

## Subjektiven Verkehrsstress objektiv messen – ein EmoCycling-Mixed-Methods-Ansatz

*Jule Merk, Jochen Eckart, Peter Zeile*

(Jule Merk, M.Sc., Hochschule Karlsruhe, IMM, jule.merk@h-ka.de)

(Prof. Dr. Jochen Eckart, Hochschule Karlsruhe, Professur Verkehrsökologie, jochen.eckart@h-ka.de)

(Dr.-Ing. Peter Zeile, Karlsruher Institut für Technologie KIT, Professur Stadtquartiersplanung STQP, peter.zeile@kit.edu)

### 1 ABSTRACT

Als ein Baustein für eine postfossile Mobilität gewinnt das Fahrrad zunehmend an Bedeutung. Um den Anteil der Radfahrenden in der Stadt und auf dem Land weiter zu fördern, steht neben der Verbesserung der objektiven Verkehrssicherheit auch die Steigerung des subjektiven Sicherheitsgefühls der Radfahrenden im Mittelpunkt. Oftmals bildet das subjektive Gefühl von Unsicherheit für Personen, die bisher wenig bis überhaupt nicht Fahrrad fahren, und damit für die Steigerung des Radverkehrsanteils in Stadt und Land von hoher Bedeutung sind, eine Barriere für eine häufigere Nutzung des Fahrrades. Bisher ist die Analyse des subjektiven Sicherheitsgefühls jedoch nur eingeschränkt möglich. Für eine objektive, quantitative Messung der subjektiven Sicherheit fehlten bislang geeignete Methoden. In verschiedenen Studien wurden Radfahrende zu ihrem subjektiven Sicherheitsgefühl befragt. Durch solche Befragungen können jedoch nur eingeschränkt konkrete Standorte und Situationen identifiziert werden, an denen sich Radfahrende besonders unsicher fühlen. Die vorliegende Arbeit adressiert diese Forschungslücke und wendet einen Mixed Methods Ansatz zur quantitativen Messung des subjektiv beim Radfahren empfundenen Stresses an. Zum Einsatz kommt die Methodik des EmoCyclings, welche aus biostatistischen Daten physiologische Stressreaktionen des Körpers identifiziert und diese lokal verortet. Die Stressmomente beim Radfahren werden nach den Testfahrten mittels einer Interview-Analyse verifiziert. Mit dieser Methode werden subjektiv „unsichere“ Standorte und Situationen für Radfahrende identifiziert.

Um das subjektive Verkehrssicherheitsgefühl von Radfahrenden zu erhöhen, ist stressarme, objektiv sichere und qualitätvolle Radverkehrsinfrastruktur erforderlich. Von Interesse ist, ob Personen, die bisher wenig bis überhaupt nicht Fahrrad fahren, verschiedene Führungsformen des Radverkehrs unterschiedlich stressarm empfinden. Erkenntnisse über stressarme Infrastruktur könnte helfen, das subjektive Gefühl von Unsicherheit als eine Barriere für die häufigere Nutzung des Fahrrades zu überwinden. In der vorliegenden Studie wird untersucht, wie sich das subjektive Sicherheitsempfinden und der gemessene Stress bei Radverkehrsinfrastruktur im Seitenraum (eigenständiger Radweg, getrennter Geh- und Radweg etc.) oder Infrastruktur auf der Fahrbahn (Radfahrstreifen, Schutzstreifen, Fahrradstraße, Mischverkehr etc.) für verschiedene Nutzergruppen wie interessierte Radfahrende, Alltagsradfahrende und furchtlose Radfahrende unterscheidet.

Bei Personen, die das Fahrrad bisher kaum nutzen (interessierte Radfahrende) und Alltagsradfahrenden konnten mehr Stressmomente bei der Nutzung der Radverkehrsinfrastruktur auf der Fahrbahn im Vergleich zum Seitenraum nachgewiesen werden. Die Nutzergruppe der furchtlosen Radfahrenden empfindet hingegen bei der Infrastruktur auf der Fahrbahn weniger Stress. Die Erkenntnisse können genutzt werden, die objektive Verkehrssicherheit für den Radverkehr zu erhöhen und das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden zu fördern.

Keywords: Urban Emotions, Führungsformen, Subjektive Sicherheit, Fahrradverkehr, Mixed-Method-Ansatz

### 2 HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE FÖRDERUNG DES RADVERKEHRS

Laut der Studie „Mobilität in Deutschland 2017“ sind über 72 Millionen Fahrräder in 76 % der deutschen Haushalten zu finden (Nobis and Kuhnimhof, 2019). Folglich steht dreiviertel der Bürgerinnen und Bürger ein Fahrrad zur alltäglichen Nutzung zur Verfügung. Wird jedoch die tatsächliche Fahrradnutzung betrachtet, so lassen sich die befragten Personen nach Ihrer Fahrradnutzung in drei etwa gleichgroße Teile einteilen. Ein Drittel nutzt das Fahrrad regelmäßig, das zweite Drittel repräsentiert die Gelegenheitsnutzer (ein bis drei Tage Fahrradnutzung pro Monat oder seltener) und das letzte Drittel der Bevölkerung fährt äußerst selten bis nie Fahrrad (Nobis and Kuhnimhof, 2019). Daher werden im gesamtdeutschen Modal-Split nur rund 11 % aller Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt (Nobis and Kuhnimhof, 2019). Um den Radverkehr zu fördern ist das Verständnis der Nutzergruppen der Radfahrenden von hohem Interesse, denn Radfahren im Alltag kann nur gefördert und neue Nutzerinnen und Nutzer angesprochen werden, wenn die Bedürfnisse der

unterschiedlichen Nutzergruppen klar definiert sowie Handlungsvorschläge daraus entwickelt werden können.

Zahlreiche Veröffentlichungen wie (PGV-Alrutz, 2016; SINUS Markt- und Sozialforschung, 2019), Birk und Geller (2006), Nello-Deakin (2020) sowie Pucher und Bühler (2017) zeigen auf, dass der lokale Ausbau der Radinfrastruktur die Zahl der Radfahrenden erhöht und damit einer der wichtigen Ansatzpunkte für die Radverkehrsförderung ist. Daher nennt der „Nationale Radverkehrsplan 2020“ „[...] eine sichere, bedarfsgerechte und komfortable Radverkehrsinfrastruktur [...]“ als die zentrale Grundlage zur Förderung des Radverkehrs (BMVBS, 2012).

Für die bauliche Radverkehrsinfrastruktur hat sich in den letzten Jahrzehnten ein bewährter Kanon an Führungsformen entwickelt (FGSV, 2010). Innerhalb der durch Geschwindigkeit und Verkehrsmenge des MIV sowie dem vorhandenen Platz vorgegebenen Einsatzbereiche kommt es für die Sicherheit der Radverkehrsinfrastruktur meist weniger auf die Art der Führungsform, sondern vielmehr auf deren Ausgestaltung im Detail an (FGSV, 2010). Aktuell wird der Einsatzbereich verschiedener Führungsformen des Radverkehrs insbesondere im Hinblick auf deren subjektive Sicherheit wieder kritisch diskutiert (ADFC, 2018; Becker et al., 2018; Graf, 2016). Die vorliegende Studie will zur Klärung der Frage beitragen, ob Radfahrer bei Führungsformen auf der Fahrbahn mehr Stressmomente erleben, als auf Radverkehrsanlagen im Seitenraum.

Die überwiegende Mehrheit der bisherigen Studien untersucht die subjektive Verkehrssicherheit anhand von Interviews oder Online-Befragungen. Im Gegensatz dazu ermöglicht die in dieser Studie eingesetzte EmoCycling-Methode eine objektive Erhebung von Stressmomenten anhand von psychophysiologischen Reaktionen der Radfahrenden während Testfahrten. In der Studie werden verschiedene Radfahrertyp-Gruppen unterschieden. Das Ergebnis der Stressmessung erlaubt dabei einen Einblick in das individuelle Stressaufkommen der einzelnen Nutzergruppen. Ergänzt wird die Studie durch Interviews nach der Testfahrt und einer Emotionsanalyse der Antworten. Die Antworten aus den Interviews zeigen, ob die durch die Nutzenden wahrgenommene Stressbelastung mit den, durch die objektive Stressmessung erhobenen Ergebnisse vergleichbar ist. Die vorgestellte Methode ermöglicht mit dem Mixed Methods Ansatzes, das subjektiv von Radfahrenden empfundene Verkehrssicherheitsgefühl objektiv messbar zu machen.

