

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>