



Beitragende Autor:innen

Martin Bejarano
Angelika C. Bullinger
Uta Burghard
Elisabeth Dütschke
Jochen Eckart
David Friel
Anne Graf
Marvin Helferich
Claudia Hille
Dimitar Iliev
Laura Kehrer
Mahmoud Laghbani
Martina Lohmeier
Konstantin Melerowicz
Erik Ooms
Franziska Palm
Peter Pez
Katharina Precht
Thomas Richter
Christina M. Rutka
Stephan Schmidt
Marc Schwarzkopf
Antje Seidel
Sabine Schröder
Josephine Tröger



Journal für
Mobilität und Verkehr

Nr. 23 (2025)

Radverkehr im urbanen Raum

Strategien zur Förderung und Optimierung
fahrradfreundlicher Verkehrsinfrastrukturen

Wissenschaftliche Leitung
Prof. Dr. Claudia Hille

Inhaltsverzeichnis

Editorial <i>Claudia Hille</i>	1
Radverkehrsplanung neu gedacht: Perspektiven für eine gerechte und nachhaltige Mobilität <i>Martina Lohmeier, Franziska Palm, Christina M. Rutka</i>	3
Radverkehrsförderung 3.0 – Barrierefrei, netztransparent, digital, flächendeckend <i>Peter Pez, Antje Seidel</i>	12
Radfahren in Zeiten des Klimawandels – macht Hitze das Radfahren (im All-tag) unattraktiver? <i>Uta Burghard, Marvin Helferich, Claudia Hille, Josephine Tröger, Anne Graf, Elisabeth Dütschke</i>	22
Mehr Lücken als das Radverkehrsnetz? Forschung zu intuitiv verständlicher Radinf-rastruktur <i>David Friel</i>	30
Sicherheitsauswirkungen unterschiedlicher Radverkehrsführungsformen auf den Fußverkehr <i>Konstantin Melerowicz, Thomas Richter</i>	39
Einstreifige Kernfahrbahn und Schutzstreifen – mehr Sicherheit für Fuß- und Radverkehr Laura Kehrer	46
Von der Angst zur Akzeptanz: Mit Virtueller Realität die subjektive Sicherheit von Radfahrinfrastruktur erfassen und verbessern <i>Marc Schwarzkopf, Katharina Precht & Angelika C. Bullinger</i>	54
Multisensorische Straßenzustandsanalyse mittels Lastenrad - Aus dem Projekt R4R <i>Mahmoud Laghbanj, Stephan Schmidt, Dimitar Iliev</i>	60

- Ein Modell der Fahrzustände einer Fahrradfahrt - die biomechanische Analyse von Alltagsradelnden 70
Martin Bejarano, Jochen Eckart
- Das niederländische Innovationsökosystem Tour de Force als Inspiration für die Radverkehrspolitik in NRW oder Deutschland 79
Erik Ooms, Sabine Schröder

Editorial

Prof. Dr. Claudia Hille, Hochschule Karlsruhe - University of Applied Sciences (HKA)

Als das Fahrrad vor über 200 Jahren erfunden wurde, hat es das Verkehrssystem quasi über Nacht revolutioniert. Das Fahrrad hat vielen Menschen eine selbstbestimmte und kostengünstige Mobilität ermöglicht, die so vorher kaum möglich war. Blickt man auf die Geschichte des Fahrrades, dann ist das Rad fortan immer auch ein Spiegel gesellschaftlicher Entwicklungen. So ist beispielsweise die Emanzipation der Frau eng mit dem Fahrrad verknüpft, der wirtschaftliche Aufschwung nach dem 2. Weltkrieg zeigt sich auch im Niedergang des Rades sowie dem Aufstieg des Automobils und als in Zeiten von Corona vieles nicht mehr möglich war, erlebte das Fahrrad einen regelrechten Boom.

Das Fahrrad stellt ein zuverlässiges, kostengünstiges und gesundes Alltagsverkehrsmittel dar. Es hat das Potenzial, zum zentralen Bestandteil einer sozial-ökologischen Transformation zu werden, wenn künftig noch mehr Menschen auf das Rad umsteigen. Eine sichere und ausreichend dimensionierte Radinfrastruktur ist dafür der Grundstein. Zugleich aber führt die vermehrte Nutzung des Fahrrads vielerorts zu Konflikten. In unseren historisch gewachsenen Städten, in denen der begrenzte Raum bisher vor allem dem Auto gewidmet war, fordert nun das Fahrrad seinen Raum ein.

Vor diesem Hintergrund haben wir in dieser Ausgabe unseres Journals für Mobilität und Verkehr zehn Beiträge unter der Überschrift „Radverkehr im urbanen Raum: Strategien zur Förderung und Optimierung fahrradfreundlicher Verkehrsinfrastrukturen“ ausgewählt, die das Thema Radverkehr in unterschiedlichsten Facetten beleuchten. Diese Journal-Ausgabe zeigt damit auch auf, wie vielfältig und interdisziplinär die Radverkehrsforschung in Deutschland ist: Neben eher sozial- und

politikwissenschaftlich ausgerichteten Beiträgen finden sich im Heft verkehrswissenschaftliche und planungswissenschaftliche Artikel ebenso wie ein Artikel, der sich mit den biomechanischen Prozessen beim Radfahren beschäftigt.

So wird diese Ausgabe eröffnet von einem Beitrag von Lohmeier et al., der sich mit der Frage der Gerechtigkeit im Planungsprozess von Radverkehrsanlagen beschäftigt und dabei auch Personengruppen in den Fokus rückt, deren Stimmen viel zu oft nicht gehört werden. Daran anknüpfend beschäftigen sich Pez & Seidel mit der Frage, wie Radverkehrsförderung künftig besser gelingen kann. Der dritte Beitrag von Burghard et al. fokussiert auf ein bisher nur wenig beleuchtetes Forschungsfeld und fragt, welche Auswirkungen die Folgen der Klimakrise – in diesem Fall extreme Hitze – auf die Radnutzung haben. Darauf folgend stellt Friel in seinem Beitrag die Ergebnisse einer systematischen Literaturanalyse zu intuitiv verständlicher Radinfrastruktur vor und bildet damit auch den Übergang zu den sich anschließenden Artikeln, die sich mit der für den Radverkehr zentralen Frage der Verkehrssicherheit beschäftigen. Dabei nehmen Melerowicz & Richter, ebenso wie Kehrer, auch den Fußverkehr in den Blick und untersuchen die Wirkung verschiedener Infrastrukturelemente auf die Sicherheit. Im siebten Beitrag von Schwarzkopf et al. wird aufgezeigt, welche Potenziale die Arbeit mit virtueller Realität für den Radverkehr hat. Ergänzend dazu erläutern Laghbani et al. wie die Erfassung des Straßenzustandes künftig mittels autonomer Lastenräder deutlich effizienter gestaltet werden kann. Beide Beiträge zeigen damit auch neue Instrumente bzw. Technologien der Datenerhebung im Radverkehr auf. Ähnliches gilt für den neunten Beitrag des Journals, in welchem sich

Bejarano & Eckart mit den Potenzialen einer biomechanischen Analyse von Alltagsradfahrenden beschäftigen. Der abschließende Artikel unserer Journal-Ausgabe von Ooms & Schröder widmet sich der Frage, inwiefern das niederländische Modell „Tour de Force“ einer institutionenübergreifenden Zusammenarbeit auf die deutsche Fahrradpolitik zu übertragen ist. Er zeigt so auch Entwicklungspotenziale für die deutsche Radverkehrslandschaft auf.

Dieser kurze Überblick über die vielfältigen Beiträge unserer Journal-Ausgabe zeigt, wie spannend und vielschichtig das Thema Radverkehr ist. Wir hoffen, dass wir Ihnen mit unserem Journal nicht nur neue Erkenntnisse, sondern auch Inspiration bieten können. In diesem Sinne wünschen wir Ihnen eine anregende Lektüre!

Radverkehrsplanung neu gedacht: Perspektiven für eine gerechte und nachhaltige Mobilität

Martina Lohmeier*, Franziska Palm, Christina M. Rutka

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Die vorliegende Untersuchung widmet sich der Frage, welche Faktoren dazu führen, dass Mobilitätsangebote nicht in der geplanten Weise genutzt werden. Ziel ist es, die Rolle von Planer*innen zu beleuchten und sie dazu zu befähigen, eine inklusive Nutzer*innenperspektive einzunehmen. Zu diesem Zweck wird das Wheel of Privilege and Power (WOPP) vorgestellt. Das Ziel besteht darin, Reflexivität in der Mobilitätsplanung zu untersuchen und gerechte Planung im Radverkehr zu fördern.

Schlagwörter / Keywords:

Planung, Privilegien, gerechte Mobilität, Radverkehr, Positionale Reflexivität, Macht

1. Einleitung

Die Herstellung und Instandhaltung von Verkehrswegen und damit die Sicherstellung der Mobilität sind ein zentraler Bestandteil der staatlichen Daseinsvorsorge. Eine umfassende, gut ausgebaute und inklusive Verkehrsinfrastruktur ist unerlässlich, um den Bürger*innen die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben zu ermöglichen und ihre Mobilitätsbedürfnisse zu erfüllen. In diesem Zusammenhang ist das Fahrrad mehr als nur ein Fortbewegungsmittel. Der Radverkehr ist ein Schlüssel zu nachhaltiger Mobilität, einer besseren Lebensqualität und einer gesünderen Umwelt in Städten und Gemeinden. In Anbetracht der drängenden Herausforderungen wie Klimawandel, Luft- und Lärmverschmutzung sowie Flächengerechtigkeit im öffentlichen Straßenraum gewinnt der Ausbau fahrradfreundlicher Infrastrukturen immer mehr an Bedeutung. Darüber hinaus erweitert die Fähigkeit des Radfahrens die individuellen Handlungs- und Bewegungsspielräume einer Person erheblich, auch wenn sie (noch) nicht über einen Führerschein oder nur über eingeschränkte finanzielle Mittel für die Beschaffung von Mobilitätswerkzeugen verfügt. Im Vergleich zum Zufußgehen schafft das Radfahren vielfältigere Optionen der Fortbewegung und trägt somit maßgeblich zur Teilhabe am gesellschaftlichen Leben bei. Es ermöglicht den Menschen, schneller und flexibler auf verschiedene Orte zuzugreifen, was ihre soziale und berufliche Integration fördert. Ein weiterer

Aspekt, der das Radfahren insbesondere im Vergleich mit den anderen Verkehrsmitteln des Umweltverbundes attraktiv macht, ist die Möglichkeit, Personen und Lasten zu transportieren. Obwohl 80 % der deutschen Haushalte über mindestens ein Fahrrad verfügen (Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2025), werden dennoch im Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln nur 11 % der Wege pro Tag mit dem Fahrrad zurückgelegt (Umweltbundesamt 2024). Eine Interpretation der Daten zielt auf die unzureichende Verfügbarkeit sicherer Radverkehrsinfrastruktur und den großen Unterschieden zwischen urbanen und ländlichen Räumen ab. Aber auch das subjektive Sicherheitsempfinden der Radfahrenden spielt eine entscheidende Rolle. Wenn Menschen sich sicher fühlen, sind sie eher bereit, das Rad als Verkehrsmittel zu wählen (Winters et al. 2012). Infrastrukturelle Maßnahmen wie der (Aus-)Bau sicherer Radwege, barrierefreier und sicherer Abstellmöglichkeiten, fahrradfreundlich gestaltete Kreuzungen und intermodale Verknüpfungspunkte erhöhen das Sicherheitsgefühl und ermutigen mehr Menschen, das Rad zu nutzen (Radwege-Check 2020).

In den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) aus dem Jahr 2010 wird die Auffassung vertreten, dass die Planung des Radverkehrs als Angebotsplanung zu betrachten ist (FGSV

2010). Diese Aussage impliziert, dass die Schaffung eines attraktiven, lückenlosen und an die Bedürfnisse der Nutzer*innen angepassten Radwegenetzes priorisiert werden muss, um die Attraktivität des Fahrrads als Fortbewegungsmittel zu erhöhen. Allerdings zeigt sich, dass selbst nach der Bereitstellung solcher Angebote deren Nutzung nicht immer den Erwartungen entspricht. Dies wirft die Frage auf, welche Ursachen diesem Phänomen zugrunde liegen. In diesem Zusammenhang ist von Relevanz, welche Instanz die Planung von Verkehrsinfrastrukturen und Mobilitätsangeboten vornimmt und aus welcher Perspektive dies erfolgt.

Die Planung von Städten und insbesondere von Mobilitätssystemen ist ein komplexer Prozess, der tief in gesellschaftlichen Strukturen und Machtverhältnissen verwurzelt ist. Traditionell wurde die Planung oft als eine objektive, evidenzbasierte Praxis dargestellt, in der Expert*innen auf der Grundlage rationaler Prinzipien und wissenschaftlicher Erkenntnisse handeln (Sheppard 2023). Diese Sichtweise blendet jedoch die vielfältigen sozialen, kulturellen und politischen Faktoren aus, die in Planungsprozesse einfließen (Vitrano/Lindkvist 2021). In den letzten Jahrzehnten hat sich in den Sozialwissenschaften und insbesondere in der feministischen und postkolonialen Forschung ein wachsendes Bewusstsein für die Bedeutung von Reflexivität und Positionalität entwickelt (Wintzer 2024). Diese Konzepte stellen die Subjektivität der Forscher*innen und Planer*innen in den Mittelpunkt und betonen, dass Wissen immer situiert und verkörpert ist (Haraway 1988; Wintzer 2024). In der Verkehrsplanung, die oft top-down, technokratisch (Vitrano/Lindkvist 2021) und androzentrisch (Terraza et al. 2020) geprägt ist, ist die Reflexion der eigenen Positionalität von besonderer Bedeutung, bisher aber noch nicht Teil der Praxis. Planer*innen nehmen oft unbewusst eine Position der Macht ein (Best 2003). Es ist daher wichtig, diese Machtverhältnisse zu identifizieren und zu verstehen, wie die eigene Position reflektiert und genutzt werden kann, um marginalisierten Gruppen und ihren Perspektiven und Bedürfnissen im Planungsprozess Anerkennung zu verschaffen, sie zu integrieren (Kobayashi 1994) und damit nutzer*innenorientierte Mobilitätsangebote und Radinfrastrukturen zu schaffen. Das Wheel of Privilege and Power (WOPP) ist ein Instrument, das dazu beitragen kann, Reflexivität und Positionalität in der Mobilitätsplanung zu fördern. Es visualisiert, wie soziale Identitäten wie z.B. Geschlecht, Alter, körperliche Fähigkeiten oder mentale Gesundheit miteinander verschränkt sind und sich auf die individuellen Erfahrungen von Macht und Privilegien auswirken. Indem Planer*innen ihre eigenen Identitäten im WOPP verorten, können sie besser verstehen, wie ihre Position in der Gesellschaft ihre

Perspektiven und Wahrnehmungen auch im Rahmen verkehrsplanerischer Prozesse beeinflusst. Dieser Artikel soll sich mit der Bedeutung von Reflexivität und Positionalität in der Mobilitätsplanung, insbesondere in der Radverkehrsplanung, auseinandersetzen. Darüber hinaus wird erörtert, wie Machtverhältnisse und Privilegien unterschiedliche Mobilitätsrealitäten prägen. Dafür wird das WOPP als ein Instrument zur Förderung von Reflexivität vorgestellt und seine Anwendung in verschiedenen Kontexten diskutiert.

Ziel ist es, zu zeigen, wie die reflexive Analyse der eigenen Positionalität dazu beitragen kann, eine gerechtere und inklusivere Mobilitätsplanung zu ermöglichen.

2. Reflexivität und Positionalität

Die soziale Welt wird immer aus unterschiedlichen Perspektiven erlebt und erfahren - diese Perspektiven sind geprägt von persönlichen Erfahrungen, Ausbildungen, Verkörperungen und Einstellungen. Die Aufgabe von Planer*innen sollte es sein, sich diese Perspektiven bewusst zu machen und die eigene Position kritisch zu hinterfragen. In den Ingenieurwissenschaften ist dieser Ansatz wenig bekannt und in der Planungspraxis nicht etabliert, weshalb immer noch von einer technokratischen Verkehrsplanung gesprochen wird (Vitrano/Lindkvist 2021). Zunehmend setzt sich die Mobilitätsplanung als neues Planungsverständnis durch, denn „[n]ur so ist es möglich, dass sich die Mobilität tatsächlich als neues Handlungsfeld öffentlicher Planung etabliert und in strategischer Weise Raum, Verkehr und Individuen entsprechend der gesellschaftlichen Ziele gestaltet“ (Rammert 2024).

In den Sozialwissenschaften hingegen stellen Reflexivität und Positionalität zentrale Konzepte der qualitativen Forschung dar. Sie thematisieren die Beziehung zwischen den Forschenden, ihrem Forschungsprozess und dem produzierten Wissen. Im Fokus stehen die Auseinandersetzung der eigenen Position innerhalb des Forschungsfeldes und die Reflexion der Auswirkungen dieser Position auf die Forschung (Day 2012). Die konzeptionelle und methodische Anwendung von Reflexivität und Positionalität haben auch das Potenzial, in der Mobilitätsplanung eingesetzt zu werden. In der Mobilitätsplanung wird weitgehend davon ausgegangen, dass Planer*innen eine umfassende Expertise besitzen, die durch ihre Ausbildung und Zertifizierungen Legitimation findet. Die Planung von Radwegen, Abstellanlagen, Mobilitätsstationen etc. wird durch „Fakten vor Ort“ (eigene Übersetzung nach Sheppard 2023, S. 397), was dem Grundgedanken der sogenannten evidenzbasierten Planung entspricht, begründet. Die Rolle der Planer*innen, deren

Expertise und die zugrunde liegende 'Wahrheit' der Planung sollten jedoch kritisch untersucht werden. Hier können sozialwissenschaftliche Ansätze dazu beitragen, die Handlungsfelder Mobilität und Gesellschaft zu verknüpfen und inklusivere Verkehrsinfrastruktur- und Mobilitätsangebote hervorzubringen. Übertragen auf die Prozesse der Verkehrsplanung und Gestaltung von Verkehrssystemen, Verkehrsinfrastrukturen und öffentlichen Straßenräumen würde Reflexivität die Fähigkeit der Planer*innen beschreiben, sich selbst und ihre Annahmen, Werte und Vorbehalte im Planungs- und Entwurfsprozess kritisch zu hinterfragen. Dies beinhaltet die Auseinandersetzung mit der eigenen Subjektivität und deren Einfluss auf die Datensammlung, Interpretation und Wissensproduktion.

Der Begriff der "positional reflexivity" (Macbeth 2001, S. 38) betont dabei den analytischen Prozess mit der situierten Position. Wichtig ist, dass Reflexivität nicht als retrospektive 'Offenlegung' der eigenen Position verstanden wird, sondern als kontinuierlicher Prozess der Selbstbeobachtung und Selbstbefragung während des gesamten Planungsprozesses (Day 2012). Die Auseinandersetzung mit der Positionalität geht über die reine Selbstreflexion hinaus und bezieht sich auf die soziale Verortung der Planer*innen. Dies umfasst die Reflexion der eigenen Position innerhalb sozialer Strukturen wie Geschlecht, Alter, mentale Gesundheit und weiterer Kategorien (Best 2003). Wintzer (2024) betont, dass Wissen situiert und verkörpert ist und somit von gesellschaftlichen Differenz- und Machtstrukturen durchdrungen ist. Planer*innen sind demnach nicht neutrale Entwerfer*innen, sondern immer Teil der sozialen Welt, die sie untersuchen und planen. Die Kenntnis der eigenen Position kontextualisiert die Identität und 'Stimme' der Mobilitätsplaner*innen und vermeidet eine anonyme, dekontextualisierte Autorität (Harding 1988).

Bei der Thematisierung von Identität in der Forschung und im Kontext der Mobilitätsplanung, insbesondere der Radverkehrsplanung, besteht die Gefahr der Naturalisierung von Körpern und Identitäten (Kobayashi 1994). Eine reflexive Planung sollte Identität vielmehr als einen kontinuierlichen, offenen Prozess verstehen und die damit einhergehende Unsicherheit anerkennen (Pillow 2003). Darüber hinaus ist es notwendig, sich der eigenen konzeptionellen und praktischen Verortung als Planer*innen bewusst zu sein (Watts 2006). Die Reflexion der Positionalität kann sich somit auch auf die Verortung innerhalb theoretischer Planungstraditionen und -ansätze beziehen (Bourdieu 2004).

Die Adaption der vorgenannten sozialwissenschaftlichen Ansätze in den oftmals technokratischen, androzentrischen Prozess der Verkehrsplanung und des Entwurfes von Verkehrsinfrastrukturen könnte mit dem vom Englischen übersetzten Begriff der *positionalen Reflexivität* (eigene Übersetzung nach Macbeth 2001, S. 38) beschrieben werden. Dabei würde eine positionale Reflexivität die bewusste Reflexion und Berücksichtigung der eigenen Sichtweise, Erfahrungen und Werte im Planungs- und Entwurfsprozess bezeichnen. Sie umfasst des Weiteren die Analyse, wie diese Faktoren die Entscheidungsfindung, die Zielsetzung und die Gestaltung von Verkehrsinfrastrukturen beeinflussen. Dieser Begriff soll die Bedeutung der Subjektivität und der unterschiedlichen Standpunkte aller beteiligten Akteur*innen hervorheben, eine reflexive, partizipative Planung fördern und marginalisierte Gruppen mit ihren Perspektiven und Bedürfnissen im Planungsprozess anzuerkennen und zu integrieren.

Das Modell WOPP bietet hierfür eine Möglichkeit, die soziale Position einer Person zu veranschaulichen. Es ist ein Instrument, das dazu verhilft, sich der eigenen Positionalität im (Mobilitäts-)Planungsprozess bewusst zu werden und diese darüber hinaus in einem größeren gesellschaftlichen Kontext einzuordnen.

Exkurs zum Verständnis von Macht

Das Verständnis von Macht im Kontext von Planung bezieht sich weitgehend auf die Konzeption von Michel Foucault (1974, 2010, 2014). Foucault argumentiert, dass Macht keine unidirektionale Beziehung ist, sondern ein multidimensionaler Komplex, bei dem kein simpler Dualismus zwischen Opfer und Täter*in bzw. zwischen Unprivilegierten und Privilegierten herrscht (Strüver 2021, S. 70). Macht ist nicht akteursspezifisch oder etwas, das man besitzen oder innehaben kann (Van Assche/Beunen/Duineveld 2023). Sie ist diskursiv und in soziale Strukturen und Wissensordnungen eingebettet. Nach Foucaults Verständnis ist Planung also inhärent politisch und kann nicht als wertneutrales und rein wissenschaftliches Bestreben gesehen werden (Flyvbjerg 1998).

3. Das Modell des Wheel of Privilege and Power

Das Wheel of Privilege and Power (WOPP) kommt ursprünglich aus der Antidiskriminierungsarbeit (Canadian Council for Refugees 2009, 2022) und hat bisher transdisziplinäre Anwendung gefunden (Baumann 2023; Charta der Vielfalt e.V. 2022; University of Oxford o.J.; University of Wisconsin-Madison 2022; York Disability Rights Form 2021). Es eröffnet die Möglichkeit die soziale Position einer Person zu

verorten. Es visualisiert, wie soziale Identitäten wie Geschlecht, Alter oder körperliche Fähigkeiten miteinander verschränkt sind und sich auf die individuellen Erfahrungen von Macht (Power) und Privilegien auswirken. Je näher eine Identität an der Mitte des Rads positioniert ist, desto mehr Vorteile ergeben sich in der Regel aus dieser Zugehörigkeit (vgl. Abb. 1).

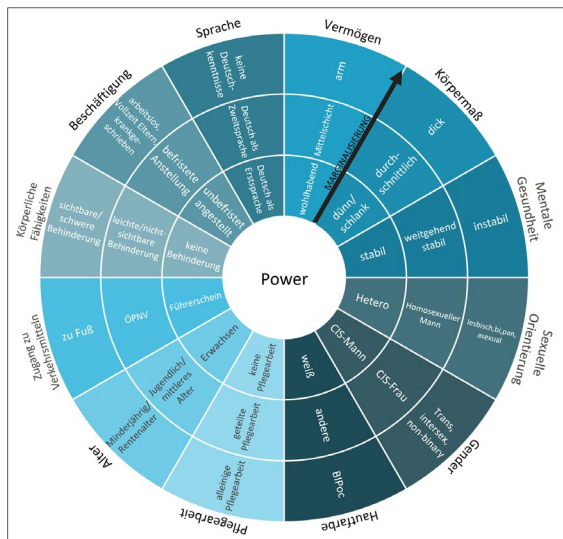


Abbildung 1: Das Wheel of Privilege and Power, eigene Darstellung in Anlehnung an Duckworth 2020

Das WOPP betont auch die intersektionale Betrachtung. Intersektionalität ist ein Konzept aus der politischen Theorie und Praxis des Schwarzen Feminismus der Vereinigten Staaten (Kuschinski 2024). Die Bezeichnung kann auf die US-amerikanische Juristin Kimberlé Crenshaw zurückgeführt werden (Crenshaw 1989). Intersektionalität beschreibt einen Ansatz, der es ermöglicht, die komplexen Zusammenhänge sozialer Ungleichheiten von Mobilität zu analysieren. Dabei werden die Verflechtungen verschiedener Diskriminierungsformen wie Geschlecht, Klasse, 'Race', Sexualität sowie geistige und körperliche Beeinträchtigung betrachtet und untersucht, wie diese von Machtverhältnissen und sozialen Positionierungen geformt werden (Kuschinski 2024). In der Mobilitätsplanung kann Intersektionalität konzeptionell und methodisch genutzt werden, um aufzuzeigen, wie räumliche Prozesse von diesen vielfältigen Ungleichheiten geprägt sind und wie sich diese auf den Zugang zu Ressourcen, Lebenschancen und Teilhabemöglichkeiten auswirken (Ravensbergen et al. 2019). Ein zentraler Aspekt von Intersektionalität ist die Anerkennung, dass Identitäten nicht statisch sind, sondern sich in Abhängigkeit von räumlichen und zeitlichen Kontexten und Machtverhältnissen ständig verändern (Day 2012). Dabei wird auf die Gefahr einer essenzialisierenden, d.h. naturhaften, Sichtweise von Identitäten hingewiesen, die diese sozialen Kategorien als natürlich und unveränderlich begriff.

Stattdessen wird eine relationale Sichtweise vorgeschlagen, die die dynamischen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Identitätsdimensionen und sozialen Prozessen in den Vordergrund stellt (Bauriedl/Schurr 2014). Mit einer intersektionalen Linse können Mobilitätsplaner*innen die Mehrdimensionalität von Identitäten berücksichtigen und vermeiden, einzelne Aspekte in der Planung und auch in der Umsetzung als über- oder untergeordnet zu betrachten.

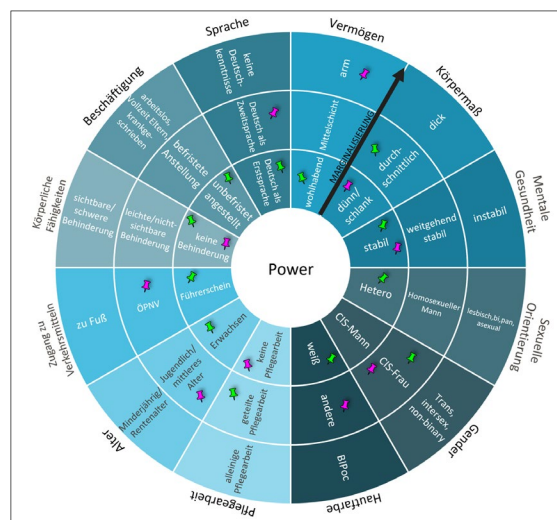


Abbildung 2: Das WOPP als Instrument zur Selbstreflexion, eigene Darstellung

Das WOPP ist aber nicht nur ein analytisches Instrument, sondern auch ein Instrument der Selbstreflexion (vgl. Abb. 2). Indem die eigene Identität im WOPP visualisiert wird (grüne Pins in Abb. 2), kann besser verstanden werden, wie die eigene Position in der Gesellschaft auch die Perspektiven und Wahrnehmungen in der Ausübung des Berufes beeinflusst. Im Vergleich zu Identitäten der Menschen (beispielhaft pinke Pins in Abb. 2), für die geplant wird, ergeben sich hier auf den ersten Blick Diskrepanzen in einzelnen Kategorien des WOPP. Der Erkenntnisgewinn darüber ist besonders wichtig für Planer*innen, die sich bewusst machen müssen, wie ihre eigene Identität ihre Planungsergebnisse prägen kann. Durch die Nutzung des WOPP werden die Planer*innen aufgefordert, darüber nachzudenken, wie sich diese Identitäten überschneiden und ihre Weltsicht, Werte und Annahmen beeinflussen. Das WOPP soll Planer*innen dazu anregen, ein breites Spektrum von Identitäten zu berücksichtigen - mit dem Ziel, die Transparenz in der Planung zu erhöhen, indem die Positionalität der Planer*innen explizit reflektiert wird. Daher soll die Anwendung des WOPP als Instrument zur Selbstreflexion und Positionalität konkret für Planer*innen in der strategischen Verkehrsplanung und der Gestaltung von öffentlichen Straßenräumen und Mobilitätsangeboten weiterentwickelt und imple-

mentiert werden, um mit diesem Ansatz zu einer gerechteren und nachhaltigeren Planungspraxis beizutragen.

4. Weiterentwicklung und Anwendung des WOPP

Die Initialphase des Projekts zur Implementierung des WOPP wurde im Sommer 2024 erfolgreich abgeschlossen (vgl. Abb. 3).

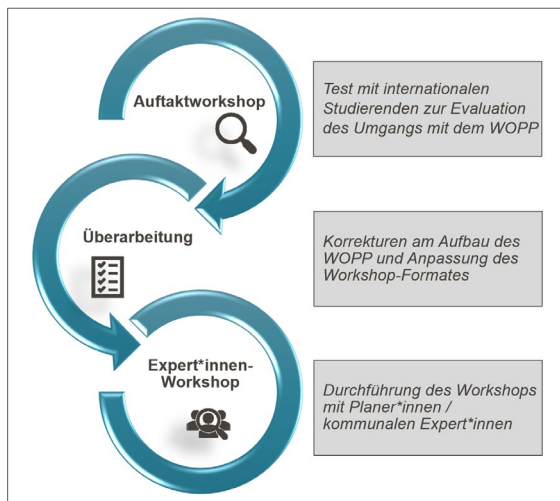


Abbildung 3: Ablaufschema Weiterentwicklungsprozess, eigene Darstellung

Im Rahmen eines Auftaktworkshops mit internationalen Studierenden wurden erste Erfahrungen mit dem WOPP gesammelt. Das WOPP wurde hier im Vorgriff auf eine Entwurfsaufgabe eingeführt, um die eigene Position in der Gruppe zu identifizieren. Die zwölf Kategorien des WOPP (vgl. Abb. 1 und 2) boten den Teilnehmenden eine strukturierte Möglichkeit, die eigene soziale Identität zu reflektieren und die damit verbundenen Privilegien und Machtverhältnisse zu hinterfragen. In einem zweiten Schritt wurde ein Straßenquerschnitt so umgestaltet, dass er dem Rad- und Fußverkehr Vorrang einräumt und dem Design for All-Ansatz folgt (vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Gruppendiskussion zum Straßendesign, Foto Lohmeier

Die Diskussionen innerhalb der Gruppen während des Entwurfsprozesses sowie zwischen den Gruppen bei der Präsentation der Ergebnisse waren sehr intensiv, was insbesondere auf die im Vorfeld durchgeführte Selbstreflexion zurückzuführen sind. Die Entwürfe zeichneten sich durch eine große Vielfalt aus und beinhalteten zum Teil bereits sehr detaillierte Ideen zur Reduzierung von Benachteiligungen marginalisierter Gruppen. Das Feedback der Studierenden unterstrich das Potenzial des WOPP als effektives Instrument zur Förderung von Reflexivität und intersektionalem Denken, zeigte aber auch Schwächen und Grenzen des Instruments auf. So fehlten beispielsweise Kategorien, die projekt- bzw. aufgabenspezifisch sinnvoll gewesen wären, wie z.B. ‚Fähigkeit Fahrrad zu fahren‘, das Fahrrad als Option in der Kategorie ‚Zugang zu Verkehrsmitteln‘. Andere Kategorien wie ‚sexuelle Orientierung‘ und ‚Sprache‘ wurden von den meisten Studierenden im Aufgabenkontext als nicht sinnvoll erachtet. Da das Instrument in einer Gruppe internationaler Studierender aus allen Teilen der Welt zum Einsatz kam, fungierten Selbstreflexion und Positionierung effektiv als Grundlage für alle Diskussionen. Die Ergebnisse und die daraus resultierende Dynamik für den weiteren Planungsprozess waren vielversprechend.

Aufbauend auf diesen ersten Erfahrungen wurden weitere Anwendungen des WOPP geplant und dafür die Kategorien spezifisch angepasst. Ein weiterer Schritt zur kontinuierlichen Anpassung des WOPP für die Wissensvermittlung war die Integration des Instruments in den Lehrprozess der Hochschule Rhein-

Main, was einen intensiven Diskussionsprozess auslöste. Die Studierenden setzten sich mit den vorgegebenen Kategorien auseinander und erkannten sowohl deren Relevanz als auch deren Grenzen. Die Frage der persönlichen Einordnung in schwer zu definierende Kategorien, wie beispielsweise 'mentale Gesundheit', führte zu längeren Diskussionen und wird in die Überarbeitung des WOPP einfließen, um eine noch umfassendere und differenziertere Darstellung sozialer Identitäten und ihrer Auswirkungen zu ermöglichen. Die Reflexion der eigenen Positionalität erwies sich als lehrreich, wenn auch oft herausfordernd. Die Teilnehmenden erkannten, wie strukturell Privilegien in der Gesellschaft verankert sein können und wie diese die eigenen Perspektiven beeinflussen.

Die Anwendung des WOPP im Kontext der Mobilitätsplanung eröffnet neue Perspektiven, indem die sozialen Identitäten der Planer*innen und der Nutzer*innen berücksichtigt werden. Dies ermöglicht ein Verständnis dafür, dass Mobilitätsplaner*innen nicht neutrale Entwerfer*innen sind, sondern Teil der sozialen Welt, die sie untersuchen und planen. Die Erkenntnis, dass Planer*innen stets spezifische Positionalitäten verkörpern, ermöglicht ein tiefgreifendes Verständnis für die zugrunde liegenden Ursachen von Ungleichheiten in der Mobilität und deren Abbau. Kategorien wie Geschlecht, Alter, Einkommen oder Ethnie können dazu beitragen, die Bedürfnisse unterschiedlicher Gruppen zu identifizieren und darauf zugeschnittene Mobilitätslösungen zu entwickeln. Die Reflexion der eigenen Positionalität ist dabei von entscheidender Bedeutung, um sicherzustellen, dass die Planungsprozesse nicht von dekontextualisierten Annahmen geprägt sind.

Im Rahmen der Fahrradkommunalkonferenz 2024 in Hannover wurde ein interaktiver Workshop mit dem Titel „Gemeinsam Radverkehr gestalten“ mit 25 Expert*innen durchgeführt. Ziel der Veranstaltung war die Reflexion über die Zusammenhänge zwischen den Facetten der sozialen Identität. Im Fokus stand die Untersuchung der Einflussnahme der sozialen Identität auf die Wahrnehmung der gebauten und sozialen Umwelt sowie die Reflexion der Unmöglichkeit einer Isolation der Identität von der Planungspraxis (Day, 2012). Der Workshop fokussierte sich auf die Identifizierung der sozialen Identität der Teilnehmenden und deren Implikationen für den Planungsprozess. Ziel war es, die Teilnehmer*innen zu aktivieren, sich in ihrer Arbeit explizit mit ihrer Positionalität auseinanderzusetzen, um bekannte und unbekannte Herausforderungen als Planer*innen zu identifizieren. Der Workshop beinhaltete eine gemeinsame Diskussion dieser Herausforderungen sowie das Brainstorming von Ansätzen zu deren Bewältigung.

Aufbauend auf den zuvor beschriebenen Prozessschritten (vgl. Abb. 3) fand dieser Workshop mit Personen statt, die als Planer*innen in Verwaltungen tätig sind. Ziel war es, die eigenen Erfahrungen in Bezug auf das WOPP in einem Workshop-Kontext zu erfassen und zu analysieren. Die Analyse sollte Aufschluss darüber geben, wie das WOPP dazu beitragen kann, Macht und Privilegien im Zusammenhang mit Mobilitätsentscheidungen zu verstehen. Nach einer Einführung in das WOPP-Konzept und relevante Begriffe wurden die Teilnehmenden aus der Mobilitätsforschung und -planung an Stellwänden gruppiert, um eine ausgewogene Mischung von Fachwissen zu gewährleisten und stellten sich kurz vor. Im nächsten Schritt arbeiteten die Gruppen an Plakaten mit den zwölf WOPP-Kategorien und überlegten, wie jede Kategorie das Radfahren beeinflusst. Die Ergebnisse wurden auf Zetteln festgehalten und auf den Postern angebracht. Im dritten Schritt fand ein Brainstorming statt, um zu erörtern, wie die Kategorien besser berücksichtigt werden können (vgl. Abb. 5). Nach der gruppeninternen Diskussion beider Aufgaben fand eine Reflexionssitzung im Plenum statt. Diese Diskussion ergab, dass vielen Teilnehmenden die Zusammenhänge zwischen den WOPP-Kategorien nicht bewusst waren. Dennoch wurde der Workshop von den Teilnehmenden als wertvoll empfunden, um die eigenen Mobilitätsprivilegien zu verdeutlichen.

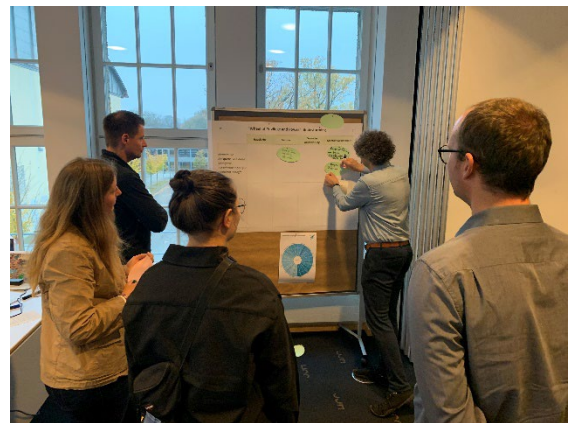


Abbildung 5: Expert*innen-Workshop mit dem WOPP, Foto Rutka

5. Evaluation: Feedback zu und Nutzen des WOPP

Die Aussagen der Teilnehmenden im Zuge der Workshop-Evaluation lassen sich in folgenden Kategorien einteilen:

- Hilfreich und erkenntnisreich: Das WOPP wird als hilfreich und erkenntnisreich empfunden, da es ein neues und unbekanntes Konzept darstellt, das zur eigenen Einordnung und zum Verständnis von Privilegien beiträgt.

- Strukturiert und umfassend: Das WOPP wird als klares, umfassendes und verständliches Instrument beschrieben, das die vielfältigen Dimensionen von Diskriminierung und Privilegien aufzeigt und den Horizont erweitert.
- Vereinfachung komplexer Sachverhalte: Das WOPP wird als nützlich empfunden, um komplexe Sachverhalte zu vereinfachen und Privilegien deutlich aufzuschlüsseln.
- Anwendbar auf verschiedene Bereiche: Das WOPP wird als anwendbar auf verschiedene Bereiche betrachtet und bietet neue Perspektiven und Lösungswege.
- Sensibilisierung: Das WOPP wird als hilfreich zur Sensibilisierung für das Thema soziale Ungleichheit und Diskriminierung angesehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das WOPP von allen Teilnehmenden als ein wertvolles ein wertvolles Instrument zur Reflexion der eigenen sozialen Position sowie der damit verbundenen Privilegien und Benachteiligungen erachtet wird. Es trägt zur Entwicklung eines besseren Verständnisses für die komplexen Zusammenhänge von Diskriminierung und sozialer Ungleichheit bei. Zugleich besteht Bedarf an weiteren Informationen und Anleitungen, um die konkrete Anwendung des WOPP in verschiedenen Kontexten zu erleichtern. Auch der Transfer auf konkrete Projekte zur Förderung des Radverkehrs konnte nicht in Gänze nachvollzogen werden.

Diese Zusammenfassung kann als Grundlage für eine weitere Auseinandersetzung mit dem Thema Positionalität und Intersektionalität dienen, wobei die Berücksichtigung der verschiedenen Perspektiven und Erfahrungen von essenzieller Bedeutung ist, um ein umfassendes Bild der sozialen Wirklichkeit zu erhalten.

6. Diskussion zur Bedeutung von Positionalität im Planungsprozess

Das WOPP ist ein Instrument für Planer*innen, um die eigene Positionalität im Planungsprozess zu reflektieren. Diese Reflexion sollte nicht als isolierter Schritt betrachtet werden, sondern als fortlaufende Auseinandersetzung, die alle Phasen der Planung durchdringt. Von der Konzeption des Planungsprojekts bis zur Interpretation der Ergebnisse ist es entscheidend, sich der potenziellen Auswirkungen der eigenen sozialen Identität bewusst zu sein. Nur so kann man zu einer gerechteren und nachhaltigeren Planungspraxis gelangen.

Die soziale Position prägt nicht nur die eigene Sicht auf die Welt, sondern beeinflusst auch maßgeblich, wie man an Planungsprozesse herangeht. Sie ist der Blickwinkel, durch den die Welt wahrgenommen und

interpretiert wird. Diese Perspektive ist jedoch nicht neutral oder objektiv, sondern vielmehr das Ergebnis individueller Erfahrungen, der Sozialisierung und der eigenen Einstellungen. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, sich dieser Perspektive bewusst zu sein und über ihre Auswirkungen auf die Planung nachzudenken und diese explizit zu machen (Day 2012).

Diese reflexive Auseinandersetzung mit der eigenen Positionalität ist jedoch eine komplexe Aufgabe und fällt nicht immer leicht. Um diesen Prozess zu unterstützen und die Auseinandersetzung mit sozialer Identität greifbarer zu machen, wird vorgeschlagen die Einführung und Anwendung des Wheel of Privilege and Power (WOPP) als interaktive Übung einzusetzen. Das Format entstand aus dem Bedürfnis heraus, Planer*innen eine konkrete Strategie an die Hand zu geben, mit der sie sich ihrer sozialen Identität im Kontext von Planungspraktiken bewusst werden können. Es dient als Instrument der Selbstreflexion und der Förderung eines kritischen Bewusstseins für die eigenen Privilegien und Machtpositionen. In diesem Kontext hat sich das WOPP als ein äußerst wertvolles Instrument erwiesen, da es den Nutzenden eine strukturierte und interaktive Möglichkeit bietet, ihre eigene soziale Identität zu erkunden und die verschiedenen Dimensionen von Privilegien und Macht zu visualisieren.

Die Verknüpfung von sozialwissenschaftlichen Erkenntnissen mit ingenieurwissenschaftlicher Planungsrealität erfordert zur Unterstützung eine Moderation des Prozesses. Zur Festigung des Wissenszuwachses und zur Etablierung der Nutzung in der Planungspraxis auf Projektebene sind mehrere aufeinander aufbauende Workshops oder Inhouse-Schulungen notwendig. Eine potenzielle Weiterentwicklung stellt der Einsatz des WOPP zur Vorbereitung partizipativer Prozesse, wie beispielsweise Bürger*innenwerkstätten, bei konkreten Projekten dar. Die Entwicklung beider Anwendungsbeispiele ist perspektivisch geplant.

7. Zusammenfassung

Der Einsatz des WOPP im Mobilitätskontext zielt auf die Erreichung zweier Hauptziele ab: Erstens soll der Blickwinkel für verschiedene soziale Identitäten und deren Verflechtung geöffnet werden und zweitens soll ein tieferes Bewusstsein dafür geschaffen werden, wie diese miteinander verwobenen Mobilitätsrealitäten in die Planungspraxis integriert werden können, um inklusive, gerechte und nachhaltige Mobilitätsangebote zu schaffen. Obwohl die Mitwirkung von Fachleuten und Expert*innen in der Mobilitäts-

planung essenziell ist, sollte kritisch hinterfragt werden, dass ihre Position als Planungsakteur*innen subjektiv und partiell ist und von einem verkörperten und situierten Standpunkt ausgeübt wird. In diesem Beitrag wird erörtert, wie Machtverhältnisse und Privilegien in der Mobilitätsforschung, -planung und -praxis thematisiert werden können, um das Bewusstsein für die verschiedenen bestehenden Mobilitätsrealitäten zu schärfen.

Danksagung

Wir möchten Denise Kramer dafür danken, dass sie uns auf das Modell des WOPP aufmerksam gemacht hat und uns damit Anregungen für unsere eigene Forschung gegeben hat.

Literatur

Baumann, Ines-Paul (2023): Weltgericht? Weltgerechtigkeit! #Diskriminierungsrad („Wheel of Privilege and Power“). Metropolitan Community Church Köln. Online verfügbar unter <https://www.mcc-koeln.de/weltgericht-weltgerechtigkeit-diskriminierungsrad-wheel-of-privilege-and-power/>, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

Bauriedl, Sybille; Schurr, Carolin (2018): Zusammenprall der Identitäten. Soziale und kulturelle Differenz in Städten aus Sicht der feministischen Forschung. In: Jürgen Oßenbrügge und Anne Vogel-pohl (Hg.): Theorien in der Raum- und Stadtforschung. Einführungen. 2. Auflage. Westfälisches Dampfboot, S. 135–155, Münster.

Best, Amy L. (2003): Doing Race in the Context of Feminist Interviewing: Constructing Whiteness Through Talk. In: Qualitative Inquiry 9 (6), S. 895–914. DOI: 10.1177/1077800403254891.

Bourdieu, Pierre (2004): Science of science and reflexivity. Chicago, Ill. University of Chicago Press.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2025): Radverkehr. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/radverkehr#:~:text=Rund%2080%20Prozent%20aller%20Haushalte,f%C3%B6rdert%20die%20Bundesregierung%20den%20Radverkehr.>, zuletzt geprüft am 14.02.2025.

Canadian Council for Refugees (2009): CCR Anti-Oppression Policy. Online verfügbar unter <https://ccrweb.ca/en/ccr-anti-oppression-policy>, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

Canadian Council for Refugees (2022): Anti-oppression. Online verfügbar unter

<https://ccrweb.ca/en/anti-oppression>, zuletzt geprüft am 18.04.2024.

Charta der Vielfalt e.V. (2022): Arbeitsblatt »Privilege and Power Wheel«. Online verfügbar unter https://www.charta-der-vielfalt.de/fileadmin/user_upload/Antirassistische_Bewusstseinsbildung/Toolbox_Antirassismus/Arbeitsbl%C3%A4tter/Arbeitsblatt_Privilege_and_Power_Wheel.pdf, zuletzt geprüft am 18.04.2024.

Crenshaw, Kimberlé (1989): Demarginalizing the Intersection of Race and Sex. A Black Feminist Critique of Antidiscrimination Doctrine, Feminist Theory and Antiracist Politics. In: University of Chicago Legal Forum (1), Artikel 8, S. 139–167.

Day, Suzanne (2012): A Reflexive Lens: Exploring Dilemmas of Qualitative Methodology Through the Concept of Reflexivity. In: QSR 8 (1), S. 60–85. DOI: 10.18778/1733-8077.8.1.04.

Duckworth, Sylvia [@sylviaduckworth] (2020) : Wheel of Privilege/Power. 19. August 2020. <https://www.instagram.com/sylviaduckworth/p/CE-FiUShhpUT/?hl=de>

Flyvbjerg, Bent (1998): Habermas and Foucault: Thinkers for Civil Society? In: SSRN Journal. DOI: 10.2139/ssrn.2237923.

Forschungsgesellschaft für für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2010): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen. ERA. Aug. 2010, Köln.

Foucault, Michel (1974): Die Ordnung der Dinge. Eine Archäologie der Humanwissenschaften. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 96).

Foucault, Michel (Hg.) (2010): Power/Knowledge. Selected interviews and other writings 1972-1977. [Nachdr.]. Harlow: Pearson Education.

Foucault, Michel (2014): Histoire de la sexualité (Collection tel, 248).

Haraway, Donna (1988): Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective. In: Feminist Studies 14 (3), S. 575. DOI: 10.2307/3178066.

Harding, Sandra G. (Hg.) (1987): Feminism and methodology. Social science issues. Bloomington: Indiana Univ. pr. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy1401/86043050-d.html>.

Kobayashi, Audrey (1994): Coloring the Field: Gender, "Race," and the Politics of Fieldwork. In: *The Professional Geographer* 46 (1), S. 73–80. DOI: 10.1111/j.0033-0124.1994.00073.x.

Kuschinski, Eva (2024): Die Stadt intersektional erforschen. In: Bernd Belina, Matthias Naumann und Anke Strüver (Hg.): *Handbuch kritische Stadtgeographie*. 6., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Westfälisches Dampfboot, S. 139–144, Münster.

Macbeth, Douglas (2001): On "Reflexivity" in Qualitative Research: Two Readings, and a Third. In: *Qualitative Inquiry* 7 (1), S. 35–68. DOI: 10.1177/107780040100700103.

Pillow, Wanda (2003): Confession, catharsis, or cure? Rethinking the uses of reflexivity as methodological power in qualitative research. In: *International Journal of Qualitative Studies in Education* 16 (2), S. 175–196. DOI: 10.1080/0951839032000060635.

Radwege-Check (2020): Studie zur subjektiven Sicherheit im Radverkehr. Ergebnisse und Datensatz einer Umfrage mit über 22.000 Teilnehmenden. Unter Mitarbeit von FixMyCity Team. Online verfügbar unter <https://radwege-check.de/auswertung/>, zuletzt geprüft am 14.02.2025.

Rammert, Alexander (2024): *Mobilitätsplanung, Theorien, Aufgaben und Prozesse*. Springer VS. DOI: 10.1007/978-3-658-43265-2.

Ravensbergen, Léa; Buliung, Ron; Laliberté, Nicole (2019): Toward feminist geographies of cycling. In: *Geography Compass* 13 (7), Artikel e12461. DOI: 10.1111/gec3.12461.

Sheppard, Eric (2023): Urban planning and the truthiness question. In: Michael Gunder, Kristina Grange und Tanja Winkler (Hg.): *Handbook on planning and power*. Cheltenham, Northampton, MA: Edward Elgar Publishing (Research handbooks in planning series), S. 397–411.

Strüver, Anke (2021): Grundlagen und zentrale Begriffe der Foucault'schen Diskurstheorie. In: Georg Glasze und Annika Mattisek (Hg.): *Handbuch Diskurs und Raum. Theorien und Methoden für die Humangeographie sowie die sozial- und kulturwissenschaftliche Raumforschung*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Bielefeld: transcript (Sozial- und Kulturgeographie, Band 11), S. 65–86.

Terraza, Horacio; Orlando, Maria Beatriz; Lakovits, Carina; Lopes Janik, Vanessa; Kalashyan, Anna (2020): *Handbook for Gender-Inclusive Urban Planning and Design*. Hg. v. World Bank, Washington DC.

Umweltbundesamt (2024): Radverkehr. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr#gtgt-umweltfreundlich-und-klimaschonend>, zuletzt geprüft am 14.02.2025.

University of Oxford: Anti-Racism Resources March 2023: Intersectionality of Privilege. Online verfügbar unter <https://www.dpag.ox.ac.uk/work-with-us/equality-diversity-inclusion/anti-racism-working-group/anti-racism-resources-march-2023-intersectionality-of-privilege>, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

University of Wisconsin-Madison (2022): Wheel of Privilege and Power. Online verfügbar unter <https://kb.wisc.edu/instructional-resources/page.php?id=119380>, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

Van Assche, Kristof; Beunen, Raoul; Duineveld, Martijn (2023): Power of, on and in planning. In: Michael Gunder, Kristina Grange und Tanja Winkler (Hg.): *Handbook on planning and power*. Cheltenham, Northampton, MA: Edward Elgar Publishing (Research handbooks in planning series), S. 354–366.

Van Assche, Kristof; Beunen, Raoul; Duineveld, Martijn; Gruezmacher, Monica (2017): Power/knowledge and natural resource management: Foucaultian foundations in the analysis of adaptive governance. In: *Journal of Environmental Policy & Planning* 19 (3), S. 308–322. DOI: 10.1080/1523908X.2017.1338560.

Vitrano, Chiara; Lindkvist, Christina (2022): Justice in Regional Transport Planning through the Lens of Iris Marion Young. In: *Planning Practice & Research* 37 (5), S. 564–580. DOI: 10.1080/02697459.2021.1874637.

Watts, Jacqueline (2006): 'The outsider within': dilemmas of qualitative feminist research within a culture of resistance. In: *Qualitative Research* 6 (3), S. 385–402. DOI: 10.1177/1468794106065009.