### **3 STAND DER FORSCHUNG ZUM SICHERHEITSEMPFINDEN VERSCHIEDENER RADFAHRERTYPEN**

#### **3.1 Objektive und subjektive Sicherheit**

Die Sicherheit des Radverkehrs, wie generell im Verkehr, setzt sich aus einer objektiven und einer subjektiven Dimension sowie deren Wechselwirkungen zusammen (Johannsen, 2013; Klebelsberg, 1982). Die objektive Sicherheit fokussiert mit einer quantitativen Betrachtung die eingetretenen Unfälle und basiert meist auf einer Analyse der polizeilichen Unfallstatistik. Die subjektive Sicherheit hingegen betrachtet die emotionale Bewertung der Bedrohlichkeit einer Verkehrssituation durch Verkehrsteilnehmer (Fuller, 2005). Die subjektive Sicherheit wird geprägt durch Verkehrssituationen in denen sich die Radfahrenden gefährdet oder überfordert fühlen (Hagemeister, 2013; Schwedes, Wachholz, and Friel, 2021). So wird das subjektive Sicherheitsempfinden der Radfahrenden durch Konflikte, Beinahunfälle, kritischen Situationen oder Behinderungen im Verkehr geprägt.

Das Thema des subjektiven Sicherheitsempfindens der Radfahrenden wird bereits durch umfangreiche internationale (Aldred und Crossweller, 2015; Chataway et al., 2014; Cho, Rodríguez, und Khattak, 2009; Fernández-Heredia, Monzón, und Jara-Díaz, 2014; Horton, 2007) sowie nationale (Alrutz 1998, FixMyCity 2020, Fuller 2005, GDV 2013, GDV 2010, Hagemeister 2013, Richter et al. 2019, Schwedes 2021) Forschung betrachtet. Zudem wird die subjektive Sicherheit bereits im technischen Regelwerk, wie den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (kurz ERA, (FGSV, 2010)) sowie dem Nationalen Radverkehrsplan thematisiert. In der ERA (FGSV, 2010) wird Verkehrsplanerinnen und Verkehrsplanern für die grundlegende Entwurfsanforderung der subjektiven Verkehrssicherheit die „Vermeidung von Situationen, in denen sich die Nutzer gefährdet oder überfordert fühlen“ (FGSV, 2010) und die „Wahl von Führungsformen mit geringer Abhängigkeit vom Verhalten anderer“ (FGSV, 2010) empfohlen. Was den Nutzenden Angst macht, sie gefährdet oder zu einem Gefühl der Überforderung führt, wird jedoch nicht genauer spezifiziert. Der

„Nationale Radverkehrsplan 2020“ (BMVBS, 2012) weist ebenfalls auf die Bedeutung des subjektiven Sicherheitsgefühls der Nutzenden hin.

Nach (Geller, 2009; Horton, 2007; Hull und O’Holleran, 2014; Schwedes et al., 2021; Wang et al., 2014) bildet das subjektive Sicherheitsempfinden ein wichtiger Faktor für die Förderung des Radverkehrs. So ist das subjektive Unsicherheitsgefühl für viele potenzielle Radfahrende ein Hemmnis für eine häufige Nutzung des Fahrrades. Insbesondere Personen die bisher wenig bis überhaupt kein Fahrrad fahren, und damit für die Steigerung des Radverkehrsanteils in Stadt und Land von hoher Bedeutung sind, bildet das subjektive Gefühl von Unsicherheit eine Barriere für die häufigere Nutzung des Fahrrades (Aldred und Woodcock, 2015; Bill, Rowe, und Ferguson, 2015). Der Umstieg auf das Fahrrad funktioniert nur mit erlebter Sicherheit (DStGB, 2016). Auch der „Nationale Radverkehrsplan 2020“ führt an, dass Radfahrende, die sich besonders unsicher fühlen, weniger Fahrrad fahren (BMVBS, 2012).

Aus dem Verhältnis zwischen objektiver und subjektiver Sicherheit lassen sich unterschiedliche Handlungserfordernisse ableiten. Maßnahmen zur Förderung der Verkehrssicherheit sind eindeutig, wenn eine Verkehrssituation sowohl objektiv als auch subjektiv unsicher ist. Situationen, die objektiv sicher sind, sich jedoch subjektiv unsicher anfühlen bilden ein subjektives Hindernis Rad zu fahren (Hagemeister, 2013). So kann sich eine Führung des Radverkehrs auf einem Schutzstreifen im Sichtfeld des Kfz-Verkehrs aus Nutzersicht zunächst unsicher „anfühlen“, bietet jedoch vielfach eine hohe objektive Verkehrssicherheit (Schnüll, Alrutz, und Lange, 1992). Eine Erhöhung der subjektiven Sicherheit bietet sich aus Sicht der Radverkehrsförderung an, darf aber nicht auf Kosten der objektiven Sicherheit gehen. Als problematisch wird angesehen, wenn das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden höher ist, als die objektive Sicherheit, da in diesen Situationen die Radfahrenden eine mögliche Unfallgefahr nicht erkennen (Hagemeister, 2013; Klebelsberg, 1982). Klebelsberg (1982) empfiehlt, dass die objektive Sicherheit mindestens gleich groß oder größer als die subjektive Sicherheit sein sollte, und sieht als Lösungswege die Erhöhung der objektiven Sicherheit oder eine Senkung der subjektiven Sicherheit. Eine Senkung der subjektiven Sicherheit würde sich jedoch kontraproduktiv auf die Förderung des Radverkehrs auswirken. Ziel bei der Gestaltung von Radverkehrsinfrastruktur ist daher, die objektive Verkehrssicherheit zu erhöhen und gleichzeitig das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden zu fördern (FixMyCity, 2020; Schwedes et al., 2021).

Trotz der Einigkeit über die Förderung der objektiven und subjektiven Verkehrssicherheit, werden unterschiedliche Empfehlungen für den Entwurf von Radverkehrsanlagen abgeleitet. Der ADFC sowie FixmyCity (2019; 2020), geben grundsätzliche Empfehlungen, einzelne Führungsformen des Radverkehrs wie z. B. Schutzstreifen aus Sicht der subjektiven Sicherheit zu meiden und andere Führungsformen wie beispielsweise Protected Bike Lanes oder separate Radwege getrennt vom Kfz-Verkehr grundsätzlich zu bevorzugen. Alrutz (2009) sowie Alrutz et al. (2015) betonen hingegen die hohe Bedeutung einer sorgfältigen Gestaltung der Details von Radverkehrsanlagen für die objektive und subjektive Sicherheit. Nach Alrutz (2009) kann basierend auf den bisherigen Erkenntnissen keine generelle Präferenz für oder gegen einen einzelnen Typ von Radverkehrsanlagen getroffen werden, da bei Beachtung sicherheitsrelevanter Entwurfsmerkmale und betrieblicher Anforderungen alle Typen objektiv verkehrssicher gestaltet werden können. Wichtige Entwurfsmerkmale sind selbsterklärende und fehlerverzeihende Verkehrsanlagen, gute Sichtverhältnisse, Einhaltung von erforderlichen Anhalte- und Bremswegen sowie Schutzräume für Radfahrende (Alrutz et al., 2009; Bekiaris und Gaitanidou, 2011; Schnüll et al., 1992).

