, L., “The Swedish Traffic-Conflicts Technique,” in: Asmussen, E. (ed.), *International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-642-82111-0:133–139, 1984.

[107] Lord, D., “Analysis of Pedestrian Conflicts with Left-Turning Traffic,” *Transportation Research Record* 1538(1):61–67, 1996, doi:10.1177/0361198196153800108.

[108] Minderhoud, M.M. and Bovy, P.H.L., “Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment,” *Accident Analysis & Prevention* 33(1):89–97, 2001, doi:10.1016/S0001-4575(00)00019-1.

[109] Várhelyi, A., “Drivers' speed behaviour at a zebra crossing: a case study,” *Accident Analysis & Prevention* 30(6):731–743, 1998, doi:10.1016/S0001-4575(98)00026-8.

[110] Godthelp, H., Milgram, P., and Blaauw, G.J., “The Development of a Time-Related Measure to Describe Driving Strategy,” *Hum Factors* 26(3):257–268, 1984, doi:10.1177/001872088402600302.

[111] Hillenbrand, M., “Funktionale Sicherheit nach ISO 26262 in der Konzeptphase der Entwicklung von Elektrik/Elektronik Architekturen von Fahrzeugen,” Doctoral Thesis, Hannover, Karlsruhe, 2011.

[112] van der Horst, A.R.A., Goede, M. de, Hair-Buijssen, S. de, and Methorst, R., “Traffic conflicts on bicycle paths: A systematic observation of behaviour from video,” *Accident Analysis & Prevention* 62:358–368, 2014, doi:10.1016/j.aap.2013.04.005.

[113] Varhelyi, A., “Dynamic speed adaptation based on information technology : a theoretical background / Andras Varhelyi,” Doctoral Thesis, Tekniska högskolan i Lund Institutionen för traffikteknik, Lund, Sweden, 1996.

[114] Peesapati, L.N., Hunter, M.P., and Rodgers, M.O., “Evaluation of Postencroachment Time as Surrogate for Opposing Left-Turn Crashes,” *Transportation Research Record* 2386(1):42–51, 2013, doi:10.3141/2386-06.

[115] Peesapati, L.N., Hunter, M.P., and Rodgers, M.O., “Can post encroachment time substitute intersection characteristics in crash prediction models?,” *Journal of Safety Research* 66:205–211, 2018, doi:10.1016/j.jsr.2018.05.002.

[116] van der Horst, R. and Hogema, J., “Time-to-Collision and Collision Avoidance Systems,” 1994.

[117] Evans, L., “Traffic safety and the driver / Leonard Evans,” Van Nostrand Reinhold, New York, ISBN 9780442001636, 1991.

[118] Michael, P.G., Leeming, F.C., and Dwyer, W.O., “Headway on urban streets: observational data and an intervention to decrease tailgating,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 3(2):55–64, 2000, doi:10.1016/S1369-8478(00)00015-2.

[119] Vogel, K., “A comparison of headway and time to collision as safety indicators,” *Accident Analysis & Prevention* 35(3):427–433, 2003, doi:10.1016/S0001-4575(02)00022-2.

[120] Older, S.J. and Spicer, B.R., “Traffic Conflicts—A Development in Accident Research,” *Human factors* 18(4):335–350, 1976, doi:10.1177/001872087601800403.

[121] Hunter, M., Saldivar-Carranza, E., Desai, J., Mathew, J.K. et al., “A Proactive Approach to Evaluating Intersection Safety Using Hard-Braking Data,” *J. Big Data Anal. Transp.* 3(2):81–94, 2021, doi:10.1007/s42421-021-00039-y.

[122] Nygård, M., “A method for analysing traffic safety with help of speed profiles,” *Mémoire de DEA, Tampere University of Technology*, 1999.

[123] Bagdadi, O. and Várhelyi, A., “Development of a method for detecting jerks in safety critical events,” *Accident; analysis and prevention* 50:83–91, 2013, doi:10.1016/j.aap.2012.03.032.

[124] Hydén, C., “Traffic conflicts technique: state-of-the-art Traffic Safety Work with Video-processing,” Grüne Reihe, Nr. 43, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Verkehrswesen, Kaiserslautern, 1996.

[125] Hupfer, C., “Deceleration to Safety Time (DST)—a useful figure to evaluate traffic safety?,” in: ICTCT (ed.), *10th International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic safety (ICTCT)*, 10th International Co-operation on Theories and Concepts in Traffic safety (ICTCT), Lund, Sweden, 5-7 November, 1997.

[126] Bagdadi, O. and Várhelyi, A., “Jerky driving--An indicator of accident proneness?,” *Accident; analysis and prevention* 43(4):1359–1363, 2011, doi:10.1016/j.aap.2011.02.009.

[127] Guido, G., Vitale, A., Gallelli, V., and Figliomeni, G., “Level of Safety on Two-Lane Undivided Rural Highways,” *AMM* 253-255:1705–1710, 2012, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.253-255.1705.