Winters, Meghan; Babul, Shelina; Becker, H. J. E. H. Jack; Brubacher, Jeffery R.; Chipman, Mary; Crip-ton, Peter et al. (2012): Safe cycling: how do risk perceptions compare with observed risk? In: *Canadian journal of public health = Revue canadienne de*

sante publique 103 (9 Suppl 3), eS42-7. DOI:
10.1007/BF03403834.

Wintzer, Jeannine (2024): Die Stadt in Dokumenten. In: Bernd Belina, Matthias Naumann und Anke Strüver (Hg.): Handbuch kritische Stadtgeographie. 6., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Westfälisches Dampfboot, S. 99–104, Münster.

York Disability Rights Forum (2021): Privilege Wheel. Online verfügbar unter <https://ydrf.org.uk/2021/09/19/privilege-wheel/>, zuletzt geprüft am 16.04.2024.

AutorInnenangaben

Martina Lohmeier
Professorin für Radverkehr und Mobilitätsmanagement
Hochschule RheinMain, Kurt-Schumacher-Ring 18,
65197 Wiesbaden

E-Mail: martina.lohmeier@hs-rm.de

Franziska Palm
Wiss. Mitarbeiterin an der Professur für Radverkehr
und Mobilitätsmanagement
Hochschule RheinMain, Kurt-Schumacher-Ring 18,
65197 Wiesbaden

E-Mail: franziska.palm@hs-rm.de

Christina M. Rutka
Wiss. Mitarbeiterin an der Professur für Radverkehr
und Mobilitätsmanagement
Hochschule RheinMain, Kurt-Schumacher-Ring 18,
65197 Wiesbaden

E-Mail: christina.rutka@hs-rm.de

Radverkehrsförderung 3.0 – Barrierefrei, netztransparent, digital, flächendeckend

Peter Pez, Antje Seidel

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Eine auf linearen Radwegbau an Hauptstraßen fokussierte Politik kann Radverkehr nur suboptimal fördern. Die Beseitigung von (Mikro-)Hindernissen für Netzdurchlässigkeit und die Schaffung analoger und digitaler Netztransparenz für Radschönrouten weisen den Weg in eine neue, flächige Vorgehensweise, die in einem Projekt im Modellvorhaben Rad des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr als public science partnership von Leuphana Universität und Landkreis Lüneburg aktuell eine Umsetzung findet.

Schlagwörter / Keywords:

Radverkehrsförderung, Stadtverkehr, Fahrradrouen, Navigation

1. Von 1.0 zu 2.0 und 3.0

Radwege mit weißem Farbstrich und Piktogrammen auf Gehwegen standen vielerorts in den 1970-er Jahren am Beginn einer Radverkehrsplanung, die den Begriff „Förderung“ aus heutiger Perspektive nicht verdiente. Zu häufig schien es eher um besseren Kfz-Verkehrsfluss zu gehen unter Inkaufnahme von Konflikten zwischen Radfahrenden und Fußverkehr. Trotzdem ist es ein Verdienst dieser Primärphase 1.0, den Radverkehr überhaupt erst einmal in den verkehrsplanerischen Fokus gebracht zu haben. Die Relikte dieser Zeit sind heutzutage aus dem Stadtbild weitgehend verschwunden oder zumindest entwidmet, wenn sie baulich in Ra(n)dwegen mit der damals üblichen Mindest- und damit Regelbreite von 1 m manifestiert wurden. Die heutigen Breitenanforderungen der Phase 2.0 stellen deutlich größere Ansprüche an Bordsteinradwege sowie Radfahr- und Schutzstreifen, die in der Zeit der 1980-er und 1990-er Jahre implementiert wurden. Die „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen sind seitdem maßgebend für solche baulichen Standards, zu denen sich nun geschützte Radfahrstreifen (protected bike lanes) und Radschnellwege gesellen. Ein zweiter inhaltlicher Schwerpunkt dieser Phase 2.0 war die sukzessive Dereglementierung mittels Freigabe von Zufahrtsverboten, Einbahnstraßen im Gegenverkehr, Abbiegeboten, Gehwegen und Fußgängerzonen

(ggf. zeitlich befristet). Das Zusatzschild 1022-10 „Radverkehr frei“ erhielt hier eine zentrale Bedeutung. Erst nach 2000 kamen die Schilder für die durchlässige Sackgasse (Zeichen 357-50) und für die Fahrradstraße (Z. 244) hinzu, zuletzt die Fahrradzone (Z. 244.3). Wären diese rechtlichen Möglichkeiten in der Praxis adäquat angewendet worden, bräuchte man heute vielleicht nicht über eine Folgephase 3.0 zu sprechen. So aber ist der Status quo der Radverkehrspolitik gekennzeichnet durch eine Fixierung auf Stadtzentren und Hauptverkehrsstraßen, während die Flächen dazwischen weitgehend aus dem Blick geraten sind. Dabei spielt sich nichtmotorisierter Verkehr großteils im diffusen Nahbereich ab. Der aus der Kfz-Verkehrsplanung stammende Bündelungsgedanke ist daher im nichtmotorisierten Bereich nur eingeschränkt sinnvoll, sein „blinder Fleck“ für Mikromängel in der Fläche konserviert Bedingungen, die Radfahren langsam, unbequem und vielfach auch unsicher machen. Die an der Leuphana Universität Lüneburg entwickelte Radverkehrsförderung (kurz: RVF) 3.0 versucht, dies durch eine flächendeckende Mangelrecherche und -behebung zu überwinden. Zusammen mit dem Landkreis Lüneburg gelang die Projektakquise im Modellvorhaben Rad des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, sodass die universitäre Recherche in eine Beseitigung der vielfältigen Barrieren unter Federführung des Landkreises im ur-

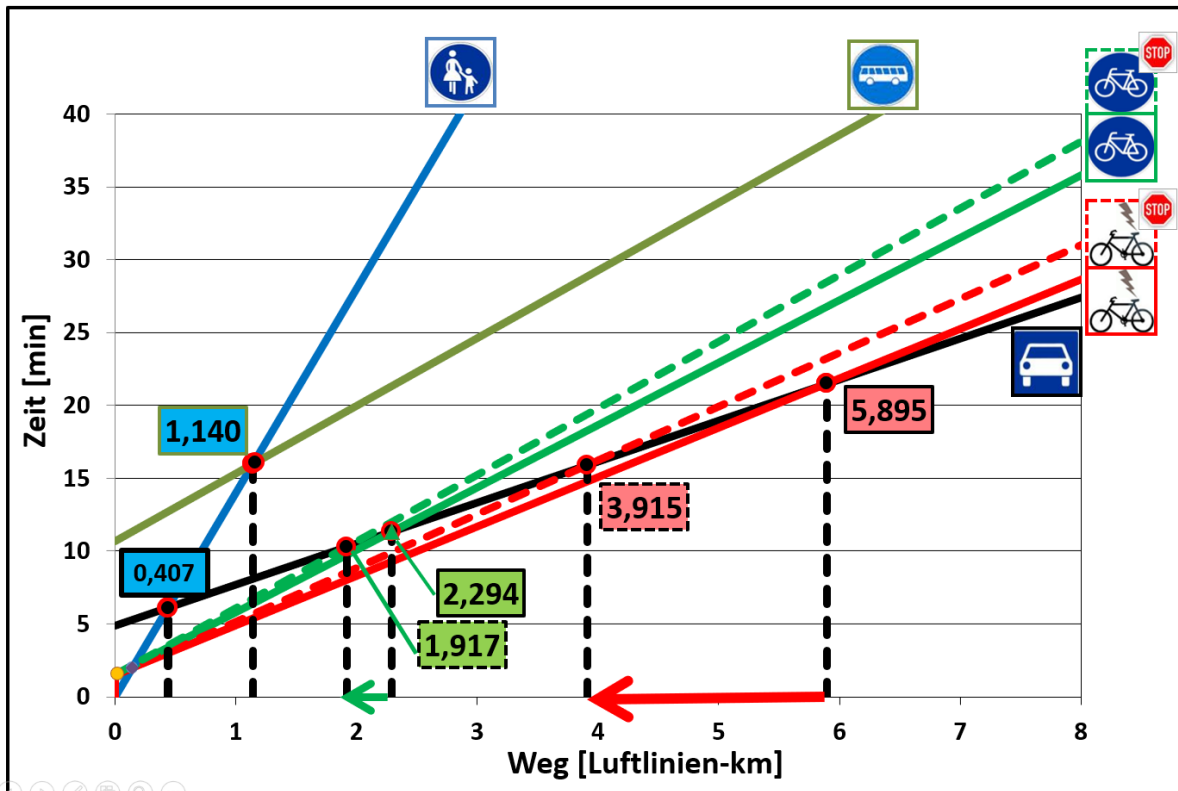


Abbildung 1a: Ergebnisse des Reisezeitexperimentes Lüneburg 2012 mit der Differenzierung Normalverhalten (durchgezogene Linien) und strikte Regelakzeptanz (gestrichelte Linien) im Radverkehr

banen und ruralen Bereich bis Ende 2025 (und danach) mündet. *Netzdurchlässigkeit im Sinne von Barrierefreiheit* ist damit ein erstes Ziel von RVF 3.0.

2. Reisezeiten und physische/rechtliche Barrieren

Ausgangspunkt der Überlegungen waren Reisezeitexperimente in Lüneburg, Hamburg und Göttingen (Pez 2017). Die in der Haupt-, Normal- und Schwachverkehrszeit jeweils hin und zurück abgefahrenen und begangenen Strecken (20 pro Stadt) zeigten eine starke Konkurrenzposition des Fahrrades – vor allem in seiner elektrifizierten Variante – gegenüber dem PKW. Das Pedelec war beispielsweise in Lüneburg im Gesamtdurchschnitt bis zu 4,8 km Luftlinie schneller als das Auto, auf Zentrumsstrecken sogar bis zu 10 und in der Hauptverkehrszeit zielunabhängig bis zu 11 km Luftlinie. Aber das Fahrrad wird auch massiv gebremst durch rechtliche Durchfahrtshindernisse sowie physische Barrieren. Zu Letzteren zählen vor allem Umlaufsperrern oder zu eng gesetzte Steckpfosten/Poller, die nicht nur ausbremsen, sondern die Passage mit Lastenrädern oder Anhängern gar unmöglich machen können. Weitere bauliche Hindernisse wären z. B. nicht oder nicht ausreichend abgesenkte Bordsteinkanten oder unnötige Treppentufen bei leichtem Gefälle. Allein die Deregulierung der rechtlichen Hindernisse (oder deren illegale Ignorierung) bringt schon einen erheblichen Tempogewinn wie Abb. 1a/b belegen: Auf der Strecke haben

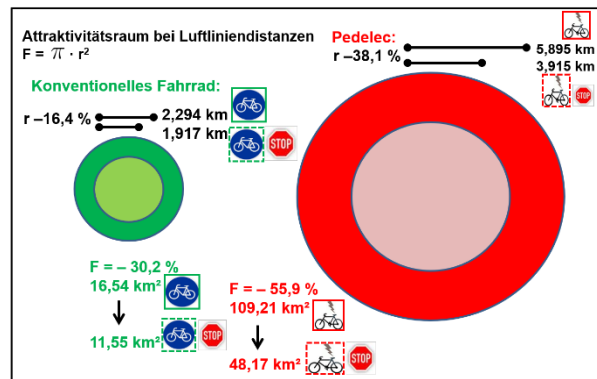


Abbildung 1b: Geschwindigkeitsbezogene Attraktivitätsräume des konventionellen und elektrifizierten Fahrrades im Vergleich zum PKW gemäß Reisezeitexperiment in Lüneburg

streng regelkonforme Radler/innen einen um 16,4 % geringeren Attraktivitätsbereich im Vergleich zum Auto als die Kolleg(innen) mit „Normalverhalten“

bei den Pedelecs betrug der Unterschied 38,1 %. Da aber Radverkehr flächig zu verschiedenen Zielen erfolgt, ist es besser, den Attraktivitätsbereich als Fläche zu berechnen, dann beträgt der Attraktivitätsverlust im konventionellen Radverkehr 30,2 %, beim Pedelec 55,9 %. Mangelnde Barrierefreiheit beeinträchtigt die Gunst des Radverkehrs damit erheblich.

Problem:	Einbahnstraßen	Zufahrtsverbote	Abbiegebote	Nur-Gehwege	Sackgassen	Umlaufsperrungen und Poller/Steckpfosten	Bordsteine	Treppen	Anderer Hindernisse
Lüneburg 2018	39	30	21	47	79	47	27	12	46
Lösung	frei	frei	frei	frei od. Schildabbau	Abbau, Verbreiterung Durchfahrt	Abbau, Verbreiterung Durchfahrt	Abbau, Verbreiterung Durchfahrt	Abbau, Verbreiterung Durchfahrt	
Lüneburg 2024 - Behoben - Neue Hindernisse	- 3 + 2	- 10	- 5 + 1	- 4	- 70	- 9 + 3	- 5	- 1	- 2 + 1

Abbildung 2: Radverkehrshindernisse in der Stadt Lüneburg 2018/2024

3. Netztransparenz liefert Radschönrouten

In einer Vorstudie zum BMDV-Projekt wurden 2018 in Lüneburg (78.000 Ew.) und seinem engeren Vorortring (weitere 24.000 Einwohner) insgesamt 492 rechtliche und physische Hindernisse textlich, kartografisch und fotografisch eruiert, 70 % davon fanden sich in der Kernstadt (Abb. 2). Im gesamten Landkreis (188.000 Ew.) steigerte sich diese Zahl mit Ende der Projektrecherchephase im Sommer 2024 auf 2.087 Mängel, von denen 1.888 mit Maßnahmen verbunden sind, die als innerhalb des Projektes umsetzbar klassifiziert wurden (Abb. 3-5). Hindernisse gibt es im urbanen wie ruralen Umfeld gleichermaßen in großer Zahl, ihre Dichte ist aber in den Siedlungsbereichen größer und bestimmte Arten differieren räumlich: Einbahnstraßen, Nur-Gehwege und fehlerhaft nicht als durchlässig gekennzeichnete Sackgassen sowie

Umlaufsperrungen dominieren in Siedlungsgebieten, schrankenähnliche Hindernisse, Zufahrtsverbote (Zeichen 250) und fehlende Richtungswegweiser prägen besonders die ländlichen Bereiche. In Stadt wie Land führen aber gleichermaßen Hindernisse zu Problemen für die Nutzung und bereits für das schlechte Auffinden von Strecken abseits der Hauptstraßen, im Projekt „Radschönrouten“ genannt. Das sind ruhige Wohnstraßen, Park-, Wald- und Feldwege, die kombiniert nicht selten kürzer sind als konventionelle Strecken entlang klassifizierter Straßen. Aber selbst bei etwas größerer Distanz punkten die Radschönrouten durch Ampelarmut/-freiheit, sodass sie reisezeitlich günstiger abschneiden. Weitere Vorteile sind eine lärm- und abgasarme Umgebung und eine höhere Sicherheit mangels Verkehrsaufkommen. Hauptstraßen mit ihren zahlreichen Unfallrisiken durch Einmündungen und Zufahrten werden

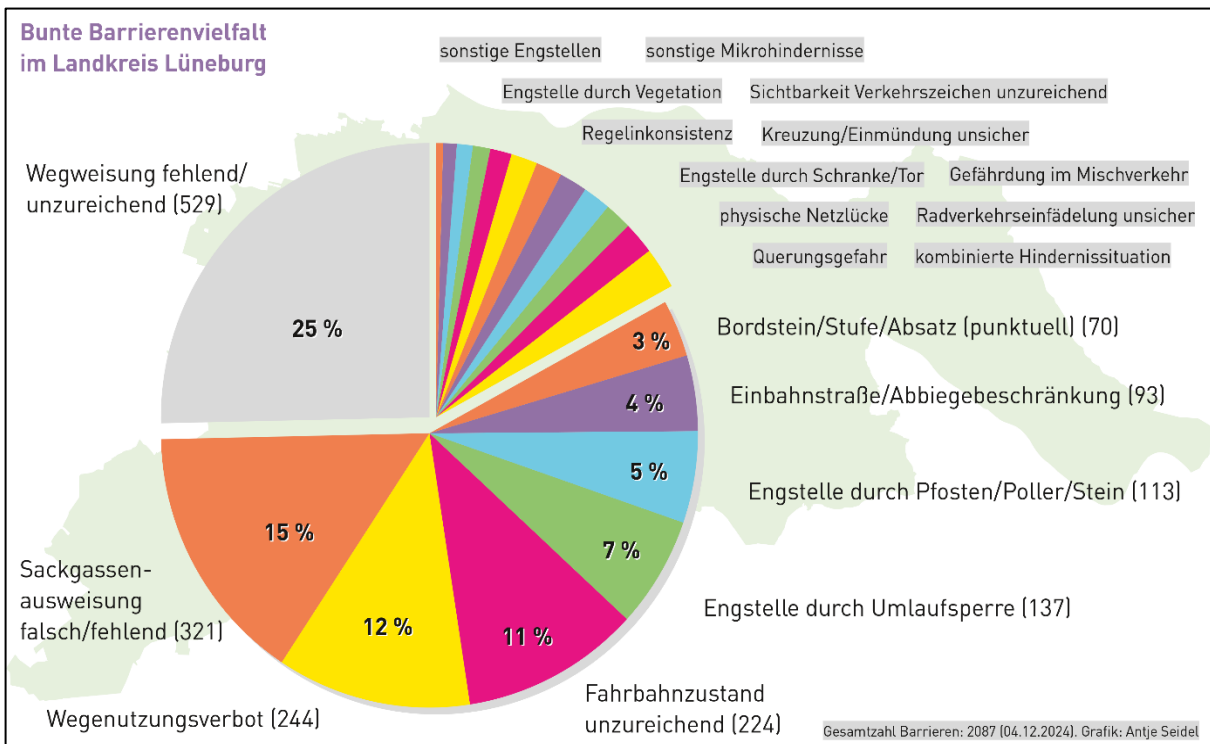


Abbildung 3: Identifizierte Radverkehrsmängel im Landkreis Lüneburg 2024

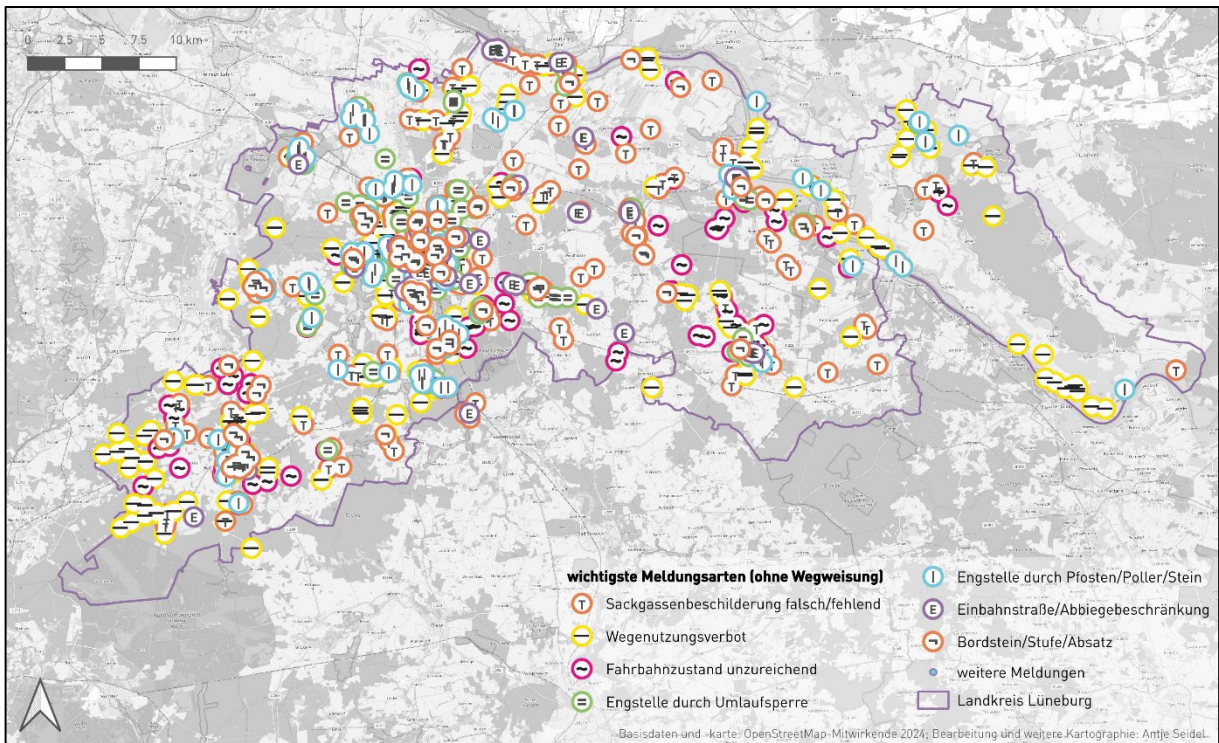


Abbildung 4: Räumliche Verteilung der rechtlichen und physischen Barrieren für Netzdurchlässigkeit im Landkreis Lüneburg 2024 (ohne für Netztransparenz bedeutsame Wegweisungsdefizite)

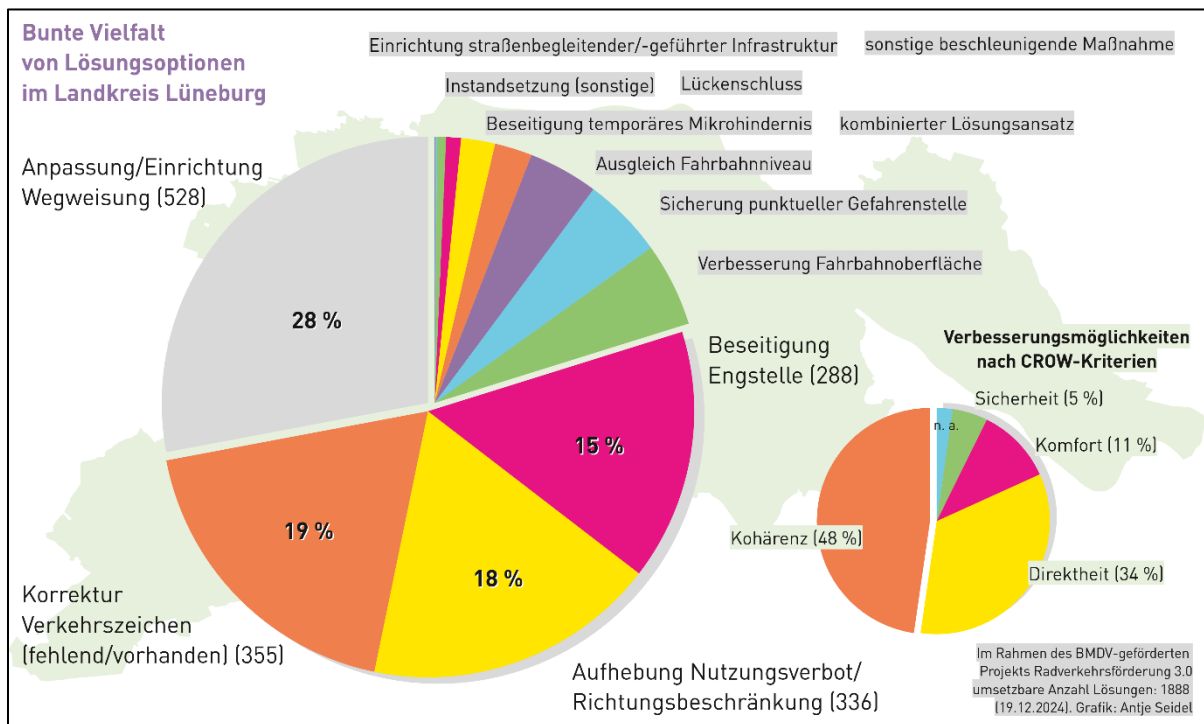


Abbildung 5: Problemlösungsvorschläge für das Untersuchungsgebiet (zu CROW-Kriterien vgl. Rik de Groot 2016)

weitestgehend gemieden und im Wesentlichen nur noch gekreuzt, was den Aufmerksamkeitspegel – im Gegensatz zur längeren Parallelfahrt an den Hauptstraßen – ansteigen lässt.

Abb. 6 zeigt, dass der Stadtraum Lüneburg über ein dichtes, geradezu spinnwebhaftes Netz an Radschön-

strecken verfügt. Sie erschließen den Stadt- und Vororterraum sowohl radial als auch tangential. Aber da nur sehr wenige davon durch eine Wegweisung gekennzeichnet sind, fehlt es an *Netztransparenz*. Die Auswertung von Zu-/ Wegzugszahlen des Einwohnermeldeamtes zeigte eine Fluktuation der in Lüneburg Wohnenden von jährlich 9 %. Statistisch werden da-

mit die Bewohner/innen in 11 Jahren einmal komplett ausgewechselt. Jene, die längere Zeit bleiben, erhöhen die Fluktuationsrate beim mobilen Anteil

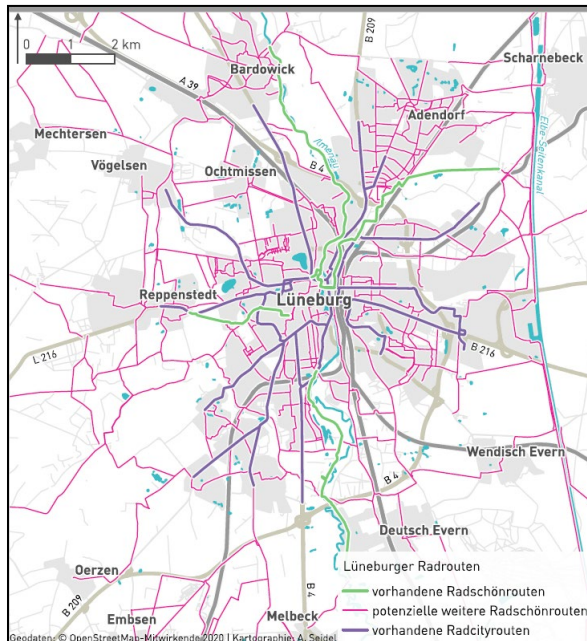


Abbildung 6: Radschönroutenoptionen in und um Lüneburg

noch. Deren Wohndauer wird damit meist zu kurz, um sich über Versuch und Irrtum eine hinreichende Netztransparenz in den mental maps anzueignen. Radschönrouten bedürfen daher nicht nur der physischen und rechtlichen Netzdurchlässigkeit, sondern zusätzlich der Netztransparenz.

4. Digitale Navigation via OpenStreetMap

Was man selbst nicht weiß, sollten Navigationssysteme liefern, die es mittlerweile auch für Radfahrende gibt. Die Erfahrungen belegen jedoch, dass die Algorithmen dieser Systeme häufig wieder nur Radwege entlang von Hauptverkehrsstraßen vorschlagen, selbst wenn man eine Option für gemächliches Radfahren oder schöne Routen anklicken kann. Da die Navigation-Apps auf OpenStreetMap (OSM) als kostenfreiem Kartenmaterial zugreifen, sind angesichts der hohen Qualität und Auflösung der OSM-Daten in Mitteleuropa in der Regel keine Kartierungslücken für diese unzureichenden Ergebnisse verantwortlich. Ursache ist vielmehr, dass für radweglose Strecken die Infrastrukturbedingungen nicht bekannt sind und die Algorithmen dann pauschal schlechte Fahrbahnzustände und damit zu geringes Fahrtempo unterstellen. Für die Hauptstraßen mit Radwegen gilt eher ein zu optimistisches Gegenteil, die ausgewiesenen Fahrzeiten sind häufig nur mit hohem körperli-

chem Einsatz bzw. per Pedelec einzuhalten. Reisezeitverluste insbesondere durch Ampelhäufungen, aber auch durch erhöhtes Verkehrsaufkommen mit Querungssituationen werden offenbar nicht adäquat einberechnet. Im Ergebnis führt dies zu absolut und relativ überhöhten Fahrzeiten auf den Alternativstrecken, die in der Folge häufig gar nicht erst ausgewiesen werden. Der Projektteil „Lüneburg Maps“ war deshalb darauf gerichtet, im Untersuchungsgebiet alle Verbindungswege zwischen Straßen, Stadtvierteln und Orten in ihrer physischen und rechtlichen Ausprägung zu erfassen und diese Daten in die OSM einzuspeisen. Auf diese Weise wurden 3.755 km digitale Linienobjekte mit Zustandsdaten zu mindestens Oberflächen (surface=*), Glätte der Oberfläche (smoothness=*) und Beleuchtung (lit=*) erfasst, zusätzlich radverkehrsrelevanter Informationen wie die Wegbreite und verkehrsrechtliche Ausweisung. Der Landkreis Lüneburg hat damit deutschlandweit (und auch darüber hinaus) die höchste Dichte an „additional data“, also speziell für das Radfahren wichtiger Informationen in den OSM-Daten (ECF o. J.). Diese Leistung wird unmittelbar mit der OSM-Eingabe extern nutzbar – nicht nur für Navigationssysteme, auch planerische Recherchen sind auf diese Weise detailliert und exakt bereits am Dienst-PC durchführbar. Für die Fahrradnutzenden reicht aber insgesamt die bereits spürbar verbesserte Navigation in Stadt- und Landkreis Lüneburg letztlich nicht aus. Für die Einstiegsplanung von Freizeitradtouren werden vielfach noch Radstadtpläne und Radkarten genutzt, wengleich der Gebrauch elektronischer Medien zunimmt. Auch auf der Strecke ist es gut, wenn parallel zu Karte und/oder elektronischer Navigation bestätigende Hinweise per Beschilderung auftauchen. Letztlich müssen also *digitale und analoge Netztransparenz* Hand in Hand gehen, auch mit Blick auf jene, die keine technische Unterstützung zur Hand haben.

5. Barrieren in den Köpfen

RVF 3.0 betrifft alle drei für den Radverkehr relevanten Attraktivitätsfaktoren Schnelligkeit, Sicherheit und Komfort, und dies wird in der Fläche verfolgt, nicht mehr nur in Stadtzentren oder entlang linearer Hauptstrecken – ganz wie es der erste Satz der ERA in der Ausgabe von 1995¹ forderte. Durch die Beseitigung vorwiegend kleinteiliger Mikromängel ist der planerische und finanzielle Aufwand gering. Im Projektgebiet winkt darüber hinaus ein Fördermittelanreiz durch das Modellvorhaben Rad von 80 %. Auch politisch-planerische Konflikte in der Auseinandersetzung mit anderen Verkehrsarten (Kfz- und Fußverkehr) tauchen kaum oder gar nicht auf. RVF 3.0

¹ FGSV 1995, S. 7: „Einrichtungen für den Radverkehr sollen das Radfahren flächendeckend sicher und attraktiv machen.“

erscheint damit als aufwands- und kostengünstig sowie Kontroversen meidend – was eine hohe Akzeptanz seitens politisch und planerisch Agierender erwarten ließ. In einigen Samtgemeinden des Untersuchungsraumes trifft das in vollem Umfang zu. Aber das ist nicht die Regel und ausgerechnet das städtische Zentrum der Region Lüneburg hinkt in der Umsetzungsbereitschaft deutlich hinterher – obwohl man durch die Vorstudie von 2018 die ausgedehnteste Zeitspanne für einen Einstieg in RVF 3.0 besaß. Zwar gab es zu Beginn eine Umsetzungswelle in der Kategorie der einfachsten Maßnahme – Ersetzung der Sackgassenschilder durch jene für die durchlässige Sackgasse –, aber darin erschöpften sich die Umsetzungsmaßnahmen für mehrere Jahre fast gänzlich. Erst seit 2024 ist wieder eine leicht verstärkte Aktivität zu beobachten. Gleichwohl wurde von den zahlreichen Radschönroutenoptionen keine einzige per Wegweisung kenntlich gemacht. Auch eine zeitlich kompakte Umsetzung vieler Hindernisbeseitigungen fand nicht statt, sodass noch viele Mängel unbearbeitet sind und sogar neue hinzukamen (Abb. 2). Damit wiederum konnte die geplante Öffentlichkeitsarbeit im Sinne einer „hardware-basierten soft policy“ nicht stattfinden, welche nicht allgemeine Nutzwerte des Radfahrens (Gesundheit/Fitness, Umweltschutz, Naturerleben) betont, sondern bis hin zur Großplakatwerbung kommuniziert, dass sich die Infrastruktur zugunsten des Radverkehrs deutlich verbessert (Abb. 7). Kurzum: Es gelang speziell in Lüneburg weder RVF 3.0 in der Planungspraxis noch in den Köpfen der Handelnden hinreichend zu verankern, während dies in den Samtgemeinden des Umlandes großteils deutlich besser funktionierte. Die Peripherie eilt damit dem Zentrum voraus – nicht nur die übliche Vorstellung hinsichtlich der Diffusion von Innovationen wird damit auf den Kopf gestellt, auch zeigte sich in der Untersuchungsregion, dass übliche Erwartungen hinsichtlich

der Korrelation von Radverkehrsfreundlichkeit mit parteipolitischen Farben keine Geltung haben. Hindernisse für RVF 3.0 können sein:

- Individuelle Präferenzen von Verwaltungsspitzen: Wenn Sensibilität für Radverkehrsbelange fehlt und selbst so gut wie nie Rad gefahren wird, bleibt dieses Arbeitsfeld unbestellt.
- Knappheit kommunaler Haushaltsmittel – für RVF 3.0 eigentlich kein schlüssiges Argument angesichts niedriger Kostenbeträge für die Durchführung von Mikromaßnahmen und einer 80 %-Förderung im Projekt.
- Personalknappheit: Spielt eine große Rolle und wurde im Projekt durch den studentischen Rechercheinsatz kompensiert. Dies muss man künftig bedenken, RVF 3.0 wäre der Türöffner für „crowd sourced planning“, also für eine produktive Beteiligung aktiver Öffentlichkeit.
- Intellektuelles Prestigedefizit: Die Beschäftigung mit Mikroproblemen des Radverkehrs fordert die intellektuellen Fähigkeiten nicht besonders heraus. Sowohl Planung als auch Fördermittelakquise/-bewirtschaftung für größere Bauvorhaben sind hingegen aufwändig und gelten damit als honorig, während die „Kärnerarbeit“ der diffusen Mikromängelbeseitigung keine Anerkennung verspricht.
- Experience Gap: Vollerwerbstätigen mit monolinärer Verkehrsnutzung von der Heimstatt zum Arbeitsplatz und zurück fehlt ggf. der Fokus für flächige Mikromängel, anders als bei Nicht- oder Teilerwerbstätigen mit hohem Anteil an Carearbeit und diffus-kleinstrukturierter, häufig mit Lastentransport verbundener Mobilität für Besorgungen und Begleitwege. Der Effekt wird oft als Gender Gap bezeichnet, aber die Differenz zwischen linearer und flächiger Verkehrsperspektive ist nicht Folge des Geschlechtes, sondern primär der Art von Alltagsmobilität und dies wiederum Folge des

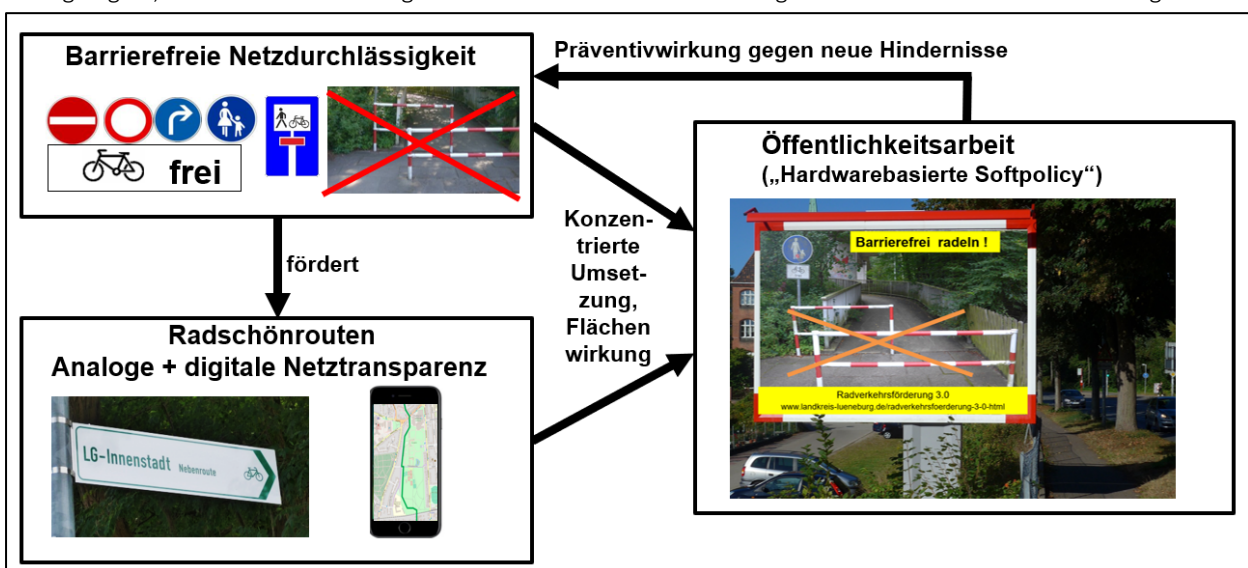


Abbildung 7: Bestandteile der Radverkehrsförderung 3.0

Grades von Erwerbstätigkeit. Erst Letztere weist Gender-Unterschiede auf.

- Die große Zahl an Mikromängeln wirkt „erschlagend“, wie eine Sisyphosarbeit. Im Projekt wurde deshalb die Umstellung von pdf-Meldeblättern auf ein elektronisches Melde- und Dokumentationssystem entwickelt.
- Trägheitsmoment: Initiativen zur Veränderung einer Beschilderungssituation oder zum Abbau eines physischen Hindernisses treffen vielfach auf Bedenken/Ausflüchte wie etwa „Die [= Urheber/innen der Regelung] *haben sich doch bestimmt etwas dabei gedacht.*“ Was das sein könnte und ob etwaige frühere Überlegungen heute noch tragfähig sind, wird nicht weiter hinterfragt, sondern stattdessen der Gegenstand ungeklärt auf die lange Bank geschoben. Auch die Verkehrssicherheit dient nicht selten als Totschlagargument, um Handlungsoptionen von sich zu weisen oder gar um neue Barrieren zu errichten.
- Fehlerangst: Änderungen im Verkehrsraum stehen unter kritischer Perspektive von Öffentlichkeit und Medien. Auf unteren planerischen Ebenen ist die Angst verbreitet, für Unfälle seitens der Leitung, Medien oder gar Justiz (mit-)verantwortlich gemacht zu werden, was die Tendenz zum Nicht-Handeln analog zum Trägheitsmoment verstärkt.
- Der hohe administrative Aufwand für Schilderänderungen oder selbst eine Bordsteinkantenabsenkung generiert ein als nachteilig empfundenen Aufwand-Nutzen-Verhältnis, erst recht, wenn Abteilungen nicht an einem Strang ziehen. Das Dt. Institut f. Urbanistik formulierte in einer Studie treffend: *„Eine normale Situation ist: Radteam gegen Straßenverkehrsbehörde. Die einen möchten etwas, die anderen müssen schauen, warum es nicht geht.“* (difu 2024, S. 29).

6. Kleines Hindernis, große Wirkung

Ein einzelnes, für Lüneburg besonders markantes Beispiel mag diese Zusammenhänge illustrieren. Im Sommer 2022 öffnete die Verwaltung die Südhälfte des Kurparkes für den Radverkehr, was zunächst ganz im Sinne von RVF 3.0 war, ergab sich doch hierdurch die Chance einer Radschönroute vom Stadtzentrum zur Universität und darüber hinaus in den südlichen Stadtteil Bockelsberg. Die 3,0 km lange Radschönroute könnte damit beträchtliche Quell- und Zielverkehre auf ampelfreier Strecke bedienen im Vergleich

zu den ampelgesäumten Hauptstraßen (3,2 und 3,5 km). Hierfür gibt es nur ein Hindernis: Die 33 m lange Kurparkbrücke über eine Bahnstrecke wurde nicht für den Radverkehr freigegeben. Ohne diese besteht keine vollständige Durchlässigkeit, was sowohl eine Radroutenbeschilderung als auch eine Ausweisung in Navigationssystemen ausschließt. Eine spezielle planerische, rechtliche und empirische Untersuchung (Pez/Schomerus/Löbbecke 2023) zeigte, dass das städtische Argument zur Versagung der Durchfahrlaubnis – die Breite von 2,40 m liege unterhalb der durch die ERA (FGSV 2010, S. 28) definierten 2,50 m – unzutreffend war. Die entsprechende ERA-Angabe bezieht sich auf *straßenbegleitende* gemeinsame Führungen von Fuß- und Radverkehr, bei der Kurparkbrücke geht es jedoch um eine separate, straßenunabhängige, quartiersverbindende Strecke. Solche Wege werden in der ERA nicht breitendefiniert. Überdies gelten die 2,50 m nur für Neu-, nicht für Altanlagen und die ERA verweist auf derselben Seite auf Engstellen (bis 50 m) mit zulässiger Unterschreitung des Maßes. Damit befindet sich die Verwaltungsrestriktion im Konflikt mit dem Gebot zur Minimierung von verkehrsrechtlichen Anordnungen nach § 45 (9), Satz 1 und 3 StVO.² Die handlungsbeschränkende Beschilderung muss rechtmäßig, zweckmäßig und verhältnismäßig sein, konkret gälte es, eine Gefahrenlage nachzuweisen. Im empirischen Teil der Studie konnte diese negiert werden. Zunächst erwies sich erwartungsgemäß eine dominierende Rundwegnutzung durch Zufußgehende im Kurpark zu Spazierzwecken, während Radelnde „Streckenfahrer/innen“ sind. Die Kurparkbrücke frequentierten dennoch mehr Zufußgehende (57,1 %) als Radelnde (42,9 %; n = 1.466). Die Passagefrequenz ist gleichwohl mit 1,17 Personen pro Minute nicht hoch und deshalb erfolgten 74,6 % der Brückenquerungen ohne Fußgänger/in-Radfahrer/in-Kontakt. Dabei mag auch eine Rolle spielen, dass die 88,5 % der Radfahrenden, die sich nicht an das Fahrverbot hielten, die 33 m Brückenstrecke in nur ca. 12 Sekunden statt in 30 Gehsekunden querten und dabei nebenher auch weniger Wegbreite beanspruchten als die 11,5 % schiebenden Kolleg(inn)en. Die Begegnungsfälle wurden per Verhaltensbeobachtungen genauer klassifiziert. 95 von 98 Begegnungen von Fußgänger(inne)n und fahrend die Brücke querenden Radler(inne)n waren demnach konfliktfrei, 3 konfliktarm (verbale Bemerk-

² „Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen sind nur dort anzuordnen, wo dies auf Grund der besonderen Umstände zwingend erforderlich ist.“ ... „Insbesondere Beschränkungen und Verbote des fließenden Verkehrs dürfen nur angeordnet werden, wenn auf Grund der besonderen örtlichen Verhältnisse eine

Gefahrenlage besteht, die das allgemeine Risiko einer Beeinträchtigung der in den vorstehenden Absätzen genannten Rechtsgüter erheblich übersteigt.“ Auch § 39, 1 StVO untersagt verkehrsrechtliche Anordnungen, die nicht zwingend geboten sind. Beide Paragraphen rekurren auf Art. 2, 1 GG (Handlungsfreiheit).

kungen); riskante Begegnungen oder gar Touchierungen/Kollisionen gab es keine. Schließlich mochten sich 40 die Brücke querende Personen in einer Kurzbefragung zur Situation äußern. Auf einer 5-poligen Skala (1 = sehr sicher, 5 = sehr unsicher) ergab sich ein Mittelwert von 2,05. Nur wenige Befragte vergaben die Note 4, niemand die Note 5. All diese Ergebnisse belegen, dass sich eine Beseitigung des Mikrohindernisses Nur-Gehweg auf 33 m der 3 km langen, potenziellen Radschönroute als rechtlich möglich, planerisch sinnvoll und empirisch problemlos erweist. Dies gilt umso mehr, als nur 200 m südlich auf der Radschönroute zur Universität bei einem weiteren straßenverbindenden Weg mit 30 m Länge und nur 1,95 m Breite unter dem Gehwegschild das Zusatzschild „Radverkehr frei“ prangt. Dieser nahe gelegene, langjährig funktionierende Präzedenzfall bei sehr ähnlicher Frequentierung wie der Kurparkbrücke zeigt, wie man zugunsten des Radverkehrs urteilen könnte, um eine Alternative zum Verweis auf die Hauptstraßen zu schaffen. Aber trotz einer Oberbürgermeisterin, die proklamatorisch die Verkehrswende verfolgt, gibt es seitens der Stadtverwaltung kein Einlenken. Statt erwidrender Argumentation wird schlicht nicht mehr reagiert – Aussitzen statt sachlichen Diskurses im Rahmen einer nachhaltigkeitsorientierten Partizipation. Dies zeigt das nächste Problem auf: Verwaltung verhält sich, wenn ihre Leitung es zulässt, protegiert oder gar einfordert, reserviert bis ablehnend gegenüber Initiativen von außen, sofern die kommunizierten Interessenlagen nicht dem eigenen / präferierten Aufgabenspektrum oder einer Entscheidungslage, die man verantwortet, entsprechen. Für die Erreichung von Barrierefreiheit im lokalen Radverkehr ist das eine schlechte Ausgangslage.

7. Was ist zu tun?

Sowohl im Rahmen des laufenden Projektes als auch in der Gesamtschau der Radverkehrspolitik in Deutschland ist festzustellen, dass ihre Schlagkraft entscheidend verknüpft ist mit der obersten Leitungsperson einer Verwaltung. Ist diese erstens radverkehrsaffin, besitzt zweitens über hinreichend verkehrsplanerische Kenntnisse (was kein Studium dieser Materie voraussetzt) und verfügt drittens über persönliche Durchsetzungsfähigkeit, sind das gute Voraussetzungen für eine effektive Radverkehrsförderung. Wo das nicht gegeben ist, scheint sich aufgrund einer vielfach für den Radverkehr restriktiv tradierten Planungs- und Entscheidungskultur bottom up nicht viel zu bewegen, zu groß sind die auftretenden Widerstände schon innerhalb der Verwaltung, spätestens mit der Politik. Selbst eine schnell umsetzbare, flächendeckende, billige und zwischen den Verkehrsgruppen konfliktarme Strategie wie RVF 3.0 hat es unter solchen Umständen schwer, was zeigt, dass das vom früheren Bundesverkehrsminister Andreas

Scheuer im April 2021 ausgerufenen Ziel, Deutschland solle bzw. könne Fahrradland werden, noch in weiter Ferne liegt. Immerhin konnte das Projekt RVF 3.0 nachweisen, dass auf der Ebene der Beseitigung von Mikromängeln ein immens großer Handlungsbedarf besteht, viele attraktive Wege und Routen abseits der Hauptverkehrsstraßen ihrer Erschließung harren, die mental maps der Radfahrenden von einer Unterstützung durch analoge und digitale Wegweisung profitieren können sowie nutzungsadäquatere Verkehrsregelungen das de-jure-Fehlverhalten vieler Radler/innen zugunsten des Verkehrsklimas erheblich verringern können.

Die wichtigsten weiterführenden Schlussfolgerungen sind nun:

- Ein verstetigtes Förderprogramm für die Behebung von Mikromängeln im Radverkehr ist nötig, um neben der monetär erforderlichen Alimentierung auch mentale Handlungsanreize für Kommunen und dort tätige Personen zu setzen – Fördermittelakquise liefert Reputation als Leistungsausweis in der Hierarchie von Verwaltung und Politik.
- Erforderlich ist eine Veränderung und Ergänzung der Aus- und Bildungsstrukturen in der Verkehrsplanung zur Kommunikation von RVF 3.0, die auch jene erreichen, die die verkehrsplanerische Ausbildung bereits abgeschlossen haben oder die ohne ein solches Studium in Politik, Verbänden und Polizei in politisch-planerische Entscheidungsprozesse eingebunden sind.
- Hierauf basierend gilt es eine Veränderung der Planungskultur zu erwirken. Die aktuelle Radverkehrsplanung (und Fördermittelkulisse) ist zu sehr baualastig. Auch wenn es weiterhin einen Bedarf an Radwegebau geben wird, erst recht mit der Innovation der Radschnellwege, so sind dies lineare Ansätze, die dem diffusen, eher auf kurzen Strecken dominierenden Radverkehr nie voll gerecht werden können. Statt des Primats Wegebau im beruflichen Selbstbild versprache eine Schwerpunktverlagerung zu Wegesanierung und nutzungsadäquater Gestaltung ordnungsrechtlicher Bedingungen deutlich mehr Flächenwirkung.
- Veränderung der Planungskultur bedeutet auch eine Hinwendung zu neuen Formen der Öffentlichkeitsbeteiligung. Im Projekt ließ sich der enorm hohe Recherchebedarf durch den Einsatz von Studierenden in Projektseminaren decken. Andernorts müsste/könnte man die Aktivenszene des Radverkehrs gewinnen. In einem crowd sourced oder community based planning gelänge es dann, die Öffentlichkeit nicht erst zu beteiligen, wenn eine Planung erstellt ist, sondern schon von Beginn an in einen Planungsprozess produktiv einzubinden, was am Schluss die Akzeptanz von Maßnahmen erhöht.

Fahrradfreundliche (Ober-)Bürgermeister/innen zeigen schon jetzt, dass top down vieles geht. Das befriedigt aber auf Dauer nicht, generiert es doch nur einzelne fahrradfreundliche Inseln. Offensive Radverkehrsplanung muss als Teil der angestrebten nachhaltigen Mobilitätswende auch bottom up wachsen. RVF 3.0 kann dabei zum Schlüssel für die Wende in den Köpfen werden, weil sie dazu anhält, die Belange des Radfahrens ständig und im Mikrodetail im Blick zu behalten, nicht nur um vorhandene Barrieren zu beseitigen, sondern auch, um keine neuen mehr entstehen zu lassen.

E-Mail: antje.seidel@leuphana.de

Literatur

(difu) Deutsches Institut für Urbanistik (Hrsg.) (2024): Kommunale Radverkehrsförderung beschleunigen. Ergebnisse und Empfehlungen des BMBF-Forschungsprojektes KoRa. Berlin.

ECF (o. J.): https://european-cyclists-federation.github.io/Visualization/DE/DE_map_C.html – zuletzt abgerufen am 21.1.2025.

(FGSV) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln:

- Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) 1995.
- Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) 2010.

Pez, P. (2017): Reisezeitexperimente als Forschungs- und Evaluierungsinstrument – Ergebnisse aus Feldstudien in Lüneburg, Hamburg und Göttingen. In: Wilde, M.; Gather, M.; Neiberger, C.; Scheiner, J. (Hrsg.) Verkehr und Mobilität zwischen Alltagspraxis und Planungstheorie. Ökologische und soziale Perspektiven. Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung. Wiesbaden. S. 99-112.

Pez, P.; Schomerus, T.; Löbbecke, C. (2023): Sachstandsanalyse zur Radroutenverbindung Stadtzentrum – Universität – Bockelsberg. Lüneburg (unveröff.).

Rik de Groot, H. (2016): Design manual for bicycle traffic. CROW Fietsberaad. Ede.

AutorInnenangaben

Apl. Prof. Dr. Peter Pez und Dr. Antje Seidel
Institut für Stadt und Kulturräumforschung
Leuphana Universität Lüneburg
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg
E-Mail: peter.pez@leuphana.de

Radfahren in Zeiten des Klimawandels – macht Hitze das Radfahren (im Alltag) unattraktiver?

Uta Burghard, Marvin Helferich, Claudia Hille, Josephine Tröger, Anne Graf, Elisabeth Dütschke

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Der Beitrag nimmt die durch den Klimawandel bedingte steigende Hitzebelastung zum Anlass und widmet sich vor diesem Hintergrund der Frage, inwiefern hohe Temperaturen einen Einfluss auf die Radnutzung haben. Bisherige Forschung zum Zusammenhang von Wetter und Radfahren fokussierte stärker auf Regen oder winterliches Wetter. Für eine erste empirische Untersuchung verwendet der Beitrag Daten aus der Panelstudie MobilKULT. Aktuelle Daten der Befragungsstudie (N=2.009) zeigen, dass die Gruppe derer, die angeben, das Rad an Hitzetagen (ab 32 Grad Celsius) wahrscheinlich stehen zu lassen, etwas größer ist als die Gruppe derer, die dennoch Rad fahren. In der Gruppe der Radfahrenden ist dieser Effekt homogen über verschiedene Teilgruppen – einzig Männer sowie Personen in städtischen Regionen geben weniger oft an, Freizeitwege mit dem Rad zu reduzieren. In Summe verweisen die Ergebnisse auf die Bedeutung des Themas für die Analyse der Radmobilität sowie weiteren Forschungsbedarf zur entsprechenden Gestaltung von Infrastrukturen angesichts steigender Temperaturen.