### 3.2 Radfahrtypen

Für die Analyse der Bedeutung der subjektiven Sicherheit für die Förderung des Radverkehrs ist eine Unterteilung der Radfahrenden in verschiedenen Radfahrtypen hilfreich. Eine Möglichkeit ist die Einordnung der Radfahrenden anhand ihrer Fähigkeiten auf dem Fahrrad nach Mekuria et al. (2012). Radfahrende werden hierbei in die Gruppen „sehr gute“, „durchschnittliche“ und „geringe Fähigkeiten“ eingeteilt. Auch eine Einteilung nach Alter oder Alltags- bzw. touristischer Radfahrenden (FGSV, 2010) ist möglich. Diese Einteilung hilft jedoch bezüglich des subjektiven Sicherheitsempfindens nicht weiter. Die oftmals verwendete Einteilung nach Sinus-Milieus (SINUS et al., 2017) erfolgt auf Basis von Lebensauffassungen, Werthaltung und sozialer Lage (SINUS GmbH, 2019) und wird in verschiedensten Bereichen der Wissenschaft als sinnvolle Gruppeneinteilung eingesetzt. Jedoch ist die Nutzung der Sinus-Milieus aufgrund der großen Anzahl verschiedener Gruppen und dem fehlenden Bezug zum

Verkehrssicherheitsempfinden nicht zielführend. Darüber hinaus wurden von Francke et al. (2018; 2019) vier in Deutschland vorkommende Radfahrertypen Sporadische, Beständige, Sichere und Ambitionierte Radfahrende identifiziert. Diese Radfahrertypen lassen sich im Hinblick auf die subjektive Verkehrssicherheit in zwei Gruppen zusammenfassen: Sporadische und Beständige Radfahrende fühlen sich beim Radfahren subjektiv gefährdet, Sichere und Ambitionierte fühlen sich entsprechend der Gruppencharakteristika subjektiv sicher.

Auch Geller (2009) unterteilt die Bevölkerung in Bezug auf ihr Radfahrverhalten in vier Gruppen: „Die Starken und Furchtlosen“, „die Begeisterten und die Souveränen“, „die Interessierten aber Besorgten“ und „Keine Chance, ganz egal wie“. Die wichtigsten Merkmale der Gruppen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Übergänge zwischen den unterschiedlichen Gruppen sind als fließend zu verstehen. Durch sich verändernde Verkehrsgewohnheiten im Laufe eines Lebens kann sich die Gruppenzugehörigkeit eines Menschen immer wieder ändern. Wenn Interessierte aber besorgte Radfahrende längere Zeit das Fahrrad regelmäßig nutzen, kann es zum Gruppenwechsel hin zu Alltagsradfahrenden (begeistert und souverän) oder gar (starken und) furchtlosen Radfahrenden kommen. Die Gruppenzugehörigkeit wird aus dem aktuellen Mobilitätsverhalten in Bezug auf das Fahrrad und die verschiedenen anderen Merkmale bestimmt. Jedoch muss auch beachtet werden, dass manche Menschen sich nicht eindeutig einem einzelnen Typ zuordnen lassen. Diese Gruppeneinteilung wurde bereits in verschiedenen Studien (Dill und McNeil, 2013, 2016; Portland State University et al., 2014) angewandt und werden der vorliegenden Untersuchung zugrunde gelegt.

Die Gruppen Furchtlose Radfahrende und Alltagsradfahrende nutzen das Fahrrad bereits regelmäßig in der Alltagsmobilität und bilden damit nur Randzielgruppen für die Radverkehrsförderung, mit dem Ziel sie an das Verkehrsmittel Fahrrad weiter zu binden. Die Gruppe „Keine Chance, ganz egal wie“ entfällt in der weiteren Betrachtung, da diese Personen entsprechend ihrer Gruppeneinteilung nicht oder nur unter erheblichem Einsatz für das Radfahren begeistert werden können. Im Mittelpunkt für die Radverkehrsförderung steht die Gruppe der Interessierten Radfahrenden. Diese Gruppe möchte mehr Radfahren und ist geprägt durch den Wunsch nach einer, vom Kfz-Verkehr getrennten Radverkehrsinfrastruktur (Mekuria et al., 2012; Sanders, 2013; Winters et al., 2011). Dies hängt unter anderem mit dem eher unsicheren Umgang mit dem Fahrrad, als auch der geringen Erfahrung in Bezug auf das Verhalten im fließenden Verkehr als Radfahrende:r zusammen. So muss auch der Umgang mit dem Fahrrad und das Verhalten im Verkehr nach der Ansicht von Forester (1993) erlernt werden.

Radfahrgruppe	Die Starken und Furchtlosen [furchtlose Radfahrende]	Die Begeisterten und Souveränen [Alltagsradfahrende]	Die Interessierten aber Besorgten [Interessierte Radfahrende]	Keine Chance, ganz egal wie!
Eigenschaften	Nutzt Rad immer, sicher und souverän	Fährt täglich Strecken, Souverän aber mittleres Sicherheitsbedürfnis	Keine Alltagsmobilität mit dem Rad; besorgt bezüglich der Sicherheit, aber dem Rad gegenüber aufgeschlossen	In der Regel keine Radnutzung
Fahrkönnen	Ausgezeichnete Beherrschung des Fahrrades	Selbstbewusst, teilweise defensiv wegen Sicherheit	Weniger souverän	Schlechte Kontrolle über das Rad, fehlende Fahrpraxis
Stresstoleranz	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Typische Vertreter	Jung, männlich	Frauen und Männer aller Altersklassen und Lebenssituationen	Überproportional viele Frauen und Senioren, Wiedereinsteiger	Senioren

Tabelle 1: Eigenschaften der Radfahrerguppen nach Geller (Quelle: verändert nach Graf, 2016)

### 3.3 EmoCycling

Trotz der hohen Bedeutung der subjektiven Verkehrssicherheit für die Förderung des Radverkehrs fehlen immer noch Erfahrungen, wie das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden (objektiv) erfasst und für konkrete Entwurfsprojekte nutzbar gemacht werden kann. Die angewandten Erhebungsmethoden reichen von der Führung von Tagebüchern mit gefährlichen Situationen, über „Stated Preference Befragungen“ von Entwurfssituationen bis hin zur Messung des physiologischen Stresses von Radfahrenden (Bill et al., 2015; Chataway et al., 2014; FixMyCity, 2020). Bisher wird weder im „Nationalen Radverkehrsplan 2020“ (BMVBS, 2012) noch in der „Radstrategie Baden-Württemberg“ (Baden-Württemberg, 2016) oder in den verschiedenen Richtlinien der FGSV (FGSV, 2010) das subjektive Sicherheitsgefühl der Nutzenden für die in der Praxis arbeitenden Verkehrsplanerinnen und Verkehrsplaner handhabbar konkretisiert. So fehlt eine

Spezifizierung, was Ursachen für ein schlechtes subjektives Sicherheitsgefühl sein können, wie das subjektive Sicherheitsgefühl der Nutzenden erhoben wird oder was konkrete Maßnahmen für die Verbesserung der subjektiven Sicherheit sind. Die Operationalisierung der subjektiven Verkehrssicherheit ist für die Förderung des Radverkehrs von hoher Bedeutung.

Die Methode des EmoCycling hat methodisch-technologisch ihren Ursprung im Projekt Biomapping von Christian Nold (2009), der erstmals in Greenwich die georeferenzierte Erfassung von biostatistischen Parametern zur Detektion von „Arousal“ – einen Erregungszustand im urbanen Kontext - durchgeführt hat. So dient ganz im Sinne der VGI von Goodchild (2007) der Mensch mit seiner psychophysiologischen Reaktion als Sensor, der einen situativ-räumlichen Kontext erfasst und analysiert (Zeile, Höffken, und Papastefanou, 2009). Erste Versuche zur Stadtkartierung von Fußgängern wurden bereits in den späten 2000er Jahren durchgeführt (Höffken, Papastefanou, und Zeile, 2008; Zeile et al., 2010). Der Begriff EmoCycling wurde 2013 geboren (Höffken et al., 2014, p. 854): „Mittels eines Sensorarmbands (Smartband) zur Erfassung psychophysiologischer Reaktionen des Körpers in Kombination mit Video-Kamera-Daten und GPS-Koordinaten wird der emotionale Zustand der Probanden sekundengenau gemessen. [...] Damit bietet sich diese Methode hervorragend an, um im Kontext des Fahrradfahrens angewandt zu werden.“

Der Auswertungsprozess basiert auf Arbeiten von Papastefanou (2009), dem Entwickler des verwendeten Smartbands. Aufgenommen in der Urban Emotions Initiative (Zeile et al., 2016) und durch die bessere Usability des Auswertungsprozesses direkt als „R“-Script in der Open Source Software QGIS (Beyel, 2016; Beyel et al., 2016) konnte die Datenverarbeitung in dem vorgeschlagenen Workflow zeitlich um den Faktor 10 beschleunigt werden.