[128] Golakiya, H.D., Chauhan, R., and Dhamaniya, A., “Evaluating safe distance for pedestrians on urban midblock sections using trajectory plots,” *European Transport\Trasporti Europei* 75(2), 2020.

[129] Tang, S., Lu, Y., Liao, Y., Cheng, K. et al., “A New Surrogate Safety Measure Considering Temporal–Spatial Proximity and Severity of Potential Collisions,” *Applied Sciences* 14(7):2711, 2024, doi:10.3390/app14072711.

[130] Venthuruthiyil, S.P. and Chunchu, M., “Anticipated Collision Time (ACT): A two-dimensional surrogate safety indicator for trajectory-based proactive safety assessment,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 139(4):103655, 2022, doi:10.1016/j.trc.2022.103655.

[131] Wei, F., Guo, W., Liu, X., Liang, C. et al., “Left-Turning Vehicle Trajectory Modeling and Guide Line Setting at the Intersection,” *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2014(11):1–7, 2014, doi:10.1155/2014/950219.

[132] Mohan, M. and Chandra, S., “Three methods of PCU estimation at unsignalized intersections,” *Transportation Letters* 10(2):68–74, 2018, doi:10.1080/19427867.2016.1190883.

[133] Ogawa, K., “An Analysis of Traffic Conflict Phenomenon of Bicycles Using Space Occupancy Index,” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 7:1820–1827, 2007, doi:10.11175/easts.7.1820.

[134] MacCarley, C., Ackles, C., and Watts, T., “Highway Traffic Response to Dynamic Fog Warning and Speed Advisory Messages,” *Transportation Research Record* 1980:95–104, 2006, doi:10.3141/1980-15.

[135] Augenstein, J., Bahouth, G., Digges, K., Stratton, J. et al., “Characteristics of crashes that increase the risk of serious injuries,” 2003.

[136] International Organization for Standardization, “Road vehicles - Traffic accident analysis. Part 1: Vocabulary,” ISO 12353-1, 2nd ed., Rev. Jan. 2020.

[137] Bagdadi, O., “Estimation of the severity of safety critical events,” *Accident; analysis and prevention* 50:167–174, 2013, doi:10.1016/j.aap.2012.04.007.

[138] Famiglietti, N., Nguyen, B., Fatzinger, E., and Landerville, J., “Bicycle Braking Performance Testing and Analysis,” *SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility* 2(6):3384–3397, 2020, doi:10.4271/2020-01-0876.

[139] Beyer, H., “Tukey, John W.: Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley Publishing Company Reading, Mass. — Menlo Park, Cal., London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney 1977, XVI, 688 S,” *Biometrical J* 23(4):413–414, 1981, doi:10.1002/bimj.4710230408.

Abkürzungen

ACL	Access Control List
CCR	Critical Conflict Region
CCT	Cumulative Coexisting Time
CEDATU	Central Database for In-Depth Accident Study
CNN	Convolutional Neural Network
CVF	Computer Vision Foundation
CZ	Conflict Zone
DR	Deceleration Rate
DRAC	Deceleration Rate to Avoid Crash
DST	Deceleration to Safety Time
DMP	Datenmanagementplan
ET	Encroachment Time
FGI	Fokusgruppeninterview
FSV	Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr
GT	Gap Time
Hz	Hertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP66	Ingress Protection 66 (Schutzart)
LiFePO4	Lithium-Eisenphosphat
IQR	Interquartile Range
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
mAP	mean Average Precision
Mdn	Median
MTTC	Minimum-Time-to-Collision
MW	Mittelwert
n	Stichprobengröße, Fallzahl
OR	Odds Ratio

OT	Occupancy Time
PAG	Pavement At Green
PAR	Pavement At Red
PCRI	Potential Conflict Risk Index
PET	Post-Encroachment-Time
PCS	Potential Collision Speed
PSD	Proportion of Stopping Distance
RBR	Required Braking Rate
RCAR	Rule Compliant At Red
RVAR	Rule Violation At Red
SA	Standartabweichung
SAG	Straight At Green
SAR	Straight At Red
SD	Safety Distance
SOI	Space Occupancy Index
SSM	Safety Surrogate Measures
STR	Stress
StVO	Straßenverkehrsordnung
TA	Time to Accident
TET	Time Exposed Time-to-Collision
THW	Time Headway
TIT	Time Integrated Time-to-Collision
TLC	Time-to-Lane-Crossing
TTA	Time-to-Accident
TTC	Time-to-Collision
TTR	Time-to-React
TTZ	Time to Zebra
TU	Technische Universität

TUG	Turn At Green
UDM	Unfalldatenmanagement
UGID	Untergruppen ID
VLSA	Verkehrslichtsignalanlage
VPN	Virtuelles Privates Netzwerk
WGS84	World Geodetic System 1984
ZOI	Zone Of Interest