Schlagwörter / Keywords:

Fahrradnutzung, Hitze, Bevölkerungsbefragung

1. Einleitung

In Deutschland hat das Fahrrad in den letzten Jahren vor allem in urbanen Räumen stark an Bedeutung gewonnen: In den Metropolen stieg der Radverkehrsanteil an allen Wegen zwischen 2002 und 2017 von neun auf 15 Prozent, in den Regiopolen und Großstädten von zehn auf 14 Prozent (Nobis 2019). Doch gerade in diesen Ballungsräumen ist das Potenzial für den Radverkehr noch größer: Knapp ein Drittel der Autofahrten könnten laut einer Schätzung von Expert:innen theoretisch auf das Fahrrad verlagert werden (UBA 2024a).

Gleichzeitig leiden gerade in Großstädten und Metropolen die Bewohner:innen im Sommer unter einer hohen Wärmebelastung, denn die dicht bebauten urbanen Zonen heizen sich tagsüber besonders stark auf und kühlen nachts kaum ab (UBA 2024b). Dies führt dazu, dass sogenannte heiße Tage - Tage mit 30 Grad Celsius und mehr - in Großstädten deutlich häufiger auftreten als im bundesdeutschen Durchschnitt (UBA 2024b).

Doch wie wirken sich hohe Temperaturen auf die Fahrradnutzung aus? Darüber ist bisher wenig bekannt. Das Fahrrad als Verkehrsmittel ist stark witterungsabhängig – jedoch spielte dabei bisher vor allem „schlechtes“ Wetter mit Kälte und Nässe eine Rolle: Im Sommer liegt der Radverkehrsanteil bei 13 bis 14 Prozent, im Winter bei sieben bis neun Prozent. Die saisonalen Schwankungen sind beim Fahrrad stärker ausgeprägt als bei den anderen Verkehrsmitteln, wo sie in die entgegengesetzte Richtung wirken (Nobis 2019).

Im Zuge des Klimawandels nehmen heiße Tage vor allem in urbanen Räumen zu (UBA 2024b). Große Hitze kann die Gesundheit in Form von Hitzestress, Dehydration und Hitzschlag beeinträchtigen (UBA 2024b), insbesondere bei gefährdeten und vulnerablen Bevölkerungsgruppen, wie bspw. Älteren, Kindern, Schwangeren oder Personen mit Vorerkrankungen (Foshag et al. 2024). Daher stellt sich die Frage, inwiefern das Fahrrad an heißen Tagen noch als geeignetes Verkehrsmittel wahrgenommen wird und wie Personen, die das Rad regelmäßig nutzen, mit Hitze umgehen.

Es liegen mehrere Studien vor, die sich mit dem Einfluss des Wetters auf die Fahrradnutzung (in Städten) beschäftigen. Generell steigt die Fahrradnutzung bei wärmeren Temperaturen an. Dieser Temperatureffekt ist bei Freizeitwegen stärker ausgeprägt als bei arbeitsbezogenen Wegen. Zudem ist dieser Effekt in urbanen Gegenden weniger stark ausgeprägt im Vergleich zu Regionen außerhalb des urbanen Zentrums (Helbich et al. 2014). Optimale Temperaturen für das Radfahren liegen im Bereich von 19 bis 25 Grad Celsius und moderater Luftfeuchtigkeit (Lanvin et al. 2024); ab Temperaturen über 25 bis 28 Grad Celsius nimmt die Fahrradnutzung wieder ab (Ahmed et al. 2010; Miranda-Moreno & Nosal 2011; Phung & Rose 2008). Eine Reihe von Studien aus dem englischsprachigen Raum zu Bikesharing-Angeboten zeigen ähnliche Effekte: So nimmt die Nutzung von Bikesharing bei hohen Temperaturen zwischen 26 und 28 Grad Celsius (Bean et al. 2021; Heaney et al. 2019) bzw. ab 30 Grad Celsius (Kim 2018) ab. Einige Studien haben Anpassungsstrategien an extreme Hitze gefunden, wie die Vermeidung der Nutzung der Systeme (Rabassa et al. 2021), eine verstärkte Nutzung der Bikesharing-Systeme in den Abendstunden (Li et al. 2024), oder das generelle Verschieben der Fahrten in kühlere Tageszeiten (Chan & Wichmann 2020). Insbesondere Frauen und ältere Personen vermeiden nach Hitzewarnungen das Nutzen von Bikesharing eher als Männer (Rabassa et al. 2021).

Der Literaturüberblick zeigt, dass bisher keine Studien aus Deutschland zu diesem Themengebiet vorliegen. Zudem haben viele der hier dargestellten Studien Bikesharing betrachtet. Die Nutzungsmuster zwischen Bikesharing und dem privaten Fahrrad unterscheiden sich jedoch, bspw. werden mit privaten Fahrrädern eher längere Strecken zurückgelegt im Vergleich zu Rädern aus Bikesharing-Systemen (Li et al. 2019; Castillo-Manzano et al. 2016). Des Weiteren liegen bisher kaum sozialwissenschaftliche Studien vor, die Einstellungen und Präferenzen von Radfahrern im Kontext von Hitzebelastung untersucht haben. Im Rahmen des vorliegenden Papers sollen daher die Fragen beantwortet werden, wie das Fahrrad im Alltag genutzt wird und wie attraktiv Radfahren bei großer Hitze ist oder ob auf andere Verkehrsmittel ausgewichen wird bzw. ob andere Anpassungsstrategien genutzt werden.

Dafür verwenden wir Daten aus der fünften Welle der Panelstudie MobilKULT, die von Forschenden des Fraunhofer ISI und der Hochschule Karlsruhe im Herbst 2024 durchgeführt wurde. In MobilKULT werden Mobilitätsgewohnheiten und ihre Veränderungen sowie deren Zusammenspiel mit Infrastrukturen, kulturellen Faktoren und der Wahrnehmung mobilitätspolitischer Maßnahmen untersucht. Hierzu werden zweimal jährlich Menschen aus Baden-Württem-

berg und Mecklenburg-Vorpommern zu einer Online-Befragung eingeladen. Die fünfte Welle setzt den inhaltlichen Schwerpunkt auf Fahrradmobilität.

Zunächst stellen wir die methodische Vorgehensweise und grundlegende Ergebnisse zur Fahrradnutzung in der Stichprobe dar. In Kapitel 3 berichten wir die Ergebnisse zu Fahrradnutzung bei Hitze und in Kapitel 4 werden die Ergebnisse diskutiert und eingeordnet.

2. Stichprobenbeschreibung und grundlegende Ergebnisse zum Radfahren

2.1 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt nahmen 2.009 Personen an der Befragungswelle fünf teil. 80 Prozent hiervon wohnen in Baden-Württemberg und etwas mehr als die Hälfte sind Frauen. Ein Drittel der Befragten wohnt in städtischen und ein Fünftel in ländlichen Gegenden. Mehr als vier von fünf Teilnehmenden verfügen über mindestens ein Fahrrad im Haushalt. Die Verteilung weiterer sozio-demographischer Faktoren kann entnommen werden.

2.2 Grundlegende Ergebnisse zum Radfahren

Im Schnitt legen die Teilnehmenden acht Prozent ihrer wöchentlichen Wege mit dem Fahrrad zurück. Dies entspricht durchschnittlich 16 Kilometer mit einem Fahrrad ohne elektrische Unterstützung oder 18 Kilometer mit einem Fahrrad mit elektrischer Unterstützung. In städtischen Gebieten ist der Anteil der wöchentlichen Wege, die mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, höher als in anderen Regionen. Männer und Frauen fahren gleich viel Fahrrad, jedoch legen jüngere Personen ($r = -0,07$; $p = 0,002$), Personen mit höherer Bildung ($r = 0,06$; $p = 0,01$), sowie Personen ohne Auto ($t(321,15) = 3,8$; $p < 0,001$) tendenziell einen höheren Anteil ihrer wöchentlichen Wege mit dem Fahrrad zurück.

Bei den Wegezwecken der Fahrradnutzung liegen private Erledigungen (z.B. Arztbesuche) mit einigem Abstand vorne ($N=721$ Nennungen). Darauf folgen Wege zum Einkaufen ($N=558$) und Tagesausflüge ($N=503$). Arbeitswege ($N=367$), Besuche ($N=327$) und Begleitung von Kindern ($N=156$) spielten eine untergeordnete Rolle. Für Dienstreisen wird das Fahrrad nur von sehr wenigen Personen genutzt.

Tabelle 1: Stichprobenbeschreibung

	Anteil an der Stichprobe (N = 2.009)
Bundesland	
Baden-Württemberg	80,1 % (N = 1.609)
Mecklenburg-Vorpommern	19,9 % (N = 400)
Geschlecht	
Männlich	47,1 % (N = 946)
Weiblich	52,6 % (N = 1.057)
Nicht-binär	0,3 % (N = 6)
Alter	M = 48,9; SD = 16,2; MD = 51; Min = 18; Max = 89
Monatliches Haushaltsnettoeinkommen	
<1.300 €	11,8 % (N = 238)
1.300€ - 2.600 €	27,1 % (N = 545)
2.600€ - 3.600 €	23,7 % (N = 477)
3.600€ - 5.000 €	22,1 % (N = 444)
> 5.000 €	15,2 % (N = 305)
Anteil Personen mit mindestens einem Fahrrad im Haushalt	82,3 % (N = 1.653)
Strukturregion¹	
Städtisch	33,7 % (N = 668)
Vorstädtisch	45,3 % (N = 901)
Ländlich	21,0 % (N = 416)
Beschäftigungsstatus	
Vollzeitbeschäftigt	45,7 % (N = 917)
Teilzeitbeschäftigt	14,6 % (N = 293)
Selbstständig	4,8 % (N = 96)
In Ausbildung / Schule / Studium	3,6 % (N = 72)
Im Haushalt tätig	2,9 % (N = 59)
Arbeitssuchend	3,3 % (N = 66)
Im Ruhestand	21,0 % (N = 421)
In Elternzeit	1,0 % (N = 21)
Arbeitsunfähig / Erwerbsminderungsrente	2,2 % (N = 45)
Sonstiges	0,7 % (N = 15)
Höchster Bildungsabschluss	
Kein Schulabschluss	0,1 %
Primarstufe	0,3 %
Sekundarstufe	27,0 %
Berufsausbildung	44,6 %
Akademischer Abschluss	27,9 %

Anmerkung: M=Mittelwert; SD=Standardabweichung; MD=Median

3. Fahrradnutzung bei Hitze

Teilnehmende, die mindestens einmal im Monat ein Fahrrad nutzen (N=1.294), wurden gefragt, wie wahrscheinlich es ist, dass sie ab 32 Grad Celsius² das Fahrrad stehen lassen. Hierbei wurde in der Frage differenziert nach Alltags- (z.B. zur Arbeit oder zum Einkaufen) und Freizeitwegen (z.B. Ausflüge oder zum Sport). Die Gruppe der Befragten, die das Rad stehen lassen würde, ist sowohl bei Alltags- als auch bei Freizeitwegen jeweils etwas größer als die Gruppe derer, die trotzdem Rad fahren würden, wobei sich die Antwortmuster für Alltags- und Freizeitwege nicht unterscheiden.

Wird nach Strukturregion unterschieden, so zeigen sich für Freizeitwege signifikante Unterschiede: Menschen in vorstädtischen oder ländlichen Räumen antworten eher als Antwortende aus städtischen Regio-

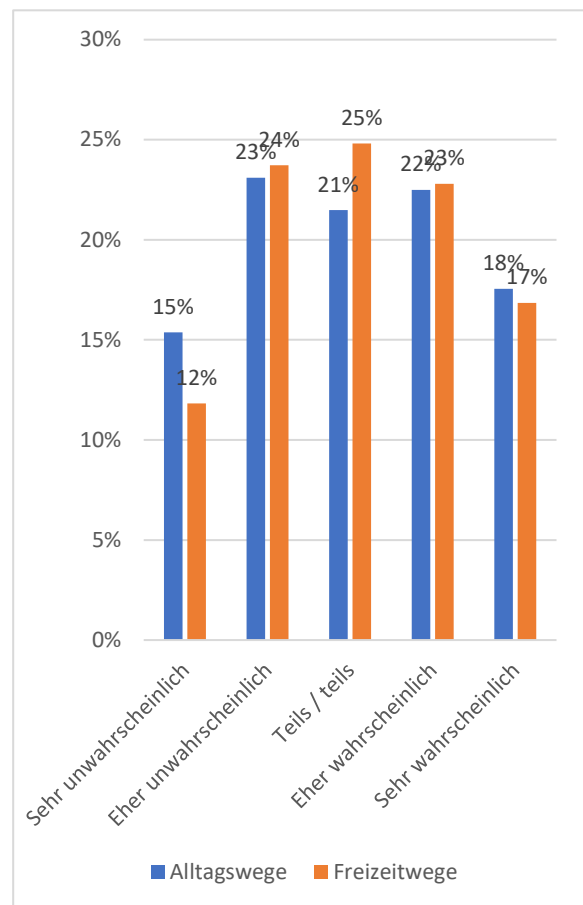


Abbildung 1: Wie wahrscheinlich ist es, dass Menschen bei großer Hitze das Fahrrad stehen lassen?

¹ Gebiete mit mehr als 1.500 Einwohnenden pro km² wurden als städtische Gebiete kodiert, solche mit 300 bis 1.500 Einwohnenden pro km² wurden als vorstädtische Gebiete kodiert und solche mit weniger als

300 Einwohnenden pro km² wurden als ländliche Gebiete kodiert (Eurostat 2023).

² Dies ist der Schwellenwert, ab dem der Deutsche Wetterdienst eine Hitzewarnung (erste Warnstufe) herausgibt (DWD o. J.).

nen, dass sie das Rad bei großer Hitze auf Freizeitwegen stehen lassen würden (Abbildung 2). Für Alltagswege sind die Unterschiede nicht signifikant.

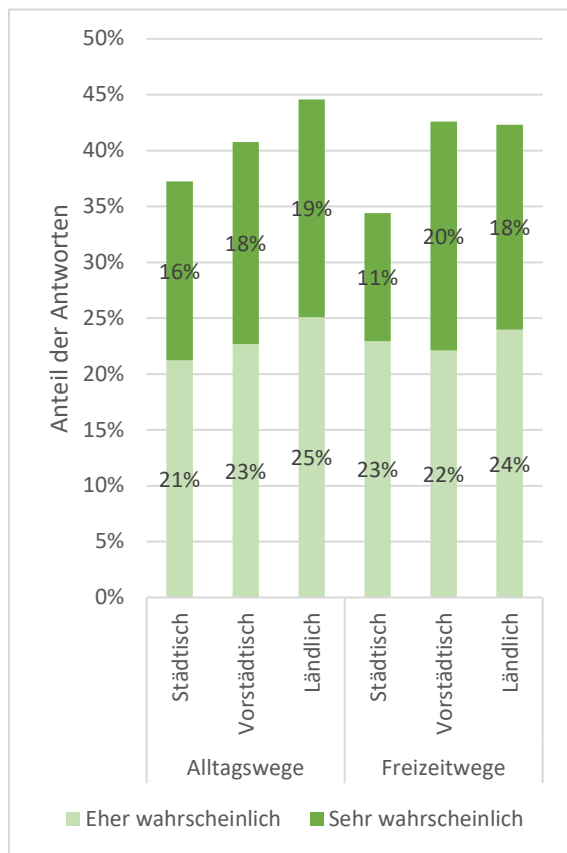


Abbildung 2: Wie wahrscheinlich ist es, dass Menschen in unterschiedlichen Strukturregionen bei großer Hitze das Fahrrad stehen lassen? (Anteile der Antworten für die Kategorien „eher wahrscheinlich“ und „sehr wahrscheinlich“)

Bei einer Unterscheidung nach Geschlecht³ zeigt sich für Freizeitwege, dass Männer signifikant stärker als Frauen dazu tendieren, das Rad auch bei großer Hitze zu nutzen. Bei Alltagswegen ist dieser Unterschied erneut nicht signifikant (Abbildung 3).

Um zu prüfen, ob das Alter einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit hat, das Rad bei Hitze stehen zu lassen, wurden Korrelationen berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen gibt. Das heißt, zumindest in unserer Stichprobe zeigen sich keine systematischen Zusammenhänge zwischen dem Alter und der Frage, ob das Rad bei Hitze verwendet wird oder nicht. Auch zwischen unterschiedlichen Bildungsständen und Personen mit bzw. ohne Pkw gab es keinen signifikanten Unterschied in der Tendenz, das Rad bei Hitze nicht zu nutzen.

Personen, die angegeben haben, das Fahrrad bei hohen Temperaturen eher nicht für Wege im Alltag und/oder in der Freizeit zu nutzen (N=641), wurden gefragt, was sie stattdessen am ehesten tun würden. Die Mehrheit (55 %) gibt an, auf das Auto auszuweichen. Jeweils ähnlich viele versuchen, den Weg zu

vermeiden, oder nutzen den ÖPNV. Bei der Antwort „ich nutze ein anderes Verkehrsmittel“ wurden insbesondere (Elektro-)roller oder Zufußgehen genannt. Bei der letzten Antwortmöglichkeit „ich mache etwas anderes, und zwar“ wurde erneut häufig das Zufußgehen angeführt (Abbildung 4).

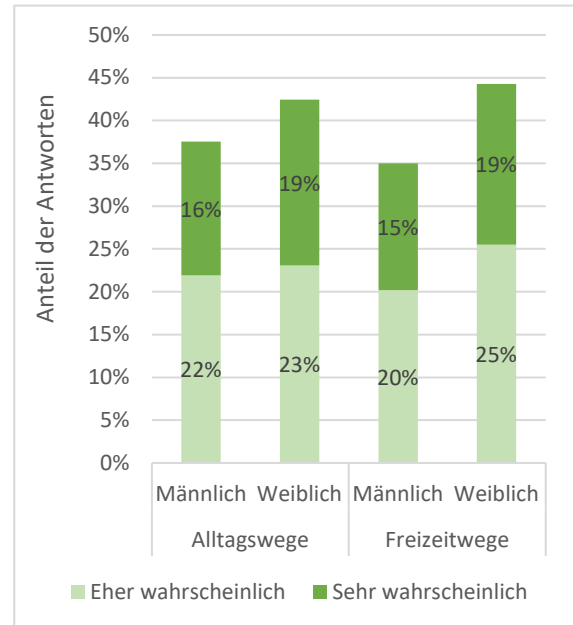


Abbildung 3: Wie wahrscheinlich ist es, dass Männer und Frauen bei großer Hitze das Fahrrad stehen lassen? (Anteile für die Antwortkategorien „eher wahrscheinlich“ und „sehr wahrscheinlich“)

Wird in dieser Frage nach der Strukturregion unterschieden, wird deutlich, dass insbesondere Menschen im ländlichen Raum häufig auf das Auto ausweichen und kaum auf den ÖPNV. Menschen in der Stadt nutzen auch das Auto, aber zum Teil auch den ÖPNV (Chi2Test, $X^2 = 49.769$, $p < .001$). Zwischen Männern und Frauen zeigen sich bei der Alternativwahl keine signifikanten Unterschiede, ebenso wenig zwischen Befragten mit unterschiedlichem Alter und unterschiedlichem Bildungsstand. Bei einer Analyse nach Pkw-Besitz (kein Pkw im Haushalt – mindestens ein Pkw im Haushalt) zeigt sich, dass Personen mit Pkw im Haushalt mit größerer Wahrscheinlichkeit auf das Auto ausweichen als Personen ohne Pkw. Personen ohne Pkw nutzen demgegenüber eher den ÖPNV als Personen mit Pkw (Chi2Test, $X^2 = 70.739$, $p < .001$). Beim Zusammenhang mit dem Einkommen zeigt sich, dass Personen mit höherem Einkommen eher auf das Auto ausweichen, Personen mit niedrigerem Einkommen eher auf den ÖPNV (Chi2Test, $X^2 = 33.603$,

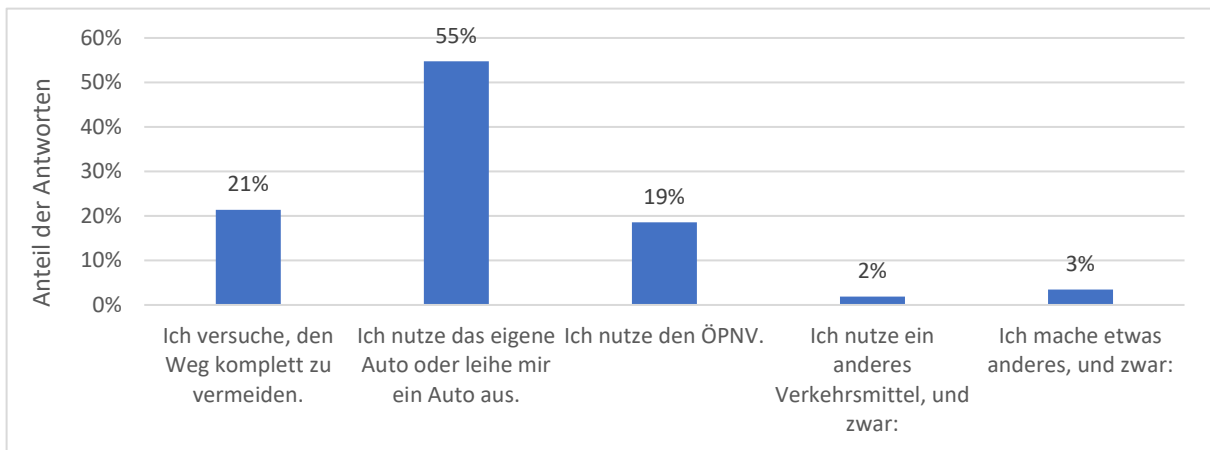


Abbildung 4: Welche Strategie wenden Befragte an, die bei Hitze das Rad stehen lassen? (Einfachauswahl)

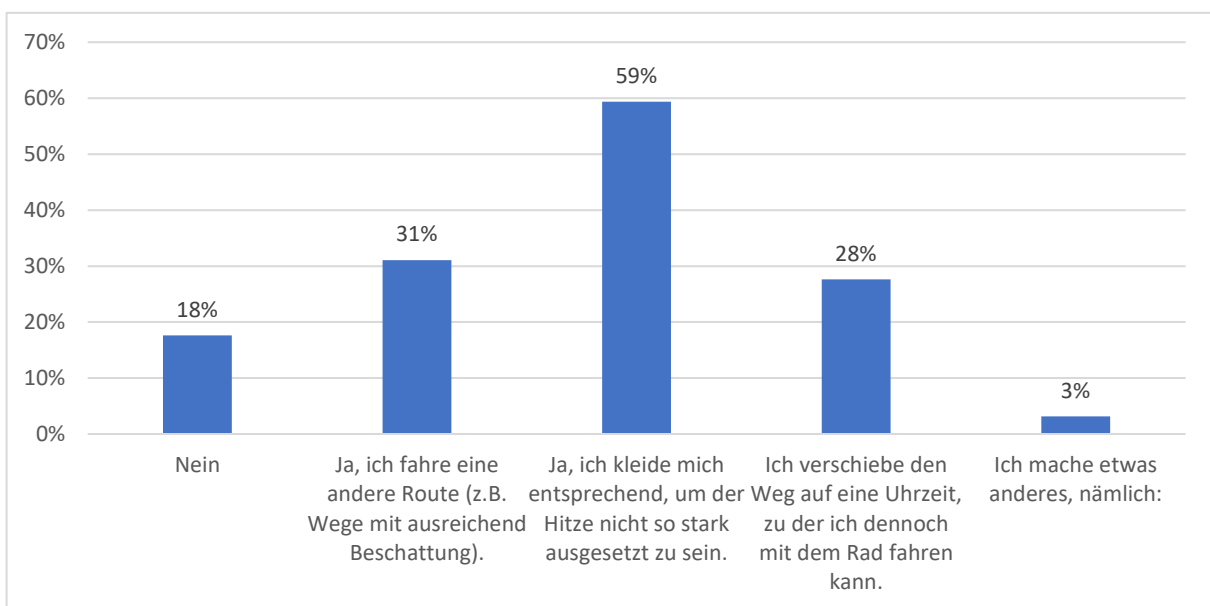


Abbildung 5: Welche Anpassungsstrategien an Hitze nutzen Befragte beim Radfahren unter Hitze? (Mehrfachauswahl)

$p < .001$). 3 Befragte, die angeben, das Fahrrad auch bei höheren Temperaturen für Wege in ihrem Alltag und/oder in ihrer Freizeit zu nutzen ($N=608$), wurden gefragt, ob sie sich in einer anderen Form an die hohen Temperaturen anpassen. Hier waren Mehrfachantworten möglich. Die meisten Befragten geben an, andere Kleidung zu wählen; einige nutzen auch eine andere Route und/oder fahren zu einer anderen Uhrzeit (Abbildung 5).

4. Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag werden mögliche Auswirkungen extremer Hitze auf das Radfahren untersucht - ein Thema, das angesichts des Klimawandels mehr und mehr an Bedeutung gewinnt. Betrachtet wurde dabei, inwiefern das Rad bei großer Hitze eher stehen

gelassen wird und auf welche Ausweichoptionen die Personen tendenziell umsteigen im Fall von Hitze.

4.1 Diskussion

Unsere Ergebnisse zeigen, dass 40 Prozent der regelmäßigen Radnutzenden das Fahrrad bei großer Hitze nicht mehr als attraktives Verkehrsmittel sehen, während ungefähr ein gutes Drittel weiterhin Rad fährt. Die Fahrradnutzung ist somit auch anfällig für die Witterungsbedingungen im Sommer – bisherige Studien verweisen insbesondere auf abnehmende Radnutzung bei Kälte und Nässe, unsere Ergebnisse bestätigen einen Wettereffekt auch für Hitze und in Übereinstimmung mit Ergebnissen, die bisher insbesondere für Bikesharing aus anderen Ländern bereits vorlagen. Während das Rad somit

³ Die Korrelation zwischen dem Einkommen und dem Pkw-Besitz (binär) beträgt 0.3 und ist hochsignifikant.

insgesamt als Verkehrsmittel an Bedeutung gewinnt, ist Radfahren dennoch fragil in Abhängigkeit von Witterungsbedingungen. Angesichts des Klimawandels ist davon auszugehen, dass widriges Wetter zunimmt – neben Hitze spielen hier auch Starkregen oder Stürme eine Rolle.

Die Häufigkeit der Fahrradnutzung unterscheidet sich bei den Befragten zwischen verschiedenen Teilgruppen – so fahren Befragte aus Städten, jüngere Personen, Personen mit höherer Bildung bzw. ohne Auto häufiger Rad. Was den Verzicht auf das Fahrrad bei Hitze betrifft, zeigen sich nur wenige Unterschiede zwischen Teilgruppen. Zunächst bestehen keine Unterschiede in der Auswirkung von Hitze auf das Radfahren bei Alltags- und Freizeitwegen. Personen in Städten und Männer berichten jedoch, auch bei Hitze auf Freizeitwegen seltener auf das Radfahren zu verzichten als Befragte aus vorstädtischen oder ländlichen Regionen bzw. als Frauen.

Der Unterschied zwischen Stadt und Land ist insofern überraschend, als dass Städte als besonders belastet gelten bei Hitze aufgrund des Aufheizungseffektes durch die dichtere Bebauung. Helbich et al. (2014) merkten hierzu aber an, dass in urbanen Gegenden im Sommer durch stärkere Beschattung die Hitze auch erträglicher sein kann. Dass Männer eher angeben, in der Freizeit mit höherer Wahrscheinlichkeit trotz Hitze Rad zu fahren, deckt sich mit bisherigen Befunden aus der Literatur. So finden Rabassa et al. (2021), dass Männer weniger als Frauen dazu neigen, ihre Radnutzung an Hitze anzupassen. Gleichzeitig haben Männer ein erhöhtes Risiko für hitzebedingte Erkrankungen, was laut Gifford et al. eher auf psychologische und verhaltensbedingte Faktoren als auf physiologische Faktoren zurückzuführen sein kann (2019).

Menschen, die bei Hitze das Rad eher stehen lassen würden, berichten zum überwiegenden Teil, in diesen Fällen auf das Auto auszuweichen. Dies trifft vor allem auf Personen aus ländlichen Räumen sowie auf Personen mit Pkw im Haushalt zu. Es ist anzunehmen, dass hier neben Gewohnheiten Verfügbarkeitseffekte eine Rolle spielen – neben der Verfügbarkeit des (eigenen) Autos auch die auf dem Land oft schlechtere ÖV-Anbindung. Diejenigen, die das Fahrrad auch bei Hitze nutzen, passen sich insbesondere mit der Wahl der Kleidung an das Wetter an, was auch frühere Studien bereits berichteten (Chan & Wichmann 2020; Li et al. 2024).

Die Förderung des Radfahrens als umweltfreundliche und gesunde Form der Mobilität steht bei Hitze – und anderen Extremwetterereignissen – in einem Konflikt: Sinnvollerweise vermeiden Teilgruppen der Bevölkerung das Radfahren in solchen Situationen, was aus gesundheitlicher Sicht Sinn macht. Gleichzeitig wirft dies die Frage nach der Verlässlichkeit des Rades als Verkehrsträger auf und die Frage, inwieweit

infrastrukturelle Maßnahmen hier greifen können, um den Verzicht auf das Radfahren auf wenige Tage zu begrenzen. Denn solange Radfahren stark wetterabhängig ist, erfordert es stets alternative Mobilitätsmöglichkeiten im Hintergrund – die aber dazu führen können, dass das Fahrrad auch bei weniger extremem Wetter zurückgestellt wird. Personen, die nicht über Alternativen verfügen, sind wiederum stärkeren Risiken ausgesetzt. Insbesondere in städtischen Räumen könnten aber Potentiale zur Kühlung und Beschattung durch entsprechende Stadtplanung bestehen. Dies sollte in zukünftigen Studien genauer untersucht werden.

4.2 Grenzen der Studie und weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse wurden auf Grundlage von Selbstberichtsdaten einer Online-Befragung erhoben. Das heißt, es wurde nicht unmittelbar tatsächliches Verhalten gemessen, was auf eine mögliche Verzerrung der Daten hinweisen kann. Unsere Ergebnisse zur Fahrradmobilität sind jedoch vergleichbar mit Studien wie Mobilität in Deutschland (Nobis 2019), was für die Validität der Angaben spricht.

Die in dieser Studie angegebene Temperatur von 32 Grad Celsius zur Definition großer Hitze wurde entsprechend der Temperatur gewählt, bei der der Deutsche Wetterdienst Hitzewarnungen herausgibt. Frühere Studien insbesondere aus dem Bereich Bike-sharing verweisen darauf, dass Radfahren schon bei geringerer Hitze abnimmt. Möglicherweise sind die Effekte von Hitze und Wärme also größer als dies die vorliegende Befragung zeigt. Bisher nicht betrachtet wurde die Auswirkung von Akklimatisierung oder Gewöhnung an ein bestimmtes Wetter oder Klima in verschiedenen Städten. So finden Ahn et al. (2022) für die USA, dass die Hitzeempfindlichkeit beim Radfahren in Städten mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen sehr unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Zudem spielen auch weitere Faktoren wie die Luftfeuchtigkeit oder die UV-Belastung eine Rolle (Ahn et al. 2022).

An dieser Stelle kommen aber wieder die vorhandenen Infrastrukturen in den Fokus, wie beispielsweise das Vorhandensein von beschatteten Radwegen. Hier besteht zur genauen Ausgestaltung weiterer Forschungsbedarf, etwa dazu welche Routenführung von Radfahrenden als besonders schonend empfunden werden. Ein weiteres Themenfeld in diesem Kontext ist die Fahrradnutzung bei Hitze im Kontext sozialer Ungleichheit: Sozial benachteiligte Gruppen wie einkommensschwache Menschen sind im Vergleich zu anderen Bevölkerungsgruppen in ihrer Mobilität überproportional stark Hitze ausgeliefert, weil sie tendenziell über weniger Möglichkeiten zur Hitzeanpassung verfügen (Karner et al. 2015) bzw. in

weniger gut angeschlossenen Wohnlagen leben. Hier gilt es mögliche Anpassungsstrategien für diese Gruppen verfügbar zu machen – z.B. die Sicherstellung eines grundlegenden ÖPNV-Anschlusses sowie günstige Ticketpreise, um den Umstieg auf den ÖPNV während Hitze zu erleichtern. Ein weiteres Thema sind auch die Auswirkungen von Hitze auf die Verkehrsmittelwahl bzw. die Belastung durch Hitze im Rahmen von Wegen, die für Sorgearbeit zu erbringen sind, z.B. Begleitfahrten von Kindern oder älteren Personen.

4.3 Ausblick

Die Studie hat gezeigt, dass ein relevanter Teil der Menschen bei Hitze das Fahrrad stehen lässt und die Mehrheit dieser Personen vom Rad auf das Auto umsteigt. Dies kann die Entwicklung zu nachhaltiger Fahrradmobilität konterkarieren. Hier stellt sich die Frage nach Gegenmaßnahmen, wie etwa die Hitzeresistenz von Städten durch Begrünung, blaue Infrastrukturen wie Gewässer und angepasste Infrastruktur wie schattige Radwege, sowie Trinkbrunnen zu erhöhen. Auch Kommunikationsstrategien und webbasierte Routinganwendungen, wie sie beispielsweise für Heidelberg entwickelt wurden, können helfen, Mobilität in Zeiten großer Hitze erträglicher zu gestalten. Dies ist insbesondere für vulnerable Gruppen eine wichtige Maßnahme zum Schutz der Gesundheit (Foshag et al. 2024) und gleichzeitig ein Beitrag dazu, Fahrradfahren als günstige, gesunde und umweltverträgliche Mobilitätsform zu unterstützen.

Literatur

Ahmed, F., Rose, G., & Jakob, C. (2010): Impact on weather on commuter cyclist behaviour and implications for climate change adaptation. In Proceedings of 2010 ATRF Australasian Transport Research Forum (pp. 1 - 19). Australian National Audit Office.

Ahn, Y., Okamoto, D. & Uejo, C. (2022): Investigating city bike rental usage and wet-bulb globe temperature. *International Journal Of Biometeorology*, 66(4), 679–690. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02227-5>.

Bean, R., Pojani, D. & Corcoran, J. (2021): How does weather affect bikeshare use? A comparative analysis of forty cities across climate zones. *Journal Of Transport Geography*, 95, 103155. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103155>

Castillo-Manzano, J. I., López-Valpuesta, L. & Sánchez-Braza, A. (2016): Going a long way? On your bike! Comparing the distances for which public bicycle sharing system and private bicycles are used. *Applied Geography*, 71, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.04.003>

Chan, N. W. & Wichman, C. J. (2020): Climate Change and Recreation: Evidence from North American Cycling. *Environmental And Resource Economics*, 76(1), 119–151. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00420-5>

Deutscher Wetterdienst (DWD) (o. J.): FAQ. <https://www.hitzewarnungen.de/faq.jsp?warnkrit>

Foshag, K., Fürle, J., Ludwig, C., Fallmann, J., Lautenbach, S., Rupp, S., Burst, P., Betsch, M., Zipf, A. & Aeschbach, N. (2024): How to assess the needs of vulnerable population groups towards heat-sensitive routing? *Erdkunde*, 1–33. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2024.01.01>

Gifford, R., Todisco, T., Stacey, M., Fujisawa, T., Allerhand, M., Woods, D., & Reynolds, R. (2019): Risk of heat illness in men and women: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 171, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.020>.

Guzel, D., Altintasi, O. & Korkut, S. O. (2024). Assessment of weather-driven travel behavior on a small-scale docked bike-sharing system usage. *Travel Behaviour And Society*, 38, 100927. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100927>

Heaney, A. K., Carrión, D., Burkart, K., Lesk, C. & Jack, D. (2019): Climate Change and Physical Activity: Estimated Impacts of Ambient Temperatures on Bikeshare Usage in New York City. *Environmental Health Perspectives*, 127(3). <https://doi.org/10.1289/ehp4039>

Helbich, M., Böcker, L. & Dijst, M. (2014): Geographic heterogeneity in cycling under various weather conditions: evidence from Greater Rotterdam. *Journal Of Transport Geography*, 38, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.05.009>

Nobis, C. (2019): Mobilität in Deutschland – MiD Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin. www.mobilitaet-in-deutschland.de

Karner, A., Hondula, D. M. & Vanos, J. K. (2015): Heat exposure during non-motorized travel: Implications for transportation policy under climate change. *Journal Of Transport & Health*, 2(4), 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2015.10.001>

Kim, K. (2018): Investigation on the effects of weather and calendar events on bike-sharing according to the trip patterns of bike rentals of stations. *Journal Of Transport Geography*, 66, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.01.001>

Janvin, A., Michel, P., Charléty, J. & Chasse, A. (2024): Weathering heights: An updated analytical model of the nonlinear effects of weather on bicycle traffic. *Journal Of Cycling And Micromobility Research*, 2, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2024.100031>

Li, C., Chen, G. & Wang, S. (2024): Urban mobility resilience under heat extremes: Evidence from bike-sharing travel in New York. *Travel Behaviour And Society*, 37, 100821. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100821>

Li, X., Zhang, Y., Du, M. & Yang, J. (2019): Social Factors Influencing the Choice of Bicycle: Difference Analysis among Private Bike, Public Bike Sharing and Free-Floating Bike Sharing in Kunming, China. *KSCE Journal Of Civil Engineering*, 23(5), 2339–2348. <https://doi.org/10.1007/s12205-019-2078-7>

Miranda-Moreno, L. F., & Nosal, T. (2011): Weather or Not to Cycle: Temporal Trends and Impact of Weather on Cycling in an Urban Environment. *Transportation Research Record*, 2247(1), 42-52. <https://doi.org/10.3141/2247-06>

Phung, J., Rose, G. (2008): Temporal variations in Melbourne's bike paths. In: *Proceedings of 30th Australasian Transport Research Forum*, Melbourne: Forum papers, 25–27 September 2007, Melbourne, Victoria, Australia, CD-ROM.

Rabassa, M. J., Grand, M. C. & García-Witulski, C. M. (2020): Heat warnings and avoidance behavior: evidence from a bike-sharing system. *Environmental Economics And Policy Studies*, 23(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00275-6>

Umweltbundesamt (UBA) (2024a): Radverkehr. Online verfügbar unter Radverkehr | Umweltbundesamt (zuletzt 30.1.25)

Umweltbundesamt (UBA) (2024b): Gesundheitsrisiken durch Hitze. Online verfügbar unter Gesundheitsrisiken durch Hitze | Umweltbundesamt (zuletzt 30.1.25)

Wilke, S. (2024, 1. April). Gesundheitsrisiken durch Hitze. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze>

Autor:innenangaben

Dr. Uta Burghard

Akademische Mitarbeiterin
Hochschule Karlsruhe
University of Applied Sciences
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: uta.burghard@h-ka.de

Dr. Anne Graf

Akademische Mitarbeiterin
Hochschule Karlsruhe
E-Mail: anne.graf@h-ka.de

Prof. Dr. Claudia Hille

Professur für Radverkehr
Hochschule Karlsruhe
E-Mail: claudia.hille@h-ka.de

Marvin Helferich

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Abteilung Energiepolitik und Energiemärkte
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
E-Mail: marvin.helferich@isi.fraunhofer.de

Dr. Josephine Tröger

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Abteilung Energiepolitik und Energiemärkte
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
E-Mail: josephine.troeger@isi.fraunhofer.de

Dr. Elisabeth Dütschke

Leitung der Abteilung Energiepolitik und Energiemärkte, Leitung des Geschäftsfelds Akteure und Akzeptanz in der Transformation des Energiesystems
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
E-Mail: elisabeth.duetschke@isi.fraunhofer.de

Mehr Lücken als das Radverkehrsnetz? Forschung zu intuitiv verständlicher Radinfrastruktur

David Friel

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Obwohl in Regelwerken für Radverkehrsinfrastruktur darauf hingewiesen wird, dass die Gestaltung intuitiv verständlich sein soll, fehlen Hinweise wie eine solche Gestaltung aussieht. Um den aktuellen Forschungsstand zu präsentieren und Forschungslücken zu identifizieren, wurde eine systematische Literaturanalyse durchgeführt. Drei zentrale Forschungslücken wurden gefunden: nicht untersuchte Infrastrukturarten, allgemeine Prinzipien intuitiv verständlicher Gestaltung von Infrastruktur und der Einfluss von Verständlichkeit auf das Verhalten.

Schlagwörter / Keywords:

Intuitive Gestaltung, Verständlichkeit, Radverkehr, Infrastruktur, systematische Literaturanalyse

1. Einleitung

Das Fahrrad als Verkehrsmittel bietet zahlreiche Vorteile: Es ist eines der umweltfreundlichsten Verkehrsmittel, gesundheitsfördernd und vergleichsweise preisgünstig; in urbanen Gebieten ist es bei Strecken unter 5,5 km das schnellste Verkehrsmittel (Wachotsch et al., 2014). Trotzdem stagniert der Radverkehrsanteil in Deutschland auf einem relativ niedrigen Niveau von rund elf % (Nobis et al., 2017).

Ein oft genannter und in Teilen untersuchter Grund dafür ist der Mangel an subjektiver Sicherheit beim Radfahren, die größtenteils durch die vorhandene Infrastruktur beeinflusst wird (siehe z. B. Abadi & Hurwitz, 2018; Ferreira et al., 2022; Stülpnagel & Binig, 2022). Neben der subjektiven Sicherheit ist allerdings auch die Verständlichkeit ein zentrales Beurteilungskriterium für Radinfrastruktur und kann sowohl das Sicherheitsempfinden als auch den empfundenen Komfort beeinflussen (Friel & Wachholz, 2024). Dadurch dürfte die Verständlichkeit von Radverkehrsinfrastruktur großen Einfluss auf die Nutzung des Fahrrads als Verkehrsmittel haben.

Daneben ist bekannt, dass es zu Konflikten und schlimmstenfalls Unfällen führen kann, wenn die Infrastruktur nicht oder nur schwer verständlich ist (vgl. Dumbaugh et al., 2020). Das auf dieser Erkenntnis aufbauende Konzept der *Self-Explaining Roads* (SER) (Theeuwes & Godthelp, 1995) hat sich in den letzten

Jahrzehnten von den Niederlanden ausgehend verbreitet und wird in verschiedenen Ländern angewandt. So werden beispielsweise Landstraßen in Deutschland so gestaltet, dass sie sich leicht von Autobahnen und kommunalen Straßen unterscheiden lassen und somit eigene Verhaltensregeln vermitteln (Becher et al., 2006). Auch in den USA (Mackie et al., 2013), Tschechien (Ambros et al., 2017) oder China (Qin et al., 2020) wird und wurde zu SER geforscht. Diese Studien und Anwendungen beziehen sich jedoch auf den Kfz-Verkehr außerorts oder auf innerstädtische Autobahnen und somit auf Verkehrssituationen, in denen Interaktionen zwischen Kfz-Fahrenden untereinander oder mit der Umgebung stattfinden. Dagegen scheint es kaum Forschung zur Verständlichkeit von Infrastruktur für Radfahrende zu geben.

Gleichzeitig wird das Thema bereits an vielen Stellen in Regelwerken für den Radverkehr aufgegriffen: In den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) wird beschrieben, dass „die Führung des Radverkehrs [...] für alle Verkehrsteilnehmer eindeutig zu begreifen sein [soll]“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2010, S. 37), die Broschüre *Einladende Radverkehrsnetze* des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr rät: „Achten Sie auf ein Kreuzungsdesign, das für alle selbsterklärend ist!“ (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022, S. 23). Und auch in internationalen Regelwerken sind

solche Formulierungen zu finden (siehe z. B. City of Vancouver, 2017, S. 6; Transport Scotland, 2021, S. 9). Allerdings fehlen dort Informationen dazu, wie genau eine solche selbsterklärende, eindeutig zu begreifende oder eben: intuitiv verständliche Radinfrastruktur aussieht.

Dieser Frage soll der vorliegende Artikel nachgehen. Ich stelle eine systematische Literaturanalyse vor, die den aktuellen Forschungsstand zur Gestaltung intuitiv verständlicher Radverkehrsinfrastruktur aufbereitet. Einerseits sollen damit die vorhandenen Erkenntnisse aus der Literatur präsentiert werden. Andererseits zielt die systematische Literaturanalyse darauf ab, Forschungslücken zu identifizieren und den vorhandenen Forschungsbedarf deutlich zu machen.

2. Vorgehen

Systematische Literaturanalysen unterscheiden sich von anderen Formen der Literaturrecherche vor allem durch die strukturierte Arbeitsweise, wodurch Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sichergestellt werden sollen (siehe z. B. Paul et al., 2021; Wetterich & Plänitz, 2021). Dadurch entsteht nicht nur eine Darstellung vorhandener Erkenntnisse: „By integrating findings and perspectives from many empirical findings, a literature review can address research questions with a power that no single study has.“ (Snyder, 2019, S. 333) Die systematische Literaturanalyse ist somit eine Methode, um Erkenntnisse zu generieren. Das Vorgehen der vorliegenden systematischen Literaturanalyse wird im Folgenden beschrieben.

Drei Forschungsfragen waren für die Analyse leitend:

1. Welche Studien befassen sich mit der Verständlichkeit von Radverkehrsinfrastruktur
2. Was sind deren Hauptkenntnisse?
3. Welche Forschungslücken bestehen?

Suchparameter

Aufbauend auf diesen Forschungsfragen wurde in einem iterativen Prozess eine Boole'sche Suchbegriffskette für die Suche in Fachdatenbanken erarbeitet. Darin enthalten sind die Suchbegriffe „Fahrrad“, „Infrastruktur“, „verständlich“ sowie Synonyme für diese Begriffe in Deutsch und Englisch:

((*Fahrrad* OR Rad**) AND (*Infrastruktur* OR Gestaltung* OR Straße**) AND (**Verhalten* OR *Wahl OR Verständlich* OR Usability OR Intuitiv* OR *Manöver* OR *Nutz* OR Veränderung* OR Wahrnehmung* OR wahrgenommen* OR empfunden* OR selbsterklärend* OR Nudge*)) OR ((*cycl**

OR bicycl OR bike* OR biking*) AND (*infrastruktur* OR design* OR street OR road*) AND (*behaviour* OR behavior* OR choice OR comprehensib* OR usage OR use OR usability OR intuitiv* OR maneuver OR manoeuvre OR chang* OR shift* OR variati* OR perceiv* OR perception* OR self-expl* OR nudge**))

Ich schränkte die Suche auf alle Veröffentlichungen seit 1988 ein, da in diesem Jahr die erste Studie (Riemersma, 1988) veröffentlicht wurde, auf die sich Theeuwes & Godthelp (1995) beziehen.

Drei Datenbanken wurden für die Suche ausgewählt: Einerseits *Transport Research Integrated Database* (TRID) als Fachdatenbank für Verkehrs- und Mobilitätsforschung, andererseits *Web of Science* (WoS) und *Scopus* als allgemeine Datenbanken für Fachartikel mit Peer Review. Um eine handhabbare Anzahl von Dokumenten zu erreichen, wurde die Suche nur für die Titel (und nicht beispielsweise für Titel und Abstract) angewandt. Um diese Einschränkung zu kompensieren, wurde Snowballing genutzt, also die Suche nach Artikeln, die die zuvor gefundenen Artikel zitieren oder von ihnen zitiert werden (siehe z. B. Jalali & Wohlin, 2012). Zudem wurden Artikel aus früheren Recherchen hinzugezogen.

Im Anschluss wurde ein dreistufiges Verfahren für Ein- und Ausschlusskriterien definiert (siehe Wetterich & Plänitz, 2021). In der ersten Stufe wurden sehr einfache und allgemeine Kriterien auf die Titel angewendet, in der zweiten Stufe etwas konkretere Kriterien auf Titel und Abstract und erst im dritten Schritt sehr konkrete Kriterien auf die Volltexte. Die Kriterien wurden mit 50 Suchergebnissen getestet und aufgrund der Erfahrungen leicht modifiziert.

Ablauf

Die Datenbanksuche wurde am 16.07.2023 durchgeführt und führte zu 1.643 Dokumenten. Nach Ausschluss von Duplikaten (414) wurden 1.229 Dokumente in die Literaturverwaltungssoftware Citavi (Swiss Academic Software GmbH, 2023) importiert. Nur sieben der Dokumente erfüllten alle Einschlusskriterien. Zudem erfüllten drei von elf Studien, die aus früheren Recherchen bekannt waren, alle Einschlusskriterien. Durch Snowballing wurden weitere 44 Dokumente gefunden, wovon zwei Dokumente alle Einschlusskriterien erfüllten. Im Zuge der Analyse der wurden weitere fünf Studien ausgeschlossen, da sie zwar alle Einschlusskriterien erfüllt hatten, allerdings trotzdem das Thema nicht untersuchten (siehe dazu Abschnitt 4).

3. Ergebnisse

Somit ergab die systematische Literaturanalyse elf Studien, die das Thema Verständlichkeit von Radinfrastruktur behandelten, davon fünf Fachartikel mit Peer Review, vier Forschungsberichte, eine Diplomarbeit und ein Dokument, das als graue Literatur eingestuft wurde. In den nachfolgenden Abschnitten werden die in den Studien behandelten Themen und Erkenntnisse, daraus abgeleitete Empfehlungen sowie genutzte Methoden und Begriffe zusammenfassend beschrieben.

Themen und Erkenntnisse

In den Studien von Berghöfer und Vollrath (2022) und Huemer et al. (2018) wurde Verständlichkeit von Radinfrastruktur auf einer allgemeinen Ebene untersucht. Berghöfer und Vollrath (2022) ermittelten, welche Faktoren der Infrastruktur bei der Routenwahl relevant sind. Dabei wurde deutlich, dass die Faktoren *Klarheit* und *Vorhersagbarkeit*, zusammengefasst als *Ease of Use*, relevante Attribute für die Bewertung von Infrastruktur waren. Huemer et al. (2018) untersuchten, welche Situationen Ärger bei Radfahrenden auslösen. Dabei stellte sich Infrastruktur im Allgemeinen als eines der Hauptthemen heraus, wobei unter anderem unklare Verkehrssituationen und verwirrende Knotenpunkte genannt wurden.

In den anderen Studien wurde dagegen die Wahrnehmung von Radfahrenden in Bezug auf konkrete Infrastrukturmerkmale oder Regelungen untersucht. In drei dieser Studien wurden nicht-benutzungspflichtige Radwege untersucht (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Schäfer et al., 2021). Die Ergebnisse zeigen, dass Radfahrende diese Radwege oftmals als benutzungspflichtig fehlinterpretieren. Beispielsweise beschreiben Alrutz et al. (2009, S. 92), dass auf manchen nicht-benutzungspflichtigen Radwegen bis zu 80 % der Radfahrenden überzeugt waren, dass sie dort fahren müssten.

In zwei weiteren Studien wurden verschiedene Gestaltungsvarianten für eine Fahrradstraße untersucht (Baumgartner et al., 2020; Müggenburg et al.,

2022). Dabei wurde einerseits deutlich, dass die umgesetzte, konventionelle Gestaltung für die Befragten nicht verständlich genug war. Sie beschrieben sie stattdessen als inkonsistent, unvollständig oder sogar falsch markiert, sodass unklar bleibe, welche Regeln in der Fahrradstraße gelten (Baumgartner et al., 2020, S. 19 f.). Daran anschließend untersuchten Müggenburg et al. (2022) drei Gestaltungskonzepte für die Fahrradstraße (siehe Abbildung 1) in Bezug auf deren Klarheit, Sicherheit und Attraktivität.