Die Rohdaten des Sensorarmbands und des GPS-Loggers werden auf einen PC übertragen, GPS- und Vitaldaten (Hautleitfähigkeit und Temperatur) werden synchronisiert, geglättet und in R in einer Messfrequenz von 1 Hz zusammengefasst. Über ein Scoring System der Messreihen (Bergner und Zeile, 2012) wird das Muster für eine „Stressreaktion“ identifiziert: Steigt die Hautleitfähigkeit an, und fällt 3 Sekunden später die Hauttemperatur ab, so ist dies ein Indikator für einen Auslöser von negativer Erregung. Die genaue Prozedur ist bei Teixeira zu finden (2020, pp. 13–14). Optimiert sind diese Ansätze auf den Einsatz des prototypischen Smartbandes, einen vielversprechenden Ansatz für den Einsatz von Consumerprodukten liefern Kyriaku et al. (2019), die das Empatica E4 verwenden. Eingesetzt wurde das E4 unter anderem bei (Dörrzapf, Zeile, et al., 2019; Dörrzapf, Kovács-Györi, et al., 2019; Werner, Resch, und Loidl, 2019)

## **4 ANWENDUNG DES MIXED METHODS ANSATZES ZUR MESSUNG DES STRESSES VERSCHIEDENER RADFAHRTYPEN IN KARLSRUHE**

### **4.1 Aufbau und Ablauf der Studie**

In einer Studie in Karlsruhe werden die Ansätze des EmoCycling sowie der Radfahrtypen kombiniert (Merk, 2019). Dafür erfolgte die Auswahl der Testpersonen anhand eines Fragebogens, welcher die Befragten einen Radfahrtyp nach Geller (2009) zuweist. In der Studie werden nur drei der vier Radfahrtypen einbezogen, die Nicht-Radfahrenden bleiben unberücksichtigt. Insgesamt wurden 12 Personen, jeweils 4 Personen pro Radfahrtyp, zu Testfahrten eingebunden. Aufgrund des hohen Erhebungsaufwandes der EmoCycling Methode sind nur vergleichsweise geringe Stichprobengrößen möglich.

Die Teststrecke verläuft zu 50 % auf Radinfrastruktur, welche sich auf der Fahrbahn befindet und zu 50 % im Seitenraum. Dabei wurden jeweils verschiedene Infrastrukturlösungen (gemeinsamer-, getrennter Geh- und Radweg, eigenständiger Radweg, Mischverkehr, Radschutzstreifen, Radfahrstreifen und Fahrradstraße) genutzt, um etwaige Unterschiede zwischen einzelnen Anlagentypen zu erfassen.

Zusätzlich wird eine ausreichende Länge der Strecke berücksichtigt. Ist die Strecke zu kurz, so sind die Ergebnisse weniger aussagekräftig, ist sie jedoch zu lange, dann ist insbesondere bei Interessierten Radfahrenden mit Ermüdungserscheinungen zu rechnen. In Abwägung zwischen zu berücksichtigender Radinfrastruktur und Streckenlänge wird eine 8,4 km lange Route gewählt.

Alle 12 Probanden wurden für die Testfahrt mit einem Sensorarmband (Smartband), Video-Kamera und GPS-Logger ausgestattet. Dabei wurden die psychophysiologischen Reaktionen des Körpers erhoben, um die Stressmomente der Probanden zu erfassen. Die Rohdaten werden auf einen PC übertragen und mittels eines

automatisierten Auswertungsprozesses über das Scoring System die „Stressreaktion“ identifiziert. Anschließend werden die identifizierten „Stressreaktionen“ mithilfe der Videoaufnahmen vordefinierten Stressauslösern zugeordnet.

Nach Identifizierung der Stressreaktionen und der Selektion mittels des Videomaterials wird mit allen Studienteilnehmern ein leitfragengestütztes Interview durchgeführt, welches der Überprüfung sowie der Einschätzung der Ergebnisse durch die EmoCycling Methode dient. Im Interview wurden stressrelevante Abschnitte sowie vorher definierte Abschnitte der Radinfrastruktur der individuellen Testfahrt mittels Videoaufnahmen gezeigt und besprochen. Anhand der inhaltlichen Antworten und der Identifizierung spezieller Markerworte wird die Präferenz der Studienteilnehmer für einen Infrastrukturtyp herausgearbeitet. Die Fragestellungen im Interview sind offen gehalten, um den Testpersonen die Möglichkeit einer freien Antwort und Meinungsäußerung zu geben und eine Beeinflussung durch die Interviewleitung auszuschließen.

Die Auswertung der Interviews umfasst zwei Analyseschritte. Zum einen wird der Inhalt der Antworten analysiert. Hierzu werden insbesondere die Antworten zu den einzelnen Infrastrukturen untersucht und die Präferenz für das Fahren im Seitenraum oder auf der Fahrbahn erfragt. Zum anderen werden die emotionalen Präferenzen zu den einzelnen Infrastrukturen analysiert. Hierzu werden die Antworten der Testpersonen auf emotionale Äußerungen, sowohl positive als auch negative, untersucht. Zusätzlich wird vermerkt ob die Emotionen in relativierendem, neutralem oder steigierendem Kontext auftreten. Final wird aus diesen Ergebnissen eine emotionale Präferenz für das Fahren im Seitenraum oder auf der Fahrbahn abgeleitet.

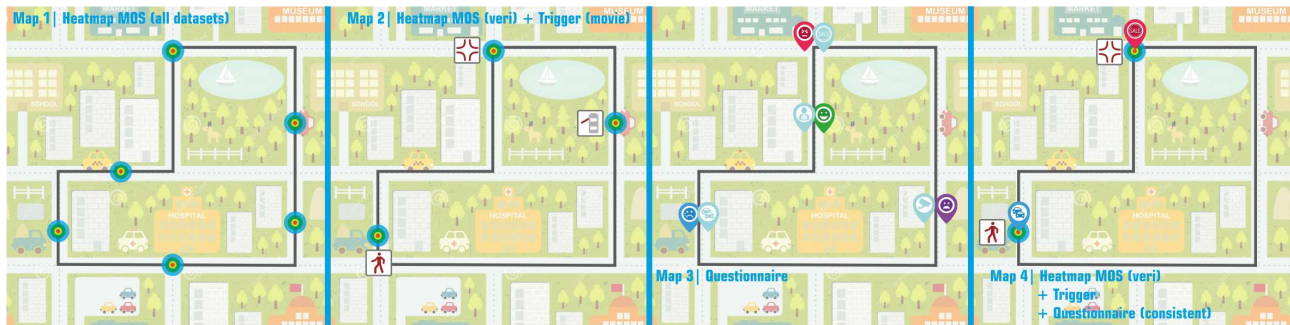


Abbildung 1.: Auswertungsschritte mit dem Mixed Methods Ansatz (Zeile et al., 2016)

Im Verlauf verschiedener Interviews wird ersichtlich, dass einige der durch EmoCycling identifizierten Stresspunkte auf individuellen negativen Erfahrungen für einzelne Standorte beruhen. Hierbei liegt bei den Testfahrten, wie im Video erkennbar, keine Stress auslösende Situation vor, jedoch wurde durch die einzelne Testperson in der Vergangenheit an dieser Stelle eine kritische Situation erlebt. Folglich wird dieser Bereich durch die Testperson mit erhöhter Aufmerksamkeit und Konzentration angefahren und die körperliche Reaktion wird als Stress detektiert.