In weiteren Studien wurde die Wahrnehmung und Verständlichkeit verschiedener Regelungen und Infrastrukturarten betrachtet (Alrutz et al., 2009; Kaplan & Prato, 2016; Monsere et al., 2015; Polaček, 2014). Monsere et al. (2015) untersuchten verschiedene Knotenpunktgestaltungen in den USA und stellten fest, dass sowohl die tatsächliche Nutzung als auch die Verständlichkeit der Radverkehrsführung stark von der Gestaltung abhängig war. So nutzten bei einem Knotenpunkt nur 63% der Radfahrenden die korrekte Spur und 55% der Befragten gaben fälschlicherweise eine Absperrfläche als korrekte Position für Radfahrende an. Bei einem anderen Knotenpunkt lagen die Werte dagegen bei 91% bzw. 94%. Polaček (2014) untersuchte die Vorrangregelung zwischen Radfahrenden und Autofahrenden in Österreich, wobei Fehlerraten von bis zu 91% ermittelt wurden (Polaček, 2014, S. 83). Kaplan und Prato (2014) untersuchten die Nutzung von Autobahnen und Landstraßen durch Radfahrende in Israel. Dabei wurde deutlich, dass die subjektive Kategorisierung der Straßen oftmals nicht der rechtlichen Kategorisierung entsprach:

“rural and urban highways as well as other inter-urban roads were largely perceived as motorways. The definitions were often disputed, with ensuing discussions about the dichotomy between the legal and the perceived definition of motorways on which cycling is prohibited.” (Kaplan & Prato, 2016, S. 196)

In der oben bereits genannten Studie von Alrutz et al. (2009) beschwerten sich Teilnehmende, „dass es Radfahrern [...] nicht gerade leicht gemacht wird, sich



Abbildung 1: Gestaltungskonzepte für eine Fahrradstraße: Konventionell (links), Flow (Mitte), Shared Space (rechts). Quelle: Müggenburg et al. (2022, S. 1379)

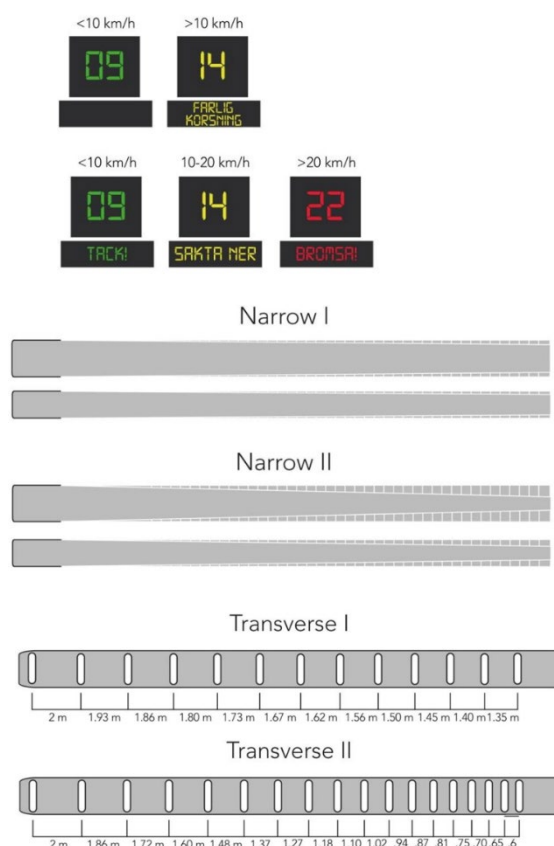


Abbildung 2: Visuelle Nudges zur Geschwindigkeitsreduktion von Radfahrenden. Quelle: Bergh Alvergren et al. (2019, S. 55,57,60)

exakt an die Verkehrsregeln zu halten [...]und dass es in manchen Situationen auf diesen Strecken unsinnig erscheint, die für Radfahrer vorgeschriebenen Wege zu benutzen“ (Alrutz et al., 2009, S. 94) Zudem wurde ermittelt, dass Radfahrstreifen im Vergleich zu anderen Führungsformen wie Schutzstreifen oder Radwegen auf Gehwegniveau signifikant klarer und eindeutiger wahrgenommen wurden (Alrutz et al., 2009, S. 92).

Zuletzt untersuchten Bergh Alvergren et al. (2019) verschiedene visuelle Nudges, um die Geschwindigkeit von Radfahrenden zu beeinflussen (siehe Abbildung 2). Als Nudges bezeichneten sie dabei „any aspect [...] of road infrastructure that will mindlessly influence an individual's choosing a certain behaviour.“ (Bergh Alvergren et al., 2019, S. 11) Dabei zeigten verschiedene Markierungsarten auf dem Radweg eine Wirkung, selbst wenn Radfahrende sie nur unbewusst wahrgenommen hatten. Zudem wurde festgestellt, dass der Effekt umso höher war, je deutlicher die Nudges waren.

Empfehlungen

Neben den dargestellten Themen unterscheiden sich die Studien auch in den Empfehlungen, die die Autor:innen aus den Erkenntnissen ableiten. In einigen Studien (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Huemer et al., 2018; Kaplan & Prato, 2016) werden keine oder vage Empfehlungen zur Gestaltung von Infrastruktur ausgesprochen; stattdessen werden Verkehrserziehungsprogramme oder andere Methoden empfohlen, um Regelkenntnis und -Einhaltung zu verbessern. In anderen Studien (Baumgartner et al., 2020; Berghöfer & Vollrath, 2022; Polaček, 2014; Schäfer et al., 2021) werden allgemeine Hinweise zur Gestaltung der Infrastruktur gegeben, so zum Beispiel die Empfehlung, dass die Gestaltung von Fahrradstraßen die gegenseitige Rücksichtnahme aller Verkehrsteilnehmenden verbessern sollte (Baumgartner et al., 2020). Die Autor:innen der drei verbleibenden Studien (Bergh Alvergren et al., 2019; Monsere et al., 2015; Müggenburg et al., 2022) geben wiederum konkrete Empfehlungen für eine oder zwei der untersuchten Gestaltungsvarianten.

Terminologie

In den Studien finden sich verschiedene Begriffe, die mit intuitiver Verständlichkeit in Verbindung stehen.

Während manche Begriffe in mehreren Studien genutzt werden, kommen andere Begriffe seltener vor. So wird der Begriff *Klarheit* (bzw. *clarity*, *(un)clear*, *(un)klar* oder *Unklarheit*) in vier Studien verwendet (Berghöfer & Vollrath, 2022; Huemer et al., 2018; Müggenburg et al., 2022; Schäfer et al., 2021). In drei Studien (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Polaček, 2014) wird in der Diskussion der Ergebnisse auf die *Regelkenntnis* Bezug genommen. In jeweils zwei Studien werden die Begriffe *eindeutig* (bzw. *Eindeutigkeit*) (Alrutz et al., 2009; Schäfer et al., 2021), *understanding* (Bergh Alvergren et al., 2019; Monsere et al., 2015) und *confusion* (Huemer et al., 2018; Schäfer et al., 2021) genutzt. Weitere genutzte Begriffe sind *Foreseeability*, *Ease of Use* (Berghöfer & Vollrath, 2022), *Verärgerung über die Streckenführung* (Alrutz et al., 2009) und *comprehension* (Monsere et al., 2015)

Zudem werden in den Studien jeweils unterschiedlich viele Begriffe genutzt. Berghöfer und Vollrath (2022) beispielsweise verwenden drei Begriffe (*Clarity*, *Foreseeability* und *Ease of Use*), Baumgartner et al. (2020) nutzen die drei Begriffe *eindeutig*, *unvollständig* und *inkonsistent*. Nur in der Studie von Polaček (2014) kommt nur ein einziger Begriff vor, der sich auf Verständlichkeit bezieht: *Regelkenntnis*.

Methoden

Des Weiteren wurden in den Studien verschiedene Methoden zur Datenerhebung angewendet. Vor-Ort Interviews oder Befragungen wurden in fünf Studien genutzt (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Bergh Alvergren et al., 2019; Monsere et al., 2015; Schäfer et al., 2021). In vier Studien wurden Umfragen verwendet, die entweder Online durchgeführt (Müggenburg et al., 2022; Polaček, 2014; Schäfer et al., 2021) oder per Post an Anwohnende versendet wurden (Monsere et al., 2015). Video- bzw. Vor-Ort-Beobachtungen wurden in drei Studien angewendet (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Monsere et al., 2015); weitere drei Studien nutzten Fokusgruppen (Baumgartner et al., 2020; Huemer et al., 2018; Schäfer et al., 2021). Weitere Datenquellen waren Repertory Grid Analysis (Berghöfer & Vollrath, 2022), Tagebücher (Huemer et al., 2018) und Online-Kommentare (Kaplan & Prato, 2016). Demzufolge wurden in sieben Studien mehrere Methoden zur Datenerhebung genutzt, während die restlichen vier Studien (Berghöfer & Vollrath, 2022; Kaplan & Prato, 2016; Müggenburg et al., 2022; Polaček, 2014) jeweils eine Erhebungsmethode verwendeten.

4. Diskussion

Im Folgenden werden die oben beschriebenen Ergebnisse diskutiert. Im ersten Abschnitt wird zunächst geklärt, inwiefern die beschriebenen Studien intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur untersuchten. Anschließend werden Forschungslücken sowie methodische Herausforderungen beschrieben.

Verständlichkeit oder intuitives Design

Bereits in der Einleitung dieses Artikels nutzte ich mehrere Begriffe, um intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur zu umschreiben; in den untersuchten Studien wurden zahlreiche weitere Begriffe genutzt. Somit ist zunächst undeutlicher geworden, was genau unter intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur zu verstehen ist und ob sich die untersuchten Studien überhaupt auf das Thema beziehen.

Da keine Definition für intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur existiert, wird zunächst auf eine Definition für *intuitives Design* im Allgemeinen zurückgegriffen. Nach Mohs et al. (2006) ist „ein technisches System [...] intuitiv benutzbar, wenn es durch nicht bewusste Anwendung von Vorwissen durch den Benutzer zu effektiver Interaktion führt.“ (S. 130). Die Definition bezieht sich auf die Interaktion zwischen Menschen und technischen Systemen. Unter der Voraussetzung, dass sich (Rad-)Verkehrsinfrastruktur als technisches System verstehen lässt, werden in fast allen der untersuchten Studien Themen untersucht, die unter diese Definition fallen.

Beispielsweise wurden nicht-benutzungspflichtige Radwege in den entsprechenden Studien als benutzungspflichtig fehlinterpretiert und entsprechend auch von Radfahrenden genutzt, die lieber andere Infrastruktur genutzt hätten. Damit war in Bezug zur Definition von Mohs et al. (2006) die Interaktion zwischen Radfahrenden und der Infrastruktur nicht effektiv, da die Interaktion nicht zum adäquaten, exakten und vollständigen Ergebnis geführt hat (vgl. Naumann et al., 2007, S. 133f.)

Die genaueste Übereinstimmung zur Definition von intuitivem Design findet sich in der Studie von Bergh Alvergren et al. (2019). Mit der Definition von Nudges als Infrastrukturelemente, „that will mindlessly influence [...] behaviour“ (Bergh Alvergren et al., 2019, S. 11) beziehen sie sich wie Mohs et al. (2006) auf unbewusste Prozesse, die die Interaktion beeinflussen.

Dagegen gibt es nur in der Studie von Müggenburg et al. (2022) keinen Bezug zur Definition von intuitivem Design. Hier wurde der Begriff *clarity* (Klarheit) als Abkürzung für das Fragebogen-Item „the situation is clearly structured“ (Müggenburg et al., 2022, S. 1380) verwendet. Während der Begriff in anderen Studien als Synonym für die Verständlichkeit der Wegführung oder geltenden Regeln genutzt wurde und somit einen konkreten Bezug zur Interaktion zwischen Radfahrenden und der Infrastruktur aufweist, wird hier nur auf die klare Struktur selbst Bezug genommen und nicht auf die Interaktion wie in Mohs et al. (2006).

Neben der Definition von intuitivem Design schlagen Mohs et al. (2006) Kriterien vor, um zu überprüfen, ob Interaktionen intuitiv gestaltet sind. Diese Kriterien könnten in Forschungsarbeiten auf (Rad-)Verkehrsinfrastruktur angewendet werden, um intuitiv verständliche Infrastruktur zu gestalten und zu untersuchen.

Forschungslücken und neue Forschungsgebiete

Anhand der oben beschriebenen Studien konnten Themengebiete identifiziert werden, die nicht abgedeckt wurden. Zudem ergeben sich aus vielen der oben genannten Erkenntnisse weitere Forschungsfragen.

So wurde beispielsweise in den Studien zu nicht-benutzungspflichtigen Radwegen ermittelt, dass Radfahrende diese fehlinterpretieren. Daraus ergibt sich die Frage, wie diese Radwege gestaltet sein müssten, um intuitiv verständlich zu sein.

Anders verhält es sich mit beiden Studien zur Fahrradstraße in Offenburg: hier wurden aus verschiedene Gestaltungsvorschlägen diejenigen ermittelt,

die am intuitivsten verständlich sind. Da sich die Forschung auf nur einen Planungsraum bezieht, ergibt sich weiterer Forschungsbedarf vor allem in der Anwendung der Ergebnisse bei anderen räumlichen, kulturellen oder rechtlichen Voraussetzungen. Ähnliches gilt für die Studien von Alrutz et al. (2009), Kaplan & Prato (2016), Monsere et al. (2015) und Polaček (2014): in diesen Studien wurden spezielle Gestaltungsvarianten in konkreten Kontexten untersucht. Darauf aufbauend könnte untersucht werden, inwiefern die dort gefundenen Ergebnisse auf andere Kontexte übertragen werden können. Bei der Studie von Bergh Alvergren et al. (2019) könnte wiederum untersucht werden, wie Nudges für andere Zwecke als Geschwindigkeitsreduktion gestaltet sein müssen.

Allein aufgrund der geringen Menge an Studien bestehen somit zahlreiche Forschungslücken. So beschränken sich die Themen auf einige wenige Spezialfälle. Zudem sind die Erkenntnisse und Gestaltungsempfehlungen entweder so spezifisch, dass sie nur für den jeweilig betrachteten Fall relevant sind oder so allgemein, dass sie nur schwer auf konkrete Fälle übertragbar sind. Dagegen fehlen Erkenntnisse zu allgemeinen Prinzipien oder Kriterien, die sich anwenden lassen, um intuitiv verständliche Radinfrastruktur zu gestalten.

Verhaltensbeobachtung statt Erfassung der Verständlichkeit

Wie in Abschnitt 2 beschrieben wurden fünf Studien aus der Untersuchung ausgeschlossen, weil sie zwar die Einschlusskriterien erfüllt hatten, allerdings trotzdem nicht intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur untersucht hatten.

In diesen Studien wurden Infrastrukturgestaltung und Verständlichkeit miteinander verknüpft, indem beispielsweise Infrastruktur als „complicated“ (Cieśla et al., 2018, S. 7), Maßnahmen als „intuitive Design“ (Kassim et al., 2019, S. 234) oder manche Abbiegevorgänge als „more intuitive than others“ (Lind et al., 2021, S. 734) bezeichnet werden. Diese Begriffe führten dazu, dass diese Studien zunächst in die Untersuchung aufgenommen wurden. Allerdings stellte sich heraus, dass in den Studien die Verständlichkeit der Infrastruktur nicht untersucht wurde. Stattdessen wurde das Verhalten von Radfahrenden im Zusammenhang mit Infrastruktur untersucht und Verständlichkeit als Erklärungsansatz genutzt. Allerdings könnten neben der Verständlichkeit auch andere Faktoren wie Sicherheitsgefühl oder Komfort das Verhalten beeinflusst haben. Da allerdings nicht die Gründe für das Verhalten, sondern ausschließlich das Verhalten selbst ermittelt wurde, können die Ergebnisse der

Studien einen direkten Einfluss der Verständlichkeit auf das Verhalten nicht zeigen.

Das gleiche gilt für zahlreiche Studien, die in vorherigen Arbeitsschritten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurden. Diese Studien versuchten Gründe für das Verhalten von Radfahrenden im Zusammenhang mit der Infrastruktur zu finden, verwendeten dafür aber Methoden wie Beobachtungen, GPS-Daten oder Daten von eigens angefertigten Sensoren an Fahrrädern. Damit konnten sie zwar Verhaltensänderungen nachweisen, diese allerdings nur mutmaßlich auf die Verständlichkeit von Infrastruktur zurückführen (siehe z. B. Apasnore et al., 2017; Berghöfer et al., 2023; Chapman & Noyce, 2014; Nikiforiadis et al., 2023).

Mindestens 20 Studien wurden aus diesem Grund ausgeschlossen: sie untersuchten Verhalten im Zusammenhang mit Infrastruktur, konnten das jedoch aufgrund der verwendeten Methoden nicht auf die Gründe und entsprechend nicht auf die Verständlichkeit schließen. Mit Bezug auf die oben vorgestellte Definition von intuitivem Design (Mohs et al., 2006) könnte weitere Forschung dazu beitragen, den Zusammenhang zwischen intuitiv verständlicher Gestaltung von Radinfrastruktur und dem Verhalten von Verkehrsteilnehmenden zu untersuchen.

Limitationen

Ich möchte auf einige Limitationen hinweisen, die diese Arbeit hat.

Einerseits hängen die Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse stark von den verwendeten Suchbegriffen, den genutzten Datenbanken und den Ein- und Ausschlusskriterien ab. Alle dazu getroffenen Entscheidungen haben einen Einfluss auf die Suchergebnisse. Entsprechend ist es denkbar, dass eventuell relevante Studien aufgrund dieser Suchkriterien systematisch nicht gefunden wurden.

Zudem war die Suche auf Studien in deutscher und englischer Sprache begrenzt. Nach meiner Erfahrung werden im deutschsprachigen Raum viele Studien zu Verkehrsinfrastruktur durch staatliche Institutionen beauftragt und entsprechend oftmals nur auf Deutsch veröffentlicht. Gleiches ist für andere Länder zu vermuten, sodass eventuell relevante Studien in anderen Sprachen als Deutsch oder Englisch veröffentlicht wurden und entsprechend nicht Teil dieser Analyse waren.

5. Fazit

In dieser systematischen Literaturanalyse wurden elf Studien zu intuitiv verständlicher Radverkehrsinf-

rastruktur analysiert. In den Studien wurden verschiedene Methoden und Begriffe genutzt, um die Verständlichkeit zu untersuchen und zu beschreiben. Die Schlussfolgerungen aus den Studien reichen von sehr konkreten Gestaltungsempfehlungen über sehr allgemeine Empfehlungen bis hin zu Empfehlungen, die sich nicht auf die Gestaltung beziehen.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse konnte ich verschiedene Forschungslücken identifizieren. Einerseits gibt es zahlreiche Arten von Infrastruktur, die in den Studien nicht behandelt wurden. Andererseits besteht ein Bedarf an Forschung zu allgemeinen Prinzipien, wie Radverkehrsinfrastruktur gestaltet werden muss, um möglichst intuitiv verständlich zu sein. Zudem gibt es zahlreiche Studien, die zwar das Verhalten in Abhängigkeit von Infrastruktur untersuchten, durch die verwendeten Methoden jedoch nicht ermitteln konnten, welchen Einfluss die Verständlichkeit der Infrastruktur hatte. Somit besteht auch hier weiterer Forschungsbedarf.

Literatur

Abadi, M. G., & Hurwitz, D. S. (2018). Bicyclist's perceived level of comfort in dense urban environments: How do ambient traffic, engineering treatments, and bicyclist characteristics relate? *Sustainable Cities and Society*, 40, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.003>

Alrutz, Dankmar., Bohle, W., Müller, H., & Prahlow, H. (2009). *Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern: Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.262: Unfallrisiko, Konfliktpotenzial und Akzeptanz der Verkehrsregelungen von Fahrradfahrern* (Straßentechnik Heft V 184; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen). <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/191/file/V184.pdf>

Ambros, J., Valentová, V., Gogolín, O., Andrášik, R., Kubeček, J., & Bíl, M. (2017). Improving the Self-Explaining Performance of Czech National Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2635(1), 62–70. <https://doi.org/10.3141/2635-08>

Angenendt, W., & Wilken, M. (1996). *Gehwege mit Benutzungsmöglichkeiten für Radfahrer* (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Nummer 737). Bundesministerium für Verkehr.

Apasnore, P., Ismail, K., & Kassim, A. (2017). Bicycle-vehicle interactions at mid-sections of mixed traffic streets: Examining passing distance and bicycle comfort perception. *Accident Analysis & Prevention*,

106, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.003>

Baumgartner, A., Fischer, L., & Welker, J. (2020). *Die Wirkung des Mobilitätsdesigns auf die Nutzung und Wahrnehmung von Fahrradstraßen: Untersuchungen anhand eines Fallbeispiels in Offenbach am Main* (Arbeitspapiere zur Mobilitätsforschung, Nummer 24). Goethe-Universität, Institut für Humangeographie, Arbeitsgruppe Mobilitätsforschung. <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/51589>

Becher, T., Baier, M. M., Steinauer, B., & Krüger, H.-P. (2006). *Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Nummer 148). Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH. <https://edocs.tib.eu/files/e01fn19/1667721488.pdf>

Bergh Alvergren, V., Karlsson, M., & Wallgren, P. (2019). *Specification of nudges*. https://www.mebesafe.eu/wp-content/uploads/2020/01/MeBeSafe_D3.1_Specification-of-nudges.pdf

Berghöfer, F. L., Huemer, A. K., & Vollrath, M. (2023). Look right! The influence of bicycle crossing design on drivers' approaching behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 95, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.03.017>

Berghöfer, F. L., & Vollrath, M. (2022). Cyclists' perception of cycling infrastructure – A Repertory Grid approach. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 87, 249–263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.04.012>

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.). (2022). *Einladende Radverkehrsnetze: Begleitbroschüre zum Sonderprogramm „Stadt und Land“*. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StV/einladende-radverkehrsnetze.pdf? blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StV/einladende-radverkehrsnetze.pdf?blob=publicationFile)

Chapman, J. R., & Noyce, D. A. (2014). Influence of roadway geometric elements on driver behavior when overtaking bicycles on rural roads. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 1(1), 28–38. [https://doi.org/10.1016/S2095-7564\(15\)30086-6](https://doi.org/10.1016/S2095-7564(15)30086-6)

Cieśla, K., Krukowicz, T., & Firląg, K. (2018). Analysis of cyclists' behaviour on different infrastructure elements. In *MATEC Web Conf.* <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823103001>

City of Vancouver. (2017). *Transportation Design Guidelines: All Ages and Abilities Cycling Routes* (1.1). <https://vancouver.ca/files/cov/design-guidelines-for-all-ages-and-abilities-cycling-routes.pdf>

Dumbaugh, E., Saha, D., & Merlin, L. (2020). Toward Safe Systems: Traffic Safety, Cognition, and the Built Environment. *Journal of Planning Education and Research*. <https://doi.org/10.1177/0739456X20931915>

Ferreira, M. C., Costa, P. D., Abrantes, D., Hora, J., Felício, S., Coimbra, M., & Dias, T. G. (2022). Identifying the determinants and understanding their effect on the perception of safety, security, and comfort by pedestrians and cyclists: A systematic review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 91, 136–163. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.10.004>

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2010). *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen* [R2]. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

Friel, D., & Wachholz, S. (2024, Oktober 18). *Cyclists' perception on cycling infrastructure – the relation of safety, comfort, and comprehensibility* [Präsentation]. ICTCT, The Hague.

Friel, D., Wachholz, S., Zimmermann, L., Werner, T., Schwedes, O., & Stark, R. (2023). Cyclists' perceived safety on intersections and roundabouts – A qualitative bicycle simulator study. *Journal of Safety Research*, 87, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.012>

Huemer, A. K., Oehl, M., & Brandenburg, S. (2018). Influences on anger in German urban cyclists. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 969–979. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.026>

Jalali, S., & Wohlin, C. (2012). Systematic literature studies. In *Proceedings of the ACM-IEEE international symposium on Empirical software engineering and measurement*. ACM. <https://doi.org/10.1145/2372251.2372257>

Kassim, A., Culley, A., & McGuire, S. (2019). Operational Evaluation of Advisory Bike Lane Treatment on Road User Behavior in Ottawa, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation*

Research Board, 2673(11), 233–242. <https://doi.org/10.1177/0361198119851450>

Kaplan, S., & Prato, C. G. (2016). “Them or Us”: Perceptions, cognitions, emotions, and overt behavior associated with cyclists and motorists sharing the road. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(3), 193–200. <https://doi.org/10.1080/15568318.2014.885621>

Lind, A., Honey-Rosés, J., & Corbera, E. (2021). Rule compliance and desire lines in Barcelona's cycling network. *Transportation Letters*, 13(10), 728–737. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1803542>

Mackie, H. W., Charlton, S. G., Baas, P. H., & Villaseñor, P. C. (2013). Road user behaviour changes following a self-explaining roads intervention. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 742–750. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.06.026>

Mohs, C., Naumann, A., Meyer, H. A., & Pohlmeier, A. (2006). IUUI – Intuitive Use of User Interfaces. In T. Bosenick, M. Hassenzahl, M. Müller-Prove, & M. Peissner (Hrsg.), *Usability Professionals 2006*.

Monsere, C. M., Foster, N., Dill, J., & McNeil, N. (2015). User Behavior and Perceptions at Intersections with Turning and Mixing Zones on Protected Bike Lanes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2520(1), 112–122. <https://doi.org/10.3141/2520-13>

Müggenburg, H., Blitz, A., & Lanzendorf, M. (2022). What is a good design for a cycle street? - User perceptions of safety and attractiveness of different street layouts. *Case Studies on Transport Policy*, 10(2), 1375–1387. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.04.021>

Naumann, A., Hurtienne, J., Israel, J. H., Mohs, C., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. A., & Hußlein, S. (2007). Intuitive Use of User Interfaces: Defining a Vague Concept. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics: 7th international conference, EPCE 2007, Beijing, China, July 22–27, 2007; proceedings* (Bd. 4562, S. 128–136). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7_14

Nikiforiadis, A., Chatzali, E., Ioannidis, V., Kalogiros, K., Paipai, M., & Basbas, S. (2023). Investigating factors that affect perceived quality of service on pedestrians-cyclists shared infrastructure. *Travel Behaviour and Society*, 31, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.01.006>

Nobis, C., Kuhnimhof, T., Follmer, R., & Bäumer, M. (2017). *Mobilität in Deutschland – Zeitreihenbericht 2002 – 2008 – 2017*.

Paul, J., Lim, W. M., O’Cass, A., Hao, A. W., & Bresciani, S. (2021). Scientific procedures and rationales for systematic literature reviews (SPAR-4-SLR). *International Journal of Consumer Studies*, 45(4). <https://doi.org/10.1111/ijcs.12695>

Polaček, C. M. (2014). *Vorsicht Vorrang!: Die Problematik der Vorrangregelung sowie rechtliche und bauliche Möglichkeiten für eine verständliche und sichere Gestaltung des Vorrangs zwischen Fahrrädern und Kraftfahrzeugen im österreichischen Straßenverkehr* [Diplomarbeit, Technische Universität Wien]. <https://doi.org/10.34726/hss.2014.21142>

Qin, Y., Chen, Y., & Lin, K. (2020). Quantifying the Effects of Visual Road Information on Drivers’ Speed Choices to Promote Self-Explaining Roads. *International journal of environmental research and public health*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph17072437>

Riemersma, J. B. J. (1988). An empirical study of subjective road categorization. *Ergonomics*, 31(4), 621–630. <https://doi.org/10.1080/00140138808966704>

Schäfer, P. K., Freyer, L., Bohl, M., & Winkler, Z. (2021). *Duale Radlösungen 2.0: Nutzungsverhalten der Radfahrenden bei dualer Radinfrastruktur durch Befragung*. https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich_1/FFin/Neue_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Duale_Radloesungen_Abschlussbericht.pdf

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of*

Business Research, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.ibusres.2019.07.039>

Stülpnagel, R., & Binnig, N. (2022). How safe do you feel? - A large-scale survey concerning the subjective safety associated with different kinds of cycling lanes. *Accident Analysis and Prevention*, 167, 106577. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106577>

Swiss Academic Software GmbH. (2023). *Citavi* [Software]. <https://www.citavi.com/de>

Theeuwes, J., & Godthelp, H. (1995). Self-explaining roads. *Safety Science*, 19(2–3), 217–225. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00022-U](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00022-U)

Transport Scotland. (2021). *Cycling by Design*. <https://www.transport.gov.scot/media/50323/cycling-by-design-update-2019-final-document-15-september-2021-1.pdf>

Wachotsch, U., Kolodziej, A., Specht, B., Kohlmeyer, R., & Petrikowski, F. (2014). *E-Rad macht mobil: Potenziale von Pedelecs und deren Umweltwirkung* (Umweltbundesamt, Hrsg.).

Wetterich, C., & Plänitz, E. (2021). *Systematische Literaturanalysen in den Sozialwissenschaften: Eine praxisorientierte Einführung*. Verlag Barbara Budrich.

AutorInnenangaben

David Friel
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
TU Berlin, Institut für See- und Landverkehr, Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung, Sekr. SG4, Salz-
ufer 17-19, 10587 Berlin, Deutschland

E-Mail: david.friel@tu-berlin.de

Sicherheitsauswirkungen unterschiedlicher Radverkehrsführungsformen auf den Fußverkehr

Konstantin Melerowicz, Thomas Richter*

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Der Rad- und Fußverkehrsanteil am Verkehrsaufkommen steigt in vielen Städten kontinuierlich an. Durch die begrenzte Flächenverfügbarkeit entstehen neue Konkurrenzsituationen im öffentlichen Raum, aus denen neue Unfälle und Konflikte in den angeführten, vulnerablen Verkehrsteilnehmer:innengruppen, resultieren. Das Forschungsprojekt SAFENESS (Laufzeit: 01.05.2020 bis 29.02.2024) analysierte die Sicherheitsauswirkungen verschiedener Radverkehrsführungsformen auf den Fußverkehr in den Städten Berlin und Hamburg. Die Methodik umfasste zunächst eine detaillierte Unfallanalyse polizeilicher Unfalldaten (Datengrundlage: 2.700 polizeilich aufgenommene Unfälle mit Rad- Fußverkehrsbeteiligung zwischen 2016- 2019 in Berlin und Hamburg) sowie eine Konfliktanalyse anhand von Videoaufnahmen (Datengrundlage: 124 Standorte in Berlin mit jeweils 8- stündigen Videoaufnahmen). Die Datenklassifizierung in 3 Hauptcluster (Knotenpunktarme, homogene Streckenabschnitte, Haltestellenbereiche) und dazugehörige Feincluster ist hierbei das verbindende Element. Es wurden insgesamt 431 relevante Unfälle sowie 1.374 Konflikte gemäß Klassifizierung erfasst und hinsichtlich der Sicherheitsrisiken ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen allgemein, dass homogene Streckenabschnitte die höchsten Unfallzahlen aufwiesen, während Haltestellenbereiche besonders konfliktträchtig waren. Weiterhin sind an homogenen Streckenabschnitten schmale Radwege unfallreicher/ konfliktreicher als breite Radwege und in Haltestellenbereichen sind Radwege an Bushaltestellen mit der Führung vor dem Wartebereich unfallreicher/ konfliktreicher als hinter dem Wartebereich. Insgesamt hat das Forschungsprojekt bestätigt, dass teilweise erhebliche Unfall- und Konfliktmengen/ bzw. raten an vielen innerstädtischen verkehrlichen Infrastrukturelementen existieren.

Schlagwörter / Keywords:

Verkehrssicherheit, Konfliktanalyse, Unfallauswertung, Radverkehrsführung, Urbane Mobilität, Mobilitätsplanung, Nachhaltigkeit

1. Einleitung

Der Radverkehrsanteil am Verkehrsaufkommen steigt in vielen Städten und Gemeinden kontinuierlich an, ebenso in Berlin und Hamburg, die im Forschungsprojekt exemplarisch als Untersuchungsorte genutzt wurden. Gründe hierfür sind unter anderem Klimaschutzmaßnahmen (Förderung der nachhaltigen Mobilität) und eine allgemeine Steigerung der Attraktivität des Radverkehrs, insbesondere im urbanen Umfeld. Der höhere Rad- und ebenso Fußverkehrsanteil am Verkehrsaufkommen bzw. Modal Split führt daher zu einer steigenden Interaktion und Unfällen zwischen Fußgänger:innen und Radfahrer:innen, die als vulnerable Verkehrsteilnehmer:innen besonders gefährdet sind. Die begrenzte Flä-

chenverfügbarkeit im urbanen Raum begünstigt Situationen mit Unfällen und Konflikten zwischen den vulnerablen Verkehrsteilnehmer:innen ebenso.

In Deutschland kam es im Jahr 2022 zu 4.517 Unfällen mit Rad- und Fußverkehrsbeteiligung und mit Personenschaden: Hierbei wurden 711 Personen schwer verletzt, 13 wurden getötet (Borsellino, O. et al. 2023, S. 4). Den genannten 4.517 Unfällen im Jahr 2022 stehen 3.647 Unfälle im Jahr 2002 gegenüber, welches eine signifikante Steigerung bedeutet (ebd.). Zur Vermeidung und Senkung solcher Unfälle und Konflikte zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen sind daher weitere Forschungen und Untersuchungen nötig.

Es sollte erforscht werden, welche Faktoren und Randbedingungen zu Unfällen und Konflikten zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen führen. Der Einfluss von Faktoren wie Einsehbarkeit, unterschiedliche Flächenaufteilungen und Führungsformen wurden dabei berücksichtigt. Ebenso sollte das Projekt Ergebnisse darüber liefern, welche Gestaltungsparameter der Radverkehrsinfrastruktur positiv oder negativ auf das Unfallgeschehen, das Unfallrisiko sowie das Konfliktpotential zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen wirken.

Im Auftrag des Bundesministerium für Digitales und Verkehr im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplan (NRVP) wurde an der Technischen Universität Berlin, am Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb, eine detaillierte Unfall- und Konfliktanalyse von Radfahrer:innen und Fußgänger:innen auf den entsprechenden Flächen erarbeitet. Die nachfolgenden Ergebnisse basieren auf dem Forschungsbericht (Abschlussbericht) des Projektes: Sicherheitsauswirkungen unterschiedlicher Radverkehrsführungsformen auf den Fußverkehr an Knotenpunkten, auf homogenen Streckenabschnitten und in Haltestellenbereichen-SAFENESS-VB2007.

2. Methodik/ Begriffserläuterungen

Der Untersuchungsablauf gestaltete sich gemäß Abbildung 1. Für die Untersuchungen wurden grundsätzlich Anlagen von richtlinien- und regelwerkskonformen Infrastrukturelementen in Betracht gezogen, um den Einfluss ungünstiger Straßenraumwürfe auf Konflikte ausschließen zu können.

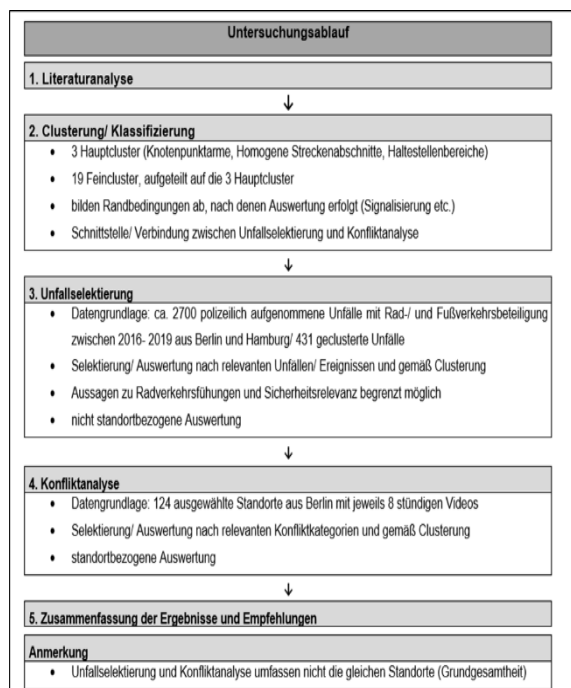


Abbildung 1: Forschungsdesign (eigene Darstellung)

Nach der Ausarbeitung der Clusteraufteilung/ Systematisierung erfolgte 1. die Bearbeitung der polizeilichen Unfalldaten (Unfallselektierung) sowie 2. die Erhebung und Bearbeitung der Konfliktdaten (Konfliktanalyse). Unfallselektierung (größeres Cluster) und Konfliktanalyse (unter anderem nur ausgewählte Knotenpunktarme) umfassen nicht die gleichen Standorte (Grundgesamtheit). Daher ist ein unmittelbarer Vergleich der Ergebnisse hier nicht möglich. Die Clusteraufteilung bildet dennoch ein verbindendes Element und dient als Orientierung.

Zur Unfallselektierung: Zur Beurteilung der Verkehrsunfälle zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen (Unfallselektierung) lagen Unfalldaten aus Berlin und Hamburg aus den Jahren 2016 bis 2019 vor, die von den jeweiligen polizeilichen Behörden für das Forschungsprojekt zur Verfügung gestellt wurden. Da es sich bei den Unfalldaten aus beiden Metropolen um mehr als 2.700 Verkehrsunfälle mit verunglückten Personen (Unfallkategorie 1 bis 3) handelt, wurden die Unfälle vorab anhand des Unfallortes und des Unfallhergangs nach Relevanz sortiert, bevor diese final zugeordnet wurden. Nicht relevant waren beispielsweise Unfälle ohne Personenschaden sowie Unfälle, die sich nicht in erster Linie auf einen Konflikt zwischen den Unfallgegnern Fuß und Rad zurückführen lassen oder sich durch eine mangelhafte Verkehrstüchtigkeit (z. B. Alkohol- und Drogeneinfluss) des Unfallverursachers ereignet haben.

Zu den Konflikterhebungen: Insgesamt wurden 992 Stunden Videomaterial (FLIR- Wärmebildkameras) von 124 Standorten analysiert. Die Beschreibung/ Einteilung der Konflikte wurde analog der Systematik im Forschungsbericht: Sicherheitsbewertung von Fahrradstraßen und der Öffnung von Einbahnstraßen (Schläger, N. et al. 2016), durchgeführt. Ein leichter Konflikt ist demnach eine kontrollierte Verhaltensanpassung mindestens eines/ einer Teilnehmer:in, was sich durch leichtes Abbremsen oder seitliches Ausweichen auszeichnet. Ein schwerer Konflikt ist ein deutliches und abruptes Vermeidungsmanöver mindestens eines/ einer Teilnehmer:in zur Kollisionsvermeidung. Beispiele hierfür sind starkes Bremsen oder deutliches Ausweichen. Als Unfälle werden Berührungen und Zusammenstoßen bezeichnet.

Weiterhin existiert keine allgemein gültige Formel/ Berechnungsgrundlage für Konflikttraten. Als Unfallkenngrößen werden Unfallraten/ Unfallkostenraten genutzt. Daher wurde projektbezogen eine eigenständige, an die Unfallrate angelehnte Konflikttrate berechnet, die das Verhältnis zwischen den Konflikten und den jeweiligen Verkehrsstärken des Rad- und Fußverkehrs an den jeweiligen Untersuchungsstan-

dorten, abbildet. Die Konfliktrate setzt sich zusammen aus: $\text{Konfliktrate} = \frac{\sum \text{Konflikte}}{\sum \text{Fu\ss- und Radverkehr} \cdot 1\text{h} \cdot 1000 \cdot \text{Standort/e Videoerhebung}}$. Je h\u00f6her die Anzahl der Konfliktmengen- und raten gem\u00e4\u00df Konfliktschweren ausfallen, desto h\u00f6her sind die negativen Sicherheitsauswirkungen auf die Radverkehrsf\u00fchrungsformen anzusehen.

In Abbildung 2 ist beispielhaft ein leichter Konflikt am Untersuchungsstandort Gedenkst\u00e4tte Berliner Mauer (Richtung Nordbahnhof) zu erkennen (Hauptcluster Haltestellenbereiche). Ein/e Radfahrer:in (links) weicht 3 Fu\u00dfg\u00e4nger:innen (rechts) aus.



Abbildung 2: Aufnahmebeispiel der W\u00e4rmebildkamera (eigene Aufnahme)

3. Unfallselektierung (Unfalldaten Polizei)

Nachfolgend werden die relevanten Unf\u00e4lle, welche nach den definierten Randbedingungen gefiltert wurden, gem\u00e4\u00df Hauptclustern und Feinclustern, beschrieben.

3.1 Gesamtschau der Unfallmengen

Zur clusterbasierten Unfallverteilung nach Hauptclustern l\u00e4sst sich projektbezogen festhalten (bezogen auf Anzahl geclusterte Unf\u00e4lle $n = 431$), dass \u00fcber einen Zeitraum von 4 Jahren insgesamt 431 relevante Unf\u00e4lle zwischen Radfahrer:innen und Fu\u00dfg\u00e4nger:innen dokumentiert wurden. Dabei entfielen 232 dieser Unf\u00e4lle, also 53,83 %, auf homogene Streckenabschnitte, 122 Unf\u00e4lle, was 28,31 % entspricht, traten an Knotenpunktarmen auf, und 77 Unf\u00e4lle, also 17,87 %, ereigneten sich in Haltestellenbereichen. Diese geclusterte Zahl von 431 Unf\u00e4llen repr\u00e4sentiert 15,66 % aller 2.752 registrierten Unf\u00e4lle. In beiden St\u00e4dten sind homogene Streckenabschnitte das Hauptcluster, bei dem die meisten Unf\u00e4lle zwischen Radfahrer:innen und Fu\u00dfg\u00e4nger:innen verzeichnet wurden.

Die Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Verkehrsunfalldaten insgesamt und f\u00fcr die 3 Hauptcluster, in Berlin und Hamburg.

Tabelle 1: Clusterbasierte Unfallverteilung nach Unf\u00e4llen insgesamt in Berlin & Hamburg

Hauptcluster	Berlin	Hamburg	Σ
Knotenpunktarme	99	23	122
Homogene Streckenabschnitte	99	133	232
Haltestellenbereiche	37	40	77
Σ	235	196	431

Anzahl geclusterte Unf\u00e4lle/ Ereignisse ($n = 431$): 235 Unf\u00e4lle in Berlin, 196 Unf\u00e4lle in Hamburg

Quelle: eigene Darstellung

In Berlin sind insgesamt 235 relevante Unf\u00e4lle zwischen Radfahrer:innen und Fu\u00dfg\u00e4nger:innen polizeilich aufgenommen worden. Homogene Streckenabschnitte und Knotenpunktarme machen mit je 99 Unf\u00e4llen (42,13 %) den Hauptanteil an den Gesamtunf\u00e4llen in Berlin aus.

3.2 Hauptcluster Homogene Streckenabschnitte

F\u00fcr die 3 Hauptcluster wurden die Unfallmengen, jeweils unterteilt in die jeweiligen Feincluster, graphisch aufbereitet. Nachfolgend ist beispielhaft das unfallreichste der 3 Hauptcluster, homogene Streckenabschnitte, dargestellt.

Abbildung 3 stellt die relevante Unfallanzahl sowie die dazu geh\u00f6rigen Unfallkategorien 1- 3 f\u00fcr Berlin und Hamburg zusammen, f\u00fcr das Hauptcluster homogene Streckenabschnitte, graphisch dar.

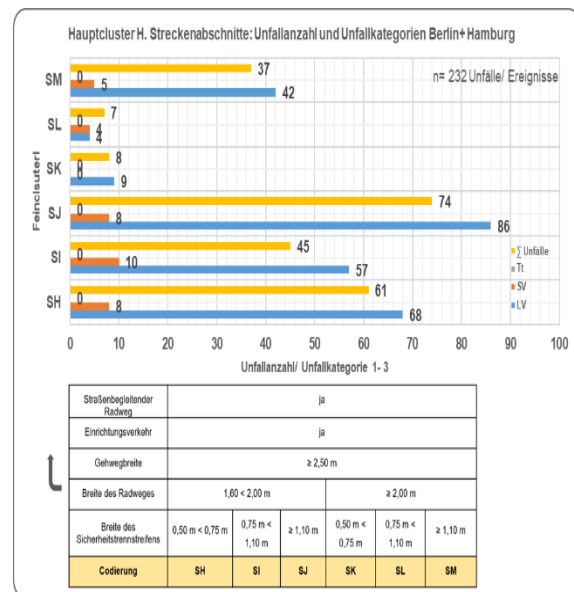


Abbildung 3: H. Streckenabschnitte - Unfallanzahl und Unfallkategorien Hamburg & Berlin (eigene Darstellung)

Der Mittelwert der Unf\u00e4lle, bezogen auf die 232 geclusterten Unf\u00e4lle, \u00fcber die 6 Feincluster hinweg,

liegt bei 38,67 Unfällen. Von den geclusterten Unfällen/ Ereignissen an homogenen Streckenabschnitten geht die höchste Unfallanzahl von 74 Unfällen aus Feincluster SJ hervor. Die niedrigsten Unfallzahlen mit 7 Unfällen gehören zu Feincluster SL.

Vergleich der geclusterten Unfalldaten (n= 232 Unfälle):

- Die 3 schmalen Radverkehrsanlagen (RVA) mit Breiten zwischen 1,6 m bis 2,0 m weisen die größten Unfallzahlen auf. Siehe hierzu gemäß Tabelle Feincluster SJ, SH und SL.
- Die 3 untersuchten breiten RVA mit Breiten ab 2,0 m weisen die geringsten Unfallzahlen auf. Siehe hierzu gemäß Tabelle Feincluster SM, SK und SL.
- RVA mit einem mittleren STS von 0,75 m bis 1,10 m haben sowohl bei breiten und schmalen RVA die wenigsten Unfälle zu verzeichnen. Siehe hier gemäß Tabelle Feincluster SL und SI.

4. Konfliktanalyse (Videoerhebungen)

Folgend werden die Konflikte der Videoerhebungen zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen gemäß Clusterung/ Klassifizierung beschrieben.

4.1 Gesamtschau der Konfliktmengen

Zusammenfassend lässt sich gemäß Abbildung 4 feststellen, dass an den 124 Berliner Standorten insgesamt 1.374 Konflikte beobachtet wurden. Diese Konflikte gliedern sich in 3 Kategorien: 1.303 leichte Konflikte, die 94,83 % der Gesamtanzahl ausmachen, 67 schwere Konflikte mit einem Anteil von 4,88 % sowie 4 Unfälle oder Kollisionen, die 0,29 % der Gesamtkonflikte ausmachen. Betrachtet man die Hauptcluster, so entfallen 825 Konflikte, also 60,04 %, auf die Haltestellenbereiche. Die Knotenpunktarme verzeichnen 367 Konflikte, was 26,71 % der Gesamtanzahl entspricht und die homogenen Streckenabschnitte haben 182 Konflikte, was 13,26 % ausmacht. Besonders signifikant sind die Sicherheitsprobleme im Zusammenhang mit den Radverkehrsführungsformen in den Haltestellenbereichen. Die meisten Konflikte (Konfliktanzahl) passieren an Haltestellenbereichen.

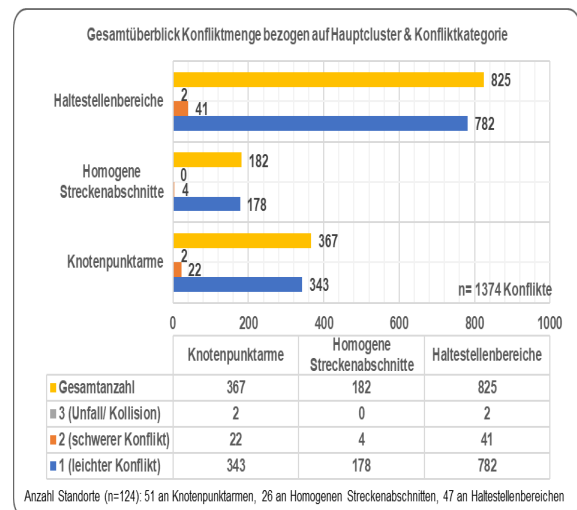


Abbildung 4: Gesamtüberblick Konfliktmengen Hauptcluster & Konfliktkategorie (eigene Darstellung)

4.2 Hauptcluster Haltestellenbereiche

Für die 3 Hauptcluster wurden die Konfliktraten, jeweils unterteilt in die jeweiligen Feincluster, graphisch aufbereitet. In Abbildung 5 ist beispielhaft das konfliktreichste/ unsicherste der 3 Hauptcluster, Haltestellenbereiche, exemplarisch dargestellt.

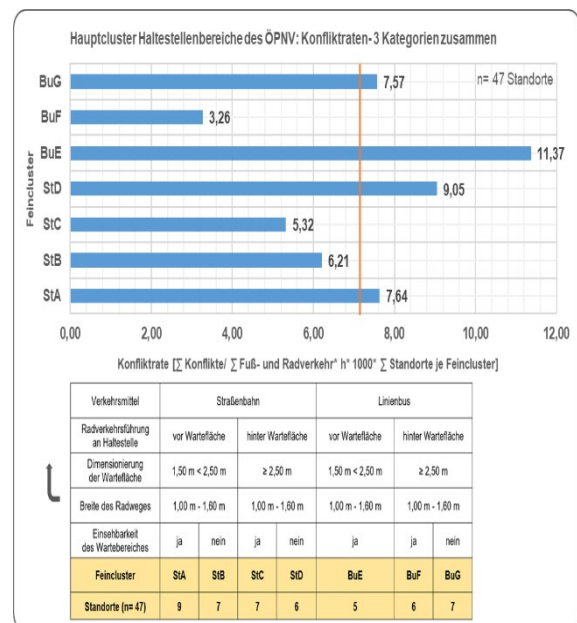


Abbildung 5: Hauptcluster Haltestellenbereiche- Konfliktraten (eigene Darstellung)

Die Konfliktraten liegen im Wertebereich zwischen 3,26 und 11,37 [Σ Konflikte/ Σ Fuß- und Radverkehr* h* 1000* Σ Standorte Feincluster]. Der Mittelwert der 7 Konfliktraten liegt bei 7,20 [Σ Konflikte/ Σ Fuß- und Radverkehr* h* 1000* Σ Standorte Feincluster].

Die sicherste Form der Radverkehrsführung an Haltestellen mit einer Konfliktrate von 3,26 [Σ Konflikte/

\sum Fuß- und Radverkehr* h* 1000* \sum Standorte Feincluster] ist das Feincluster BuF, wo an Bushaltestellen die Führung hinter der Wartefläche der Haltestelle und einsehbar für Radfahrer:innen erfolgt. Folgende Konfliktsituationen konnten festgestellt werden, insbesondere an der Haltestelle Köpenick, Bahnhofstraße: *Fußgänger:innen standen oder liefen über den Radweg, woraufhin die Radfahrer:innen und Fußgänger:innen mit einer aktiven Bewegungsanpassung reagierten. Radfahrer:innen nutzten den Gehweg in und entgegen der regulären Fahrtrichtung, welches zu Konflikten mit den Fußgänger:innen führte.*

Die unsicherste Form der Radverkehrsführung ist das Feincluster BuE mit einer Konflikttrate von 11,37 [\sum Konflikte/ \sum Fuß- und Radverkehr* h* 1000* \sum Standorte Feincluster], wo an Bushaltestellen der Radverkehr vor dem Wartebereich geführt wird und für Radfahrer:innen einsehbar ist. Dabei sind folgende Konfliktsituationen, beispielhaft an der Haltestelle Bus am S+U Potsdamer Platz (Feincluster BuE), zu erkennen auch in Abbildung 6, beobachtet worden: *Fußgänger:innen standen oder liefen über den Radweg, woraufhin die Radfahrer:innen und Fußgänger:innen mit einer aktiven Bewegungsanpassung reagierten.*



Abbildung 6: Fußgänger:innen/ ÖPNV- Nutzer auf Radverkehrsanlage an Haltestelle (eigene Aufnahme)

In nachfolgender Tabelle 2 sind die Kennzahlen zu den Konflikten nochmals zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisauflistung der Konfliktdaten

Konfliktanalyse nach Konfliktmengen insgesamt (n= 124 Standorte) mit 51 an Knotenpunktarmen, 26 an Homogenen Streckenabschnitten, 47 an Haltestellen			
Hauptcluster	Berlin	Hamburg	Σ
Knotenpunktarme	367	-	367
Homogene Streckenabschnitte	182	-	182
Haltestellenbereiche	825	-	825
Σ	1.374	-	1.374
Konfliktanalyse nach Konfliktschwere (n=124 Standorte) mit 51 an Knotenpunktarmen, 26 an Homogenen Streckenabschnitten, 47 an Haltestellen			
Unfallkategorie	Berlin	Hamburg	Σ
Leichter Konflikt (1)	1.303	-	1.303
Schwerer Konflikt (2)	67	-	67
Unfall (3)	4	-	4
Σ	1.374	-	1.374
Konfliktanalyse nach Konflikttraten (n=124 Standorte) mit 51 an Knotenpunktarmen, 26 an Homogenen Streckenabschnitten, 47 an Haltestellen			
Konflikttrate (Konflikte insgesamt)	Berlin	Hamburg	Σ
Knotenpunktarme	7,20	-	7,20
Homogene Streckenabschnitte	7,00	-	7,00
Haltestellenbereiche	17,55	-	17,55
* Konflikttrate: \sum Konflikte Hauptcluster/ \sum Standorte Hauptcluster			
* Anmerkung: Unfallselektierung und Konfliktanalyse umfassen nicht die gleichen Standorte (Grundgesamtheit). Unmittelbarer Vergleich nicht möglich.			

Quelle: eigene Darstellung

Auffälligkeiten in Bezug auf die 7 Feincluster/ Auswertungskollektive sind:

- RVA an Bushaltestellen mit der Führung vor der Wartefläche und für Radfahrer:innen einsehbar besitzen die signifikant höchste Konflikttrate und sind damit am unsichersten/ konfliktträchtigsten. Siehe hierzu gemäß Tabelle Feincluster BuE.
- RVA mit der Führungsform hinter der Wartefläche und einsehbar für Radfahrer:innen sind sowohl bei Straßenbahnen und Bussen die Führungsform mit den wenigsten Konflikten und damit als am sichersten anzusehen. Siehe hierzu gemäß Tabelle Feincluster StC und BuF.
- RVA an Haltestellenbereichen haben die signifikant höchsten Konflikttraten im Vergleich zu den anderen beiden Hauptclustern.

5. Zusammenfassung und Empfehlungen

Es folgt die Zusammenfassung zentraler Ergebnisse sowie deren Diskussion und Empfehlungen.

5.1 Unfallselektierung (Unfalldaten Polizei)

In Berlin und Hamburg ereigneten sich zahlreiche Unfälle zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen an bestimmten Infrastrukturelementen. Die meisten Unfälle traten an homogenen Streckenabschnitten auf, gefolgt von Knotenpunktarmen und Haltestellenbereichen. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Städten in der Verteilung

der Unfälle. In Berlin war die Unfallhäufigkeit an Haltestellenbereichen am geringsten, während in Hamburg die wenigsten Unfälle an Knotenpunktarmen stattfanden.

5.2 Konfliktanalyse (Videoerhebungen)

In Berlin passierten die meisten Konflikte zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen an Haltestellenbereichen, gefolgt von Knotenpunktarmen und homogenen Streckenabschnitten. Haltestellenbereiche sind somit besonders unsicher im Hinblick auf die Radverkehrsführung.

Die meisten Konflikte verlaufen leicht, während schwere Konflikte und tatsächliche Kollisionen nur selten auftreten. Häufig stehen oder gehen Fußgänger:innen auf dem Radweg, was zu spontanen Ausweichmanövern und Bewegungsanpassungen der Verkehrsteilnehmer:innen führt. Ebenso nutzen Radfahrer:innen den Gehweg in und entgegen der regulären Fahrtrichtung, wodurch weitere Konflikte entstehen.

Besonders problematisch sind Radwege, die direkt durch Wartebereiche von Haltestellen geführt werden. Noch am sichersten ist die Radverkehrsführung hinter der Wartefläche der Haltestelle, wobei die Wartebereiche einsehbar sind. Am unsichersten ist die Radverkehrsführung vor dem Wartebereich, wobei für die Radfahrer:innen einsehbar. Knotenpunktarme und homogene Streckenabschnitte sind weniger konfliktanfällig, jedoch ebenfalls von Problemen betroffen. Die Untersuchung macht deutlich, dass bestehende Verkehrsführungen überdacht und optimiert werden müssen, insbesondere an Haltestellenbereichen.

5.3 Ergebnisse/ Diskussion

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes führen durch den Untersuchungsumfang (Unfalldatensätze, Standortanzahl der Konfliktanalyse) und die gewählte Clusterstruktur und Aufteilung in Teilkollektive (3 Hauptcluster mit 19 Feinclustern/ Teilkollektiven) zu tendenziell punktuellen und kleinteiligen Aussagen in Bezug zu Sicherheitsauswirkungen einzelner RVA. Hierin liegt die Möglichkeit genau die Führungsformen der RVA zu identifizieren, die besonders unsicher beziehungsweise konfliktträchtig sind.

Die Projektergebnisse zeigen auf, dass hohe Konfliktmengen nicht automatisch hohe Unfallmengen bedeuten und umgekehrt, zumindest bezogen auf die ausgewählten Radverkehrsführungsformen. Haltestellenbereiche haben beispielsweise in der Untersuchung die niedrigsten Unfallzahlen aufzuweisen, was vermutlich an der geringeren Grundgesamtheit gegenüber den anderen beiden Hauptclustern liegt,

aber dennoch die höchsten Konfliktmengen und Konflikttraten, wenn diese auf einen Untersuchungsgegenstand normiert sind. Ein möglicher Erklärungsansatz hier ist die Annahme, dass sich Radfahrer:innen beziehungsweise Fußgänger:innen an konfliktträchtigen Bereichen besonders vorsichtig verhalten, da sie hier bereits mit Konflikten rechnen. Das würde dazu führen, dass hier verhältnismäßig wenig Unfälle passieren. Hohe Unfallmengen entstehen dem Ansatz folgend eher in Bereichen, wo sich Radfahrer:innen und Fußgänger:innen subjektiv sicher fühlen und nicht mit Unfällen rechnen bzw. auf Konflikte vorbereitet sind.

Bestimmte projektbezogene Erwartungen/ Hypothesen zu den Sicherheitsauswirkungen haben sich nicht vollumfänglich mithilfe der Ergebnisse bestätigen lassen. Beispielsweise sind Haltestellenbereiche mit RVA, die für Radfahrer:innen nicht einsehbar sind, teilweise weniger konfliktreich als einsehbare Haltestellenbereiche. Dies liegt gegebenenfalls an den vorigen Begründungen, dass die Einsehbarkeit eine Sicherheit suggeriert, die nicht vorhanden ist und bei Nichteinsehbarkeit generell vorsichtiger gefahren/ gelaufen wird. An Knotenpunktarmen sind nicht durchgängig die RVA im Seitenbereich konfliktreicher/ unsicherer als auf der Fahrbahn, obwohl gerade im Seitenbereich mit mehr Konfliktpotential gerechnet werden muss. Hier besteht unter anderem weiterer Forschungsbedarf. Mögliche Erklärungsansätze liegen in standortspezifischen Gegebenheiten (bauliche Hindernisse, großräumige Situation), der Zusammenstellung und Dominanz einzelner Standorte pro Teilkollektiv sowie die Auswertung diverser Konfliktkonstellationen, indem beispielsweise Radfahrer:innen den Gehweg nutzten, welches nicht unmittelbar mit der vorhandenen Radverkehrsführung zusammenhängt.

Die Beurteilung der Verkehrssicherheit wurde in der Vergangenheit durch die Analyse von Unfällen und deren Kenngrößen (Unfallrate, Unfallkostenrate), mit einer eher autozentrierten Sichtweise, ermittelt. Die Erarbeitung/ Entwicklung von Konflikteinteilungen, die vom Rad- und Fußverkehr ausgehen und die Ableitung von Kenngrößen (Konflikttraten etc.) zur Beurteilung der Verkehrssicherheit sind weiterhin offen. Es existieren so gut wie keine Vergleichsgrößen, die zur Beurteilung herangezogen werden können.

Das vorliegende Projekt hat unter anderem zu folgenden übergeordneten/ abstrahierten Ergebnissen geführt, die eine Auswirkung auf die Verkehrssicherheit zwischen Radfahrer:innen und Fußgänger:innen, in Bezug auf die Radverkehrsführung, haben:

- für Knotenpunktbereiche:

- RVA mit gemeinsamer Signalisierung des Radverkehrs mit dem Kfz- Verkehr sind unfallreicher/ konfliktreicher als separate Signalisierungen.
- RVA mit Führung im Seitenraum und der gemeinsamen Signalisierung mit dem Kfz-Verkehr und der Haltlinie vor der Fußgängerfurt besitzen die höchste Konfliktrate.
- für homogene Streckenabschnitte:
 - Schmale RVA sind unfallreicher/ konfliktreicher als breite RVA.
- für Haltestellenbereiche:
 - RVA an Bushaltestellen sind konfliktreicher/ unsicherer als Straßenbahnhaltestellen.
 - RVA an Bushaltestellen mit Führung vor dem Wartebereich sind unfallreicher/ konfliktreicher als hinter dem Wartebereich.

5.4 Empfehlungen

Zu den allgemeinen Empfehlungen, basierend auf den analysierten Ergebnissen, zählen demnach:

- Optimierung der Verkehrssicherheit:
 - Weniger konfliktreiche/ sichere RVA- Führungsformen sollten genutzt werden.
- Planung an homogenen Streckenabschnitten:
 - Möglichst breite RVA (> 2,10 m) bevorzugen und Mindestmaße (z. B. 1,60 m) vermeiden.
- Planung an Knotenpunktarmen:
 - Separate Signalisierung des Radverkehrs empfohlen, um Konflikte zu minimieren.
- Planung an Haltestellenbereichen:
 - Führung der RVA hinter der Wartefläche favorisieren.

Insgesamt hat das Forschungsprojekt bestätigt, dass es teilweise erhebliche Unfall- und Konfliktmengen- bzw. -raten zwischen dem Rad- und Fußverkehr an vielen innerstädtischen, verkehrlichen Infrastrukturelementen (Knotenpunktarme, homogene Streckenabschnitte und Haltestellenbereiche) gibt, zu deren Senkung die vorliegende Untersuchung einen weiteren Beitrag liefert und Anknüpfungspunkte beziehungsweise Priorisierungen zur weiteren Forschung und Optimierung ermöglicht. Ein besonderer Fokus sollte besonders auf der (punktuellen, kleinräumigen) Beseitigung bereits bekannter und hier erneut nachgewiesener Unfall- und Konfliktschwerpunkte gelegt werden.

Literatur

Borsellino, O./ Ortlepp, J. 2023: Unfälle zwischen Fuß- und Radverkehr. Unfallforschung Kompakt Nr. 128. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. Unfallforschung der Versicherer (Hrsg.). Berlin. URL: <https://www.udv.de/resource/blob/159596/e9b5442d0d2efe7f7ec5a5a3afe9c992/128-fuss-rad-unfaelle-data.pdf> [Aufgerufen am 10.01.2024]

Schläger, N./ Wühl, B./ Woywod, T./ Fromberg, A./ Gwiasda, P./ Niklas, K./ Schreiber, M./ Pohle, M. 2016: Sicherheitsbewertung von Fahrradstraßen und der Öffnung von Einbahnstraßen. Forschungsbericht Nr. 41. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. Unfallforschung der Versicherer (Hrsg.). Berlin. URL: <https://www.udv.de/resource/blob/79788/1544ec50b0d46fa8a3883b2c9ca2daeb/41-sicherheitsbewertung-von-fahrradstrassen-und-der-oeffnung-von-einbahnstrassen-data.pdf> [Aufgerufen am 30.07.2023]

Autorinnenangaben

Konstantin Melerowicz, M.Eng.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technische Universität Berlin,
Institut für Land- und Seeverkehr,
Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb
Gustav-Meyer-Allee 25,
13355 Berlin
Deutschland

E-Mail: k.melerowicz@tu-berlin.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter
Fachgebietsleiter
Technische Universität Berlin,
Institut für Land- und Seeverkehr,
Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb
Gustav-Meyer-Allee 25,
13355 Berlin
Deutschland

E-Mail: t.richter@spb.tu-berlin.de

Einstreifige Kernfahrbahn und Schutzstreifen – mehr Sicherheit für Fuß- und Radverkehr

Laura Kehrer

Abstract

Die Anpassung der StVO (mit VwV-StVO) fördert die Verkehrssicherheit im Radverkehr beispielsweise durch Schutzstreifen. Jedoch wird die Markierung häufig als Leitlinie interpretiert, wodurch der vorgeschriebene Überholabstand unterschritten wird. Bei Fahrbahnbreiten von 6,0–8,0 m besteht Unsicherheit über ihre Eignung. Ein Verkehrsversuch mit einer 6,0 m breiten Fahrbahn, gestaltet nach niederländischem Regelwerk mit schmaler Kernfahrbahn, zeigte eine signifikante Verbesserung der Sicherheit und eine Reduktion von Radfahrenden auf Gehwegen. Die Ergebnisse bieten eine Grundlage für Regelwerksanpassungen und weiterführende Testfelder.

Schlagwörter / Keywords:

Radverkehr, Verkehrssicherheit, einstreifige Kernfahrbahn, Schutzstreifen

1. Ausgangssituation

Der Nationale Radverkehrsplan 3.0 verfolgt das Ziel, den Radverkehrsanteil durch bessere Bedingungen und erhöhte Sicherheit zu steigern. Es sind erhebliche Anstrengungen notwendig, um die auch mit der EU vereinbarten Ziele zur Verkehrssicherheit zu erreichen. Die zunehmende Bedeutung des Radverkehrs erfordert eine angepasste Infrastruktur. Hierzu wurden in der Straßenverkehrsordnung (StVO) 2021 und der Verwaltungsvorschrift (VwV-StVO) wichtige Korrekturen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit im Radverkehr unternommen. Weitere Anpassungen sind im Verfahren. Besonders relevant ist StVO § 5 Absatz 4 Satz 2, der festlegt: „Beim Überholen muss ein ausreichender Seitenabstand zu den anderen Verkehrsteilnehmern eingehalten werden. Beim Überholen mit Kraftfahrzeugen von zu Fuß Gehenden, Radfahrenden und Elektrokraftfahrzeug Führenden beträgt der ausreichende Seitenabstand innerorts mindestens 1,5m und außerorts mindestens 2m.“

Neben klassischen Fahrrädern beanspruchen Fahrzeugarten wie Pedelecs, Lastenräder und E-Scooter die Verkehrsflächen. Da Radfahrende zudem beim subjektiven Empfinden von unsicherer Infrastruktur häufig auf Gehwege ausweichen, führt dies immer

wieder zu Konflikten mit Zufußgehenden. Insbesondere Fahrbahnbreiten zwischen 6,0 und 8,0 m stellen eine Herausforderung dar, da hier die Interessen von Radfahrenden, Kfz-Verkehr und zu Fuß Gehenden häufig im Konflikt stehen. Unklar ist, ob auch hier Schutzstreifen auf der Fahrbahn eine Lösung wären, um die Sicherheit zwischen Kfz-Verkehr und Radverkehr zu erhöhen und sich zugleich die Konflikte mit dem Fußverkehr verringern, wenn weniger Radfahrende auf Gehwege ausweichen. Allerdings reichen Fahrbahnbreiten bis 7,50 m (wenn Dooring-Zonen benötigt werden bis etwa 8,50 m) nicht aus, um entsprechend der geltenden Rechtslage Schutzstreifen zu markieren.

In der VwV-StVO heißt es in § 2, Absatz 4, Satz 2 zu Schutzstreifen: „...Er darf nur innerhalb geschlossener Ortschaften auf Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h markiert werden und nur, wenn die Verkehrszusammensetzung eine Mitbenutzung des Schutzstreifens durch den Kraftfahrzeugverkehr nur in seltenen Fällen erfordert. Er muss so breit sein, dass er einschließlich des Sicherheitsraumes einen hinreichenden Bewegungsraum für den Radverkehr bietet. Befindet sich rechts von dem Schutzstreifen ein Seitenstreifen, kommt ein Schutzstreifen in der Regel nicht in Betracht, es sei denn, es wird ein zusätzlicher

Sicherheitsraum zum ruhenden Verkehr geschaffen. Der abzüglich Schutzstreifen verbleibende Fahrbahnteil muss so breit sein, dass sich zwei Personenkraftwagen gefahrlos begegnen können.“

Erhebungen zeigen jedoch, dass die aktuelle Regelung zur Markierung von Schutzstreifen nicht das Verkehrsverhalten widerspiegelt. Häufig werden Schutzstreifen von Kfz auch außerhalb von Begegnungssituationen mitgenutzt. Zudem werden Schutzstreifen beim Vorbeifahren an Radfahrenden oftmals als Leitlinie missverstanden, wodurch der notwendige Sicherheitsabstand von 1,50 m unterschritten wird. Eine Verbreiterung der Kernfahrbahn ist keine zielführende Lösung, da dann auch bei größeren Fahrzeugen die Sicherheitsräume zwischen Kfz und Radfahrenden problematisch bleiben. Bei einer Kernfahrbahnbreite von 4,50 m bleiben diese Fahrzeuge im Begegnungsfall hinter den Radfahrenden.

Das niederländische Regelwerk enthält Optionen für einstreifige Kernfahrbahnen. In diesem Modell müssen Kfz bei Begegnung die Schutzstreifen überfahren und so in den Raum des Radverkehrs ausweichen. Dieser Ansatz hat sich vielfach bewährt und wird seit 2016 im Design Manual for Bicycle Traffic der Niederlande (CROW) bis zu einer Verkehrsbelastung von 6.000 Kfz pro Tag vorgesehen.

In Deutschland fehlen bisher Erkenntnisse zur Wirkung einstreifiger Kernfahrbahnen mit Schutzstreifen. Aufgrund eines notwendigen Netzschlusses für den Radverkehr und fehlender baulicher Optionen hat die Stadt Heusenstamm in 2022 initiiert durch die Hochschule Darmstadt die niederländischen Ansätze aufgegriffen und die Rahmenbedingungen für einen Verkehrsversuch geschaffen. Zwischen November 2023 und Oktober 2024 wurde eine 6,00 m breite Fahrbahn (mit 4.000 Kfz/24h und 300 Radfahrenden/24h) entsprechend dem niederländischen Regelwerk mit einstreifiger Kernfahrbahn (3,0 m) und beidseitigen Schutzstreifen (je 1,5 m) aufgeteilt.

2. Methodik

Zunächst wurde der Verkehrsversuch in den parlamentarischen Gremien erläutert, am Ende stand ein breites positives Votum der Stadtverordnetenversammlung für die Umsetzung. Vor der Durchführung fand im September 2023 ein Workshop vor Ort statt (Abbildung 1), um die interessierte Bürgerschaft über den Verkehrsversuch zu informieren. Dabei wurden rechtliche und planerische Hintergründe erläutert. Die künftige Aufteilung war beispielhaft auf die Fahrbahn gesprüht. So konnten die Perspektiven von Anwohnenden und Nutzenden in die Planung

einfließen und Ängste vor der neuen Gestaltung genommen werden. Zugleich wurde ein gemeinsames Verständnis für die Ziele des Verkehrsversuchs gefördert.



Abbildung 1: Beteiligung und Information zum Verkehrsversuch im September 2023, Stadt Heusenstamm

Für die vorgeschlagenen Maßnahmen wurde ein Verkehrsversuch gemäß StVO § 45 Abs. 1 Satz 2 Nummer 6 beantragt. Nach Zustimmung durch Polizei, Kreis Offenbach und Regierungspräsidium Darmstadt wurde der Verkehrsversuch für ein Jahr genehmigt. Zum Start am 01. November 2023 informierte die Stadt Heusenstamm über homepage, soziale Medien und Printmedien über Hintergründe und motivierte zur Beteiligung und zum Testen. Mit Bannern am Anfang und Ende der Versuchsstrecke wurde der Verkehrsversuch zusätzlich erklärt.

Vor der Einführung des Verkehrsversuchs wurden die Verkehrsstärke und -zusammensetzung, Geschwindigkeiten sowie das Verhalten von Kfz und Radfahrenden erfasst. Die Videoaufnahmen wurden an den gleichen Standorten in vier Wochen zwischen Februar und September 2024 über jeweils drei Tage von 06 – 19 Uhr, auch an Samstagen, durchgeführt.

Zwischenstände wurden im FGSV-Gremium AA39 „Verkehrssicherheitsmanagement“ vorgestellt und diskutiert. Hierdurch kam es zum intensiven Austausch mit Fachleuten aus verschiedenen Institutionen. Durch weitere Vorträge (z.B. Sicherheitssymposium in Darmstadt, 17.09.2024, Fachausstellung zum Deutschen Straßen- und Verkehrskongress, 2024 in Bonn) wurde das Meinungsbild erweitert und gefestigt. Schließlich wurde auch der Austausch mit der Abteilung „Ordnung des Straßenverkehrs“ (StV12) im BMDV gesucht, um die positiven Erfahrungen weiterzugeben und Optionen für das weitere Vorgehen auszuloten. Die Erkenntnisse aus dem Verkehrsversuch sollten grundsätzlich durch weitere Testfelder vertieft werden. Hierzu wurde und wird um Kommunen geworben.

3. Stand der Forschung

Ein Fokus zur Gestaltung von Straßenquerschnitten für den Radverkehr in Deutschland lag zuletzt auf der Führung im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen. In der Untersuchung „Akzeptanz und Verkehrssicherheit des Radverkehrs im Mischverkehr auf Hauptverkehrsstraßen“ (Niestegge, Schüller (BAST 2023)) wurden für eine Stichprobe von rund 150 Untersuchungsstellen im Ergebnis die Akzeptanz der Mischverkehrsführung, die Auffälligkeiten im Unfallgeschehen und die Verhaltensweisen der Radfahrenden und Kfz-Führenden herausgearbeitet.

Ein zentrales Ergebnis der Analysen ist, dass es kaum belastbare Unterschiede zwischen den Streckentypen gibt. Die häufigsten Unfallsituationen bei Mischverkehrsführungen ohne Schutzstreifen auf der freien Strecke sind Unfälle mit ruhendem Verkehr und dabei vor allem die Dooring-Unfälle. Eine Vermutung ist, dass Radfahrende bei Mischverkehrsführungen in den hier untersuchten engeren Fahrbahnen mit (zu) geringen seitlichen Abständen an den parkenden Fahrzeugen vorbeifahren. (BAST 2023)

aus den Niederlanden, weisen auf positive Effekte einstreifiger Kernfahrbahnen mit Schutzstreifen hinsichtlich Verkehrssicherheit und Akzeptanz hin. Bei Fahrbahnbreiten von 5,80 m bis 8,40 m werden Schutzstreifen von 1,70 m bis 2,20 m beidseitig markiert, wodurch für die Kernfahrbahn 2,20 m bis 3,80 m verbleiben. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 30 km/h. Die Praxiserfahrung zeigt, dass dort das Überholen von Radfahrenden durch Kfz bei gleichzeitiger Begegnung zweier Kfz nur sehr selten vorkommt. Die Vermutung liegt nahe, dass durch die Schutzstreifen in Verbindung mit der einstreifigen Kernfahrbahn die Verkehrsräume der Radfahrenden für Kfz-Fahrende klarer sind und besser akzeptiert werden.

Verkehrsversuche aus der Schweiz (2019 – 2022) (Tabelle 1) und Frankreich (2014 – 2021) bestätigen die Ergebnisse. Die Teststrecken zeigen durchweg positive Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und Akzeptanz, sodass die Markierungen beibehalten wurden.

Tabelle 1: Übersicht von Verkehrsversuchen mit einstreifiger Kernfahrbahn in der Schweiz

Lage	Länge [m]	Geschwindigkeit	Querschnitt	DTV [Kfz/24h]	DTV [Rad/24h]
Uster (2021/22) Brandstraße	300	50 km/h	6,00 m	1.800	380
Hergiswil (2019/20) Seestraße	1.000 + 800 Verlängerung	50 km/h	6,50 m	7.900	700
Sachseln (2021/22) Brünigstrasse	2.000 (Ortskern ausgenommen)	50 km/h	7,00 m	6.700 – 11.200	k.A.

Die begleitenden Befragungen zeigten, dass sich die Gehwegnutzung durch Radfahrende zu 60% daraus herleitet, dass die Fahrbahn beispielsweise durch hohe Kfz-Verkehrsstärken, durch ruhenden Verkehr oder enge Querschnitte, als unsicher erachtet wird. Als wichtigste Beweggründe für die Fahrbahnnutzung wurden die Regelung einer solchen Führungsform, zu viele Zuzußgehende oder zu schmale Gehwege festgestellt. Nur wenige befragte Kfz-Fahrende fühlten sich durch Radfahrende gestört. Jede zweite Kfz-führende Person gab jedoch an, dass Radfahrende bei beengten Verhältnissen auf dem Gehweg fahren sollen. Dies wird u.a. mit der Behinderung des Verkehrsablaufs beispielsweise durch langsamere Radfahrende und beengte Platzverhältnisse begründet. (BAST 2023)

Vor diesem Hintergrund bieten Schutzstreifen mit einstreifiger Kernfahrbahn möglicherweise eine Option, Verkehrsräume innerorts neu zu organisieren und mehr Verständnis zwischen Kfz- und Radverkehr zu erreichen. Langjährige Erfahrungen, insbesondere

In Baden-Württemberg wurde von 2019 bis 2021 im Auftrag der AGFK-BW und mit Förderung des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg an 39 Pilotstrecken untersucht, ob und unter welchen Einsatzbedingungen (Verkehrsbelastung, Straßenbreiten, Längsneigung etc.) der Einsatz von Schutzstreifen innerorts mit schmaler Kernfahrbahn sowie außerorts empfohlen werden kann. Die Abschlussberichte des Modellprojekts zeigen, dass Schutzstreifen inner- und außerorts mit schmalen Kernfahrbahnen ein sinnvolles Instrument sein können, um Lücken im Radnetz schnell zu schließen. (<https://www.aktivmobil-bw.de/radverkehr/infrastruktur/modellprojekt-schutzstreifen>, 06.01.2025)

Im Fokus innerorts standen beidseitige Schutzstreifen auf Straßen mit schmaler Kernfahrbahn sowie einseitige Schutzstreifen auf Abschnitten mit Längsneigung. Es wurden 14 Beispiele für beidseitige Schutzstreifen und schmaler Kernfahrbahn sowie vier einseitige Schutzstreifen vorher und nachher untersucht. Fahrbahnbreiten von 5,65 m bis 7,50 m mit

Verkehrslastungen zwischen 2.300 und 13.900 Kfz/24h wurden einbezogen. Fragestellungen waren, unter welchen Einsatzbedingungen die Markierung von Schutzstreifen mit schmaler Kernfahrbahn zu empfehlen ist und welche Breiten für die Markierung von Schutzstreifen im Verhältnis zur Kernfahrbahn unter verschiedenen Einsatzbedingungen geeignet sind. Zu diesem Zweck wurden der Einfluss auf den Radverkehr und die Fahrbahnnutzung gegenüber dem Seitenraum untersucht. Intensiv wurden die Interaktionen der Radfahrenden mit anderen Verkehrsteilnehmenden insbesondere bei Überholvorgängen analysiert. Die Ergebnisse zeigen signifikante Zunahmen des Radverkehrsaufkommens und die Nutzung des Seitenraums nahm zugunsten der Fahrbahn ab. Darüber hinaus zeigt sich, dass Radfahrende selbstbewusster weniger nah am Straßenrand fuhren. Ohne Radverkehr wurden Schutzstreifen häufig vom Kfz-Verkehr überfahren. Der Anteil der Überholvorgänge nahm tendenziell ab, es gab kaum konflikthafte Interaktionen. Das Land Baden-Württemberg hat aufgrund dieser positiven Ergebnisse den Einsatz von Schutzstreifen mit schmalen Kernfahrbahnen und einseitigen Schutzstreifen innerorts mit Erlass vom 20.12.2023 für definierte Einsatzfälle ermöglicht (https://www.aktivmobil-bw.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Erlass_Schutzstreifen_mit_schmale_Kernfahrbahn_innerorts_anonymisiert.pdf).

4. Verkehrsversuch Industriestraße Heusenstamm

Die Industriestraße in Heusenstamm (ca. 19.400 E) ist eine zentrale West-Ost-Verbindung im städtischen Radverkehrsnetz. In unmittelbarer Umgebung befinden sich Wohngebiete, Gewerbebetriebe und Einrichtungen des täglichen Bedarfs. Die Straße wird sowohl vom Fuß-, Rad- und Kfz-Verkehr als auch von Lieferverkehr und Linienbussen genutzt. Historisch ist der Radverkehr im Seitenraum bordsteingeführt mit einem etwa 1,20 bis 1,50 m breiten Radweg neben einem gleich breiten Gehweg. Nach aktuellen Regelwerken ist die Ausweisung als Radweg nicht mehr zulässig, weshalb dieser in einen Gehweg mit Freigabe für den Radverkehr („Gehweg/Radverkehr frei“ gemäß Zusatzzeichen 1022-10 StVO) umgewandelt wurde.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf der Industriestraße führt dazu, dass der Radverkehr in den meisten Fällen den Seitenraum gemeinsam mit dem Fußverkehr nutzt. Eine farblich getrennte Pflasterung unterstützt dieses Verhalten (Abbildung 2). Die Schrittgeschwindigkeit wird nicht beachtet und die Gehwege immer wieder auch in Gegenrichtung befahren.



Abbildung 2: Industriestraße vor der Markierung der Schutzstreifen auf der Fahrbahn

Um die Verkehrssicherheit für den Rad- und Fußverkehr zu erhöhen, wurde mit der Fortschreibung des Radverkehrskonzepts eine sichere, möglichst attraktive und durchgängige Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn entwickelt. Aufgrund der variierenden Fahrbahnbreiten zwischen 6,0 und 9,0 m mussten für die Fahrbahnführung des Radverkehrs unterschiedliche Lösungsansätze zusammengeführt werden. Bauliche Anpassungen waren kurzfristig zwischen den Fahrbahnrandern nicht möglich.

Im nördlichen 500 m langen Abschnitt der Industriestraße hat die Stadt Heusenstamm in 2022 auf Vorschlag der Hochschule Darmstadt die niederländischen Ansätze aufgegriffen und die Rahmenbedingungen für einen Verkehrsversuch geschaffen. Hier reduziert sich die verbleibende Kernfahrbahnbreite auf 3,0 m mit beiderseits anschließenden 1,50 m breiten Schutzstreifen (Abbildung 3). Der Kfz-Verkehr nutzt im Begegnungsfall den Schutzstreifen mit. Dadurch soll eine gleichzeitige Begegnung von Kfz bei Radverkehr vermieden werden und so der notwendige Sicherheitsabstand von 1,50 m zu Radfahrenden eingehalten werden (Abbildung 4). Die Rahmenbedingungen in Heusenstamm (4.000 Kfz/24h und 300 Rad/24h) sind mit dem niederländischen Regelwerk vergleichbar. Entsprechend wurde auch die zulässige Geschwindigkeit auf 30 km/h reduziert. Zusätzlich wurden die bestehenden Senkrechtparkplätze in Längsparkplätze umgewandelt, um einen Sicherheitsabstand zwischen ruhendem Verkehr und Radverkehr zu schaffen.



Abbildung 3: Industriestraße mit beidseitigen Schutzstreifen und einstreifiger Kernfahrbahn sowie Rotmarkierung an Knotenpunkten



Abbildung 4: Industriestraße mit beidseitigen Schutzstreifen und einstreifiger Kernfahrbahn im Bereich der Bushaltestelle

Zur Begleitung und Evaluation des Verkehrsversuchs wurden qualitative und quantitative Ansätze kombiniert, um Auswirkungen auf Verkehrsfluss, Verhalten der Verkehrsteilnehmenden und Verkehrssicherheit zu analysieren. Neben der kamerabasierten Interaktionsanalyse wurden Seitenradare zur Geschwindigkeitsmessung eingesetzt. Besondere Aufmerksamkeit galt der Identifikation kritischer Fahrmanöver im Begegnungsfall und beim Überholen von Radfahrenden wie Abstandsverhalten, abruptes Bremsen oder Ausweichbewegungen. Ergänzend wurden Erkennbarkeit und Verständlichkeit der Fahrbahnmarkierungen sowie deren Einfluss auf das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden aus qualitativen Befragungen evaluiert.

5. Evaluation „Einstreifige Kernfahrbahn mit Schutzstreifen“

Verkehrssicherheit

Der Vergleich des Unfallgeschehens in der Industriestraße vor und nach der Markierung von Schutzstreifen zeigt eine tendenzielle Verbesserung. Im Jahr 2023 wurden im Abschnitt des Verkehrsversuchs keine Unfälle mit Personenschaden verzeichnet. Auch für 2024 sind bislang keine polizeilich aufgenommenen Unfälle mit Bezug zum Verkehrsversuch bekannt. Im Vergleich hierzu ereigneten sich im Jahr 2022 vier Unfälle im Bereich des Verkehrsversuchs. Diese Tendenz ist über eine dreijährige Vorher-Nachher-Betrachtung zu validieren.

Kameraerhebung

Vor der Einführung des Verkehrsversuchs im März 2023 wurde das Verkehrsgeschehen mittels Videoaufnahmen dokumentiert. Dabei wurden Verkehrsstärke und -zusammensetzung sowie das Verhalten von Kfz und Radfahrenden erfasst. Die Erhebung erfolgte an drei aufeinanderfolgenden Tagen zwischen 06:00 und 19:00 Uhr (Tabelle 2).

Nach der Umsetzung des Verkehrsversuchs wurden Videoaufnahmen an den gleichen Standorten für einen Vorher-Nachher-Vergleich durchgeführt. Wegen des Einkaufsumfeldes wurde auch der Samstag einbezogen. Die Erhebungen fanden bei unterschiedlicher Witterung statt.

Tabelle 2: Übersicht der Erhebungszeiträume der Videoaufnahmen

KW (Jahr)	Erhebungszeitraum
12 (2023)	21. – 23. März 2023 (Vorher)
45 (2023)	07. – 09. November 2023
08 (2024)	20. – 22. Februar 2024
18 (2024)	30. – 04. Mai 2024
23 (2024)	04. – 08. Juni 2024
28 (2024)	09. – 13. Juli 2024
37 (2024)	10. – 14. September 2024

Der Schwerpunkt der Auswertung lag auf dem Verkehrsverhalten der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmenden sowie der Nutzung der vorhandenen Verkehrsflächen. Zusätzlich wurden die Verkehrsmengen sowohl des motorisierten Verkehrs als auch des Radverkehrs erfasst. Die im Rahmen der Analyse festgestellten Auffälligkeiten wurden systematisch kategorisiert, um spezifische Muster und potenzielle Problemfelder zu identifizieren. Nachfolgend sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengestellt.

Die Analyse der Verkehrsdaten während der Erhebungszeiträume deutet darauf hin, dass eine Eingewöhnungsphase stattgefunden hat. Zu Beginn des Verkehrsversuchs benötigten die Verkehrsteilnehmenden Zeit, um sich an die veränderten Bedingungen der Straßenführung anzupassen. Die "Sicherheit durch Unsicherheit" förderte in dieser Phase eine erhöhte gegenseitige Rücksichtnahme.

Insbesondere recherchiert wurden Begegnungssituationen, die regelkonform nicht möglich sind, wie die gleichzeitige Interaktion von Radfahrenden mit

sich begegnenden Kfz. Insgesamt wurden nur sehr wenige Konfliktsituationen nach der Markierung der Schutzstreifen erhoben. Der kritische Begegnungsfall Rad – Kfz – Kfz trat über den Erhebungszeitraum von vier Monaten (12 Tage) nur 2-mal auf.

Erkenntnisse Kfz-Verkehr

Fahrzeuge, die mittig auf der Kernfahrbahn fuhren oder den gegenüberliegenden Schutzstreifen während eines Überholvorgangs nutzten, wurden mit der Dauer des Verkehrsversuchs häufiger. Zu Tageszeiten mit geringerer Verkehrsdichte fuhren Kfz häufiger mittig auf der Kernfahrbahn. Die Fahrzeugführenden richteten ihre Fahrlinie an vorausfahrenden Fahrzeugen aus, d.h. befahren vorausfahrende Fahrzeuge die Kernfahrbahn mittig, orientieren sich nachfolgende Fahrzeuge ebenfalls in der Mitte.

Die Begegnung der Linienbusse war ohne Auffälligkeiten.

Die Schutzstreifen in Fahrtrichtung Norden wurden aufgrund der leichten Kurvenführung häufiger von Kfz überfahren als in Südrichtung.

Während der Erhebungszeiträume standen ausreichend freie Parkplätze zur Verfügung. Ein- und Ausparkvorgänge traten nur selten auf und brachten keine Konflikte mit dem Radverkehr. Ggf. sollten für das Liefern/ Laden klare Bereiche definiert werden.

Die Begrenzung der Geschwindigkeit auf 30 km/h bringt ein besseres Miteinander von Kfz-Verkehr und Radverkehr. Kfz bleiben im Zweifel hinter den Radfahrenden.

Die Analyse des Abstandsverhaltens zwischen Kraftfahrzeugen und Radfahrenden auf der Fahrbahn zeigt im Verlauf des Verkehrsversuchs eine signifikante Verbesserung. Der Anteil der Radfahrenden, die im Untersuchungsbereich nicht vom Kfz-Verkehr überholt wurden, stieg von 47 % auf 70 %. Dieses Ergebnis ist besonders vielversprechend, da im Begegnungsfall zweier Kfz der Radverkehr sehr selten überholt wird. Dies trägt zur Verbesserung der Sicherheitsabstände bei und erhöht somit die Verkehrssicherheit für Radfahrende.

Erkenntnisse Radverkehr und E-Scooter

Vor der Einführung des Verkehrsversuchs nutzten etwa 90% der Radfahrenden den für den Radverkehr frei gegebenen Gehweg. Mit der Einrichtung des Verkehrsversuchs fuhren direkt etwa 60% der Radfahrenden auf den Schutzstreifen der Fahrbahn, gegen Ende nutzten etwa 85% der Radfahrenden die markierten Schutzstreifen auf der Fahrbahn. Nur vereinzelt fahren Radfahrende entgegen der Fahrtrichtung im Seitenraum. Durch die vermehrte Nutzung der Schutzstreifen auf der Fahrbahn nimmt die Anzahl an Fahrenden im Seitenraum entgegen der Fahrtrichtung ab. Auf dem Gehweg fuhren in erster Linie Kin-

der (vermutlich bis 10 Jahre), manchmal in Begleitung eines Elternteils. Obwohl E-Scooter die Fahrbahn oder Schutzstreifen nutzen müssen, befuhren täglich bis zu 15 Nutzende den Gehweg im Seitenraum.

Verkehrsbelastungen

Die Kfz-Verkehrsmenge ist im Vorher-Nachher-Vergleich des Verkehrsversuchs leicht um etwa 500 Fahrzeuge innerhalb eines 13-Stunden-Zeitraums zurückgegangen. Es bleibt unklar, ob dieser Rückgang auf die Nutzung alternativer Routen oder auf einen Wechsel des Verkehrsmittels zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu konnte ein Anstieg der Radfahrenden um durchschnittlich 21% (56 Räder/13 Stunden) beobachtet werden.

Fußverkehr

Im Gehwegbereich gab es keine Behinderungen durch Radfahrende. Kritische Situationen für den Fußverkehr wurden nicht erhoben. Die Gehwege stehen wieder nahezu uneingeschränkt für schutzbedürftige und mobilitätseingeschränkte Personen zur Verfügung. Die Auswertungen der Videodaten zeigen einen veränderten Bedarf an Querungen vermutlich durch die neue Anordnung der Parkstände sowie günstigere Sichtverhältnisse.

6. Fazit und Ausblick

Die Evaluierung des einjährigen Verkehrsversuchs zeigt vielversprechende Ergebnisse, die dafürsprechen, vergleichbare Markierungslösungen auch in weiteren deutschen Kommunen zu erproben. Die veränderte Querschnittsaufteilung verursachte keine signifikanten Veränderungen im Verkehrsfluss für den Kfz-Verkehr. Die Anzahl der Kfz ist zudem leicht rückläufig.

Durch die Verdeutlichung der Verkehrsräume für den Radverkehr verringern sich die Konflikte. Sie tragen zu einem verbesserten Überholverhalten des Kfz-Verkehrs bei. Dabei werden die Schutzstreifen, nach einer Eingewöhnungszeit auch der jeweils gegenüberliegenden Schutzstreifen, regelmäßig bei Kfz-Begegnungen genutzt, was zu größeren Überholabständen gegenüber Radfahrenden führt.

Die Anzahl der Radfahrenden ist gestiegen, was den Zielen des Nationalen Radverkehrsplans (NRVP) entspricht. Neben der objektiven Sicherheit steigt auch das subjektive Sicherheitsgefühl und fördert die Nutzung der Fahrbahn durch Radfahrende.

Die Verlagerung des Radverkehrs auf die Fahrbahn macht die Wege zu Fuß sicherer und komfortabler. Schutzbedürftige Personen profitieren von der verringerten Gefährdung durch zu schnelle Radfahrende. Konflikte zwischen Fuß- und Radverkehr im Seitenraum wurden nicht mehr beobachtet.

Der gelungene einjährige Verkehrsversuch liefert eine vielversprechende Grundlage für Testfelder in weiteren Kommunen. Die veränderte Aufteilung des Fahrbahnbereichs mit einer einstreifigen Kernfahrbahn als zentralem Merkmal könnte die bestehende Lücke zwischen der Führung des Radverkehrs im Mischverkehr ohne Markierung und der Nutzung von markierten Schutzstreifen schließen. Sie scheinen eine praktikable Lösung bei Fahrbahnbreiten zwischen 6,0 und 8,0 m und können damit zusätzlich helfen, die Attraktivität des Radfahrens zu steigern.

Die aus dem Verkehrsversuch gewonnenen Erkenntnisse liefern eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen zur Alltagstauglichkeit. Eine Verlängerung des Verkehrsversuchs ab dem 1. November 2024 über weitere zwei Jahre wurde inzwischen genehmigt, um die gewonnenen Erkenntnisse zu vertiefen und eine langfristige Evaluation zu ermöglichen. Neben der Verkehrssicherheit ist die weitere Entwicklung der Akzeptanz im Miteinander vom Kfz- und Radverkehr im Alltag zu analysieren. Von besonderem Interesse ist, inwieweit die umgestalteten Verkehrsanlagen ohne explizite Kennzeichnung als dauerhaft akzeptiert und in das tägliche Verkehrsgeschehen integriert werden. Die Verlängerung bietet die Möglichkeit, die langfristigen Auswirkungen auf Verkehrsfluss, Verkehrssicherheit und die Akzeptanz der Maßnahmen zu erfassen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen eine Grundlage für fundierte Empfehlungen zur Übertragung der Maßnahmen auf andere Streckenzüge mit unterschiedlichen Verkehrsbelastungen und Verkehrszusammensetzung bieten.

Da das Vorhaben einen wichtigen Beitrag zu den aktuellen Herausforderungen zum Wandel der Mobilität im Stadtverkehr und den Zielen des Nationalen Radverkehrsplans (NRVP) mit Förderung sicherer und attraktiver Radverkehrsinfrastrukturen leistet, sollten zudem Testfelder in weiteren Kommunen mit Straßenquerschnitten zwischen 6,0 und 8,0 m angegangen werden. Zu prüfen sind beispielsweise die Auswirkungen höherer Belastungen im Kfz- und Radverkehr sowie des Lkw-Anteils. Auch die Einflüsse einer höheren Parkplatznachfrage sowie von Liefer- und Ladezonen sind zu ermitteln.

Die Ergebnisse des Verkehrsversuchs in Verbindung mit den Erfahrungen aus Baden-Württemberg sprechen dafür, dass es unter bestimmten Randbedingungen sinnvoll sein kann, auch bei schmalen Kernfahrbahnen Schutzstreifen einzurichten. Die bisherige Formulierung in der VwV-StVO sowie den einschlägigen technischen Regelwerken (RASt 2006, Kapitel 6.1.7.3, Seite 83; ERA, Kapitel 3.2, Seite 23), dass

für die Einrichtung von Schutzstreifen eine Kernfahrbahnbreite verbleiben muss, bei der sich zwei Pkw begegnen können, ist eher widersprüchlich in Verbindung mit den einzuhaltenden Sicherheitsabständen zwischen Kfz- und Radverkehr. Für die Fortschreibung der StVO wurde daher durch das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum eine veränderte Formulierung angestoßen. Die vorgesehenen Streichungen im aktuellen Entwurfsstand zur Änderung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (17.12.2024) sollen es ermöglichen, die Vorgaben der technischen Regelwerke entsprechend dem Stand der verkehrswissenschaftlichen Erkenntnisse weiter zu entwickeln.

Literatur

Arbeitsgemeinschaft Fahrrad- und Fußgängerfreundlicher Kommunen (AGFK-BW) (2022)

Modellvorhaben zum Einsatz von Schutzstreifen außerhalb und Modellvorhaben zum Einsatz von Schutzstreifen mit schmalen Kernfahrbahnen und einseitigen Schutzstreifen innerorts.

<https://www.agfk-bw.de/angebote/details/modellprojekt-schutzstreifen-4715> (06.02.2025)

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) (2022)

Nationaler Radverkehrsplan 3.0, Berlin.

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/nationaler-radverkehrsplan-3-0.pdf?__blob=publicationFile (06.02.2025)

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

Straßenverkehrsordnung, 06. März 2013 (BGBl. | S.367), zuletzt geändert durch Artikel 13 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. | S. 3091).

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO), 26. Januar 2001 in der Fassung vom 08. November 2021 (BAnz AT 15.11.2021 B1).

CROW-Fietsberaad (2016)

Design Manual for Bicycle Traffic.

<https://crowplatform.com/product/design-manual-for-bicycle-traffic/> (06.02.2025)

Europäische Kommission Generaldirektion Mobilität und Verkehr (2020)

Nächste Schritte auf dem Weg zur "Vision Null Straßenverkehrstote": EU-Politikrahmen für die Straßenverkehrssicherheit im Zeitraum 2021 bis 2030.

<https://data.europa.eu/doi/10.2832/80948>: Publications Office (06.02.2025)

Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (2010)

Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA). FGSV Verlag, Köln.

Kaulen, Ralf, Reintjes, Mattias, Dudde, Christina (2014)

Gutachten zum Einsatz und zur Wirkung von einseitigen, alternierenden beidseitigen Schutzstreifen auf schmalen Fahrbahnen innerorts.

https://radkompetenz.at/wp-content/uploads/2022/01/SVK-AGFK-BW_Gutachten-Schutzstreifen_Langfassung_Web.pdf (06.02.2025)

Nielsen, Julie (2021)

Testversuch zeigt Erfolg.

<https://www.velojournal.ch/aktuell/nachrichten/detail/testversuch-zeigt-erfolg/> (06.02.2025)

Niestegge, Miriam, Schüller, Hagen et al. (2023)

Akzeptanz und Verkehrssicherheit des Radverkehrs im Mischverkehr auf Hauptstraßen: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bd. V366.

https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2743/file/V366_BF_Final.pdf (06.02.2025)

Oberwalden Kanton (2021)

Start der Kernfahrbahn auf der Brünigstraße in Sachseln

<https://www.ow.ch/archiv/77858> (06.02.2025)

Le Département Seine Sant Denis

Aménagements cyclables sur l'avenue Jean Jaurès / Gabriel Péri (RD25) à Villetaneuse et Pierrefitte-sur-Seine

<https://seinesaintdenis.fr/ecologie-et-amenagement/transports-deplacements/article/amenagements-cyclables-sur-l-avenue-jean-jaures-gabriel-peri-rd25-a> (06.02.2025)

Unterschütz, Philipp (2019)

Mehr Sicherheit für Velofahrer in Hergiswil. Nidwalder Zeitung.

<https://www.nidwaldnerzeitung.ch/zentral-schweiz/nidwalden/mehr-sicherheit-fuer-velofahrer-in-hergiswil-ld.1132643> (06.02.2025)

Autorin

Laura Kehrer
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Hochschule Darmstadt, Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen
Schöffersstraße 3
64295 Darmstadt
Deutschland

E-Mail: laura.kehrer@h-da.de

Von der Angst zur Akzeptanz: Mit Virtueller Realität die subjektive Sicherheit von Radfahrinfrastruktur erfassen und verbessern

Marc Schwarzkopf, Katharina Precht & Angelika C. Bullinger

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

In Deutschland wird Radfahrinfrastruktur selten systematisch auf subjektive Sicherheit evaluiert, sicherheitsrelevante Mängel werden so häufig nicht identifiziert und wiederholt. Diese Studie untersucht den Einsatz von Virtual Reality zur Bewertung der subjektiven Sicherheit im Radverkehr. Die Ergebnisse zeigen, dass VR eine realitätsnahe, intuitive und praktikable Methode zur Evaluation der subjektiven Sicherheit von Radfahrinfrastruktur darstellen kann und wertvolle Erkenntnisse für die Verkehrsplanung und Bürgerbeteiligung liefert.

Schlagwörter / Keywords:

Virtual Reality, Subjektive Sicherheit, Fahrradverkehr, Infrastrukturplanung, Bürgerpartizipation, Extended Reality

1. Subjektive Sicherheit in der Infrastrukturplanung

Die subjektive Sicherheit beschreibt die individuelle Wahrnehmung von Sicherheit im Straßenverkehr, die nicht zwangsläufig mit objektiven Unfallstatistiken übereinstimmen muss (Graser et al., 2016; Winters et al., 2012). Studien zeigen, dass ein subjektives Unsicherheitsgefühl eine erhebliche Hürde für die Nutzung von Fahrradinfrastrukturen darstellt (Schwedes et al., 2021). Sie wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, darunter das Verkehrsaufkommen, Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Verkehrsteilnehmenden sowie die bauliche Gestaltung der Infrastruktur (Schläger et al., 2016), auffällig sind ebenfalls Geschlechtsunterschiede: Frauen empfinden tendenziell ein höheres Unsicherheitsgefühl als Männer (Graystone et al., 2022).

In der Verkehrsplanung wird jedoch häufig übersehen, dass das Erleben der subjektiven Sicherheit nicht allein auf individuelle Wahrnehmungen zurückzuführen ist, sondern ebenfalls strukturelle Ursachen haben kann, etwa unzureichend geschützte Radwege, mangelhafte Beschaffenheit der Fahrbahnfläche oder das Fehlen klarer Trennungen zwischen verschiedenen Verkehrsarten (Graystone et al., 2022).

Werden diese strukturellen Aspekte in der Stadtplanung nicht berücksichtigt, bestehen Sicherheitsdefizite fort und können das Radfahren insbesondere für bestimmte Gruppen unattraktiver machen (Lim et al., 2023). Dennoch spielt das Konzept der subjektiven Sicherheit in der Infrastrukturplanung häufig keine bzw.

eine untergeordnete Rolle (Schwarzkopf et al., 2023). Stadtplanende orientieren sich meist an objektiven Kriterien wie Unfallstatistiken, ohne die subjektiven Wahrnehmungen der Nutzenden systematisch zu erheben oder einzubeziehen. Dies liegt unter anderem an mangelnder Expertise in der Erhebung und Analyse solcher Daten sowie an begrenzten personellen und finanziellen Ressourcen (Schwarzkopf et al., 2023).

Die Folge dieser Vernachlässigung ist, dass Fehler in der Planung und Umsetzung von Fahrradinfrastrukturen nicht erkannt und wiederholt werden. Dies kann dazu führen, dass Radfahrende bestimmte Strecken meiden oder sich trotz objektiver Verkehrssicherheit unsicher fühlen. Ein strukturiertes Vorgehen, angepasst an den Arbeitsalltag der Stadtplanenden, zur Evaluation der subjektiven Sicherheitswahrnehmung könnte helfen, Planungsentscheidungen stärker an den tatsächlichen Bedürfnissen der Radfahrenden auszurichten.

Planende sind sich dieses Problems bewusst und würden Partizipations- und Informationsprozesse frühzeitig, strukturiert und nutzerzentriert gestalten, verfügen jedoch nicht über ausreichende finanzielle Ressourcen, Zeit, Expertise und geeignete Unterstützungsinstrumente (Schwarzkopf et al., 2023). In Deutschland fehlen zudem verbindliche Regelungen, die festlegen, wann und wie Bürgerbeteiligung in der Stadtplanung erfolgen soll (Korbion et al., 2021), eine Evaluationsphase aus Sicht der Nutzenden fehlt komplett. Die Verantwortung zur Einbindung der Bürger:innen liegt bei den Planungsbüros, was dazu führt,

dass das Potenzial bürgergetriebener Entscheidungsfindung selten ausgeschöpft wird. Einen Lösungsansatz sehen Planende in (digitalen) Tools, die sie bei fachfremden Aufgaben anleiten und unterstützen (Schwarzkopf et al., 2023).

Innovative Ansätze wie VR-gestützte Methoden könnten dabei eine wertvolle Unterstützung bieten (Wolf et al., 2020, Schwarzkopf et al. 2022), indem sie es ermöglichen, subjektive Sicherheitsaspekte realitätsnah abzubilden und systematisch sowie niederschwellig zu erfassen. VR wird bereits zunehmend als Instrument zur Verkehrsplanung und Partizipationprozesse genutzt, da es eine immersive, interaktive und risikofreie Umgebung für Experimente bietet (Huemer et al., 2022). Darüber hinaus sind moderne Head-Mounted-Displays (HMD; umgangssprachlich auch VR-Headset) kostengünstig und durch integrierte Recheneinheiten können sie ortsunabhängig und intuitiv eingesetzt werden. Studien zeigen darüber hinaus, dass VR-Umgebungen und 360° Ansichten realitätsnahe Sicherheitsbewertungen ermöglichen (Bogacz et al., 2021). Durch die Nutzung von HMDs können unterschiedliche Infrastrukturgestaltungen getestet werden, ohne sie physisch umzusetzen. Dies bietet die Möglichkeit, Planungsfehler frühzeitig zu identifizieren und zu vermeiden, insbesondere hinsichtlich der subjektiven Sicherheit von Radfahrenden.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld ist die Evaluation der wahrgenommenen Sicherheit von umgesetzten Infrastrukturmaßnahmen. Die Nutzung von HMDs könnte es ermöglichen, umgesetzte Maßnahmen ortsunabhängig und strukturiert zu evaluieren. Gleichzeitig könnten Proband:innen mehrere Infrastrukturmaßnahmen bewerten, ohne diese vorher benutzt zu haben. So könnten innerhalb kürzester Zeit mehrere Infrastrukturmaßnahmen evaluiert werden, was zeitaufwändige Vor-Ort-Befragungen ersetzen könnte. Durch die Integration bzw. Anwendung solcher Methoden könnten Stadtplanende ressourceneffizient und strukturiert fundiertere Entscheidungen sicherheitsförderliche Umsetzungselemente auf Grundlage von Bürger:innen-Befragungen treffen und die Qualität der Fahrradinfrastruktur nachhaltig verbessern.