## 4.2 Ergebnisse der Studie

Die Verteilung der erlebten Stressmomente je Kilometer auf der Fahrbahn und im Seitenraum wird in Abbildung 2 aufgezeigt. Für die Berechnung der durchschnittlichen Anzahl der Stressmomente je Kilometer werden alle identifizierten Stressmomente für die verschiedenen Infrastrukturtypen zusammengezählt. Dabei zeigt sich eine tendenziell höhere Anzahl von Stressmomenten für Führungsformen auf der Fahrbahn im Vergleich zum Seitenraum. Die meisten Stressmomente wurden auf Schutzstreifen erfasst. Der getrennte Geh- und Radweg erweist sich auf dieser Teststrecke als besonders stressarm. Der recht hohe Anteil der Stressmomente in der Fahrradstraße kann zum Teil auf schlechte Fahrbahnverhältnisse und kreuzende Fußgänger zurückgeführt werden. Die niedrige Anzahl an Stressmomenten im Mischverkehr bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h ist aufgrund von sehr kurzen Abschnitten und einer geringen Verkehrsbelastung nur bedingt übertragbar.

Um ein genaueres Bild von den Stressmomenten zu erhalten, werden die Stress auslösenden Ereignisse identifiziert (vgl. Abbildung 3). Hierbei sind sowohl im Seitenraum, als auch auf der Fahrbahn die drei Hauptauslöser „überholendes Fahrzeug“, „Kreuzung“ von Fahrwegen und „Fußgänger“. Sie vereinen jeweils über 50 % der Stressmomente auf sich. Im Unterschied zum Seitenraum, in welchem die drei Stressauslöser eine vergleichbare Häufigkeit von rund 20 % haben, zeigt sich auf der Fahrbahn ein starkes

Ungleichgewicht. Bei Führungsformen auf der Fahrbahn ist das Überholen durch ein Fahrzeug mit 36 % der dominante Stressauslöser. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt die Studie von Richter et al. (2019). Die Ergebnisse zu den Stressauslösern sind für unterschiedlichen Nutzergruppen konsistent. Bei allen drei Gruppen liegt der größte Anteil der Stressmomente beim Stressauslöser „überholendes Fahrzeug“.

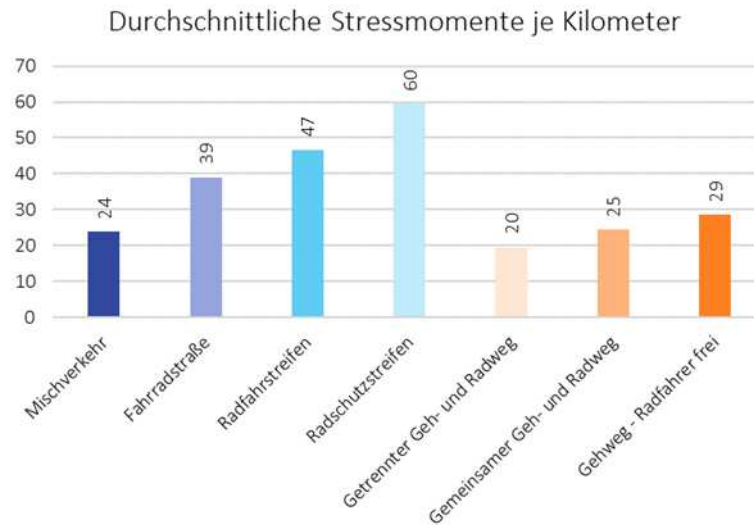


Abbildung 2: Anzahl der durchschnittlichen Stressmomente je Kilometer auf unterschiedlichen Infrastrukturen (eigene Darstellung).

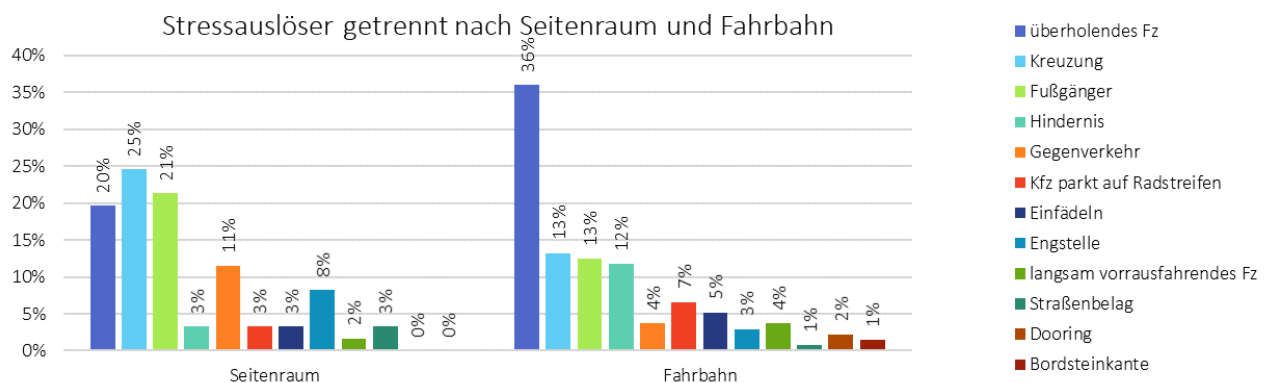


Abbildung 3: Häufigkeit des Auftretens verschiedener Stressauslöser getrennt nach den Bereichen Seitenraum und Fahrbahn (eigene Darstellung)

Das Verhalten der einzelnen Nutzergruppen wird analysiert. Wie erwartet haben Furchtlose Radfahrende eine kürzere durchschnittliche Fahrzeit und damit eine höhere Fahrgeschwindigkeit. Alltagsradfahrende sind etwas langsamer unterwegs und Interessierte Radfahrende benötigen die meiste Zeit für die Teststrecke. Entgegen der Annahme von Geller 2009, dass furchtlose Radfahrende die wenigsten Stressmomente aufweisen, wurde in der vorliegenden Studie bei der Gruppe der Furchtlosen Radfahrenden die meisten Stressmomente gemessen. Auch das durch die Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer im Fragebogen angegebene Stresslevel ist bei dieser Gruppe im Durchschnitt am höchsten. Alltagsradfahrende bewegen sich sowohl bei der Anzahl gemessener Stressmomente als auch bei dem subjektiven Stresslevel im Mittelfeld, Interessierte Radfahrende weisen die niedrigste Anzahl an gemessenen Stressmomenten auf.

Zudem wird analysiert, ob sich durch die gemessenen Stressmomente eine nutzergruppenspezifische Präferenz für die Führungsformen des Radverkehrs auf der Fahrbahn oder im Seitenraum ergibt. In Abbildung 4 ist das Verhältnis der Stressmomente zwischen der Infrastruktur im Seitenraum und auf der Fahrbahn dargestellt. Insbesondere die Gruppen Interessierte Radfahrende und Alltagsradfahrende empfinden die Führungsformen im Seitenraum als deutlich stressärmer als auf der Fahrbahn. Furchtlose Radfahrenden empfinden hingegen mehr Stressmomente im Seitenraum.

Zudem werden in Interviews die Präferenzen der Testpersonen abgefragt und die emotionale Präferenz mittels Signalwörtern analysiert. Insbesondere die Gruppe der Alltagsradfahrenden hat eine konsistente Präferenz für Führungsformen im Seitenraum. Die Interessierten Radfahrenden zeigten hingegen einen

Widerspruch zwischen dem geäußerten Wunsch nach Führung auf der Fahrbahn sowie emotionalen Präferenzen für den Seitenraum, der sich nicht eindeutig abschließend lässt. Die Furchtlosen Radfahrenden zeigen in Interview und emotionaler Präferenz eine deutliche und einheitliche Präferenz hin zur Infrastruktur auf der Fahrbahn.