Bisherige Studien basieren jedoch auf komplexen Visualisierungen oder Simulationen, deren Erstellung aufgrund anspruchsvoller Prozesse, begrenzter Ressourcen und fehlender Fachkenntnisse im Bereich der Planung und Durchführung solcher Untersuchungen nur schwer in den Arbeitsalltag von Stadtplanern integriert werden kann. (Schwarzkopf et al., 2023). Um entsprechende Unterstützungsformate in Planungsprozesse zu verankern bedarf es deshalb niederschwelliger Formate, die Stadtplanende selbstständig

bedienen können und deren Nutzung durch potentielle Proband:innen, unabhängig von Alter, Expertise und individuellen Einschränkungen, einfach ist.

In diesem Beitrag stellen wir den Prototyp einer HMD-unterstützten Methodik (Abbildung 1) vor, die es Planenden ermöglichen soll, ressourceneffizient und niederschwellig Bürger:innen zum Thema subjektive Sicherheit von Radfahrinfrastruktur auf Grundlage statischer, stereoskopischer 360°-Aufnahmen zu befragen. Die hier vorgestellte Studie will erste Antworten auf die Frage geben, ob eine valide Evaluation der subjektiven Sicherheit über statische 360° Aufnahmen via HMDs möglich ist. Der Prototyp wurde auf Grundlage einer zuvor durchgeführten Anforderungserhebung mit $N_A = 10$ Expertinnen aus Bereichen Stadtplanung, Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation erstellt (Schwarzkopf et al., 2023; Schwarzkopf et al., 2024).



Abbildung 1: Nutzerin mit HMD während der Bewertung der wahrgenommenen Sicherheit von Radfahrinfrastruktur, eigene Abbildung

2. Methodik

Die Methodik dieser Studie folgt einem quantitativen, nicht-experimentellen Querschnittsdesign. Dazu wurden zwölf stereoskopische 360°-Aufnahmen einer realen Fahrradstraße (PKW-Verkehr mit Tempo 30 gestattet) erstellt und den Teilnehmenden ($N_1 = 40$) mittels einer in Unity entwickelten Anwendung auf einem HMD präsentiert. Anschließend wurden die Praktikabilität und Einfachheit der Technik sowie die Tauglichkeit des Bildmaterials zur Einschätzung der subjektiven Sicherheit über einen Fragebogen erhoben. Am Ende wurde die subjektiv empfundene Sicherheit mit einer zusätzlichen Fragebogenstichprobe verglichen ($N_2 = 52$). Grundvoraussetzung für die Teilnahme an

beiden Studien war, dass Teilnehmende mindestens einmal pro Monat mit dem Rad fahren.

Für die Studie war es zunächst wichtig, die für Radfahrende relevanten Elemente der untersuchten Fahrradstraße (Gesamtlänge ca. 600 Meter) zu identifizieren, um eine möglichst hohe Repräsentativität der aufgenommenen Bilder zu gewährleisten. Dazu wurden relevante Elemente aus der Literatur (Manton et al., 2016; Lawson et al., 2013; von Stülpnagel, 2022) und den "Empfehlungen für Radverkehrsanlagen" ERA 10 (Alrutz, 2011) extrahiert. Die in den ERA-10 aufgeführten Empfehlungen zur Infrastrukturplanung sollen zur (objektiven) Sicherheit der Radverkehrsinfrastruktur beitragen und sind in einigen Bundesländern die Grundlage für die Planung von Radfahrinfrastruktur. Anschließend wurde eine Begehung der Fahrradstraße mit einer Gruppe von $N_{OR} = 7$ Radfahrer:innen und einer weiteren Gruppe von $N_{OS} = 2$ Stadtplanungsexperten durchgeführt, um wichtige Infrastrukturabschnitte für die wahrgenommene Sicherheit von Radfahrenden zu identifizieren. Die Gesamtheit der identifizierten relevanten Infrastrukturabschnitte wurde dann in einer Fokusgruppe von $N_{OF} = 4$ Expert:innen aus den Bereichen Radverkehrssicherheit und Stadtplanung diskutiert. Auf dieser Grundlage wurden zwölf relevante Infrastrukturabschnitte identifiziert. Für die Datenerhebung wurden stereoskopische 360°-Aufnahmen mit einer Insta 360 Pro 2.0 Kamera angefertigt und über eine PICO 4 Enterprise VR-Brille mit integrierter Recheneinheit präsentiert. Das Anfertigen der zwölf Bilder dauerte 45 Minuten und die Integration in die Anwendung weitere 30 Minuten.

Die HMD-Stichprobe umfasste $N_1 = 40$ Teilnehmende (62,5% weiblich, 72,5% erfahrene bzw. sehr erfahrene Radfahrende; 52,5 % nutzten die Fahrradstraße mindestens einmal pro Woche mit dem Rad) von $M_{1A} = 24,37$ Jahren ($SD_{1A} = 3,75$). Die Rekrutierung erfolgte vor Ort im Mensa-Foyer der TU Chemnitz. Die Teilnahme war freiwillig und erfolgte ohne materielle Anreize. Nach der Betrachtung der virtuellen Umgebung füllten die Probanden einen analogen Fragebogen aus, der unter anderem die wahrgenommene Sicherheit auf Grundlage der dargestellten 360°-Bilder, ihre persönliche Fahrradfahrung sowie die Benutzerfreundlichkeit und Praktikabilität der VR-Technologie auf 6-stufigen Likert-Skalen abfragte, wobei der Wert 6 mit hoher Zustimmung/Sicherheit definiert war. Die Betrachtung der Bilder sowie das Ausfüllen des Fragebogens nahmen ca. acht Minuten in Anspruch.

Abschließend wurden die Werte der wahrgenommenen Sicherheit mit einer zweiten Gruppe verglichen, welche u.a. die wahrgenommene Sicherheit der Fahrradstraße mittels Online-Fragebogen einschätzen musste. Diese Gruppe bestand aus $N_2 = 52$ Teilnehmenden ($M_{2A} = 26,18$ Jahren; $SD_{2A} = 5,39$; 69,23%

weiblich, 78,85% erfahrene bzw. sehr erfahrene Radfahrende; 44,23 % nutzten die Fahrradstraße mindestens einmal pro Woche mit dem Rad) und hatte zur Einschätzung die gleichen Bilder wie Gruppe 1 nur in 2D. Hierbei wurden zwei Perspektiven gezeigt (Front- und Rückansicht) — auf größeren Bildschirmen nebeneinander in voller Displaygröße, auf mobilen Endgeräten untereinander.

3. Ergebnisse

Die durchschnittlich wahrgenommene Sicherheit wurde in der HMD-Gruppe mit $M_{1S} = 4,83$ als hoch eingeschätzt, eine $SD_{1S} = 0,89$ spricht gleichzeitig für eine relativ homogene Einschätzung der wahrgenommenen Sicherheit zwischen den Proband:innen. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Fahrradfahrung der Teilnehmenden aus Gruppe 1 und ihrer subjektiven Sicherheit festgestellt werden ($p = 0.815$). Auffällig war jedoch ein signifikanter Geschlechterunterschied: Männer berichteten eine signifikant höhere subjektive Sicherheit als Frauen ($p = 0.002$).

Die Ergebnisse aus der Fragebogengruppe waren mit einer wahrgenommenen Sicherheit von $M_{2S} = 4,25$ ($SD_{2S} = 1,22$) signifikant geringer ($p = 0,0071$) und inhomogener als die Ergebnisse von Gruppe 1.

Die Eignung der präsentierten Bilder zur Bewertung der wahrgenommenen Sicherheit schätzte die HMD-Gruppe mit $M_{1E} = 4,92$ ($SD_{1E} = 0,83$) signifikant höher ein ($p = 0,001$) als die Fragebogen-Gruppe, welche die 2-dimensionalen Bilder mit $M_{2E} = 3,88$ ($SD_{2E} = 1,05$) bewertete.

Die Einfachheit der Bedienung des HMDs schätzten die Proband:innen als sehr einfach ein ($M_{1U} = 5,77$, $SD_{1U} = 0,50$), die Praxistauglichkeit der verwendeten Technologie zur Einschätzung der wahrgenommenen Sicherheit von Radfahrinfrastruktur wurde mit $M_{1P} = 5,1$ ($SD_{1P} = 0,79$) bewertet.

Von den $n_{1N} = 21$ Teilnehmenden aus der HMD-Gruppe, welche die Fahrradstraße mindestens einmal wöchentlich mit dem Rad nutzten gaben $n_{1NS} = 15$ Personen an, dass die Bilder die Fahrradstraße „sehr gut“ repräsentieren, $n_{1NG} = 6$ erachteten die Repräsentation als „gut“ (die Einschätzung erfolgte nach Schulnoten, andere Noten wurden nicht vergeben). Von den $n_{2N} = 23$ Personen mit regelmäßiger Nutzung aus der Fragebogen Studie gaben $n_{2NS} = 8$ Personen an, dass die Repräsentation der 2D-Bilder sehr gut war, $n_{2G} = 7$ stimmten für gut, $n_{2B} = 6$ für befriedigend und $n_{4A} = 2$ für ausreichend.

Auf die Frage, ob alle sicherheitsrelevanten Elemente auf den Bildern (subjektiv) visuell erfassbar waren, antworteten in der HMD-Gruppe $n_{1WJ} = 36$ Personen (90%) mit „ja“, $n_{1WN} = 2$ mit „nein“ und $n_{1WK} = 2$ mit „weiß nicht“. In der Fragebogengruppe antworteten

$n_{2WJ} = 21$ (40,4%) Personen mit „ja“, $n_{2WN} = 22$ mit „nein“ und $n_{2WK} = 9$ mit „weiß nicht“.

4. Diskussion

Das Ziel dieser Studie war es, das Potenzial von HMDs zur Bewertung subjektiver Faktoren von Radfahrinfrastruktur im Rahmen eines Prototyps zu untersuchen. Im Fokus stand die bislang in Planungsprozessen oft vernachlässigte wahrgenommene Sicherheit und die Frage, ob diese mithilfe statischer 360°-Aufnahmen, die über ein HMD präsentiert werden, zuverlässig erfasst werden kann. Die Ergebnisse liefern keine abschließende Antwort, zeigen jedoch, dass die immersive Darstellung über HMDs als praktikabel und passend wahrgenommen wurde, gerade im Vergleich zu herkömmlichen zweidimensionalen Abbildungen. Zudem gab es signifikante Unterschiede in der Bewertung der subjektiven Sicherheit zwischen den Darstellungsmodalitäten (HMD vs. 2D). Die Einschätzungen innerhalb der HMD-Gruppe waren homogener ($SD_{1S} = 0,89$ vs. $SD_{2S} = 1,22$), was auf eine konsistentere Wahrnehmung hinweist. Besonders auffällig war, dass 90 % der HMD-Nutzenden angaben, alle sicherheitsrelevanten Infrastrukturmerkmale erfassen zu können, während dies in der Fragebogengruppe nur 40,4 % berichteten. Dies deutet darauf hin, dass die HMD-Präsentation eine gesteigerte visuelle Erlebbarkeit der Infrastruktur ermöglicht und eine validere Grundlage zur Bewertung der subjektiven Sicherheit bietet als klassische 2D-Darstellungen. Zudem wurde die HMD-Technologie als intuitiv, einfach bedienbar und praxistauglich bewertet, was eine breite Anwendbarkeit, auch in gesellschaftlich relevanten Beteiligungsprozessen, ermöglicht. Gleichzeitig gaben viele Probanden von sich aus Gründen an, wie sie zu der Bewertung gekommen sind, ohne dass sie explizit aufgefordert wurden. Gleichzeitig war der Aufwand für die Erstellung (45 Minuten) der Bilder, die Implementierung (30 Minuten) und die Studiendurchführung (ca. 8 Minuten) gering.

Jedoch weist die Studie einige Limitationen auf. Die Stichprobe war mit $N_1 = 40$ ($N_2 = 52$) Personen relativ klein und setzte sich vornehmlich aus jungen Erwachsenen zusammen, wodurch die Generalisierbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt sein könnte. Ein weiterer möglicher Einflussfaktor ist die Vertrautheit der Teilnehmenden mit der untersuchten Fahrradstraße, unabhängig von ihrer tatsächlichen Nutzung, da diese ihre subjektive Einschätzung beeinflussen könnte. Zudem könnten individuelle Unterschiede in der Wahrnehmung von VR-Technologie zu unterschiedlichen Immersionseffekten geführt haben. Bei der Auswahl der Bilder wurden zwar verschiedene Gruppen (Radfahrende, Stadtplanende) einbezogen, jedoch kann nicht sichergestellt werden, dass dadurch alle sicherheitsrelevanten Abschnitte der Infrastruktur

vollständig erfasst wurden. Darüber hinaus unterscheidet sich die Darstellung von 2D-Bildern in einem Fragebogen grundlegend von der Präsentation über ein Head-Mounted Display (HMD). In der Fragebogengruppe könnten Bildinformationen durch die Darstellungsmodalität sowie die begrenzte Displaygröße verloren gegangen sein. Zudem wurde eine vergleichsweise moderne Fahrradstraße untersucht, die nur wenige strukturelle Mängel (z. B. Schlaglöcher, fehlende Markierungen) aufweist. Dadurch war die Infrastruktur leicht als sicher bzw. relativ sicher zu identifizieren. Obwohl auf den stereoskopischen, 360°-Aufnahmen PKWs zu sehen waren, teils auch während Überholmanövern, bleibt fraglich, ob statische Bilder die tatsächlichen Auswirkungen solcher Verkehrssituationen auf die wahrgenommene Sicherheit realitätsgetreu abbilden können.

Zukünftige Studien sollten größere und diversere Stichproben nutzen sowie den Einfluss der Immersion stärker berücksichtigen. Gleichzeitig sollte der Vergleich mit Vor-Ort-Befragungen höchste Priorität haben - eine vergleichbare Einschätzung der wahrgenommenen Sicherheit in beiden Gruppen (Real vs. HMD) könnte ein weiterer Indikator für Validität der Bewertung der wahrgenommenen Sicherheit mittels HMD sein. Weitere Untersuchungen könnten sich zudem auf die Erfassung spezifischer infrastruktureller Merkmale konzentrieren, die das subjektive Sicherheitsempfinden beeinflussen.

Sollte sich die Methode der statischen 360°-Abbildungen auf HMDs als valide und zuverlässige Methode zur Bewertung der subjektiven Sicherheit von Radfahrinfrastruktur erweisen, könnte sie einen grundlegenden Wandel in der Planung und Evaluierung von Infrastrukturprojekten herbeiführen. Durch die Integration der subjektiven Wahrnehmung der Nutzer:innen, die bislang häufig nur unzureichend berücksichtigt wurde, könnten Planende wertvolle Einblicke gewinnen und diese gezielt in ihre Entscheidungsprozesse einfließen lassen. Diese Methode würde es ihnen ermöglichen, direkt aus den Erfahrungen der Radfahrenden zu lernen und so Fehler in der Planung frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden. Langfristig könnte dies dazu beitragen, die Gestaltung von Radverkehrsinfrastrukturen sicherer, effizienter und vor allem nutzerzentrierter zu gestalten. Ein solcher Ansatz würde nicht nur die Sicherheit für Radfahrende erhöhen, sondern auch die Zugänglichkeit und die Akzeptanz von Radverkehrsinfrastruktur insgesamt verbessern, indem er die Bedürfnisse und Ängste der Nutzer:innen fundiert adressiert. Die verstärkte Berücksichtigung dieser subjektiven Faktoren könnte somit einen wichtigen Schritt in Richtung einer inklusiveren und nachhaltigeren Stadtplanung darstellen.

Literatur

Alrutz, D., Gündel, D., Busek, S., Vullriede, N., Brünink, N. & Hagemeister, D. (2016): Landeshauptstadt München - Evaluierung Fahrradstraßen - Schlussbericht. <https://muenchenunterwegs.de/content/1104/download/evaluierung-fahrradstrassen-schlussbericht-final.pdf>

Bogacz, M., Hess, S., F. Choudhury, C., Calastri, C., Mushtaq, F., Awais, M., Nazemi, M., van Eggermond, M. & Erath, A. (2021): Cycling in virtual reality: modelling behaviour in an immersive environment. *Transportation letters*, 13(8), 608-622. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1745358>

Graser, A., Aleksa, M., Straub, M., Saleh, P., Wittmann, S. & Lenz, G. (2016). Safety of Urban Cycling: A Study on Perceived and Actual Dangers. In G. Yannis & S. Cohen (Hrsg.), *Traffic Safety* (S. 145–159). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119307853.ch10>

Graystone, M., Mitra, R. & Hess, P. M. (2022): Gendered perceptions of cycling safety and on-street bicycle infrastructure: Bridging the gap. *Transportation Research Part D Transport And Environment*, 105, 103237. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103237>

Huemer, A. K., Rosenboom, L. M., Naujoks, M., & Banach, E. (2022): Testing cycling infrastructure layout in virtual environments: An examination from a bicycle rider's perspective in simulation and online. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 14, 100586. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100586>

Korbion, H., Mantscheff, J., & Vygen, K. (2021): Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI).

Lim, T., Thompson, J., Tian, L. & Beck, B. (2023). A transactional model of stress and coping applied to cyclist subjective experiences. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 96, 155–170. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.05.013>

Manton, R., Rau, H., Fahy, F., Sheahan, J., & Clifford, E. (2016): Using mental mapping to unpack perceived cycling risk. *Accident Analysis & Prevention*, 88, 138-149. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.12.017>

Lawson, A. R., Pakrashi, V., Ghosh, B. & Szeto, W. Y. (2013): Perception of safety of cyclists in Dublin City. *Accident; analysis and prevention*, 50, 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.029>

Schläger, N., Wühl, B., Woywod, T., Fromberg, A., Gwiasda, P., & Niklas, K. (2016): Sicherheitsbewertung von Fahrradstraßen und der Öffnung von Einbahnstraßen (No. 41). <https://rad.sh/wp-content/uploads/2022/03/02-Unfallforschung-der-Versicherer.pdf>

Schwarzkopf, M., Dettmann, A., Heinz, A., Miethe, M., Hoffmann, H. & Bullinger, A.C. (2023): Let's Use VR! A Focus Group Study on Challenges and Opportunities for Citizen Participation in Traffic Planning. *HCI 2023, Part I, LNCS 14048*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35678-0_24

Schwarzkopf, M., Dettmann, A., Hoffmann, H., & Bullinger, A. C. (2024): Immersive urban planning: Infusing virtual reality into citizen participation for amplified engagement and sustainable planning. *HFES, Lübeck*. <https://www.hfes-europe.org/wp-content/uploads/2024/05/Schwarzkopf2024.pdf>

Stülpnagel, R. von & Binnig, N. (2022): How safe do you feel? – A large-scale survey concerning the subjective safety associated with different kinds of cycling lanes. *Accident; analysis and prevention*, 167, 106577. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106577>

Schwedes, O., Wachholz, S., & Friel, D. (2021): Sicherheit ist Ansichtssache. Subjektive Sicherheit: Ein vernachlässigtes Forschungsfeld (No. 2021 (1)). *IVP-Discussion Paper*. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/229189/1/1745157107.pdf>

Winters, M., Babul, S., Becker, H. J. E. H., Brubacher, J. R., Chipman, M., Crompton, P., ... & Teschke, K. (2012): Safe cycling: how do risk perceptions compare with observed risk?. *Canadian journal of public health*, 103, S42-S47. <https://doi.org/10.1007/BF03403834>

Wolf, M., Söbke, H., Wehking, F. (2020): Mixed Reality Media-Enabled Public Participation in Urban Planning. In: Jung, T., tom Dieck, M.C., Rauschnabel, P.A. (eds) *Augmented Reality and Virtual Reality. Progress in IS*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37869-1_11

AutorInnenangaben

Marc Schwarzkopf

Technische Universität Chemnitz
Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement
Clusterleitung Innovationsmanagement

Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz
E-Mail: Marc.Schwarzkopf@mb.tu-chemnitz.de
<https://orcid.org/0009-0006-1041-9827>

Katharina Precht

Technische Universität Chemnitz
Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement

Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz
E-Mail: Katharina.Precht@mb.tu-chemnitz.de

Prof. Angelika C. Bullinger

Technische Universität Chemnitz
Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement
Leiterin der Professur

Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz
E-Mail: angelika.bullinger-hoffmann@mb.tu-chemnitz.de
<https://orcid.org/0000-0003-2111-7147>

Multisensorische Straßenzustandsanalyse mittels Lastenrad - Aus dem Projekt R4R

Mahmoud Laghbani, Stephan Schmidt, Dimitar Iliev

Siehe Autorinnenangaben

Abstract

Die kontinuierliche Überwachung des Straßenzustandes ist für den sicheren, komfortablen und effizienten Betrieb von autonomen Mikromobilen von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen dieser Studie wurde ein Algorithmus zur Straßenzustandsanalyse, auf Basis von Beschleunigungs- und GPS-Daten entwickelt. Der Algorithmus wurde an realen Daten getestet, die mit einem autonomen Lastenfahrrad aufgezeichnet wurden. Die Ergebnisse erlauben den Zustand der befahrenen Straße zu visualisieren und objektiv zu bewerten.

Schlagwörter / Keywords:

Autonomes Mikrofahrrad, ROS2, Vibrations- und Komfortbewertung, Smart City, R4R Projekt

1. Einleitung

Eine umfassende Kenntnis über den Zustand von Straßen und Radwegen ermöglicht es, Fahrsicherheit und Komfort, insbesondere für RadfahrerInnen, sicherzustellen. Beschädigte oder unebene Fahrbahnoberflächen können Unfälle verursachen und mindern den Komfort. Traditionell werden Straßenschäden durch manuelle Begehungen oder mit speziellen Messfahrzeugen erfasst. Diese Verfahren sind jedoch sehr aufwendig, da sie viel Zeit und personelle Ressourcen erfordern (Ahmed et al., 2024). Zudem stoßen konventionelle Messfahrzeuge in engen Gassen oder auf Fahrradwegen an ihre Grenzen, da sie dort gar nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar sind. Hier bietet der Einsatz eines speziell instrumentierten Lastenrads Vorteile: Selbst schmale Wege sind zugänglich, die Messung erfolgt aus Perspektive eines Radfahrenden, und die Akzeptanz eines Fahrrads im Radverkehr ist höher als die eines Autos (Saleh, 2025).

Verschiedene Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass mit instrumentierten Fahrrädern (engl. Instrumented Probe Bikes, IPB) präzise Daten zur Fahrbahnbeschaffenheit gewonnen werden können. So wurden z.B. Fahrräder mit GPS-Empfängern, Beschleunigungssensoren und Kameras eingesetzt, um Vibrationen und Oberflächenprofile von Radwegen aufzuzeichnen (Ahmed et al., 2024; Schnabel et al., 2024).

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr geförderten Projektes R4R (Ready for Smart City Robots) wird der Ansatz verfolgt community-basiert Umgebungsdaten zu sammeln, die für zukünftige Mobilität und Logistik in der Smart City erforderlich sind (Zug, 2022). Exemplarisch erweitert wird diese visionäre Zielstellung durch die Motivation hochautomatisiert fahrende Fahrräder oder Mikroroboter zum Betrieb von Mietfahrradsystemen im ländlichen Raum einzusetzen (Landratsamt Nordsachsen, 2023). Hierzu wurden unterschiedliche Sensorplattformen wie Mikroroboter und Lastenrädern erprobt, um während der Fahrt kontinuierlich Infrastrukturdaten zu erfassen.

Das R4R-Lastenrad soll Referenzdaten für diese Informationen bereitstellen und damit die Frage beantworten, ob unsere Städte bereit für Roboter sind. Neu ist dabei insbesondere der Community-Ansatz, bei dem die Sensorplattform kostengünstig auf Standardfahrrädern montiert werden kann. Damit lässt sich eine großflächige Datenerfassung realisieren, ohne teure Spezialfahrzeuge einsetzen zu müssen.

Dieser multisensorische Ansatz ermöglicht es, unterschiedliche Datentypen – von Erschütterungs- und Lagedaten über visuelle Informationen bis hin zu präzisen Positionsdaten – zu analysieren. Die zentrale Hypothese lautet, dass durch die Fusion mehrerer Sensorquellen der Straßenzustand zuverlässiger und

detaillierter bestimmt werden kann als mit einzelnen Sensoren. Insbesondere im Kontext autonomer Lieferroboter, die im öffentlichen Raum auf Geh- und Radwegen operieren sollen, ist eine lückenlose Kenntnis der Wegbeschaffenheit essenziell: Bildverarbeitungsalgorithmen solcher Roboter benötigen etwa Informationen darüber, ob sie sich auf Asphalt, Kopfsteinpflaster oder Schotter bewegen, da unebene Untergründe die Trajektorienplanung und Stabilität stark beeinflussen (Schmid, 2019). Das R4R-Lastenrad soll Referenzdaten für diese Informationen bereitstellen und damit die Frage beantworten, ob unsere Städte bereit für Roboter sind.

2. Qualität von Radverkehrsanlagen in Deutschland

Neuere Studien betonen, dass die Qualität von Radverkehrsanlagen entscheidend für Komfort und Sicherheit von Radfahrenden ist. Radwege mit baulicher Trennung vom Kfz-Verkehr werden von Nutzen als deutlich sicherer und komfortabler empfunden als solche im Mischverkehr. In einer Umfrage bewerteten 867 Radfahrende einen räumlich getrennten, asphaltierten Radweg als mit Abstand am akzeptabelsten, während Führung direkt auf der Fahrbahn am schlechtesten abschnitt (Merz, 2021).

Auch der ADFC-Fahrradklima-Test 2016 ergab, dass 72 % der Radfahrenden eine Trennung vom Autoverkehr für wichtig oder sehr wichtig halten (Stork et al., 2019). Fehlt eine qualitativ gute Infrastruktur, fühlen sich viele unsicher (Stork et al., 2019) – dies bremst den Umstieg aufs Fahrrad (Bengel, 2022). Objektiv zeigen Untersuchungen, dass schmale oder nur markierte Radfahrstreifen oft zu riskant geringen Überholabständen durch Kfz führen, (Richter et al., 2019), was die Verkehrssicherheit mindert.

Zur Beurteilung der Infrastrukturqualität werden mehrere Kriterien herangezogen, darunter Oberflächenbeschaffenheit, Breite, Sicherheit und Markierungen:

- **Oberfläche:** Eine glatte, ebene und rutschfeste Fahrbahn (bevorzugt Asphalt) erhöht Komfort und Ganzjahresnutzbarkeit (Morelli, 2022). Tatsächlich ist eine hochwertige Oberfläche für fast alle Radfahrenden ein entscheidendes Kriterium bei der Routenwahl (Klein, 2021).
- **Breite:** Ausreichende Breite ermöglicht sicheres Überholen und Nebeneinanderfahren. Moderne Empfehlungen fordern breitere Radwege, um zügiges und komfortables Fahren – auch mit Lastenrädern – zu gewährleisten (Stork et al., 2019).
- **Sicherheit:** Klare Trennung vom Kfz-Verkehr (baulich oder durch Schutzelemente) sowie sichere Kreuzungsgestaltung erhöhen die objektive und subjektive Sicherheit (Merz, 2021).

- **Markierungen:** Deutliche Markierungen (z. B. farbige Radfahrstreifen an Knotenpunkten) verbessern Sichtbarkeit und Orientierung im Verkehr

Aktuelle Entwicklungen in Deutschland – wie der Bau von Radschnellwegen – setzen auf hohe Qualitätsstandards (große Breiten, kreuzungsarme Führungen, Beleuchtung), um Komfort und Sicherheit im Radverkehr weiter zu steigern (Morelli, 2022).

3. Grundlagen

Mechanische Schwingungen treten in nahezu allen mobilen Anwendungen auf und wirken sich dabei nicht nur auf die Strukturmechanik von Fahrzeugen oder Robotern aus, sondern beeinflussen insbesondere das Komfortempfinden des Menschen (Wang et al., 2022). Aus diesem Grund existieren in der Fachliteratur sowie in Normen und Richtlinien (z. B. (ISO 2631-1, 1997), (VDI-2057, 2017), (ISO-8608, 2016)) umfangreiche Vorgaben, wie Schwingungsdaten sowohl messtechnisch zu erfassen als auch hinsichtlich Komfort- und Gesundheitsaspekten auszuwerten sind. Um Straßenzustände an Orten, an denen Unbehagen oder gesundheitliche Probleme auftreten können, angemessen zu bewerten, bedarf es jedoch neben den Beschleunigungsdaten auch zusätzlicher Sensordaten, beispielsweise Punktwolken und Kamerabilder (Maeda et al., 2018).

Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen erläutert, die für den entwickelten Algorithmus zur Straßenzustandsanalyse von Bedeutung sind. Dazu zählen die Frequenzbewertung, die Berechnung von RMS-Werten, die Klassifikation von Komfortstufen, die Bestimmung der Tagesbelastung, Methoden der Peak-Detektion sowie die Synchronisation von Bild- und Punktwolkendaten.

Zu Beginn liegt üblicherweise ein Messsignal $a(t)$ als zeitabhängige Beschleunigung vor (in $\frac{m}{s^2}$). Um einerseits mechanische Frequenzanteile sachgerecht zu berücksichtigen und andererseits das Empfinden des Menschen einzubeziehen, werden Frequenzbewertungsfunktionen eingesetzt.

Nach VDI 2057 und ISO 2631 werden unterschiedliche Frequenzgewichte $W_k(f)$ und $W_d(f)$ verwendet, um die menschliche Empfindlichkeit gegenüber bestimmten Frequenzbereichen in die Bewertung einzubeziehen:

- $W_k(f)$: für die vertikale Schwingung (z-Achse)
- $W_d(f)$: für die horizontale Schwingung (x, y-Achsen)

Zur Bewertung eines pro Achse vorliegenden Zeitsignals $a(t)$ kann entweder eine zeitbereichsbasierte Faltung mit der Impulsantwort des entsprechenden

Filters oder eine Multiplikation im Frequenzraum mittels Fourier-Transformation (FFT) erfolgen. Mathematisch lässt sich dies wie folgt ausdrücken:

$$\hat{A}_w(f) = \hat{A}(f) \cdot W(f)$$

Wobei $\hat{A}(f)$ die Fourier-transformierte des Rohsignals $a(t)$ ist und $W(f)$ die normabhängige Gewichtungsfunktion (z. B. $W_k(f)$ oder $W_d(f)$).

Um stoßartige Schwingungen in Echtzeit zu erfassen, empfiehlt VDI 2057 den Einsatz einer exponentiellen Mittelung anstelle eines festen gleitenden Fensters. Im kontinuierlichen Fall wird hierfür folgende Formel angewendet:

$$a_{w,\tau}(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^t a_w^2(\xi) \exp\left(-\frac{\xi-t}{\tau}\right) d\xi}$$

Hierbei bezeichnet ξ die Integrationsvariable (die Zeit) und τ die Integrationszeitkonstante für die gleitende Mittelung. Zur digitalen Verarbeitung zerlegt man t in Schritte $n \Delta t$ mit Abtastfrequenz $f_s = \frac{1}{\Delta t}$. Daraus ergibt sich der Glättungsparameter:

$$\alpha = \frac{1}{\tau f_s} = \frac{\Delta t}{\tau}$$

Dann lässt sich das Integral in eine rekursive Differenzgleichung überführen, wo man z. B. eine Hilfsvariable

$$y_n = \frac{1}{\tau} \int_0^{n \Delta t} a_w^2(\xi) \exp\left(-\frac{\xi - n \Delta t}{\tau}\right) d\xi$$

diskret approximiert durch:

$$y_n = (1 - \alpha)y_{n-1} + \alpha \cdot a_w^2(n \Delta t)$$

Aus y_n wird dann

$$a_{w,\tau}(n \Delta t) = \sqrt{y_n}$$

So entsteht ein gleitender exponentieller RMS-Wert, der sprunghafte Änderungen zeitnah abbildet.

Um schließlich eine Kennzahl für die Belastung der gesamten Achse zu erhalten, wird (nach ISO/VDI) oft folgender Summenwert gebildet:

$$a_{wv} = \sqrt{(k_x \cdot a_{wx})^2 + (k_y \cdot a_{wy})^2 + (k_z \cdot a_{wz})^2}$$

Wobei a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} die exponentiell geglätteten RMS-Werte in den drei Richtungen sind. Die Faktoren k_x , k_y , k_z können angepasst werden, um verschiedene Empfindlichkeiten zu gewichten. In VDI 2057 ist es für gesundheitliche Bewertungen empfohlen, $k_x = k_y = 1.4$ und $k_z = 1$ zu verwenden. Für reine Komfortuntersuchungen, wie in diesem Beitrag sind $k_x = k_y = k_z = 1$ üblich.

Zur Bewertung kurzzeitiger, stoßartiger Belastungen durch Vibrationen sind in der Schwingungsmesstechnik zwei Herangehensweisen verbreitet. Aus dem zeitabhängigen Schwingungssignal $a_{wv}(t)$ wird zunächst der Betragsmaximalwert

$$\max|a_{wv}(t)|$$

ermittelt. Er gibt den höchsten gemessenen Stoß an – also das Maximum aller Beschleunigungswerte über die Messdauer.

Neben dem einen globalen Maximum kann man auch alle lokalen Maxima erfassen, sofern sie einen bestimmten Schwellwert S überschreiten. In realen Fahrsituationen zeigen sich oft mehrere starke Erschütterungen an verschiedenen Stellen der Straße:

- Schlaglöcher, Querrillen, Bordsteinkanten oder Bodenschwellen können zu wiederholten Peaks im Signal führen.
- Über die Anzahl dieser Peaks und deren Abstand voneinander lässt sich abschätzen, wie „ruppig“ oder „uneben“ ein Streckenabschnitt ausfällt.

Die Kombination der Vibrationsdaten mit visuellen und geometrischen Informationen (Kamerabilder, Punktwolken) ermöglicht eine präzise Lokalisierung und Dokumentation von Straßenschäden sowie weiteren Ursachen von Komforteinbußen.

Stoßereignisse wirken sich unmittelbar auf das Komfortempfinden und potenziell auch auf die Gesundheit aus. Um zu messen, wie unkomfortabel die Fahrt ist, wurden in ISO 2631 folgende Komfortschwellenwerte (c) definiert:

$$c = \begin{cases} \text{Komfortabel} & \text{wenn } a_{wv} < 0.315 \\ \text{Leicht unkomfortabel} & \text{wenn } 0.315 \leq a_{wv} < 0.63 \\ \text{Unkomfortabel} & \text{wenn } 0.63 \leq a_{wv} < 0.8 \\ \text{Sehr unkomfortabel} & \text{wenn } a_{wv} \geq 0.8 \end{cases}$$

Da sich diese Schwellenwerte in ISO 2631 jedoch hauptsächlich an Kraftfahrzeuge orientieren, existieren für Radfahrende teilweise abweichende Grenzen. Forschungsergebnisse wie die von (Gao et al., 2018) zeigen etwa folgende Schwellenwerte:

$$c = \begin{cases} \text{"Komfortabel"} & \text{wenn } a_{wv} < 1,72 \text{ m/s}^2 \\ \text{"Leicht unkomfortabel"} & \text{wenn } 1,72 \text{ m/s}^2 \leq a_{wv} < 2,12 \text{ m/s}^2 \\ \text{"Unkomfortabel"} & \text{wenn } 2,12 \text{ m/s}^2 \leq a_{wv} < 2,54 \text{ m/s}^2 \\ \text{"Sehr unkomfortabel"} & \text{wenn } 2,54 \text{ m/s}^2 \leq a_{wv} < 3,19 \text{ m/s}^2 \\ \text{"Extrem unkomfortabel"} & \text{wenn } a_{wv} \geq 3,19 \text{ m/s}^2 \end{cases}$$

4. Methode und Implementierung

Der entwickelte Algorithmus soll perspektivisch in eine benutzerfreundliche Webplattform integriert werden. Daher wurde besonderer Wert daraufgelegt, die Datenströme aus Punktwolken, Kamerabildern und Beschleunigungssensoren automatisch zu durchsuchen, zu filtern und zeitsynchron zusammenzuführen. Die praktische Erprobung dieses Verfahrens erfolgte anhand eines autonomen Lastenrads aus dem Projekt R4R, das mit folgenden Sensoren ausgestattet ist:

- **IMU (Inertial Measurement Unit):** zeichnet Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeiten in drei Achsen auf.
- **GNSS/GPS-Modul:** ermöglicht eine kontinuierliche Positions- und Zeitreferenz.
- **LiDAR-Sensor:** erfasst eine hochaufgelöste 3D-Punktwolke der Umgebung.
- **Kamera:** liefert Videobilder zur optischen Dokumentation des Streckenzustands.

Abbildung 1 zeigt den Sensorträger, der für die Datenerfassung verwendet wurde. Die Dateien sind auf Basis von ROS2 (Robot Operating System 2) aufgenommen. Weitere Spezifikationen und Informationen zum Sensorträger finden sich in (Laghbani et al., 2025).



Abbildung 1: Sensorträgerplattform (Lastenrad) (Laghbani et al., 2025)

Zu Beginn dieser Arbeit wurde eine benutzerfreundliche GUI (siehe Abbildung 2) entwickelt, die alle notwendigen Schritte – von der ROS2-Bag-Dateiauswahl bis hin zur tiefgehenden Analyse und automatisierten Berichterstellung – in einer einheitlichen Oberfläche zusammenführt. Die GUI bietet benutzerdefinierbare Parameter für Filter, Schwellwerte, Sensorauswahl und unterstützt eine interaktive 3D-Visualisierung. Dadurch wird eine effiziente Datenexploration sichergestellt, die ohne tiefere Programmierkenntnisse genutzt werden kann.

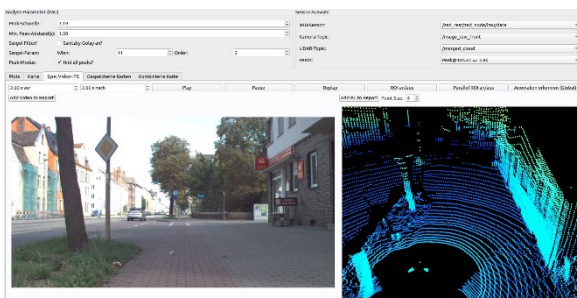


Abbildung 2: Übersicht der entwickelten GUI mit Tabs für „Plots“, „Karte“ sowie „Sync-Video+PC“ und weiteren Funktionen wie RANSAC-Parametrierung und Berichts-Export

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein softwarebasierter Ansatz entwickelt, der sämtliche Sensordaten aus ROS2-Bag-Dateien bezieht und zu einer ganzheitlichen Straßenzustandsanalyse verarbeitet. Dabei

kommen mehrere Module und Funktionen zum Einsatz, um die Daten zu laden, zu filtern und letztlich aufzubereiten. Eine schematische Darstellung des Prozesses verdeutlicht die einzelnen Schritte (Siehe Abbildung 3).

Zuerst werden die Daten aus einer ROS2-Bag-Datei eingelesen. Die aktuelle Version des Algorithmus unterstützt dabei das SQLite3-Format (*.db3). Dieser Schritt erfolgt mithilfe der ROS2-Python-API (rosbag2_py). Das Skript erkennt automatisch die ROS2-Topics mit den Typen

- sensor_msgs/msg/Imu,
- sensor_msgs/msg/NavSatFix,
- sensor_msgs/msg/Image oder
- sensor_msgs/msg/PointCloud2

Aus jeder eingehenden Nachricht werden anschließend die relevanten Felder extrahiert (z. B. die lineare Beschleunigung bei IMU(Inertiale Messeinheit (engl. Inertial measurement unit))) und in Pandas-DataFrames überführt. Anschließend erfolgen eine zeitliche Sortierung sowie weitere Vorbereitungen für die nachfolgende Auswertung. Innerhalb des Skripts werden diese Felder jeweils an die relevanten Stellen weitergereicht.

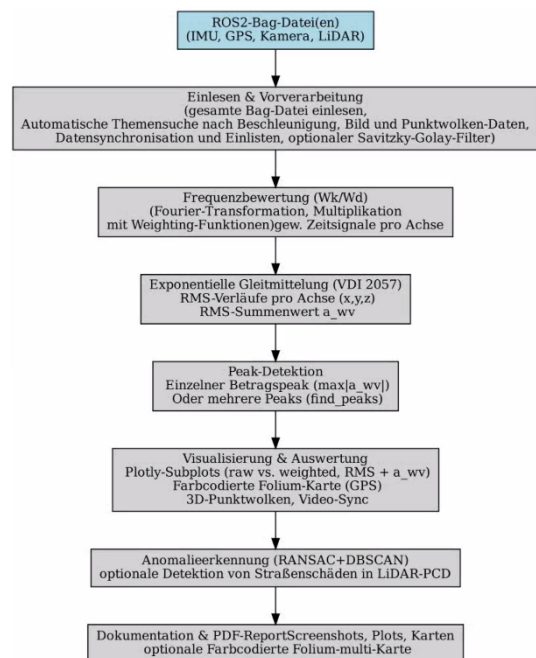


Abbildung 3: Flussdiagramm des Prozesses verdeutlicht die einzelnen Schritte des Algorithmus

Um alle Sensorwerte in einen einheitlichen Zeitbezug zu bringen, wird zunächst auf den ersten GPS-Datensatz gewartet. Dessen Zeitstempel dient als Referenz, an die alle weiteren (nicht-GPS-)Nachrichten – z. B. von IMU, Kamera oder LiDAR – mithilfe eines gleitenden Durchschnitts-Offsets angepasst werden. Kurzfristige Schwankungen werden abgefedert, in-

dem jeweils nur die letzten N (z. B. 10) Differenzwerte Δt gemittelt und ältere Offsets verworfen werden. Sobald alle Daten in Pandas-DataFrames vorliegen, wird anhand des jeweils kleinsten Zeitwerts pro Sensor ein globales Minimum bestimmt, sodass der früheste Messpunkt bei ($t=0$ s) liegt. Anschließend sortiert man die DataFrames chronologisch, wodurch sich Ereignisse (z. B. Beschleunigungsspeaks) samt passender GPS-Koordinaten leicht verknüpfen lassen. Für eine übersichtliche Auswertung liegen IMU, GPS, Kamera und LiDAR in separaten DataFrames (siehe Tabelle 1) vor. So lässt sich etwa für einen Peak das Zeitfenster z. B. $[t_{\text{peak}} - 2, t_{\text{peak}} + 2]$ filtern, wobei das GUI diese Grenzen bei Bedarf anpasst.

Tabelle 1: Übersicht der DataFrames und zugehörige Spalten

DataFrame	Spalten
imu_df (IMU-Daten)	timestamp topic accel_x accel_y accel_z
gps_df (GPS-Koordinaten)	Timestamp topic latitude longitude altitude
img_df (Kamerabilder)	timestamp topic image_msg
pc_df (LiDAR-Punktwolken)	timestamp topic pointcloud_msg

Die vorbereiteten Beschleunigungssignale pro Achse (x, y, z) werden schließlich frequenzgewichtet, um dem menschlichen Komfortempfinden Rechnung zu tragen. Das Skript kombiniert eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) mit vorab geladenen W_k/W_d -Funktionen, die in einem CSV hinterlegt sind. Für die z-Achse kommt dann W_k zur Anwendung, für die x- und y-Achse jeweils W_d . Nach Multiplikation im Frequenzraum erfolgt eine inverse FFT, sodass in der Zeitdomäne gewichtete Signale $a_w(t)$ entstehen (Oppenheim and Schafer, 2010), (Rockmore, 2000). Anschließend wird eine exponentielle Gleitmittelung zur RMS-Bestimmung nach VDI 2057 vorgenommen. Die Integrationszeit τ kann hier in Sekundenschritten gewählt werden. Mit fortschreitenden Zeitschritten aktualisiert man den RMS-Wert laufend, ohne ein streng festes Zeitfenster zu verschieben. Dadurch ist

das Ergebnis adaptiver gegenüber sprunghaften Änderungen. Für jede Achse liegt am Ende ein exponentiell gemittelt RMS-Signal vor (a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}), das dann über eine Wurzel-Summen-Quadrat-Beziehung in einen Gesamtwert a_{wv} überführt wird. Abhängig von der Peak-Detektionseinstellung werden die hohen Beschleunigungsspitzen in diesem Summensignal $a_{wv}(t)$ entweder als einziger Betragspeak $\max|a_{wv}(t)|$ bestimmt oder, bei Mehrfachsuche, über die *SciPy-Funktion find_peaks(...)* als mehrere lokale Maxima erkannt. Dabei kann eine Schwellwert-Höhe (Peak-Schwelle) und ein minimaler Zeitabstand der Peaks in Sekunden in GUI-Fenster vorgegeben werden. Aus dem größten Peak gewinnt man auf Wunsch auch den Crestfaktor, indem man das Verhältnis von $\max|a_{wv}(t)|$ zu seinem RMS-Gesamtwert bildet. Zur Darstellung der Ergebnisse werden in einem ersten Schritt Plotly-Subplots erzeugt, in denen man u. a. folgende Kurven parallel sieht:

- Rohbeschleunigung x,y,z
- Frequenzbewertete(gewichtetet) Signale
- Exponentielle RMS-Verläufe der drei Achsen
- Summenwert $a_{wv}(t)$ in einem separaten Teil-Plot, ggf. farbig codiert nach Komfort-Grenzen. Peak-Ereignisse werden als schwarze Sterne visualisiert (Abbildung 4).



Abbildung 4: 3-Achsen-Schwingungsanalyse: Roh- und Frequenzbewertete Beschleunigungen (W_k/W_d) mit Exponential-RMS und Peak-Erkennung

Parallel wird aus den GPS-Koordinaten eine Folium-Karte erstellt, auf der jeder Datensatz zeitkorreliert platziert wird. Punkte, deren Zeit in zeitlicher Nähe zu einem ermittelten Peak liegt, erhalten z. B. einen Sternmarker statt eines farbigen Kreises. Auf diese Weise kann man genau sehen, an welcher geografischen Position starke Erschütterungen auftraten (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: GPS-Karte mit farbcodierter Vibrationsbewertung entlang der Strecke, die Komfortbereiche: grün

(komfortabel), gelb (leicht unkomfortabel), orange (unkomfortabel), rot (sehr unkomfortabel) und lila (extrem unkomfortabel).

Zur tieferen Analyse steht in einem weiteren Tab die Möglichkeit zur Video-/Punktwolken-Synchronisierung bereit. Das Skript filtert auf Basis ausgewählter Zeitfenster (z. B. ± 2 s um den Peak) die jeweiligen Kamera-Frames (Topics sensor_msgs/msg/Image) sowie LiDAR-Punktwolken (Topics sensor_msgs/msg/PointCloud2). Beide Sequenzen lassen sich nebeneinander abspielen. Ein optionaler ROI-Modus ermöglicht es zudem, im 3D-Fenster einen rechteckförmigen Bereich zu markieren und die selektierten Punkte statistisch (z. B. Abstände, Höhenverteilung) auszuwerten (Abbildung 6).

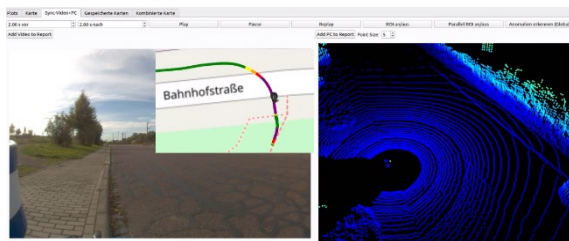


Abbildung 6: Synchronisierte Mehrsensor-Daten (GPS-Karte, Kameraansicht, LiDAR-Punktwolke) zur Straßenzustandsanalyse

Ein weiterer optionaler Baustein ist die 3D-Anomaliedetektion: Mithilfe von RANSAC wird in der Punktwolke eine Hauptebene identifiziert, wobei meist angenommen wird, dass diese der Fahrbahn entspricht. Anschließend gruppiert ein DBSCAN-Algorithmus alle jenseits dieser Ebene liegenden Ausreißer. Dies kann etwa zur Detektion von Schlaglöchern (tiefe Bereiche) oder anderer Straßenschäden verwendet werden (Abbildung 7).

Eine Eigenschaft im System ist die Möglichkeit, mehrere zuvor gespeicherte Karten zu einer kombinierten Karte zusammenzuführen. Über den entsprechenden GUI-Tab („Kombinierte Karte“) kann der Benutzer aus einer Liste gespeicherter Karten (sowie deren zugehöriger GPS- und Peaks-Daten im CSV-Format) mehrere Karten auswählen. Beim Zusammenführen werden die Daten aus den einzelnen Karten zunächst in einem einheitlichen DataFrame konsolidiert. Dabei werden Duplikate (basierend auf Zeitstempel und Koordinaten) entfernt und die Datensätze chronologisch sortiert. Anschließend wird mit Hilfe der Folium-Bibliothek eine neue, kombinierte Karte generiert, auf der alle GPS-Datenpunkte dargestellt werden. Die Marker werden farbcodiert – entsprechend dem berechneten Vibrationswert – und spezielle Ereignisse (z. B. Peak-Ereignisse) werden zusätzlich mit einem Stern markiert. Dadurch entsteht eine übersichtliche und umfassende Darstellung der

räumlichen Verteilung von Straßenzustandsdaten über mehrere Messfahrten hinweg (Abbildung 8).

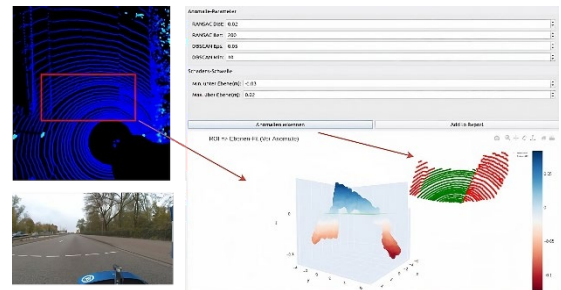


Abbildung 7: Interaktive ROI-Auswahl in der LiDAR-Punktwolke mit RANSAC/DBSCAN-Parametern und gleichzeitiger Videovorschau zur 3D-Anomalieerkennung

Abschließend können alle generierten Inhalte, darunter Diagramme, Karten-Screenshots und ggf. andere GUI-Ansichten, in einem PDF-Report zusammengeführt werden. Das Skript übernimmt hierfür Screenshots, Titel und Kurzbeschreibungen der jeweiligen Themen (z. B. IMU-Sensorname, Peak-Schwellwert oder LiDAR-Topic). Man erhält damit eine in sich geschlossene Dokumentation der durchgeführten Messungen und Analysen.

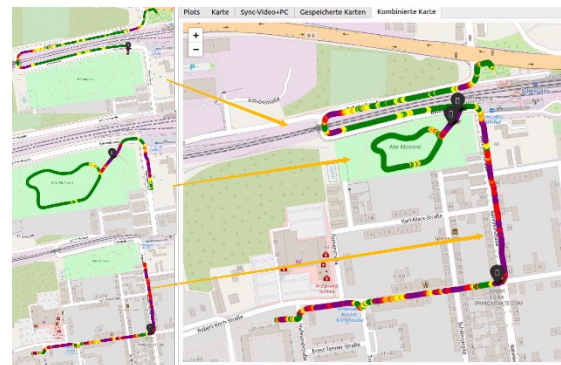


Abbildung 8: Mehrere gespeicherte Karten als „Kombinierte Karte“ mit farbcodierten Vibrationswerten und markierten Peak-Ereignissen

Durch diese Zusammenstellung von mehreren Teilkomponenten (Bag-Lesen, IMU-Frequenzbewertung, exponentielle RMS, Peak-Detektion, Folium-Karte, Video-/PointCloud-Sync, RANSAC+DBSCAN, PDF-Export) ergibt sich ein modularer, aber zugleich eng verzahnter Analyse-Workflow. Dieser erlaubt eine flexible Parametrisierung (Filterlängen, Schwellwerte, Achs-Gewichte etc.) sowie eine tiefgehende wissenschaftliche Auswertung und Visualisierung von Straßenzustandsdaten.

5. Validierung

Um die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des beschriebenen Verfahrens zusätzlich zu prüfen, wurde darüber hinaus ein künstlicher Referenz-Parkour aufgebaut und vermessen. Dieser Parkour enthält bekannte Hindernisse, etwa eine mobile Bodenschwelle

(„Speed Bump“). Dank dieser definierten Unebenheiten lässt sich exakt nachvollziehen, welche Beschleunigungspeaks (IMU-Daten) und Geometrieausreißer (in der LiDAR-Punktwolke) beim Überfahren auftreten.

Während der Testfahrten auf diesem Referenz-Parkour wurden IMU-, GPS-, Kamera- und LiDAR-Daten aufgezeichnet und mit den erwarteten Schwellwerten abgeglichen. Die Straßenschwellen ließen sich in den Analyseplots als signifikante Peaks in $a_{wv}(t)$ erkennen und in der zugehörigen Kartenansicht durch farblich markierte Punkte lokalisieren (Abbildung 9).