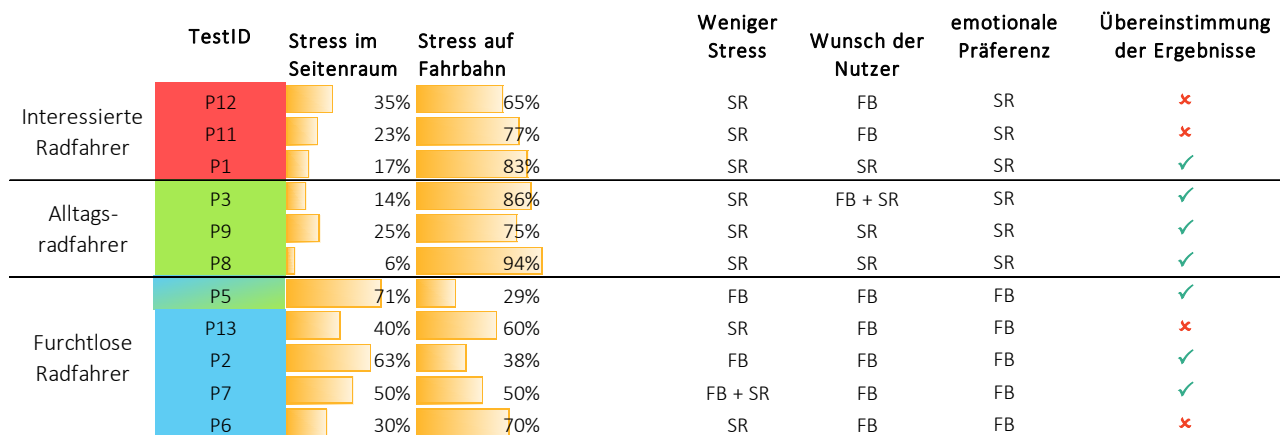


Abbildung 4: Zusammenfassung der gemessenen Stressmomente, dem geäußerten Wunsch der Nutzenden sowie der emotionalen Präferenz für verschiedene Nutzergruppen (SR = Seitenraum; FB=Fahrbahn) (eigene Darstellung)

In der Gesamtbetrachtung der gemessenen Stressmomente, der in den Interviews geäußerten Wünsche sowie der emotionalen Präferenzen zeigen sich zwei Gruppen: Die Interessierten Radfahrenden und die Alltagsradfahrenden bevorzugen mit großer Mehrheit Radverkehrsanlagen im Seitenraum. Die Furchtlosen Radfahrenden präferieren hingegen Radverkehrsanlagen auf der Fahrbahn. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Einteilung in Radfahrertypen für die Präferenz der Radverkehrsführung zielführend ist. Nichtsdestotrotz kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch individuelle Aspekte der einzelnen Radfahrenden zu berücksichtigen sind (Loidl und Zagel 2013).

## 5 DISKUSSION DER EMOCYCLING-METHODIK

Die vorgestellte EmoCycling-Methode, insbesondere die Messbarkeit der Stressmomente, bringt die Diskussion zur subjektiven Sicherheit im Radverkehr auf eine neue, sachlichere Ebene. Durch die „Quantifizierbarkeit“ von Stress durch eine objektive biostatistische Messung eignet sich der Ansatz in – manchmal hoch emotionalen Diskussionsprozessen – in Behörden und Bürgerformaten. Es findet eine Versachlichung statt und ermöglicht dadurch eine neuartige Sichtweise und Diskussion zu beim Radfahren empfundenen subjektiven Ängsten. Bedürfnisse von Radfahrenden sind so besser zu quantifizieren, visualisieren und können auch räumlich zugeordnet werden. Im Gegensatz zu persönlichen Berichten oder bei der Anhörung von Interessensgruppen, die entweder persönlich oder zumindest hinsichtlich der Fachcommunity potenziell eine Art Lobbyismus betreiben, kann die körperliche Reaktion auf Stress im Straßenverkehr nicht beeinflusst werden, sie ist nicht manipulierbar und dementsprechend objektiv – zumindest in der Theorie.

Durch den Einsatz des Smartbandes ist die Methode relativ zeitaufwendig in der Datenbearbeitung und deren anschließende Aufbereitung, trotz des angepassten Auswertungsprozesses. Die Methode der Stressdetektion über elektrodermale Aktivität und Hauttemperatur befindet sich immer noch in der Entwicklung. Ersten kleinere Studien mit einem E4-Armband lassen zumindest auf eine höhere Zuverlässigkeit in der Datenaufnahme und eine größere Robustheit der Sensoren gegenüber Umwelteinflüssen wie Regen, Luftfeuchtigkeit sowie hohen und sehr niedrigen Temperaturen schließen. Die eingesetzte Methode ist noch nicht massentauglich, im Vergleich mit der Historie des „Emotional Sensing“ mit seinen ersten Gehversuchen von Nold im Jahr 2009 und der ersten Anwendung im Kontext des Radfahrens 2015 befinden wir uns jedoch so langsam auf der Zielgeraden. Eine vorsichtige Prognose für eine massentaugliche Methode ist das Jahr 2023. Zum aktuellen Zeitpunkt ist die Erhebung mittels EmoCycling Methode jedoch nur mit kleinen Stichproben durchführbar, was die Einsatzmöglichkeiten der Methode einschränkt.

Die Identifizierung von Stress auslösenden Situationen mittels der vorgestellten EmoCycling-Methode ist insbesondere aufgrund der zeitlichen Verzögerung der körperlichen Reaktionen (ca. 3 Sekunden nach Eintritt des Stressauslösers) zum einen räumlich nicht so exakt, wie sich manche das gerne wünschen, und zum



anderen durch die zeitliche / räumliche Latenz auch nicht immer eindeutig in der Interpretation. Ein Vergleich mit den Videostreams der Fahrten ist hilfreich, jedoch wird nur ein Ausschnitt der Situation aufgezeichnet, sodass nur die auffälligsten und sichtbaren Trigger erfasst werden. Ursachen könnten allerdings auch Trigger sein, die nicht im Videobild erfasst sind. Auch kann die Kombination von kleineren Ereignissen, die erst mal so nicht sichtbar sind, eine Stressreaktion auslösen. Der hier vorgestellte Mixed-Methods-Ansatz versucht die beschriebenen Ungenauigkeiten zu reduzieren, damit der jeweils passende Stressauslöser auch identifiziert werden kann. Stressmomente, welche keinem Stressauslöser zugeordnet werden können, werden aus der Auswertung entnommen, sodass nur eindeutig identifizierte Auslöser in die Ergebnisse der Studie eingehen.

Eine der großen Stärken der Methode und damit auch der Studie ist die Anwendung im „Real Life“ der Radfahrenden. Im Gegensatz zu Simulatoren, die eine Laborsituation erzeugen könn(t)en, werden wirklich alle sensorischen und umweltbezogenen Einflüsse berücksichtigt. Gleichzeitig bildet dies aber auch ein Problem für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen, da „Störgrößen“ zufällig auftauchen. So zeigen sich, dass bei Testfahrten in der realen Welt jede Testfahrt individuell verläuft und damit auch immer wieder unterschiedliche Reize auf die Studienteilnehmer einwirken. Dieses Gemisch an Situationen bildet dabei den realen Alltag von Radfahrenden ab, bei dem keine Situation gleich ist. In der Bilanz tragen die Stärken der EmoCycling Methode dazu bei, praxisgerechte Beiträge zur Förderung des Radverkehrs zu entwickeln.