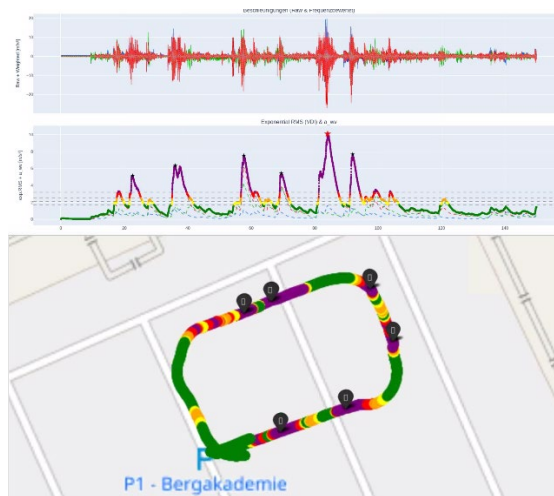


Abbildung 9: Verknüpfte Darstellung von Roh- und frequenzbewerteten Beschleunigungssignalen (oben), Exponentielle RMS (Mitte) und farbcodierten GPS-Stützpunkten (unten) auf dem Referenz-Parkour. Deutliche Peaks in $a_{wv}(t)$ korrespondieren mit der Überfahrt einer Bodenschwelle.

Die synchronisierte Darstellung von Punktwolke und Videobild zeigt darüber hinaus deutlich, dass zu genau den Zeitpunkten, an denen hohe Beschleunigungswerte (Peaks) registriert wurden, im Videostream auch die Bodenschwelle sichtbar ist. Mithilfe der ROI-Auswahl in der LiDAR-Punktwolke mittels RANSAC/DBSCAN lässt sich die Bodenschwelle als rote Ausreißer („Outliers“) geometrisch visualisieren.

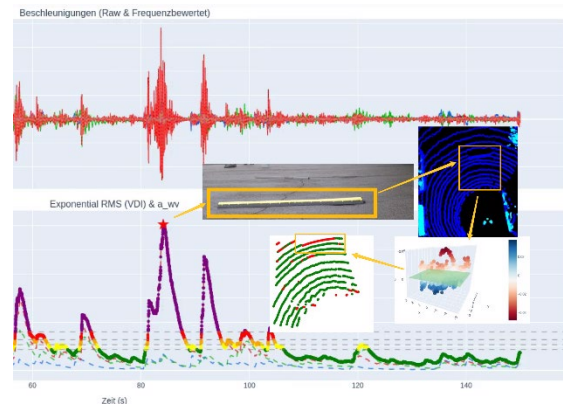


Abbildung 10: Kombinierte Auswertung von Roh- und frequenzbewerteten Beschleunigungen, Exponentielle RMS und LiDAR/Kameradaten sowie ROI-Auswahl in der LiDAR-Punktwolke mit RANSAC/DBSCAN.

6. Ergebnisse und Auswertungen

Mit dem Lastenrad wurden in drei verschiedenen Städten – Merseburg, Köthen und Schkeuditz – Messfahrten durchgeführt. Jede Messfahrt umfasste in der Regel rund 150 Sekunden an Sensordaten, sodass für jede Stadt mehrere Teilaufnahmen zur Verfügung standen. Im Rahmen des Projektes wurden großflächig Daten erhoben und ausgewertet. Die Kombination aus mehreren Karten ermöglicht, final eine kartografische Visualisierung des gesamten Stadtgebietes.

Hierbei wird der Straßenzustand und das Komfortlevel farblich kodiert. Wenn ein Abschnitt lila markiert ist, bedeutet dies, dass dieser Straßenabschnitt in einem schlechten Zustand und somit für FahrradfahrerInnen unangenehm zu befahren ist. Hingegen zeigt eine grüne Markierung an, dass dieser Abschnitt der Straße ein komfortables Fahrerlebnis bietet.

In jeder 150-Sekunden-Einheit werden zudem die maximalen Spitzenwerte dargestellt, um hervorzuheben, welche Bereiche besonders berücksichtigt werden sollten. Dabei ist zu beachten, dass der Algorithmus in der aktuellen Version noch nicht klassifiziert, ob diese Spitzenwerte durch Schlaglöcher, Bodenwellen oder Bordsteinkanten verursacht werden. Daher sollten zur Auswertung immer die synchronisierten Videos und die Punktwolke zurate gezogen werden, um die Ursache der Spitzenwerte zu bestimmen. In den folgenden drei Bildern sind die finalen Karten und Auswertungen für die drei Städte zu sehen.

Die Ergebnisse in der Abbildung 11 zeigen, dass die im Innenstadtbereich von Köthen durchgängig violett eingefärbten Straßensegmente auf eine sehr hohe Vibrationsbelastung hindeuten, die nach unserer Klassifikation als „extrem unkomfortabel“ einzustufen ist. Aus Radfahrersicht liegt die Hauptursache

hierfür häufig am Kopfsteinpflaster bzw. an historischen Steinbelägen in diesem Gebiet. Solche Beläge erzeugen bei Fahrrädern deutlich höhere Stoßspitzen als glatte Asphaltflächen, da sie Unebenheiten und Fugen beinhalten, die fortwährend für Vibrationen sorgen. Außerhalb der Altstadtregion zeigt die Analyse mehrheitlich grüne und gelbe Bereiche, was auf komfortablere Bedingungen für Fahrradfahrende schließen lässt.

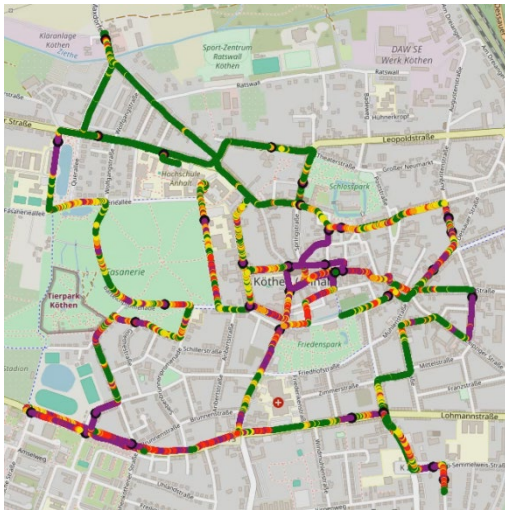


Abbildung 11: Komfortbewertung aus Fahrradfahrerperspektive – Köthen

In Schkeuditz überwiegen grün/gelb markierte, komfortable Abschnitte, während rot/violett gekennzeichnete Bereiche im Zentrum auf starke Erschütterungen und damit „sehr bis extrem unkomfortable“ Bedingungen für Radfahrende hinweisen (siehe Abbildung 12).

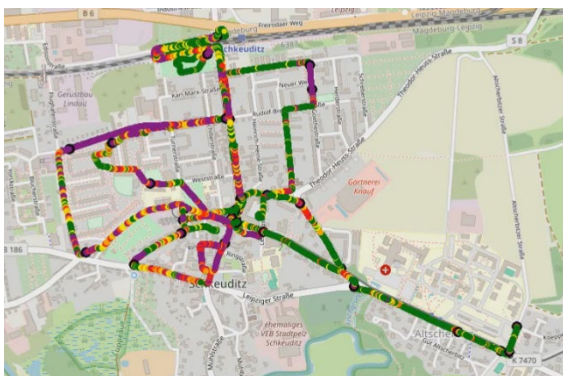


Abbildung 12: Komfortbewertung aus Fahrradfahrerperspektive – Schkeuditz

Merseburg weist im Vergleich zu den zuvor betrachteten Städten mehrheitlich grüne Abschnitte auf, die auf ein insgesamt komfortables Fahrgefühl schließen lassen, während nur vereinzelt rote/violette Strecken mit „sehr bis extrem unkomfortablen“ Erschütterungen auftreten (siehe Abbildung 13).

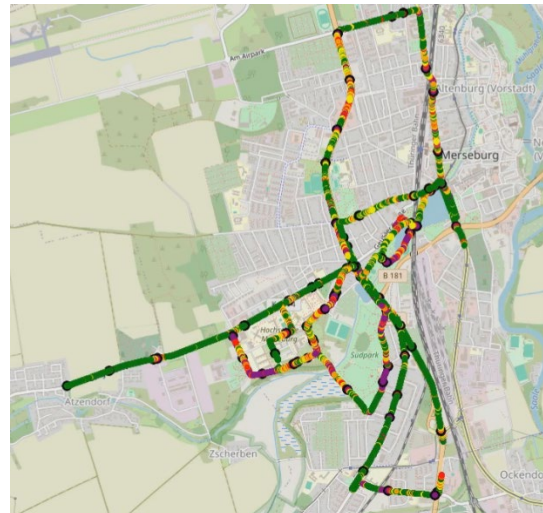


Abbildung 13: Komfortbewertung aus Fahrradfahrerperspektive – Merseburg

7. Fazit und Verbesserungspotenziale

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine kontinuierliche und detaillierte Erfassung des Straßenzustands von entscheidender Bedeutung für den sicheren und komfortablen Einsatz autonomer Mikromobile ist. Die Studie hat gezeigt, dass durch regelmäßige Zustandserfassung unebene Stellen erkannt und in der Routenplanung oder Fahrdynamik berücksichtigt werden können. Als Messplattform bewährte sich dabei ein mit Sensorik ausgestattetes Lastenrad, das sich als äußerst flexible Lösung erwiesen hat (Saleh, 2025). Der Einsatz eines solchen Fahrzeugs ermöglicht eine kontinuierliche Aktualisierung in Echtzeit, was für eine vorausschauende Wartung der Verkehrsinfrastruktur essenziell ist.

Die im Rahmen der Arbeit entwickelten Algorithmen zur Vibrationsanalyse und Komfortbewertung erwiesen sich als effektiv, um die Fahrqualität auf verschiedenen Straßenbelägen objektiv zu beurteilen. Unterschiede im Straßenzustand konnten anhand der Sensordaten detektiert und quantifiziert werden, wodurch eine fundierte Bewertung des Fahrkomforts möglich wurde. Durch die Verknüpfung der Beschleunigungs- und Vibrationsdaten mit GPS-Koordinaten und LiDAR-Scans ließen sich erkannte Straßenschäden zudem lokalisieren und kartieren.

Trotz der positiven Ergebnisse dieser Studie bieten sich mehrere Verbesserungspotenziale und Erweiterungsmöglichkeiten für zukünftige Arbeiten an. Momentan erkennt der Algorithmus Beschleunigungsspitzen (Peaks) mithilfe von IMU-Daten. Eine vielversprechende Weiterentwicklung wäre der Einsatz von maschinellen Lernverfahren, um sowohl die Höhe als auch weitere Merkmale dieser Peaks noch präziser zu bestimmen. Ein entsprechend trainiertes Modell

könnte dabei subtilere Muster erkennen und so verschiedene Arten von Straßenschäden besser voneinander unterscheiden (Bhoraskar et al., 2012), (Buza et al., 2013).

Ein wichtiger Faktor, der künftig in die Analysen einfließen sollte, ist das Gesamtgewicht aus Fahrrad und FahrerIn. Höheres Gewicht kann die Beschleunigungsmessungen deutlich beeinflussen und unter Umständen zu verfälschten Schlussfolgerungen über den Straßenzustand führen. Wenn diese Größen explizit berücksichtigt und eine entsprechende Kalibrierung vorgenommen wird, kann die Zuverlässigkeit der Analyseergebnisse erheblich verbessert werden (Spiric, 2014).

Auch die Geschwindigkeit, mit der man unterwegs ist, verändert die IMU-Messungen. Schnellere Fahrten führen oft zu größeren und häufigeren Schwankungen in der Beschleunigung, was die Erkennung von Straßendefekten erschweren kann. Daher ist es sinnvoll, die Geschwindigkeit systematisch in die Analyse einzubeziehen—zum Beispiel durch Geschwindigkeitskorrekturen oder indem man Daten je nach Geschwindigkeitsbereich segmentiert. Auf diese Weise lassen sich präzisere Aussagen über den Straßenzustand treffen (Sattar et al., 2018), (Seraj et al., 2016).

Literatur

Ahmed, Tufail; Pirdavani, Ali; Wets, Geert and Janssens, Davy (2024): Evaluating Bicycle Path Roughness: A Comparative Study Using Smartphone and Smart Bicycle Light Sensors. In: *Sensors* 24 (22): 7210

Bengel, Steffen (2022): Mehr Sicherheit und Komfort in der Fahrradmobilität. <https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/mehr-sicherheit-und-komfort-in-der-fahrradmobilitaet.html>, accessed: February 12, 2025

Bhoraskar, Ravi; Vankadhara, Nagamanoj; Raman, Bhaskaran and Kulkarni, Purushottam (2012): Wolverine: Traffic and road condition estimation using smartphone sensors. 2012 Fourth International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS 2012), 1–6

Buza, Emir; Omanovic, Samir and Huseinovic, Alvin (2013): Pothole Detection with Image Processing and Spectral Clustering.

Gao, Jie; Sha, Aimin; Huang, Yue; Hu, Liqun; Tong, Zheng and Jiang, Wei (2018): Evaluating the cycling comfort on urban roads based on cyclists' perception of vibration. In: *Journal of Cleaner Production* 192: 531–541

ISO 2631-1 (1997): Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration. <https://www.iso.org/standard/7612.html>, accessed: February 12, 2025

ISO-8608 (2016): Mechanical vibration — Road surface profiles — Reporting of measured data. <https://www.iso.org/standard/71202.html>, accessed: February 12, 2025

Klein, Tobias (2021): Radverkehrsinfrastruktur – Baustein der Verkehrswende. Berlin

Laghbani, M.; Iliev, D.; Schwalbe, K.; Konradt, R. and Schmidt, S. (2025): OPTmicro Dataset: Open Training Data for Autonomous Microvehicles. Granada, Spain

Landratsamt Nordsachsen, Pressestelle (2023): Smart City Robots: Start für neues Fahrradverleihsystem in Schkeuditz. <https://www.landkreis-nordsachsen.de/landratsamt/aktuelles/nachrichten/artikel/smart-city-robots-start-fuer-neues-fahrradverleihsystem-in-schkeuditz>, accessed: February 12, 2025

Maeda, Hiroya; Sekimoto, Yoshihide; Seto, Toshikazu; Kashiya, Takehiro and Omata, Hiroshi (2018): Road Damage Detection Using Deep Neural Networks with Images Captured Through a Smartphone. In: *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 33 (12): 1127–1141

Merz, Carina (2021): Bewertung von zwischenörtlichen Radverkehrsanlagen.

Morelli, Johannes (2022): Radverkehrsanlagen: Anforderungen an den Radverkehr und Arten von Radwegen. <https://www.forum-verlag.com/fachwissen/bau-und-gebaeudemanagement/radverkehrsanlagen-radwege/>, accessed: February 12, 2025

Oppenheim, Alan V. and Schaffer, Ronald W. (eds.) (2010): *Discrete-time signal processing*. 3. ed, Pearson, Upper Saddle River Munich

Richter, Thomas; Beyer, Oliver; Ortlepp, Jörg and Schreiber, Marcel (2019): Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen. 59. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin

Rockmore, Daniel N. (2000): The FFT: an algorithm the whole family can use. In: *Computing in Science & Engineering* 2 (1): 60–64

Saleh, DI Peter (2025): BikeStar - AIT Austrian Institute Of Technology. <https://www.ait.ac.at/en/solutions/traffic-safety/safe/bikestar>, accessed: February 3, 2025

Sattar, Shahram; Li, Songnian and Chapman, Michael (2018): Road Surface Monitoring Using

Smartphone Sensors: A Review. In: Sensors 18 (11): 3845

Schmid, Angela (2019): Dieses E-Lastenrad braucht keinen Fahrer. <https://edison.media/erleben/dieses-e-lastenrad-braucht-keinen-fahrer/23929062.html>, accessed: February 12, 2025

Schnabel, Armin; Muthmann, Dr. Klemens and Ackner, Dirk (2024): Cyface - qualitative Analyse & Erfassung von Verkehrsdaten. <https://www.cyface.de/>, accessed: February 12, 2025

Seraj, Fatjon; Van Der Zwaag, Berend Jan; Dilo, Arta; Luarasi, Tamara and Havinga, Paul (2016): RoADS: A Road Pavement Monitoring System for Anomaly Detection Using Smart Phones. In: Atzmueller, M., A. Chin, F. Janssen, I. Schweizer, C. Trattner (eds.): Big Data Analytics in the Social and Ubiquitous Context. Lecture Notes in Computer Science. 9546. Vol. Springer International Publishing, Cham: 128–146

Spiric, Goran (2014): Algorithm evaluation for road anomaly detection and wear estimation on trucks using an accelerometer. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

Stork, Burkhard; Koopmann, Ludger; Kohls, Angela; Gomez, Melissa and Krone, Stephanie (2019): So geht Verkehrswende - Infrastrukturelemente für den Radverkehr. Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club, Berlin

VDI-2057 (2017): Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf

Wang, Xiulai; Cheng, Zhun and Ma, Ningling (2022): Road Recognition Based on Vehicle Vibration Signal and Comfortable Speed Strategy Formulation Using ISA Algorithm. In: Sensors 22 (17): 6682

Zug, Sebastian (2022): Ready For Robots. <https://ready-for-robots.de/>, accessed: February 10, 2025

Autorinnenangaben

Mahmoud Laghbani

(Korrespondierender Autor)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hochschule Merseburg
Eberhard-Leibnitz-Straße 2
06217 Merseburg,
Deutschland

E-Mail: Mahmoud.laghbani@hs-merseburg.de

Prof. Dr.-Ing. Stephan Schmidt

Professor für Mechatronische Systeme
Hochschule Merseburg
Eberhard-Leibnitz-Straße 2
06217 Merseburg,
Deutschland

E-Mail: stephan.schmidt@hs-merseburg.de

Dr.-Ing. Dimitar Iliev

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hochschule Merseburg
Eberhard-Leibnitz-Straße 2
06217 Merseburg,
Deutschland

E-Mail: dimitar.iliev@hs-merseburg.de

Ein Modell der Fahrzustände einer Fahrradfahrt - die biomechanische Analyse von Alltagsradelnden

Martin Bejarano, Jochen Eckart

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Für die Planung einer nutzerzentrierten Radverkehrsinfrastruktur ist das Verständnis der biomechanischen Eigenschaften von Radfahrenden wichtig, jedoch wurden diese bisher nur wenig erforscht. Um diese Lücke zu schließen wird das biomechanische Verhalten von Alltagsradelnden empirisch erhoben und die Variablen Geschwindigkeit, Leistung und Trittfrequenz analysiert. Hieraus lassen sich verschiedene Phasen einer Fahrradfahrt ableiten, die sich durch jeweils typische Fahrzustände kennzeichnen.

Schlagwörter / Keywords:

Biomechanische Eigenschaften, Fahrverhalten, Alltagsradelnde, Fahrzustände

1. Relevanz der biomechanischen Perspektive

Im Gegensatz zu motorisierten Verkehrsmitteln wird das (konventionelle) Fahrrad durch Muskelkraft betrieben. Die benötigte Energie muss durch die radfahrende Person aufgebracht werden. Der körperliche Leistungsbedarf ist daher eine wesentliche Komfortgröße für das Fahrradfahren. Je geringer die benötigte Leistung zum Erreichen der gewünschten Fahrgeschwindigkeit ist, desto komfortabler wird das Radfahren tendenziell wahrgenommen (Knoflacher 1995; Wilson 2020; Eckart et al. 2022; Menghini et al. 2010; Casello & Usyukov 2014; Broach et al. 2012; Beneke & Di Prampero 2001). Es fehlen jedoch Erkenntnisse zum charakteristischen Fahrverhalten von Alltagsradelnden (Leistungsfähigkeit, Wunschgeschwindigkeit, Trittfrequenz, Beschleunigungs- und Bremsverhalten u.a.) sowie dem Zusammenspiel mit anderen Verkehrsteilnehmenden sowie der Verkehrsinfrastruktur. Das Verständnis zum fahrdynamischen Ablauf ist insbesondere bei Alltagsfahrradfahrten sehr begrenzt und nicht für die Planungspraxis nutzbar.

Um diese Lücke zu schließen, wird derzeit an der Hochschule Karlsruhe (HKA) im F+E-Vorhaben „ModeloRad“, gefördert vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr aus Mitteln zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans, zum Fahrverhalten



Abbildung 1: Biomechanische Analyse auf einem Rollenprüfstand mit dem „SensorBike“

von Alltagsradelnden geforscht. Das Ziel des Projektes „ModeloRad“ ist die Entwicklung eines Tools zur hochauflösenden, strecken- und radfahrttypenabhängigen Simulation des Radverkehrs. Dieses soll eine detaillierte Beurteilung der Qualität von Fahrvorgängen für bestehende und zukünftige Radverkehrsinfrastruktur ermöglichen. Die Datenerhebung und die

empirische Analyse des biomechanischen Fahrverhaltens von Alltagsradelnden stellt ein zentrales Ergebnis des Projektes dar. Die Datenerhebung setzt den Einsatz geeigneter Instrumente zur Messung des individuellen biomechanischen Fahrerverhaltens der Radfahrenden voraus, welches durch die fortwährende technologische Weiterentwicklung mobiler Sensoren erst ermöglicht wird und vor allem im Radsport Daten in-Situ, während der Fahrradfahrt erhoben werden können (Temmen, 2022; Joo & Oh 2013; Feizi et al. 2020).

Die Analyse des biomechanischen Verhaltens von Alltagsradelnden mit Hilfe mobiler Sensoren ermöglicht Erkenntnisse über die Fahrdynamik und deren Einfluss auf das Fahrverhalten. Somit kann das Fahrverhalten charakterisiert und Modelle zur Beschreibung einer Fahrradfahrt aus biomechanischer Sicht entwickelt werden.

2. Fahrverhalten von Alltagsradelnden

Das biomechanische Verhalten der Radfahrenden wurde in vier städtischen Routen in der Stadt Karlsruhe untersucht. Die Auswahl der Routen erfolgte unter Berücksichtigung verschiedener Kombinationen von Infrastruktureigenschaften wie bspw. die Geschwindigkeitsvariationen unterschiedlicher Radführungsformen oder die Tretleistung vor und nach lichtsignalisierten Anlagen (LSA) oder Steigungsstrecken.

In die Erhebung wurden 75 Probanden eingebunden (40 Probanden auf den vier städtischen Routen und 35 in spezifischen Fahr Szenarien), wobei mehr als 300 Km zurückgelegt wurden. Die Probanden wurden durch Werbung unter Alltagsradelnden akquiriert und umfassten 35 weibliche, 45 männliche, sowie die Altersklassen <18, 18 – 24, 25 – 39, 40 – 59, und >60. Für die Datenerhebung wurde das „Sensor-Bike“ (Abbildung 1 und 2) des Instituts für Verkehr und Infrastruktur der HKA verwendet. Beim Sensor-Bike handelt es sich um ein mit Messtechnik ausgestattetes Fahrrad (Abbildung 2), welches die Erforschung des Radfahrens aus Perspektive der Radfahrenden ermöglicht (Eckart, Merk 2020). Mit Hilfe des

SensorBikes können Daten zur GPS-Position im Routenverlauf, Geschwindigkeit (in km/h), Leistung (in Watt), Trittfrequenz (in rpm) sowie zur Bremsbetätigung gewonnen werden. Die Erhebungsfahrten wurden auf Videos dokumentiert, mit denen anschließend verschiedene Fahrzustände identifiziert werden konnten.

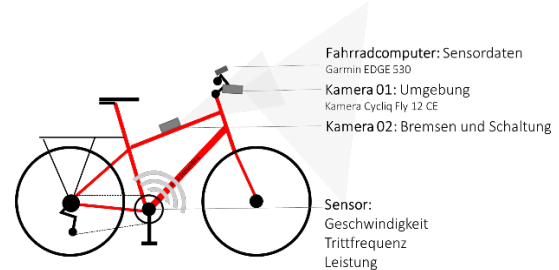


Abbildung 2: Ausstattung des SensorBikes für die Datenerhebung

Eine alltägliche Fahrradfahrt in städtischer Umgebung zeichnet sich durch verschiedene Fahrtabschnitte zwischen Stopps, meist an Kreuzungen, aus. Das Geschwindigkeitsprofil der zurückgelegten Routen weist in den meisten Diagrammen ähnliche Tendenzen auf, aber stellt gleichzeitig Unterschiede zwischen schnelleren und langsameren Teilnehmenden dar (Abbildung 3). Aspekte wie Fahrstrategie, Anpassungen in der Geschwindigkeit oder Vermeidung von anstrengenden Fahr Situationen u.a. werden dadurch nicht deutlich dargestellt. Hierfür ist es notwendig, die biomechanischen Eigenschaften näher zu betrachten.

Die zentralen Größen für die Analyse des biomechanischen Fahrverhaltens bilden die Geschwindigkeit (v), Leistung (p) und Trittfrequenz (f). Die Geschwindigkeits- Leistungs- und Trittfrequenzprofile über die zurückgelegte Distanz (Abbildung 4 Streckendiagramm oben) ermöglichen die Analyse der Fahrdynamik und Fahrzustände für einen bestimmten Abschnitt. Zudem wird das Verhältnis zwischen den Variablen Geschwindigkeit v und Leistung p in einem Diagramm (Abbildung 4 v/p Diagramm unten) dargestellt, um die Effizienz des Fahrtvorgangs darzustellen. Mit diesen beiden Diagrammtypen können

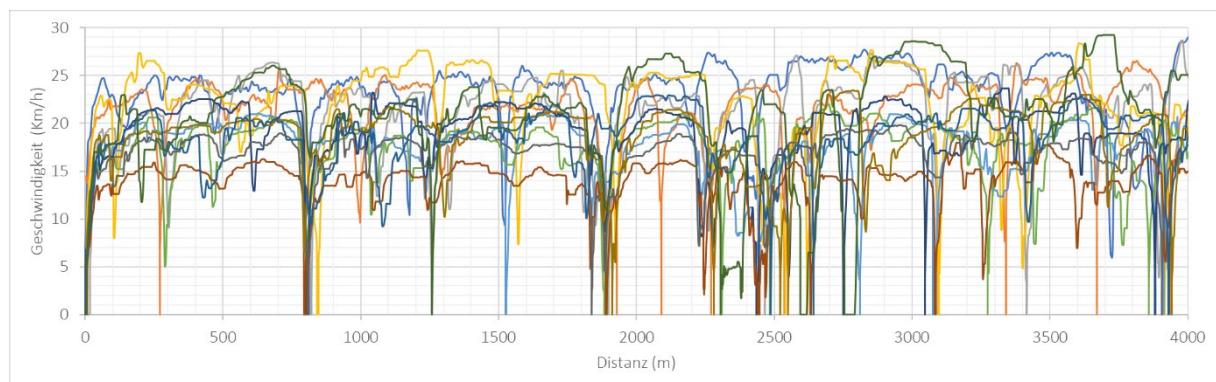


Abbildung 3: Geschwindigkeitsprofil einer städtischen Fahrradfahrt für 25 Teilnehmer mit den charakteristischen zeitlichen Stopps

die verschiedenen Fahrzustände charakterisiert und beschrieben werden.

Das Beispiel in Abbildung 4 illustriert die übliche Dynamik einer Fahrradfahrt in Abhängigkeit von v , p , f und Gangwahl im Abschnitt zwischen zwei Stopps. Im Streckendiagramm sind drei Phasen zu beobachten (1, 2 und 3), in denen die Schwankungen der Variablen charakteristische Muster aufweisen. Das v/p Diagramm stellt dieselbe Fahrt in Form von Punktwolken mit unterschiedlichen Dichtewerten dar. Die Unterphasen A, B, C und D sind Anpassungen des Fahrtverlaufs durch die Radfahrenden aufgrund verschiedener Interaktionen im Routenverlauf. Die Bereiche (1) und (3) entsprechen jeweils der Beschleunigung bei der Anfahrt und der Annäherung an Stopps.

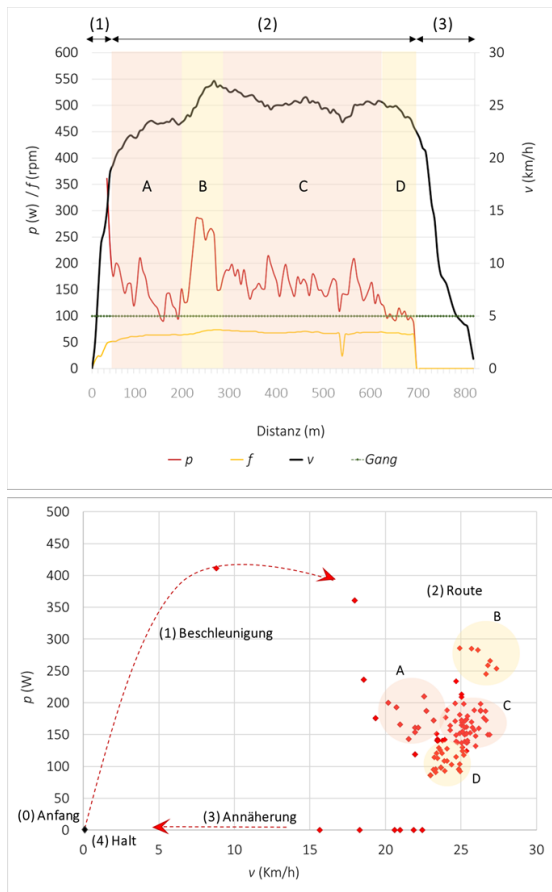


Abbildung 4: Streckendiagramm (oben) und v/p -Diagramm (unten) eine Fahrradfahrt zwischen Stopps

Bei allen Teilnehmenden weisen die erhobenen Daten eine vergleichbare Abfolge von Fahrzuständen (Beschleunigung, Routenfahrt und Annäherung) auf. Im Detail kann das Fahrverhalten abhängig von der jeweiligen Fahrtstrategie variieren.

Allgemein zeichnet sich eine Fahrradfahrt zwischen zwei Stopps durch folgende Merkmale aus:

- Eine Leistungsspitze am Beginn des Fahrtvorgangs in der Beschleunigungsphase
- Anpassung von p zur Erreichung der Wunschgeschwindigkeit v
- Intervalle mit weitgehend konstanter Wunschgeschwindigkeits- und Wunschleistung
- Anpassungen von v und p aufgrund von Interaktionen im Streckenverlauf
- Reduktion von p und v am Ende des Fahrtvorgangs

3. Zyklus beim Radfahren

Das beobachtete Fahrverhalten der Radfahrenden auf städtischen Routen lässt sich in Form eines Zyklus mit Phasen als Fahrzustände darstellen, welche sich durch charakteristische Eigenschaften von v , p und f kennzeichnen. Dieses Modell ist mit dem Fahrtzyklusmodell für Kfz zur Abgasmessung (Braess & Seifert 2013) vergleichbar. Für den Radverkehr wurden solche Fahrtzyklusmodelle bisher noch nicht dargestellt. Die Fahrradfahrt wird als Phasen von Fahrzuständen, die in einem Zyklus verbunden sind beschrieben. Eine Fahrradfahrt lässt sich dabei in drei Fahr-Phasen sowie eine Warte-Phase unterteilen, die einen Zyklus von Halt zu Halt bilden. Für die Phasen lassen sich charakteristische v , p und f beschreiben, weshalb eine eindeutige Abgrenzung zwischen den Phasen möglich ist (Abbildung 6).

Ein Zyklus umfasst die Abfolge folgender Phasen:

1. Eine Beschleunigungsphase, in der die Radfahrenden auf Ihre Wunschgeschwindigkeit beschleunigen und eine hohe Leistung erbringen müssen.
2. Eine Routenphase, in der die Radfahrenden ihre Wunschgeschwindigkeit und Wunschleistung halten wollen, aber aufgrund von Fahrtwiderständen, Interaktionen oder Störungen Anpassungen vornehmen müssen.
3. Eine Annäherungsphase, in der die Leistung üblicherweise 0 ist und die Geschwindigkeit durch Bremsen reduziert wird, bevor ein Halt stattfindet.
4. Eine Warte-Phase, in der v , p und f 0 sind.

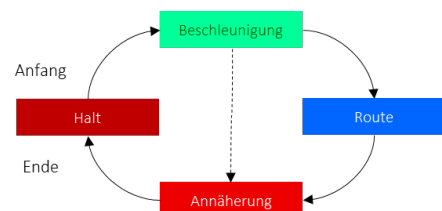


Abbildung 5: Zyklus einer Fahrradfahrt mit Phasen von Fahrzuständen

4. Beschreibung der Phasen einer Fahrradfahrt

weiter an. Das nachfolgend dargestellte Beispiel bezieht sich auf diese Dynamik sowie den Einfluss der

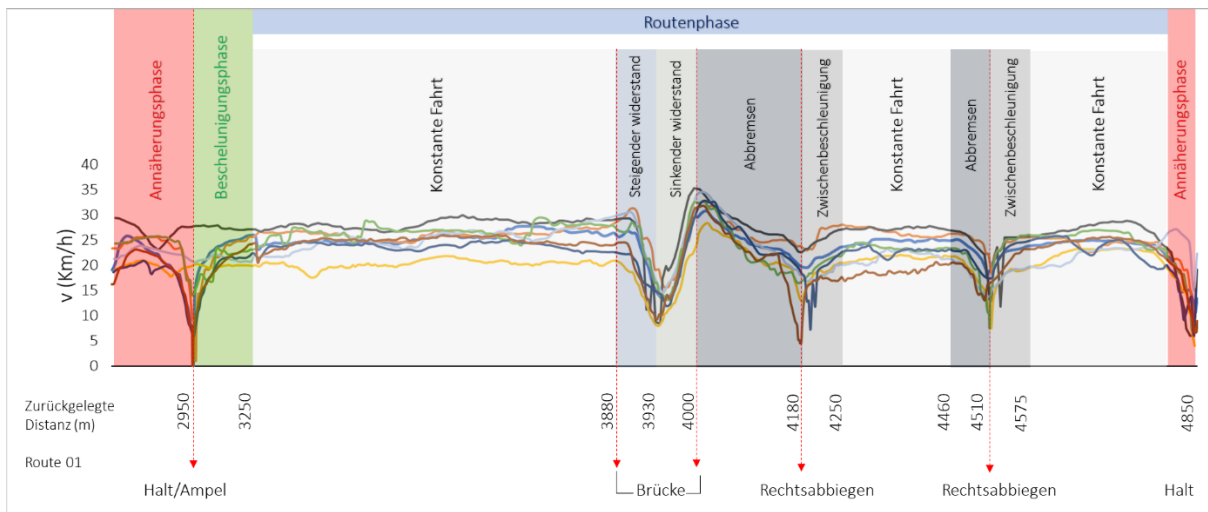


Abbildung 6: Geschwindigkeitsprofil einer Strecke für 8 Teilnehmende mit Abgrenzung der Phasen

Der Zyklus des Fahrtvorgangs sowie die einzelnen Phasen einer Fahrradfahrt bilden den Rahmen für die strukturierte Auswertung der empirisch erhobenen Daten. Im Folgenden werden die charakteristischen Eigenschaften von v , p und f der verschiedenen Phasen für eine städtische Fahrradfahrt dargestellt

4.1. Beschleunigungsphase

Die Beschleunigung bildet die erste Phase einer Radfahrt. Diese Phase zeichnet sich in allen Fällen durch die Steigerung von p und f , als Voraussetzung zur Erreichung der gewünschten v aus. Daraus ergibt sich eine Spitze für p , die für alle Fahrradfahrten charakteristisch ist. Nach der ausgeprägten Beschleunigungsspitze werden insgesamt drei Fälle (Unterzustände) in Bezug auf die beobachteten Tendenzen von p und f beobachtet:

- Weiterfahrt ohne Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden (sinkende p und steigende f)
- Überholvorgänge (steigende p und steigende f)
- Weiterfahrt mit Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden (schwankende p und steigende f)

Die Darstellung der Beschleunigung (Abbildung 7) ermöglicht die Betrachtung der Spitze von p und der Zunahme von f beim Anfahren. Eine Herausforderung bei der empirischen Erhebung mit dem Sensorbike war, dass die eingesetzten handelsüblichen Leistungsmessensoren erst mit einer Verzögerung von ca. 2 Sekunden aufzeichnen und daher häufig die Leistungsspitzen nicht korrekt erfassen. Daher wurden diese Leistungsspitzen beim Anfahren zusätzlich auf einem Rollenprüfstand erhoben (Helms et al. 2023). Beim häufigsten Fahrzustand (ohne Interaktionen) sinkt anschließend p und f steigt progressiv

Schaltstrategie zur Reduzierung von f (Hochschalten, Bereiche C und D), insbesondere nach Erreichen der Spitze. Das v/p -Verhältnis lässt in diesem Fall eine gleichmäßige Punktdichte erkennen, die dem gewünschten v/p -Bereich sehr nahe kommt (Bereiche A und B).

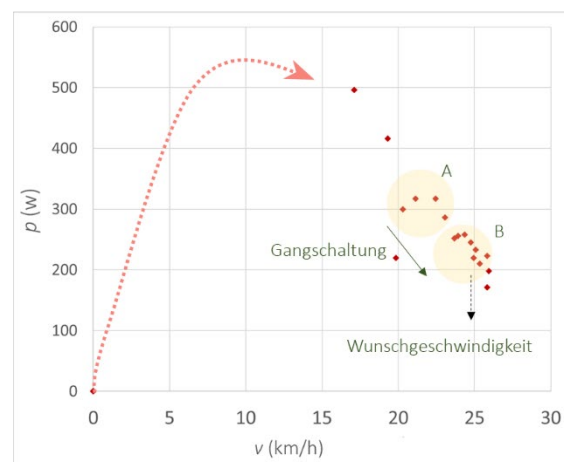
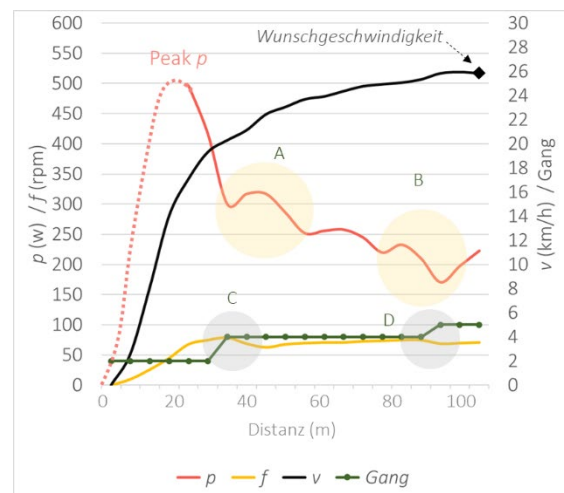


Abbildung 7: Beschleunigung eines Teilnehmenden als Streckendiagramm (oben) und v/p Diagramm (unten)

4.2. Routenphase

Bei der Beschreibung des Fahrtablaufs sind Interaktionen, Störungen und Änderungen der Fahrwiderstände wichtig, weshalb die Routenphase in vier Unterphasen unterteilt wird.

Konstante Fahrt (KF): Die Unterphase mit der höchsten Relevanz in Bezug auf die Ermittlung des gewünschten Verhältnis v/p ist die konstante Fahrt. Während der Routenphase bestehen Fahrabschnitte, in denen die Radfahrenden ein gleichmäßiges Verhältnis zwischen v , p und f halten (Beispiel in Abbildung 8, Bereiche I, IV, VI und IX). Dies ist meistens der Fall, wenn keine Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden, weitere Störungen oder Änderungen der Fahrwiderstände vorhanden sind. Dies zeigt sich durch einen annähernd linearen Verlauf von v und p im Streckendiagramm sowie enge Punktwolken im v/p Diagramm. Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden beeinflussen die Fahrradfahrt, wodurch p und f schwanken. Eine interaktionsfreie Strecke zeichnet sich durch einen konstanten Verlauf von f aus. Die konstante Fahrt ist der günstigste Fahrtzustand für die Radfahrenden bezüglich des Energieverbrauchs und der Möglichkeit diesen zu regulieren. Bei Strecken mit konstanter Fahrt wird das gewünschte Verhältnis v/p erreicht und gehalten.

Zwischenbeschleunigung (ZB): Die Zwischenbeschleunigung ergibt sich häufig nach Verlangsamung von v wenn die Radfahrenden durch Interaktionen oder Störungen zum Abbremsen gezwungen werden. Nachdem v reduziert wurde, steigt anschließend p in Form einer kleinen Leistungsspitze an, um das gewünschte v wieder zu erhöhen (Beispiel in Abbildung 8, Bereiche III, V und VII). f hängt von der Schaltstrategie ab.

Ein zweiter Fall der Zwischenbeschleunigung ergibt sich aus dem Wunsch der Radfahrenden zum Errei-

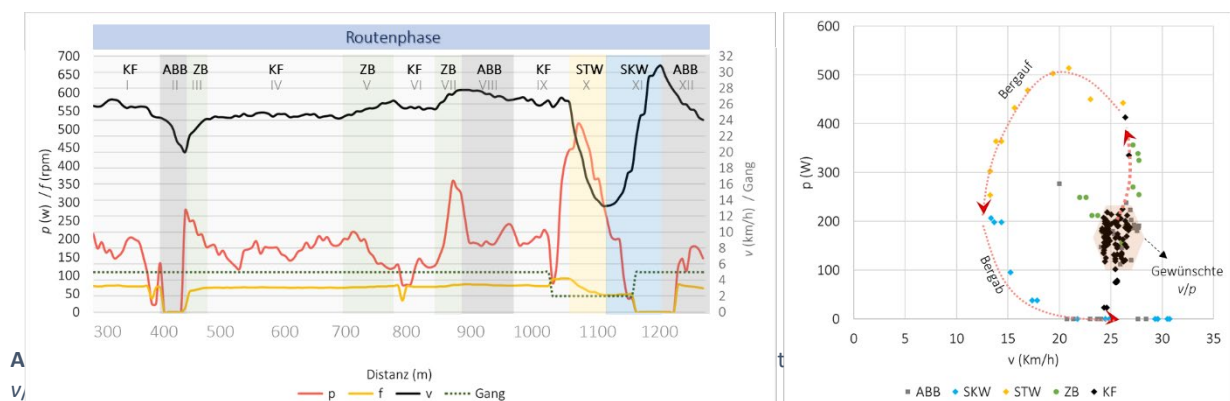
chen einer höheren v . Die in den Erhebungen erfassten Abschnitte über 200 m wurden häufig mit zwei Wunschgeschwindigkeiten befahren. Nach einer gewissen Distanz mit einer konstanten v erhöhen zahlreiche Radfahrende p um schneller zu fahren. Dieser Wunsch der Geschwindigkeitssteigerung lässt sich teilweise auf das Überholen langsamerer Verkehrsteilnehmender zurückführen, teils ist der Anlass nicht zu identifizieren.

Abbremsen (ABB): Das Abbremsen ist das Ergebnis von Interaktionen oder von dem Wunsch der Radfahrenden, mit einem niedrigeren v/p -Verhältnis fortzufahren (Beispiel in Abbildung 8, Bereiche II, VIII und XII). Vielfach hören Radfahrende auf zu treten mit einer f von 0, bis die gewünschte reduzierte v erreicht wird. Aber auch der Einsatz der Bremsen ist zu beobachten. Auslöser für das Abbremsen sind überwiegend folgende sechs Situationen:

- Vor LSA
- Vor Links- oder Rechtsabbiegen
- Bei Rechts-vor-links-Knoten
- Bei Interaktionen in Fußgängerzonen
- Bei Interaktionen mit anderen Verkehrsmitteln, insbesondere Kfz
- Bei Geschwindigkeitsanpassungen nach einer bergab Fahrt

Steigender (STW) und sinkender Widerstand (SKW): Steigende Widerstände lassen sich anhand anstrengender Leistungssituationen erkennen. Insbesondere Steigungswiderstände aber auch steigende Rollwiderstände bei sich änderndem Oberflächenbelag sind zu beobachten. Die Abschnitte mit steigenden Widerständen zeigen für begrenzte Zeiträume eine akzeptierte höhere p (mit eingeschränkter niedrigerer f), bis abhängig von der Schaltstrategie die Leistungsgrenze von Radfahrenden erreicht wird (Beispiel in der Abbildung 8, Bereiche X). Ein erhöhter Widerstand durch Steigungen ist bestimmend für das Fahrverhalten der Radfahrenden.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen mit steigenden Fahrwiderständen lassen sich in weiteren Situationen sinkende Widerstände durch Strecken mit



Gefälle beschreiben. Beim Überschreiten des höchsten Punktes eines Anstiegs, wird p deutlich reduziert und eine hohe v durch das Herabrollen erreicht (Beispiel in Abbildung 8, Bereiche XI). Abhängig vom subjektiven Sicherheitsempfinden der Radfahrenden wird hierbei teilweise gebremst, um die individuelle Höchstgeschwindigkeit nicht zu überschreiten.

4.3. Annäherungsphase

Die letzte Phase im Zyklus ist durch die Reduzierung von v bis zum endgültigen Anhalten gekennzeichnet. Um v zu reduzieren senken die Radfahrenden zunächst p , hören dann auf zu treten $f=0$ bevor Sie kurz vor dem Stopp die Bremse betätigen. (Abbildung 9). Das Verhalten ist von Faktoren wie die Einsehbarkeit der Lichtsignalanlage (LSA) oder Interaktionen mit Verkehrsteilnehmenden abhängig.

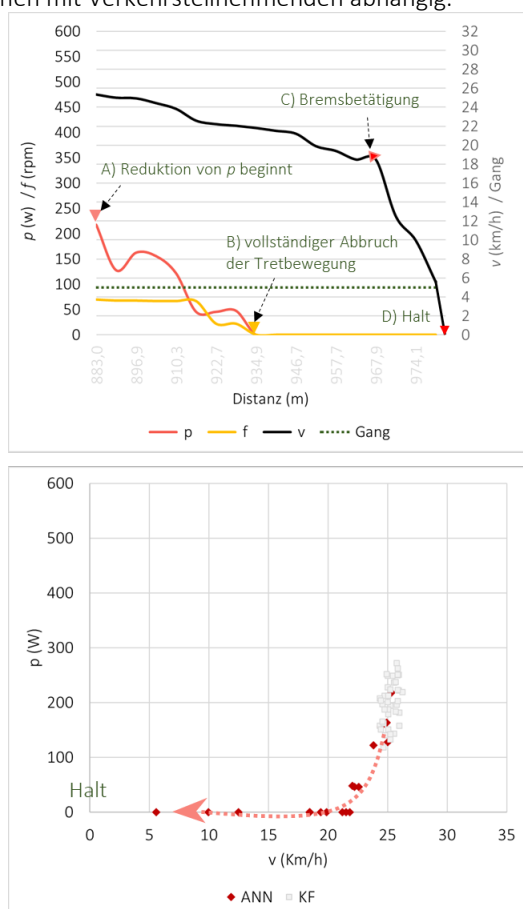


Abbildung 9: Fahrzustand „Annäherung“ eines Teilnehmenden im Streckendiagramm (oben) und v/p Diagramm (unten)

5. Auswertung der Phasen

Die Fahrten von 40 Teilnehmenden auf vier städtischen Routen (ca. 292 zurückgelegte Kilometer) wurden in (die) Phasen und Unterphasen unterteilt und einzeln ausgewertet. Hierfür wurde jede Fahrt in mehrere Zyklen sowie in Phasen und Unterphasen eingeteilt. In die Auswertung fließen damit mehr als 4800 Fahrsituationen aus Phase und Unterphase ein

(Tabelle 1). Die Kenngrößen der Auswertung sind in der Tabelle 2 zusammengefasst und im Folgenden ausgeführt.

Tabelle 1: Anzahl von Fahrsituationen je Phase

Beschleunigungsphase		402
	KF	2069
Routenphase		741
	ZB	741
	ABB	1289
Annäherungsphase		385
Fahrsituationen		4886

Beschleunigungsphase: Im Durchschnitt benötigten die Probanden 45 m, um ihre Wunschgeschwindigkeit zu erreichen. Diese lag im Schnitt bei 16,9 km/h. Die Kurve der Endgeschwindigkeiten als Funktion der zurückgelegten Distanzen zeigt eine exponentielle Tendenz (Abbildung 10). Das 85. Perzentil liegt bei einem Distanzwert von 73,5 m und einer Endgeschwindigkeit (E- v) von 23,8 km/h. Als zusätzliche Angabe wurde die Beschleunigung (a) (Geschwindigkeitsdifferenz über Zeitdifferenz) ermittelt, die im Durchschnitt einen Wert von 2,0 m/s² aufwies.

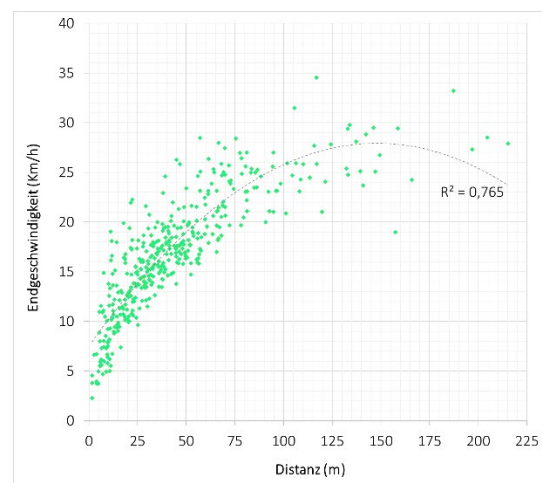


Abbildung 10: Werte der Beschleunigungsphasen für alle Teilnehmenden mit erkennbarer Endgeschwindigkeit und zurückgelegter Strecke

Routenphase: Zentrale Kenngröße der Routenphase ist die Durchschnittsgeschwindigkeit von 20,4 km/h bei konstanter Fahrt. Die Darstellung der durchschnittlichen v/p -Werte für jede konstante Fahrsituation ergibt eine Punktwolke mit steigender Tendenz (Abbildung 11). Das heißt, je höher v , desto höher p . Da die Fahrtwiderstände im Quadrat von der Geschwindigkeit abhängen (Gressmann 2022) ist der Zusammenhang zwischen v und p nicht linear sondern ansteigend.

Tabelle 2: Statistische Kenngrößen der Analyse der Fahrtzustände

Phase	Beschleunigungsphase			Routenphase						Annäherungsphase			
	a	Distanz	E-v	v	p	f	Distanz	Delta	Distanz	Delta	A-v	Distanz	a
Statistische Kennwerte	(m/s ²)	(m)	(Km/h)	(Km/h)	(Watts)	(RPM)	(m)	(Km/h)	(m)	(Km/h)	(Km/h)	(m)	(m/s ²)
P85	2,8	73,5	23,8	25,2	181	73	45,3	9,2	29,8	-0,9	23,8	73,5	-2,8
Mittelwert	2,0	45,3	16,9	20,4	127	61	34,7	5,6	18,1	-4,3	17,9	41,3	-2,5
Standardfehler	0,1	1,8	0,3	0,1	1	0	1,7	0,1	0,3	0,1	0,3	1,6	0,1
Median	1,6	37,2	16,8	20,7	121	63	25,5	4,5	14,1	-3,0	18,0	36,0	-1,9
Standardabweichung	1,3	35,6	5,9	4,4	52	15	49,5	3,4	12,7	3,9	5,5	30,9	2,0
Maximum	10,1	215,3	34,5	33,5	520	134	727,7	19,6	97,6	-0,5	34,1	199,4	-0,4
Konfidenzniveau (95%)	0,1	3,4	0,6	0,2	2	1	3,3	0,2	0,7	0,2	0,5	3,1	0,2

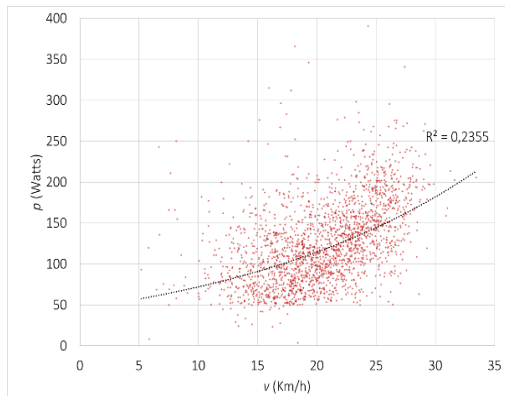


Abbildung 11: Einzelwerte p/v-Verhältnis bei konstanter Fahrt für alle Teilnehmenden

Die Darstellung mit dem Durchschnittswert von v/p für jeden Teilnehmenden bei konstanter Fahrt ergibt eine Exponentiallinie mit einer hohen Korrelation (Abbildung 12). Diese Darstellung ermöglicht die Analyse von Unterschieden zwischen den Teilnehmenden, indem niedrige und hohe Werte im Verhältnis v/p als Indikator für die Effizienz des Fahrtvorgangs betrachtet werden.