## **6 DISKUSSION DER ERKENNTNISSE FÜR EINE STRESSARME RADVERKEHRS- INFRASTRUKTUR**

Die Studie veranschaulicht, dass insbesondere das Überholen durch Kfz bei Führungsformen auf der Fahrbahn Stress bei Radfahrenden auslöst. Dieses Ergebnis ist konsistent in allen drei Nutzergruppen festzustellen und deutet auf einen gruppenübergreifenden Stress auslösenden Faktor hin. Die hohe Stressbelastung durch überholende Fahrzeuge lässt sich eventuell dadurch erklären, dass Radfahrende diese zunächst nur durch ihr Gehör wahrnehmen, die potenzielle „Gefahr“ jedoch nicht selbst sehen und einschätzen können. Zudem können die Eigenschaften des Überholvorgangs, wie Überholabstände, Differenzgeschwindigkeit etc. nur sehr eingeschränkt durch die Radfahrenden beeinflusst werden. Die Radfahrenden müssen sich daher auf das rücksichtsvolle Verhalten der überholenden Kfz-Fahrenden verlassen. Zudem ist die Breite der Radverkehrsanlage von hoher Bedeutung, da diese bestimmt, ob ein Überholen mit ausreichend Abstand unabhängig vom Verhalten der Kfz-Fahrenden möglich ist. Darüber hinaus wirken bei einem Überholvorgang durch ein Kfz Zug- und Sogkräfte auf die Radfahrenden, welche ebenfalls Auswirkungen auf das Sicherheitsempfinden haben können (Gromke und Ruck, 2021). Um die Ursachen für die hohe Bedeutung des Stressauslösers „überholendes Kfz“ genauer zu verstehen, sind weitere Erhebungen erforderlich.

Auf Radverkehrsinfrastruktur im Seitenraum, wie getrennten oder gemeinsamen Geh- und Radwegen fühlen sich insbesondere die Nutzergruppen „Alltagsradfahrende“ und „Interessierte Radfahrende“ weniger gestresst und haben ein höheres subjektives Sicherheitsgefühl, als auf Radverkehrsinfrastruktur auf der Fahrbahn. Jedoch kann die objektive Verkehrssicherheit der Radverkehrsinfrastruktur im Seitenraum im Einzelfall z. B. durch eingeschränkte Sichtverhältnisse hinter parkenden Fahrzeugen oder zahlreichen querenden Einfahrten und Einmündungen beeinträchtigt sein. So ist nach Alrutz (2009) die durchschnittliche Unfallrate von Radwegen im Seitenraum leicht höher als die von Schutzstreifen oder Radfahrstreifen auf der Fahrbahn. Aus Sicht der Verkehrssicherheit ist jedoch gefährlich, wenn das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden höher ist, als die objektive Sicherheit. Diese Situation kann zur Unaufmerksamkeit der Radfahrenden und unfallträchtigen Situationen führen (Li et al., 2013). Daher ist bei der Gestaltung von Radverkehrsinfrastruktur im Seitenraum darauf zu achten, dass die Aufmerksamkeit der Radfahrenden bei potenziell gefährlichen Situationen, wie Einmündungen und Knotenpunkten, hoch gehalten wird und gute Sichtverhältnisse zwischen Kfz- und Radfahrenden gewährleistet werden. Zudem sollte regelwidriges Verhalten von Radfahrenden welches objektiv mit einer hohen Unfallgefahr verbunden ist, wie z. B. das Fahren entgegen der Fahrtrichtung auf Radwege im Seitenraum (Alrutz 2009), vermieden werden. Zur Vermeidung von Konflikten im Seitenraum ist zudem eine Trennung bzw. ein verträgliches Miteinander zwischen Radfahrenden und zu Fuß Gehenden anzustreben (Blaszczyk und Zwernemann, 2019).

Die Ergebnisse der Erhebung zeigen, dass eine Radverkehrsführung auf der Fahrbahn (Mischverkehr, Schutzstreifen, Radfahrstreifen etc.) von den Nutzergruppen Alltagsradfahrenden und Interessierten

Radfahrenden als deutlich stressreicher empfunden wird, als die Führung im Seitenraum. Um eine attraktive Radverkehrsinfrastruktur für diese Nutzergruppen zu schaffen wird daher von (Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club, 2019; FixMyCity, 2020; Graf, 2016) gefordert, keine Radverkehrsführung auf der Fahrbahn, wie Schutzstreifen oder Radfahrstreifen vorzusehen. Dies erscheint im Hinblick auf die Planungspraxis der städtischen Verkehrsplanung jedoch wenig praxisgerecht. So wird die Wahl zwischen Führungsformen auf der Fahrbahn oder im Seitenraum häufig stark durch die vorhandenen lokalen Platzverhältnisse im Straßenraum geprägt. In vielen Fällen ist eine freie Wahl zwischen verschiedenen Führungsformen kaum möglich. Zudem besitzen regelwerkskonform gestaltete Radfahrstreifen und Schutzstreifen objektiv eine hohe Verkehrssicherheit (Schnüll, Alrutz, und Lange, 1992; Alrutz 2009). Ein weitgehender Verzicht auf Radfahrstreifen und Schutzstreifen auf der Fahrbahn erscheint daher nicht angemessen. Im Hinblick auf das hohe Stressempfinden der Alltagsradfahrenden und Interessierten Radfahrenden sind jedoch Maßnahmen erforderlich, um die objektiv sicherere Infrastruktur auf der Fahrbahn stressärmer zu gestalten. Für die Steigerung der subjektiven Sicherheit sind qualitativ hochwertige Radverkehrsanlagen erforderlich. Zentral ist die Breite der Radverkehrsanlagen, welche ausreichend Raum sowohl zwischen überholenden Kfz und Radfahrenden als auch ausreichend Sicherheitsabstand zu parkenden Fahrzeugen gewährleisten sollte. Zudem kann eine Reduzierung der Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs und damit die Senkung der Geschwindigkeitsdifferenz zum Fahrrad das subjektive Unsicherheitsgefühl verringern. Auch die Reduzierung des Lkw-Verkehrsaufkommens kann helfen den Stress für Radfahrende zu reduzieren. Darüber hinaus können auch auffällige Farbmarkierungen oder bauliche Trennelemente zwischen Kfz-Verkehr und Radverkehr das subjektive Sicherheitsempfinden unterstützen. Stressarmes Radfahren ist weiterhin von der Routenwahl (Makrorouting) der Radfahrenden abhängig. So sind neben der Radverkehrsinfrastruktur an Hauptverkehrsstraßen auch Routen auf Nebenstraßen vorzusehen, um stressärmere Routen zu ermöglichen. Hauptverkehrsstrecken des Kfz-Verkehrs müssen nicht identisch mit den Hauptverkehrsstrecken des Radverkehrs sein.

Die Studie verdeutlicht, dass das subjektive Verkehrssicherheitsempfinden der potenziellen Radfahrenden nicht ignoriert werden darf. Insbesondere bei den Gruppen der Alltagsradfahrenden sowie Interessierten Radfahrenden kann eine stressarme Radverkehrsinfrastruktur zur Fahrradförderung beitragen. Wichtig ist dabei eine objektiv und subjektiv sichere Radinfrastruktur zu gewährleisten.