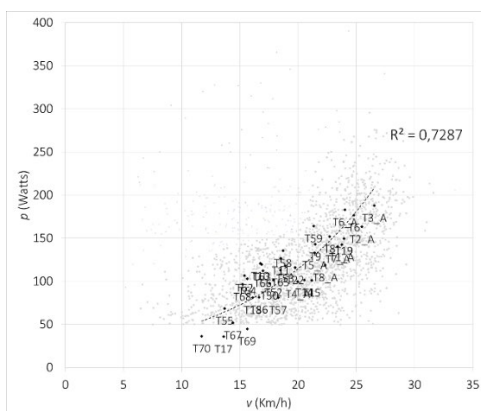


Abbildung 12: Durchschnittliche Werte p/v-Verhältnis bei konstanter Fahrt für alle Teilnehmenden

Zusätzlich wurden die Werte von v , p und f für verschiedene Distanzintervalle analysiert. Ein leichter Anstieg der mittleren v -Werte mit der zurückgelegten Distanz ist zu verzeichnen. So scheinen die Radfahrenden bei längeren Strecken ein höheres Tempo

anzustreben als bei kurzen Abschnitten. Die Werte von p und f sind annähernd konstant

Tabelle 2: Mittelwerte von v , p , und f für die Distanzintervalle bei konstanter Fahrt

Zurückgelegte Distanz (m)	v (Km/h)	p (Watts)	f (rpm)
0 - 25	18,3	125	57
26 - 50	21,3	133	62
51-75	21,4	127	62
76 - 100	21,0	120	60
101 - 125	21,4	121	62
126 - 150	21,9	122	63
151 - 175	22,5	122	64
176 - 200	22,8	140	64
201 - 225	22,0	122	63
> 225	19,9	114	60

Bei der Zwischenbeschleunigung benötigen die Teilnehmenden im Durchschnitt 35 m, um einen v -Anstieg von 6 km/h zu erzielen. Beim Abbremsen werden durchschnittlich 18 m benötigt, um v um 4 km/h zu verringern.

Annäherung: Die Teilnehmenden legten durchschnittlich 41 m zurück, um v von der Ausgangsgeschwindigkeit auf 0 km/h zu reduzieren. Die durchschnittliche Ausgangsgeschwindigkeit bei Eintritt in die Annäherungsphase lag bei 17,9 km/h. Die Kurve der Ausgangsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von den zurückgelegten Distanzen bis zum Halt zeigt einen exponentiellen Verlauf mit einer hohen Korrelation (Abbildung 13). Die Entschleunigung wies einen Durchschnittswert von $-2,5$ m/s² auf.

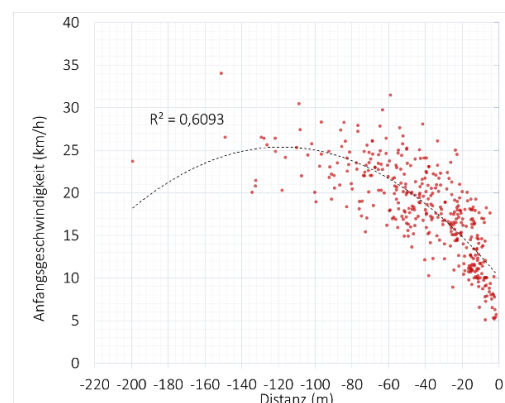


Abbildung 13: Werte der Annäherungsphasen für alle Teilnehmenden Abhängig von der Ausgangsgeschwindigkeit und zurückgelegter Distanz bis zum Stopp

5. Hinweise zur nutzerzentrierten Gestaltung der Radverkehrsinfrastruktur

Um das biodynamische Verhalten von Alltagsradelnden bei städtischen Fahrradfahrten zu beschreiben, wurde ein Modell von Fahrtzyklen mit verschiedenen Phasen als Fahrtzustände entwickelt. Die städtischen Fahrradfahrten werden dabei als eine zyklische Abfolge von Fahrtzuständen zwischen Stopps (meist zwischen Kreuzungen) beschrieben. Dieses Modell ermöglicht eine strukturierte Analyse der biomechanischen Faktoren v , p und f für diese Fahrradfahrten. Die verschiedenen Phasen und Unterphasen einer städtischen Fahrradfahrt lassen sich durch charakteristische Eigenschaften eindeutig beschreiben.

Die detaillierten Fahrstrategien (Nutzung der Gangschaltung, Bremshäufigkeit, Erholungszeit beim Treten u.a.), die Identifikation verschiedener Radfahrendentypologien und der detaillierte Einfluss der unterschiedlichen Gestaltung der Radverkehrsinfrastruktur (Auslöser für Abbremsen und Zwischenbeschleunigen, Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmenden u.a.) werden gegenwärtig noch ausgewertet. Jedoch lassen sich bereits erste Hinweise für eine aus biomechanischer Perspektive nutzerzentrierten Gestaltung von Radverkehrsinfrastruktur (vgl. Eckart et al. 2022) ableiten:

- Die Anzahl und Dichte der Stopps bei städtischen Fahrradfahrten ist prägend für die erreichte Geschwindigkeit und erforderliche Leistung der Radfahrenden. So erfordert jeder Stopp erneut eine leistungsaufwendige Beschleunigungsphase; sind bei kurzen Distanzen zwischen Stopps die Geschwindigkeiten niedriger; und kommt es zu Leistungsverlust in der Annäherungsphase. Bei den Stopps kommt es daher nicht allein auf die Zeitverluste an, sondern vielmehr darauf, diese im Fahrtverlauf soweit wie möglich zu vermeiden.
- Von den Radfahrenden wird der Fahrtzustand der konstanten Fahrt im Bereich ihrer Wunschgeschwindigkeit und Wunschleistung angestrebt. Insbesondere Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden haben die Fahrtzustände „Zwischenbeschleunigung“ und „Abbremsen“ zur Folge, die mit einem hohen Leistungsbedarf verbunden sind. Eine konstante Fahrradfahrt kann durch eine eigenständige Infrastruktur für Radfahrende (Radfahrstreifen, eigenständiger Radweg, Fahrradstraße etc.) unterstützt werden.

- Sobald Steigungen auftreten, führen diese zu niedrigeren Geschwindigkeiten und einem höheren Leistungsbedarf der Radfahrenden. Steigungen in der Radverkehrsinfrastruktur sind daher möglichst zu vermeiden, steile Steigungen sollten völlig vermieden werden.

Die Systematisierung der Fahrzustände auf Basis der empirischen Daten bildet die Basis für die Entwicklung eines Tools zur Mikrosimulation des biomechanischen Verhaltens von Radfahrenden. Das Simulationstool richtet sich an die kommunale Verwaltung, Ingenieurbüros sowie an alle Akteure, welche in die Radverkehrsplanung und Radverkehrsförderung involviert sind. Es bietet eine Entscheidungsunterstützung für in Planung befindliche Trassenvarianten für Radinfrastruktur (Identifikation der Variante zur Minimierung von Reisezeit, Leistungsbedarf usw.). Zudem ermöglicht es die Identifikation von Optimierungsbedarfen an bestehenden und zu planenden Radinfrastrukturen im Hinblick auf Geschwindigkeit, Zeitverluste und Leistung. Durch die Simulation kann die Perspektive der Radfahrenden bei der Planung der Radverkehrsinfrastruktur verstärkt berücksichtigt werden.

Literatur

Casello, J. M., & Usyukov, V. (2014): Modeling cyclists' route choice based on GPS data. *Transportation Research Record*, 2430(1), 155-161.

Braess, H., & Seiffert, U. (2013): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. 32-33. Springer-Verlag. Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01691-3>

Broach, J., Dill, J., & Gliebe, J. (2012): Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1730-1740.

Beneke, R. und Di Prampero, P. E. (2001): Mechanische und methabolische Belastung beim Radfahren: eine Analyse aus physiologischer und biomechanischer Sicht. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52(1):29_32

Feizi, A., Oh, J. S., Kwigizile, V., & Joo, S. (2020): Cycling environment analysis by bicyclists' skill levels using instrumented probe bicycle (IPB). *International journal of sustainable transportation*, 14(9), 722-732

Wilson, D.; Schmidt, T. (2020): *Bicycling Science*. The MIT Press, Cambridge.

Eckart, J.; Merk, J. (2020): Die Vermessung der Radfahrenden. Analyse des Radverkehrs mit einem

SensorBike mit ubiquitären Sensoren. Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn.

Eckart Jochen, Temmen Martin, Hauenstein Jan, Rabes Max, Welz Christoph (2022): Kräftig reintreten - Die Effizienz verschiedener Führungsformen des Radverkehrs, in Transforming Cities.

Knoflacher, Hermann (1995): Fußgeher- und Fahrradverkehr: Planungsprinzipien. Böhlau Verlag, Wien.

Gressmann, M. (2022): Fahrradphysik und Biomechanik. Delius Klasing & Co. KG, Bielefeld.

Helms S, Rauch Y, Bejarano M, Kettner M, Eckart J (2023) Investigation of the Performance of Electric Bicycles in Interaction with Cyclists' Driving Behaviour in Driving Cycles on a Chassis Dynamometer. In: SAE Technical Papers, 8 <http://dx.doi.org/10.4271/2023-01-1816>).

Joo, S., & Oh, C. (2013): A novel method to monitor bicycling environments. Transportation research part A: policy and practice, 54, 1-13.

Menghini, G., Carrasco, N., Schüssler, N., & Axhausen, K. W. (2010): Route choice of cyclists in Zurich. Transportation research part A: policy and practice, 44(9), 754-765.

Temmen, M. (2022): Messen mit SensorBikes – Wie der Alltagsradverkehr von der Digitalisierung im Radsport profitieren kann, in Konferenzproceedings Fahrradlabor Hochschule.

AutorInnenangaben

Martin Bejarano
Akademischer Mitarbeiter
Hochschule Karlsruhe
Baden-Württemberg Institut für nachhaltige Mobilität (BWIM)
Hoffstraße 3
76133 Karlsruhe

E-Mail: martin.bejarano@h-ka.de

Prof. Dr. Jochen Eckart
Professor für Verkehrsökologie
Hochschule Karlsruhe
Hoffstraße 3
76133 Karlsruhe

E-mail: jochen.eckart@h-ka.de

Das niederländische Innovationsökosystem Tour de Force als Inspiration für die Radverkehrspolitik in NRW oder Deutschland

Erik Ooms, Sabine Schröder

Nexus Institut Berlin

Abstract

Sowohl in Deutschland als auch in den Niederlanden bekommt das Thema Governance in der Radverkehrspolitik zunehmend Aufmerksamkeit. In Deutschland ist die institutionelle Landschaft der Akteure im Bereich des Radverkehrs derzeit relativ fragmentiert mit einem Fokus auf Wissensaustausch zwischen ähnlichen Organisationen (hauptsächlich Behörden, Forschungseinrichtungen oder Nicht-Regierungsorganisationen (NROs)), durch Veranstaltungen oder im Rahmen von geförderten Projekten und Programmen. Durch diese Fragmentierung wird nicht nur die Umsetzung der Radverkehrspolitik erschwert, sondern auch die Entwicklung innovativer, gemeinsam gestalteter Lösungen. In den Niederlanden gab es eine ähnlich fragmentierte institutionelle Landschaft mit einer ähnlichen Problematik. In Jahr 2015 wurde daher die interorganisationale Initiative „Tour de Force“ ins Leben gerufen, die darauf abzielt, eine langfristige enge Zusammenarbeit zwischen 24 unterschiedlichen Organisationstypen, die sich mit dem Thema Radverkehr befassen, zu fördern. Mit den Prämissen von geteilter Verantwortung und Vertrauen zeigt sich, dass dieses sogenannte Innovationsökosystem eine positive Transformation des Radverkehrssektors in den Niederlanden vorantreibt.

In diesem Artikel soll deshalb untersucht werden, inwiefern dieses Konzept auch nach Deutschland, speziell nach Nordrhein-Westfalen (NRW), übertragen werden kann. Der regionale Fokus auf Das Bundesland NRW wurde gewählt, da es als Nachbarregion an die Niederlande in Größe und Einwohnerzahl den Niederlanden ähnelt. Die Ergebnisse verdeutlichen allgemein die Komplexität von Politiktransfers im Bereich des Radverkehrs, zeigen jedoch auch zusätzliche Herausforderungen in Bezug auf die Übertragbarkeit, Prozessgestaltung und Anpassungsfähigkeit von Governance-bezogenen politischen Maßnahmen. Zusammenfassend zeigt sich, dass ein Politiktransfer in Form eines gegenseitigen Lernpfades, bei dem beide Seiten profitieren, gegenüber der Vermarktung eines Erfolgskonzepts aus den Niederlanden, im Sinne einer Imitation, das größte Potenzial verspricht.

Schlagwörter / Keywords:

Innovationsökosystem, Kollaboration, Governance, Politiktransfer

1. Über den Wissensaustausch hinweg

Die Verkehrswende findet in Deutschland in erster Linie auf kommunaler Ebene statt. Viele Kommunen haben bereits Maßnahmen ergriffen, die in ihren Zuständigkeitsbereichen liegen. Dennoch besteht in Deutschland ein erhebliches Umsetzungsproblem. Damit Mobilitätswende-Maßnahmen erfolgreich implementiert werden können, braucht es vor allem die politische Unterstützung der Projekte, unterstützende Verwaltungsstrukturen und eine gute Koordination zwischen den beteiligten Akteuren, ein-

schließlich Instrumenten des Wissenstransfers, ausreichenden Ressourcen, effektive Methoden zur Einbeziehung aller Akteure - und immer auch ein bisschen Mut.

Dies zeigen auch die Ergebnisse der durch das BMBF geförderte Begleitforschung Nachhaltige Mobilität (BeNaMo), die seit 2020 insgesamt 26 Projekte der beiden Fördermaßnahmen MobilitätsZukunftsLabor 2050 (MZL 2050) und MobilitätsWerkStadt 2025 (MWS 2025) begleitet, evaluiert und den Austausch zwischen den Projekten fördert. Im MobilitätsZukunftsLabor 2050 (MZL 2050) wurden von 2021 bis

2024 zwölf transdisziplinäre Forschungsverbünde gefördert, in denen übergreifende und grundlegende Fragen der nachhaltigen Mobilität inter- und transdisziplinär erforscht und mögliche Governance-Ansätze und Wege für die Mobilität der Zukunft aufgezeigt wurden. Parallel dazu werden seit 2020 in der MobilitätsWerkStadt 2025 (MWS 2025) kommunale Projekte vom BMBF gefördert, die nachhaltige Mobilitätslösungen in Städten und Regionen entwickeln, in Reallaboren erproben und wissenschaftlich begleiten.

Die Projekte der MobilitätsWerkStadt 2025 befinden sich mittlerweile in der dritten Phase. Im Rahmen dieser Phase wird untersucht, mit welchen Strategien und Instrumenten die entwickelten Maßnahmen auch langfristig aufrechterhalten werden können und wie sie in andere Kommunen übertragen werden können. Dazu braucht es stabile und langfristige Netzwerke und Kooperationen, die gemeinsam an einem Strang ziehen.

Einige der MWS- und MZL-Projekte befassen sich spezifisch mit dem Thema Radverkehr und Governance. Ein Beispiel ist das NUDAFa-Projekt (BeNaMo, 2024a), das Hemmnisse und Potenziale bei der interkommunalen Radverkehrsförderung analysierte, wie zum Beispiel die mangelnde Koordination relevanter Akteure und Finanzierungsprobleme für die interkommunale Fahrradinfrastruktur. Als Lösung wurde eine datengestützte Online-Plattform entwickelt, die den Akteuren ein gemeinsames Problemverständnis ermöglicht und als Basis für Maßnahmenentwicklung dient. Außerdem wurden neue Kollaborationsansätze zwischen den beteiligten Gemeinden auf Bürgermeister-Ebene etabliert.

Ein weiteres Beispiel ist das Projekt KoRa (BeNaMo, 2024b), das Umsetzungs hemmnisse für die kommunale Radverkehrspolitik in den Verwaltungsstrukturen und -prozessen untersuchte. Neben einer Rückendeckung durch EntscheidungsträgerInnen, das Einrichten von Koordinationsstellen und der Digitalisierung von Prozessen, spielen auch Strukturen für Weiterbildung und Wissenstransfer eine wichtige Rolle. Zur Einschätzung der eigenen Verwaltungsstrukturen und Prozess hat das Projekt ein Quick-CheckTool für Kommunen entwickelt, das auch Handlungsempfehlungen gibt.

Beide Projekte verdeutlichen, dass sowohl Strukturen für Weiterbildung, Wissenstransfer, Kollaboration und Peer-Learning innerhalb von Kommunen, aber auch ein starkes unterstützendes Kollaborationsnetzwerk kommunenübergreifend bedeutend für die erfolgreiche Umsetzung von Mobilitätswendemaßnahmen sind. Allerdings basieren offizielle und inoffizielle Netzwerke und Foren für den Wissensaustausch im Bereich Mobilität, insbesondere zum Radverkehr, meistens auf Freiwilligkeit. Ohne kontinuier-

liche Finanzierung und Unterstützung durch die Behörden oder Stiftungen sind sie schwer aufrechtzuerhalten. Besonders programm- oder projektbasierte Netzwerke neigen dazu nach Projektende zu zerfallen. Dies erschwert nicht nur die Weiterführung einzelner Initiativen, sondern bremst auch die langfristige Transformation hin zu fahrradfreundlichen Städten aus.

Um dies zu verhindern, muss die zukünftige Radverkehrspolitik darauf abzielen, bestehende Netzwerke, Foren und Initiativen über den bloßen Wissensaustausch hinaus in langfristige Kollaborationsstrukturen zu überführen. Hier setzt dieses Paper an: Es zieht Inspiration aus dem niederländischen Innovationsökosystem Tour de Force, einer Initiative zur Förderung der Kollaboration im Radverkehr. An dieser Initiative sind nationale, regionale und lokale Behörden, private Akteure, Forschungseinrichtungen, NROs sowie Interessenvertretungen beteiligt (Tour De Force, 2025). Ziel dieses Artikels ist es, zu untersuchen, ob und wie ein politischer Transfer des Innovationsökosystems Tour de Force nach Deutschland und insbesondere nach Nordrhein-Westfalen (NRW) erfolgen könnte. NRW dient hier aufgrund seiner mit den Niederlanden vergleichbaren Größe und Bevölkerungszahl als Bundesland, das für diese Untersuchung herangezogen werden soll.

Dieses Paper beginnt mit einer Einführung in organisationsübergreifende Innovationskooperationen mit Fokus auf das Konzept der Innovationsökosysteme. Anschließend wird das niederländische Innovationsökosystem Tour de Force anhand der Ergebnisse eines Interviews mit dessen Programmleiter, Ronald de Haas, erläutert. Danach folgt eine Analyse der deutschen und NRW-weiten institutionellen Fahrradlandschaft. Basierend auf der Theorie des Politiktransfers, die im nächsten Kapitel vorgestellt wird, wird untersucht, ob ein Transfer von Tour de Force nach NRW möglich ist. Erste Ideen zur Gestaltung eines solchen Transferprozesses werden dabei skizziert. Diese Arbeit dient als Denkanstoß und soll die Diskussion anregen, stellt jedoch keine rein wissenschaftliche Analyse dar.

2. Von Growth Poles zu Innovationsökosystemen

Die Schlagworte „Wissensaustausch“ und „Kooperationsplattform“ sind zentral für diesen Artikel. Ihre Bedeutung wird aus der Perspektive der Wirtschaftsgeographie sowie der Wissenschafts-, Technologie- und Innovations-Politik (WTI) heraus betrachtet.

Während sich die Wirtschaftsgeographie mit den räumlichen Dimensionen wirtschaftlicher Aktivitäten befasst (Peet & Hartwick, 2015), bietet die WTI-Politik Rahmenbedingungen zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, technologischer und innovativer Praktiken (OECD, 2024).

Seit den 1960er Jahren wurde die Wirtschaftsgeographie stark von François Perroux' Growth-Pole-Theorie beeinflusst (Darwent, 1969). Diese besagt, dass die Ansiedlung eines Großunternehmens als Wachstumspol („growth pole“) zur wirtschaftlichen Entwicklung einer Region beiträgt, indem sie Zuliefer- und Handelsunternehmen anzieht. Die WTI-Politik griff dieses Innovations- und Wachstumsnarrativ auf (Schot & Steinmueller, 2018) und unterstützte vorrangig große Unternehmen durch finanzielle und rechtliche Maßnahmen.

In den 1980er Jahren brachte der Ökonom Michael Porter neue Impulse: Er stellte fest, dass die räumliche Konzentration von Unternehmen in bestimmten Sektoren – sogenannte Cluster – Innovationsprozesse begünstigen. Davon inspiriert förderten viele westliche Länder ab den 1990er Jahren gezielt Clusterentwicklungen, um unternehmerische Netzwerke und Wissensaustausch zu stärken (Schot & Steinmueller, 2018). Zu Beginn konzentrierten sich diese Ansätze vor allem auf Unternehmen. In den 2000er Jahren entwickelte sich jedoch das Triple-Helix-Modell, das die Zusammenarbeit zwischen Forschung, Unternehmen und Behörden betonte. Später erweiterte das Quadruple-Helix-Modell diese Perspektive um die Zivilgesellschaft.

Seit den 2010er Jahren setzt sich zunehmend das Konzept der Ökosysteme durch, inspiriert von biologischen Ökosystemen. Es beschreibt die Wechselwirkungen, Abhängigkeiten und Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren in einem komplexen System. Innerhalb dieses Rahmens entstanden spezifische Konzepte, wie unternehmerische Ökosysteme, die sich auf Netzwerke zur gemeinsamen wirtschaftliche Wertschöpfung konzentrieren (Moore, 1993). Eine zentrale Differenzierung ist das Innovationsökosystem.

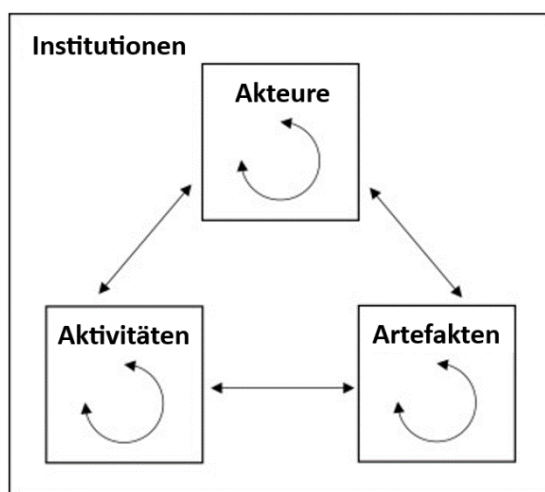


Abbildung 1: Elemente eines Innovationsökosystem.
Quelle: Granstrand und Holgersson (2020).

Eine einheitliche Definition eines Innovationsökosystems gibt es nicht, da sich das Konzept je nach Region unterscheidet und sich im Laufe der Jahre weiterentwickelt hat. In diesem Beitrag wird deshalb die Definition von Grandstrand und Holgersson (2020) verwendet: Ein Innovationsökosystem ist die sich entwickelnde Gruppe von Akteuren, Aktivitäten und Artefakten (z.B. Instrumente), sowie die Institutionen und Beziehungen, einschließlich komplementärer und substituierender Beziehungen, die für die Innovationsleistung eines Akteurs oder einer Gruppe von Akteuren wichtig sind.

3. Das niederländische Innovationsökosystem Tour de Force

Ein Beispiel für ein Innovationsökosystem im Radverkehrsbereich ist die niederländische Tour de Force. Dieses Kapitel beleuchtet die bisherige, aktuelle und künftige Entwicklung der Initiative anhand ihres institutionellen Rahmens, ihrer Aktivitäten, Akteure, Artefakte und ihres Innovationsoutputs.

Im Jahr 2014 organisierte der niederländische „Fietserbond“ (das Pendant zum ADFC (Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club)) einen Wettbewerb der fahrradfreundlichsten Städte, bei dem die Stadt Zwolle gewann. Der Stadtrat Filip van As freute sich über diesen Preis, erkannte jedoch mehrere Herausforderungen für eine weitergehende Radverkehrsförderung. Die Akteurslandschaft der fahrradbezogenen Organisationen in den Niederlanden war zu der Zeit fragmentiert, was eine Kooperation erschwerte. Zudem wurde das Verkehrsmittel Fahrrad in der politischen Agenda auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene nicht priorisiert. Um dem entgegenzuwirken, wurde eine Rundreise zu verschiedenen Fahrradorganisationen organisiert, um mit ihnen individuell über eine intensivere Kooperation und politische Verankerung zu sprechen.

2015 wurde daraufhin die Initiative Tour de Force ins Leben gerufen, die 24 Partner aus Behörden, NGOs, Vertretern privater Parteien, angewandter Forschung und vielen anderen Organisationen vereinte (siehe Abbildung 2 für eine Liste der Partner). In regelmäßigen Treffen wurde zunächst ein gemeinsames Verständnis der Rolle des Radverkehrs in den Niederlanden erarbeitet, ohne dabei ein festgelegtes Programm zu entwickeln.

Zeitgleich erkannte auch die niederländische Nationalregierung die Bedeutung des Radfahrens und entwickelte eine erste Radverkehrsagenda. Diese war bewusst allgemein gehalten und legte als nicht konkrete messbare Mission bis 2027 eine Steigerung der gefahrenen Fahrradkilometer um 20 % zu erreichen. Obwohl die Verantwortung für die Radverkehrspolitik weiterhin bei den lokalen und regionalen Behörden lag, wurde die Initiative finanziell durch den Staat unterstützt. Tour de Force erhielt Mittel

aus dem Verkehrsministerium (50%), den Regionen und Kommunen (25%) sowie den regionalen Verkehrsverbänden (25%). Diese Mittel deckten unter anderem das Programmmanagement sowie die Organisation von Netzwerktreffen und -aktivitäten.

- ANWB: Entspricht dem deutschen ADAC, aber mit einem größeren Interesse am Radfahren.
- BOVAG: Verband für Kfz-Händler, -Werkstätten und -Wartung, aber auch für Reparaturwerkstätten für Fahrräder.
- CRa: Unabhängige Organisation, die die nationale Regierung in Fragen der Raumqualität (Transformation der Städte, Mobilitäts- und Energiewende) berät.
- CROW: Entwickler und Herausgeber von Richtlinien, Organisator von Schulungen. Entspricht der deutschen FGSV.
- Platform31: Wissens- und Netzwerkorganisation für urbane und regionale Entwicklung.
- Dutch Cycling Embassy: Öffentlich-privates Netzwerk zum Austausch über niederländische Erfahrungen im Radverkehrsbereich und zur Wissensverbreitung mit internationalen Stakeholdern.
- F10: Netzwerk der ambitioniertesten Fahrradstädte.
- Metropolregion Rotterdam/Den Haag: Mehrebene überregionale Netzwerkorganisation.
- Fietsersbond: Äquivalent zum deutschen ADFC.
- FIPAVO: Verband der Hersteller von Fahrradabstellanlagen.
- Inter Provinciaal Overleg (IPO): Das Netzwerk und die Interessensvertretung der 12 niederländischen Provinzen.
- Fietsplatform: Kompetenz- und Koordinationszentrum für Freizeitradfahren und Freizeitrouten.
- Nationales Ministerium für Infrastruktur und Wassermanagement.
- Natuur&Milieu: Umweltorganisation mit Schwerpunkt auf Lösungsansätzen für Klima- und Naturprobleme.
- NOC NSF: Nationaler niederländischer Sportverband.
- NS Stations: Unternehmen, das die Bahnhöfe in den Niederlanden besitzt und verwaltet.
- NTFU: Radsportverband (Rennen, Mountainbikes und Gravelbikes).
- RAI: Verband der Hersteller und Händler von Pkw, Lastwagen, Mopeds und Fahrrädern.
- SAFE: NRO, die sich mit der Reduzierung von Fahrraddiebstählen befasst.
- SWOV: Institut für Verkehrssicherheitsforschung.
- Unie van Waterschappen: Verband der regionalen Wasserbehörden.
- Veilig Verkeer: Organisation zur Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Obwohl offiziell etabliert, ist Tour de Force rechtlich nicht institutionalisiert – das heißt es wurden keine Vereinbarungen oder Verträge unterzeichnet. Die Zusammenarbeit basiert auf einem „Gentlemen's Agreement“. Somit existiert weder ein offizieller Verein noch eine gemeinsame Budgetierung oder Verwaltung. Stattdessen erfolgt die Finanzierung einzelner Aktivitäten direkt durch einen der drei staatlichen Partner unter Beachtung der vereinbarten finanziellen Ausgewogenheit. Die 24 Partner bringen zudem eigene Ressourcen und Personal in das Netzwerk ein, stellen diese aber auch den Netzwerkpartnern bereit. Die Plattform CROW stellt beispielsweise kostenfreie Meetingräume in Utrecht zur Verfügung.

Nachdem in den ersten Jahren der Fokus auf der gemeinsamen Positionierung des Radfahrens lag, konzentrierte sich Tour de Force zunehmend darauf, das Fahrrad auf die politische Agenda verschiedener lokaler, regionaler und nationaler Gremien zu bringen. Zu diesem Zweck wurden größere Treffen organisiert. Zudem formulierten die Mitglieder neun Schwerpunktthemen, die in einem Arbeitsprogramm festgehalten wurden. Daraufhin entstanden informelle Arbeitsgruppen, die sich mehrmals jährlich treffen, um Wissen und Lösungen auszutauschen. Die Leitung dieser Gruppen übernehmen sogenannte "Ploegleiders". Alle beteiligten Organisationen tragen Informationen und Wissen in diese Arbeitsgruppen ein, um die Initiative weiter voranzubringen.

Im Laufe der Zeit verlagerte sich der Fokus von institutionellen Unterschieden und der Verantwortungszuweisung zu einem gegenseitigen Verständnis und der Entwicklung gemeinsamer Lösungen. StädtvertreterInnen begannen sich gezielt auszutauschen, um das Radfahren auf der politischen Agenda weiter nach oben zu rücken. So entstand die Initiative "F10", die derzeit 22 Vorreiterstädte umfasst. Neben dem Austausch von Wissen koordinieren sie ihre Lobbyarbeit für den Radverkehr gegenüber der nationalen und regionalen Politik, beispielsweise in Bezug auf das nationale jährliche Infrastrukturprogramm (MIRT) oder die Vereinfachung von Subventionsanträgen. Darüber hinaus setzen sie sich dafür ein, neue Ansätze und Innovationen in andere Kommunen zu übertragen.

Nach den ersten Jahren entwickelte Tour de Force gemeinsam mit allen Partnern eine nationale Zukunftsvision für den Radverkehr bis 2040 (Abbildung 3). Diese Vision hebt hervor, welche Rolle der Radverkehr bei der Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen, wie Gesundheit und Erreichbarkeit, spielen kann. Im Zuge dessen wurden die Anzahl der Schwerpunktthemen und Arbeitsgruppen auf drei reduziert: Radverkehrsinfrastruktur, Fahrradstellplätze und Radfahren für alle. Auch auf strategischer Ebene treffen sich die GeschäftsführerInnen der 24 Partner regelmäßig.

Abbildung 2: 24 Partner Tour de Force. Quelle: Tour de Force (2025).

Neben der politischen Agenda rückte zunehmend auch die Umsetzung der Radverkehrspolitik in den Fokus. Netzwerkakteure tauschten verstärkt Wissen aus und arbeiteten gemeinsam an Projekten und Pilotversuchen. Zudem wurden durch angewandte Forschungsprojekte, die von den drei staatlichen Förderpartnern finanziert wurden, neue Erkenntnisse gewonnen. Die Organisation CROW, die für Radverkehrsrichtlinien zuständig ist, wurde zunehmend in das Netzwerk eingebunden, um Vorschläge zur Richtlinienverbesserung zu sammeln und innovative Lösungen in Pilotstädten zu erproben.



Abbildung 3: Nationale Zukunftsvision für den Radverkehr. Quelle: Tour de Force (2025).

Durch die intensivere Zusammenarbeit zwischen den Akteuren und die Bereitstellung von Ressourcen besteht ein klarer Mehrwert der Initiative Tour de Force für alle Beteiligten. Tour de Force ist zu einem Netzwerk geworden, in dem Probleme gemeinsam und in gemeinsamer Verantwortung gelöst werden. Mit Blick auf die Zukunft muss sich die Initiative verschiedenen Herausforderungen stellen: Die Vor- und Nachteile einer rechtlichen Institutionalisierung werden bereits diskutiert, die einerseits zu mehr Bürokratie führen könnte, aber andererseits auch eine stabilere Grundlage bieten würde. Zudem wird erwo-gen, neue Partner aus dem Straßenbau oder dem Gesundheitswesen aufzunehmen. Eine weitere Möglichkeit zur Stärkung der Kooperation könnte die Einforderung einer offiziellen politischen Verbindlichkeit zu Themen wie Verkehrssicherheit oder "Fahrradarmut" sein.

4. Allgemeine Analyse der Zusammenarbeit im Bereich Radfahren in Deutschland und NRW

Soweit bekannt, gibt es in Deutschland oder in NRW kein Innovationsökosystem im Bereich Radverkehr, das mit der niederländischen Initiative Tour de Force vergleichbar wäre. Daher wird eine explorative Analyse der aktuellen Kooperationslandschaft im Radverkehr basierend auf den praktischen Erfahrungen des Autors durchgeführt. Diese Analyse erhebt

keinen Anspruch auf Vollständigkeit und kritisiert nicht die Bemühungen einzelner Organisationen, sondern dient einer Einschätzung für die Bewertung eines möglichen Politiktransfers.

Die Landschaft der Fahrradorganisationen in Deutschland ist etwas fragmentierter und beruht stärker auf zufälligem Wissensaustausch (z. B. bei Veranstaltungen). Lokale Behörden tauschen zu- vorerst Informationen in Netzwerken wie den Arbeitsgemeinschaften für fahrradfreundliche Kommunen (AGFK) und während der jährlichen Fahrradkommunalkonferenz aus. Unternehmen sind in Verbänden wie dem ZweiradIndustrieVerband (ZIV), dem Verbund Service und Fahrrad (VSF), Zukunft Fahrrad und dem Radlogistik Verband Deutschland organisiert und treffen sich auf Veranstaltungen wie der Viva-Velo oder der RadlogistikKonferenz.

Der Austausch in der Forschung – sowie zwischen Forschung und Praxis – wurde früher von der Fahrradakademie des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) organisiert und ist derzeit Teil des Mobilitätsforums Bund. Auch die sieben FahrradprofessorInnen in Deutschland tauschen sich regelmäßig aus und kooperieren miteinander. Darüber hinaus tragen Organisationen wie die Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft (DVWG), das Umweltbundesamt (UBA) und viele weitere Akteure zum Austausch bei. Auch die Zivilgesellschaft engagiert sich in der Zusammenarbeit: Der Allgemeine Deutsche FahrradClub (ADFC), der Verkehrsclub Deutschland (VCD), die Deutsche Verkehrswacht sowie lokale Initiativen – beispielsweise Volksentscheide oder Kiez/Superblock-Projekte – tauschen Erfahrungen aus. Weitere Akteure wie Stiftungen (z. B. die Bosch und Bertelsmann Stiftungen), die Industrie- und Handelskammern (IHK) oder politische Organisationen, wie die Heinrich-Böll-Stiftung, beteiligen sich oder organisieren Netzwerkaktivitäten.

Ein Austausch zwischen Akteuren aus unterschiedlichen Bereichen findet nur sporadisch statt. Alle zwei Jahre wird der Nationale Radverkehrskongress organisiert, der verschiedene Akteure für einige Tage zusammenbringt. Zudem fördern Programme, wie BeNaMo, den Austausch zwischen Projekten, verknüpfen Forschung und Behörden und unterstützen Kooperationen zwischen Unternehmen und Wissenschaft.

Auch in NRW ist die Fahrradlandschaft vornehmlich fragmentiert. Die wichtigste Rolle spielt die Arbeitsgemeinschaft für fahrradfreundliche Städte, Gemeinden und Kreise in NRW (AGFS), die 1993 gegründet wurde, und von der NRW-Landesregierung finanziert wird. Derzeit umfasst sie 115 Behörden, die regelmäßig Wissen austauschen, eine Lobby für den Radverkehr auf Landesebene organisieren und mit den Ministerien des Landes NRW kooperieren (Bouwman, 2020). Eine zweite bedeutende Rolle

spielt der ADFC, der in einigen Städten gut organisiert ist und sowohl zum Wissensaustausch als auch zur Lobbyarbeit beiträgt. Drittens entwickelt sich das Zukunftsnetz Mobilität NRW als Netzwerk weiter. Es wird von den vier Verkehrsregionen NRW unterstützt, berät Kommunalverwaltungen und fördert den Austausch zum Mobilitätsmanagement, inklusive Radfahren. Andere akteursübergreifende Aktivitäten zum Austausch sind nicht bekannt.

Diese allgemeine Einschätzung legt nahe, dass der Schwerpunkt eher auf dem Wissensaustausch und gelegentlicher Zusammenarbeit liegt als auf einer tiefgreifenden Kollaboration und dem gemeinsamen Fortschritt des gesamten Radverkehrssektors als innovatives Ökosystem.

5. Politik-Transfer-Theorie und Praxis im Bereich Radfahren

Der Politiktransfer, also die Übertragung politischer Maßnahmen von einem institutionellen Kontext in einen anderen, beispielsweise zwischen Ländern oder Regionen, wird seit den 1990er Jahren untersucht. Lässt sich das niederländische Innovationsökosystem Tour de Force auf die Radverkehrslandschaft in NRW übertragen?

Das Modell von Minkman, van Buuren und Bekkers (2018) betrachtet das Umfeld, die Übertragbarkeit, das Prozessdesign sowie die Anpassungsfähigkeit eines potenziellen Transfers (siehe Abbildung 4). Basierend auf diesen Faktoren ergeben sich vier mögliche Szenarien: Entweder wird die Politik imitiert, sie wird angepasst, sie führt lediglich zu einer Inspiration oder die Politik wird gar nicht übernommen. Die Autoren identifizieren zudem verschiedene Politiktransferpfade, darunter opportunistische (gezielte Suche nach Lösungen mit direktem Transfer), markenbezogene (Vermarktung einer Praxis durch die Ursprungsregion), erzwungene (Transfer aufgrund von Peer-Druck, z. B. durch die EU) und wechselseitige Lernpfade (gegenseitiger Wissensaustausch und Inspiration).

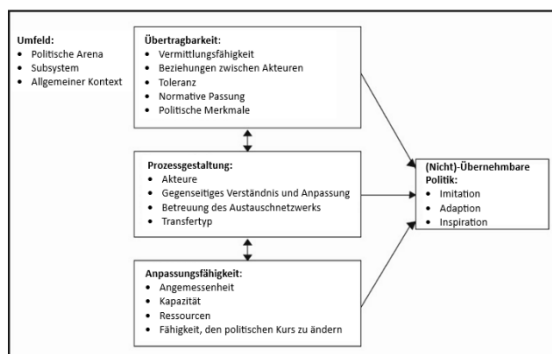


Abbildung 4: Politiktransfer Rahmen. Quelle: Minkman, van Buuren und Bekkers (2020).

Versuche, die Radverkehrspolitik der Niederlande auf Deutschland zu übertragen, gab es bereits, aber mit begrenztem Erfolg. Pojani & Stead (2015) analysierten die Methode von Study Tours (Reisen von Akteuren des Radverkehrs aus Deutschland in die Niederlande) und kamen zu dem Schluss, dass diese meist keine Implementierung zur Folge hatte. Zu den spezifischen Hemmnissen gehören die kurze Dauer solcher Study Tours sowie die Tatsache, dass sich die niederländische VertreterInnen zu sehr auf technisches Fachwissen und finanzielle Aspekte konzentrieren und weniger auf emotionale Faktoren, wie Kultur, eingehen (Pojani & Stead, 2015). Ein weiteres Problem liegt in der mangelnden Weitergabe des gewonnenen Wissens von den Teilnehmenden an ihre Ministerien oder Institutionen. Kontextuelle Unterschiede in Kultur, sozialer Struktur, Sprache, Planungsrecht und finanziellen Ressourcen sowie die fehlende Einbeziehung politischer EntscheidungsträgerInnen stellen potenzielle Hemmnisse für den Transfer der niederländischen Radverkehrspolitik auf Deutschland dar.

Bouwman (2020) untersuchte einen möglichen Transfer der niederländischen Radverkehrspolitik nach Deutschland, insbesondere nach NRW, und kam zu ähnlichen Ergebnissen. Sie betonte jedoch einige zusätzliche Aspekte. So basiert die niederländische Radverkehrspolitik auf einer Organisationsform, in der Behörden, Forschungseinrichtungen und weitere Organisationen sich gemeinsam zur Nationalen Agenda Radfahren bekennen. Die Prozesse in den Niederlanden sind stärker Bottom-Up organisiert. In Deutschland wird die Radverkehrspolitik vom nationalen Verkehrsministerium entwickelt und kann eher als Standard-Politikplan betrachtet werden, bei dem die Beiträge der Stakeholder zu verschiedenen Zeitpunkten im Entwicklungsprozess eingeholt werden, danach aber keine zentrale Rolle mehr spielen. Darüber hinaus stellt Bouwman fest, dass in den Niederlanden alle Organisationen Teil von Tour de Force sind und sich viele Netzwerkmitgliedschaften überschneiden, während in NRW die AGFSs die verbindenden Elemente zwischen NROs, dem Verkehrsministerium und den lokalen Behörden sind.

Bouwman (2020) nannte weitere Unterschiede, darunter die einfachere Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung des Autoverkehrs in den Niederlanden, die detailliertere und weniger flexible deutsche Straßenverkehrsordnung (StVO) sowie den hohen administrativen Aufwand für die Fördermittelbeantragung. Was den Politiktransfer betrifft, nennt sie Barrieren, wie die oft als „überlegen“ wahrgenommene Haltung der niederländischen VertreterInnen bei Study Tours, die begrenzten finanziellen Mittel in NRW, Unterschiede in der Hierarchie, Kultur und Po-

litikgestaltung, das Fehlen konkreter AnsprechpartnerInnen und die Schwierigkeiten bei der politischen Abstimmung zwischen den Akteuren. Für einen Politiktransfer empfiehlt sie, die Study Tours stärker auf die Bedürfnisse der deutschen Delegation auszurichten und EntscheidungsträgerInnen stärker einzubeziehen. Eine kontinuierlichere und kooperativere Entwicklung von Austauschformaten könnte insgesamt den Transferprozess erleichtern.

6. Transferpotenzial von Tour de Force in der NRW-Institutionenlandschaft

Auf der Grundlage der Theorie aus Kapitel 5 wird in diesem Kapitel untersucht, ob und wie ein politischer Transfer von Tour de Force (Kapitel 3) nach NRW gefördert werden könnte.

Umfeld: NRW und die Niederlande sind direkte regionale Nachbarn und haben kulturell und gesellschaftlich vieles gemeinsam. Beide arbeiten in EU-finanzierten Projekte, sowie in anderen Initiativen zusammen. Zum Thema Radverkehr existieren einige Projekte (z. B. Interreg BikeNoBorders), jedoch fehlt es an einem grenzüberschreitenden Austausch sowie an einem Netzwerk zwischen PolitikerInnen und PlanerInnen in diesem Bereich. Der Austausch zum Thema Radfahren findet derzeit hauptsächlich im Rahmen von Study Tours, sporadische Treffen zwischen deutschen und niederländischen Kommunen und EU-finanzierten Projekten und bei Veranstaltungen statt.

Die Übertragbarkeit von Tour de Force nach Deutschland kann in Frage gestellt werden. NRW könnte für einen anderen Governance-Ansatz offen sein, aber dies erfordert einen Kulturwandel mit einem stärkeren Bottom-up-Ansatz, der den Schwerpunkt auf gemeinsame Verantwortung und Vertrauen zwischen allen relevanten fahrradbezogenen Akteuren, einschließlich der Politik, legt. Dies könnte jedoch weniger mit dem deutschen System der Politikentwicklung und -umsetzung vereinbar sein.

Ein positiver Aspekt ist, dass bereits nationale und regionale staatliche Fördermittel für den Radverkehr existieren, wie z. B. die Förderrichtlinien Nahmobilität (FöRiNah) (NRW Bank, 2025). Zudem besteht ein Bewusstsein dafür, dass das Thema Radverkehr auf der politischen Agenda weiter nach oben rücken sollte. Allerdings können auch die normative Einpassung und die politischen Rahmenbedingungen kritisch betrachtet werden. In Deutschland gibt es die Notwendigkeit, auf eine frühzeitige rechtliche Institutionalisierung hinzuwirken, beispielsweise durch die Finanzierung von Organisationen mit inhaltsorientierten Programmen und Zielen (unter Berücksichtigung des Gebots der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit) und weniger durch Bottom-up-Initiativen zum Aufbau von Ökosystemen. Außerdem gestaltet sich die Finanzierung, aufgrund des deutschen büro-

kratischen Rahmens, der durch eine begrenzte Flexibilität der staatlichen Haushalte (Haushaltsplan) geprägt ist, komplexer als in den Niederlanden, wo ein informelleres, auf Vertrauen basierendes Fördersystem existiert.

Was die Prozessgestaltung des Transfers betrifft, so wären die Niederlande und NRW in der Lage, diesen mit mehreren relevanten Organisationen zu organisieren. Eine wichtige Rolle könnten beispielsweise die Dutch Cycling Embassy, einer der Tour-de-Force-Partner, und die AGFKs in NRW spielen. Der Transferprozess muss jedoch über die Study Tours hinausgehen und möglicherweise langfristige, systematische Austauschformate umfassen, die durch eine geeignete Organisationsstruktur gesteuert werden. Potenzielle BotschafterInnen aus Politik und Verwaltung beiderseits der Grenze könnten Anreize schaffen, um den Prozess weiter voranzutreiben.

Hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit könnte die Verfügbarkeit von Personalressourcen auf beiden Seiten der Grenze eine Herausforderung darstellen. Ein Memorandum zur Bereitstellung entsprechender personeller Kapazitäten könnte ausgearbeitet werden. Ebenso bleibt die Finanzierungsfrage zu klären, wobei verschiedene politische Ebenen angemessene Beiträge leisten sollten.

Angesichts dieser Unterschiede und Herausforderungen erscheint eine direkte Imitation von Tour de Force höchst unwahrscheinlich. Der Transfer sollte vielmehr in Form einer Adaption oder einer Inspiration erfolgen. Dabei können Erkenntnisse aus der Tour de Force über den Aufbau eines Ökosystems, den Umgang mit Akteuren, Aktivitäten, Artefakten und Innovationsleistungen vermittelt werden. Das tatsächliche Resultat dieser Bemühungen sollte jedoch offenbleiben. Der Transferpfad sollte sich weg von einer Vermarktung, bei der die Niederlande vorbildliche technische Praktiken „verkauft“, zu einem Lernweg entwickeln. Dieser Weg erfordert jedoch auch einen Mehrwert für die niederländischen Akteure.

7. Schlussfolgerung und Anregungen für die nächsten Schritte

Das Innovationsökosystem Tour de Force bietet Potenzial für einen Transfer nach NRW (und damit auch Deutschland), um die aktuell eher fragmentierte Radverkehrslandschaft, die primär dem Wissensaustausch dient, in ein langfristiges Kollaborationsnetzwerk zu transformieren. Bisherige Studien haben Herausforderungen beim Politiktransfer nach Deutschland identifiziert. Hervorzuheben ist, dass ein erhebliches Potenzial in der Entwicklung eines stärker strukturierten und organisierten, „lernenden“ Politiktransferpfads liegen könnte, basierend auf Inspiration statt Imitation.

Dieser Ansatz würde eine neue Form der Zusammenarbeit erfordern. Zunächst sollten politische und fachliche BotschafterInnen in NRW und Deutschland gefunden werden, die sich aktiv für diese Idee einsetzen. Diese könnten den Dialog mit relevanten Fahrradorganisationen in NRW führen, um Herausforderungen, Ziele und das generelle Interesse an einer verstärkten Zusammenarbeit zu ermitteln. Anschließend sollten VertreterInnen von Tour de Force kontaktiert werden, um Möglichkeiten der Zusammenarbeit und der Erstellung eines Transferkonzeptes auszuloten, von dem sowohl NRW als auch die Niederlande profitieren könnten. Parallel dazu wäre eine Klärung der Finanzierungsquellen notwendig - möglicherweise bieten sich hier auch EU-Mittel an.

Bestehende Netzwerke und Foren des Wissensaustausches, wie auch das Netzwerk der Begleitforschung BeNaMo, könnten wertvolle Impulse für ein zukünftiges Fahrrad-Innovationsökosystem liefern. Die Vernetzung könnte spannende Synergien schaffen, die Projekte verstärken, deren Transfer zu anderen Kommunen vergrößern und eine langfristige Transformation des Radverkehrs fördern.

Literatur

BeNaMo (2025). Phase 3: Verstetigung und Transfer der Mobilitätskonzepte (laufend, seit 2024) <https://www.zukunft-nachhaltige-mobilitaet.de/mobilitaetswerkstadt-2025-3-phase-transfer-und-anpassung-der-mobilitaetskonzepte/>.

BeNaMo (2024a). NUDAFa – Das Reallabor als Methode der interkommunalen Radverkehrsförderung. <https://www.zukunft-nachhaltige-mobilitaet.de/nudafa-das-reallabor-als-methode-der-interkommunalen-radverkehrsfoerderung/>

BeNaMo (2024b). KoRa – Beseitigung von Umsetzungshemmnissen in der kommunalen Radverkehrsplanung – sozio-technische Innovationen und kommunale Steuerungsmöglichkeiten. <https://www.zukunft-nachhaltige-mobilitaet.de/kora-beseitigung-von-umsetzungshemmnissen-in-der-kommunalen-radverkehrsplanung-sozio-technische-innovationen-und-kommunale-steuerungsmoeglichkeiten/>

Bouwman, M. (2020). Fietsen naar Nederlands voorbeeld? Een vergelijkend onderzoek naar het fietsbeleid in Nederland en Duitsland, Dortmund: readbox unipress 2020

Darwent, D. (1969). Darwent, D. (1969): Growth poles and growth centers in regional planning-a review, *Environment and Planning*, vol. 1, pp. 5-32

Dolowitz, D.P. und Marsh, D. (2020). Learning From Abroad: The Role of Policy Transfer in Contemporary Policy-Making. January 2000. *Governance* 13(1):5 – 23

Granstrand, O. und Holgersson, M. (2020). Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition, *Technovation*, Volumes 90–91, 2020.

Minkman, E., van Buuren, M. W., & Bekkers, V. J. J. M. (2018). Policy transfer routes: an evidence-based conceptual model to explain policy adoption. *Policy Studies*, 39(2), 222–250.

Moore, J. F. (1993). *Predators and Prey: A New Ecology of Competition*. Harvard Business Review.

OECD (2024). Erklärung über eine transformative Wissenschafts-, Technologie- und Innovationspolitik für eine nachhaltige und inklusive Zukunft, OECD/LEGAL/0501

NRW Bank (2025). Förderrichtlinien Nahmobilität (FöRi-Nah). <https://www.nrwbank.de/de/foerderung/foerderprodukte/15738/foerderrichtlinien-nahmobilitaet-foeri-nah.html>

Peet, R. und Hartwick, E. (2015). *Theories of Development: Contentions, Arguments, Alternatives*, Third Edition.

Schot, J.W. und Steinmueller, E. (2018). Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change, *Research Policy*, Volume 47, Issue 9, 2018, Pages 1554-1567,

TourDeForce (2025). Partners van Tour de Force. <https://fietsberaad.nl/Tour-de-Force/Over/Partners>.

AutorInnenangaben

Erik Ooms
Wissenschaftliche Mitarbeiter
Nexus Institut Berlin
Willdenowstraße 38
D-12203 Berlin
ooms@nexusinstitut.de

Über die DVWG

Die Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e. V. (DVWG) ist eine unabhängige und föderal strukturierte, gemeinnützige Vereinigung von Verkehrsfachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verwaltung. Seit über 100 Jahren verfolgt die DVWG das Ziel, aktuelle und perspektivische Fragestellungen im Verkehr aufzugreifen, zu diskutieren und zu publizieren. Dabei befasst sie sich als neutrale Plattform Verkehrsträger übergreifend mit allen Belangen des Verkehrs und orientiert sich an einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung.

Die DVWG wirkt im besonderen Maße für die Förderung des Nachwuchses über das Junge Forum und verleiht verkehrswissenschaftliche Nachwuchspreise. Auf europäischer Ebene widmet sie sich der Zusammenführung von Verkehrsfachleuten aus allen europäischen Staaten unter dem Dach einer Europäischen Plattform der Verkehrswissenschaften (EPTS).

Mitglieder der DVWG sind Studierende und junge Akademiker, Berufstätige und Senioren, aber auch Ingenieurbüros, Verkehrsverbände, Klein- und Mittelstandsunternehmen der Transport- und Verkehrswirtschaft, Kommunen sowie Verwaltungs-, Bildungs- und Forschungseinrichtungen. Den Mitgliedern der DVWG bieten sich hervorragende Möglichkeiten für einen fachspezifischen Informations- und Wissensgewinn, für berufliche Qualifizierung und Weiterbildung und nicht zuletzt auch für den Auf- und Ausbau von Karriere-, Berufs- und Partnernetzwerken.

Impressum

Herausgeberin:
Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V.
Hauptgeschäftsstelle
Weißener Str. 16
13595 Berlin

Tel.: (0) 30 65852 792
E-Mail: hgs@dvwg.de
Internet: www.dvwg.de

Präsident:
Prof. Dr. Jan Ninnemann

Vereinsregister Amtsgericht Berlin-Charlottenburg VR 23784 B
USt.-IdNr.: DE 227525122

Kontakt Redaktion:
E-Mail: journal@dvwg.de