## 7 REFERENCES

- ADFC: Erster geschützter Radfahrstreifen Berlins. 2018. <https://www.adfc.de/neuigkeit/erster-geschuetzter-radfahrstreifen-berlins> (Zugriff 31 Mai 2021).
- ALDRED, R., CROSWELLER, S.: Investigating the rates and impacts of near misses and related incidents among UK cyclists. *Journal of Transport and Health* 2,3(September 2015), pp.379–393.
- ALDRED, R., WOODCOCK, J.: Reframing safety: An analysis of perceptions of cycle safety clothing. *Transport Policy* 42(August 2015), pp.103–112.
- ALLGEMEINER DEUTSCHER FAHRRAD-CLUB: ADFC-Fahrradklima-Test 2018. 2019. <https://www.adfc.de/dossier/adfc-fahrradklima-test-2018-3> (Zugriff 8 März 2021).
- ALRUTZ, D., W. BOHLE, H. MÜLLER, PRAHLOW, H.: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern (Vol. 184). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wiss. 2009.
- BADEN-WÜRTTEMBERG, M. FÜR V. UND I.: Radstrategie Baden-Württemberg.
- BECKER, A., S. LAMPE, L. NEGUSSIE, SCHMAL, P. C.: *Fahr Rad!* Birkhäuser. 2018.
- BEKIARIS, E., GAITANIDOU, E.: Towards Forgiving and Self-Explanatory Roads. In: *Infrastructure and Safety in a Collaborative World* (pp. 15–22). Springer Berlin Heidelberg. 2011.
- BERGNER, B. S., ZEILE, P.: Ist Barrierefreiheit messbar? *Planerin* 2012,2(2012), pp.20–24.
- BEYEL, S.: *Stresstest städtischer Infrastrukturen: ein Experiment zur Wahrnehmung des Alters im öffentlichen Raum*: Bachelor Thesis. Bochum: Hochschule Bochum. 2016.
- BEYEL, S., J. WILHELM, C. MUELLER, P. ZEILE, KLEIN, U.: *Stresstest städtischer Infrastrukturen -- ein Experiment zur Wahrnehmung des Alters im öffentlichen Raum*. In: M. Schrenk, V. Popovich, P. Zeile, P. Elisei, & C. Beyer (Eds.), *REAL CORP 2016* (pp. 689–698). Wien. 2016.
- BILL, E., D. ROWE, FERGUSON, N.: Does experience affect perceived risk of cycling hazards? *STAR*. 2015. <https://starconference.org.uk/star/2015/Bill.pdf> (Zugriff 12 März 2021).
- BIRK, M., GELLER, R.: Bridging the gaps: how quality and quantity of a connected bikeway network correlates with increasing bicycle use. In: *Transportation Research Board 85th Annual Meeting*. Washington DC. 2006.
- BLASZCZYK, R., ZWERNEMANN, P.: *Realxperient 05 Radverkehr im Dialog* Verträglichkeit von Rad- und Fußverkehr. Karlsruhe. 2019.
- BMVBS: *Nationaler Radverkehrsplan 2020, Den Radverkehr gemeinsam weiterentwickeln*. Berlin. 2012. <https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/bund/nationaler-radverkehrsplan-nrvp-2020> (Zugriff 12 November 2018).
- CHATAWAY, E. S., S. KAPLAN, T. A. S. NIELSEN, PRATO, C. G.: Safety perceptions and reported behavior related to cycling in mixed traffic: A comparison between Brisbane and Copenhagen. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 23(March 2014), pp.32–43.

- CHO, G., D. A. RODRÍGUEZ, KHATTAK, A. J.: The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. *Accident Analysis and Prevention* 41,4(July 2009), pp.692–702.
- Four Types of Cyclists? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2387,1(January 2013), pp.129–138.
- DILL, J., MCNEIL, N.: Revisiting the Four Types of Cyclists: Findings from a National Survey. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2587,1(January 2016), pp.90–99.
- DÖRRZAPF, L., A. KOVÁCS-GYÖRI, B. RESCH, ZEILE, P.: Defining and assessing walkability: a concept for an integrated approach using surveys, biosensors and geospatial analysis. *Urban Development Issues* 62,1(July 2019), pp.5–15.
- DÖRRZAPF, L., P. ZEILE, U. BROČZA, Y. SCHWOMMA, B. RESCH, A. KOVÁCS-GYÖRI, BERGER, M.: Walk & Feel -- a New Integrated Walkability Research Approach. In: M. Schrenk, V. V Popovich, P. Zeile, P. Elisei, C. Beyer, & J. Ryser (Eds.), REAL CORP 2019 (pp. 851–857). Wien. 2019.
- DSTGB: Nr. 137 - Förderung des Radverkehrs in Städten und Gemeinden | DSTGB. 2016. [https://www.dstgb.de/dstgb/Homepage/Publikationen/Dokumentationen/Nr. 137 - Förderung des Radverkehrs in Städten und Gemeinden/](https://www.dstgb.de/dstgb/Homepage/Publikationen/Dokumentationen/Nr.137-Foerderung-des-Radverkehrs-in-Staedten-und-Gemeinden/) (Zugriff 8 März 2021).
- FERNÁNDEZ-HEREDIA, Á., A. MONZÓN, JARA-DÍAZ, S.: Understanding cyclists' perceptions, keys for a successful bicycle promotion. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 63(May 2014), pp.1–11.
- FGSV: Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA). Köln. 2010.
- FIXMYCITY: Forschungsergebnis - Strassencheck. Studie zur subjektiven Sicherheit im Radverkehr Ergebnisse und Datensatz einer Umfrage mit über 21.000 Teilnehmenden. 2020. <https://fixmyberlin.de/research/subjektive-sicherheit> (Zugriff 10 März 2021).
- FORESTER, J.: *Effective cycling*. MIT Press. 1993.
- FRANCKE, A., J. ANKE, LIBNER, S.: Sag mir, wie du radelst und ich sag dir, welche Infrastruktur du dir wünschst – Darstellung erster Ergebnisse einer Radfahrtypologie. 2018. [https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/voeko/ressourcen/dateien/forschung/VWT\\_Radfahrtypologie\\_20180216.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/voeko/ressourcen/dateien/forschung/VWT_Radfahrtypologie_20180216.pdf?lang=de) (Zugriff 17 Mai 2021).
- FULLER, R.: Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis and Prevention* 37,3(May 2005), pp.461–472.
- GELLER, R.: *Four Types of Cyclists*. Portland Bureau of Transportation, Portland, Ore. 2009.
- GOODCHILD, M. F.: Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal* 69,4(2007), pp.211–221.
- GRAF, T.: *Handbuch: Radverkehr in der Kommune: Nutzertypen, Infrastruktur, Stadtplanung, Marketing: das Hygge-Modell, Ergänzungen zur ERA (1. Auflage)*. Röthenbach an der Pegnitz: Les éditions Bruno im Hause Thiemo Graf Verlag. 2016.
- GROMKE, C., RUCK, B.: Passenger car-induced lateral aerodynamic loads on cyclists during overtaking. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 209(February 2021), pp.104489.
- HAGEMEISTER, C.: Objektive Sicherheit versus subjektives Sicherheitsgefühl. In: 3. Nationaler Radverkehrskongress. 2013.
- HÖFFKEN, S., G. PASTEFANOU, ZEILE, P.: Google Earth, GPS, Geotagging und neue Möglichkeiten für die Stadtplanung-Ein emotionales Kiezportrait. In: M. Schrenk, V. Popovich, D. Engelke, & P. Elisei (Eds.), REAL CORP 2008 (pp. 275–281). Wien. 2008.
- HÖFFKEN, S., J. WILHELM, D. GROß, B. S. BERGNER, ZEILE, P.: EmoCycling -- Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing. In: M. Schrenk, V. Popovich, P. Zeile, & P. Elisei (Eds.), Real CORP 2014 (pp. 851–860). Wien. 2014.
- HORTON, D.: Fear of Cycling. In: P. Rosen, P. Cox, & D. Horton (Eds.), *Cycling und society* (pp. 133–152). Aldershot: Ashgate. 2007.
- HULL, A., O'HOLLERAN, C.: Bicycle infrastructure: Can good design encourage cycling? *Urban, Planning and Transport Research* 2,1(2014), pp.369–406.
- JOHANNSEN, H.: *Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion. Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion*. Springer Fachmedien Wiesbaden. 2013.
- KLEBELSBERG, D.: *Verkehrspsychologie*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 1982.
- KYRIAKOU, K., B. RESCH, G. SAGL, A. PETUTSCHNIG, C. WERNER, D. NIEDERSEER, PYKETT, J.: Detecting Moments of Stress from Measurements of Wearable Physiological Sensors. *Sensors* 19,17(September 2019), pp.3805.
- LI, Z., X. ZHOU, X. WANG, GUO, Z.: Study on Subjective and Objective Safety and Application of Expressway. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96 (November 2013), pp.1622–1630.
- MEKURIA, M. C., P. G. FURTH, NIXON, H.: *Low-Stress Bicycling and Network Connectivity*. 2012. [http://scholarworks.sjsu.edu/mti\\_all](http://scholarworks.sjsu.edu/mti_all) (Zugriff 12 März 2021).
- MERK, J. S.: Vergleich der objektiven Verkehrssicherheit und des subjektiven Verkehrsstresses bei Schutzstreifen und Radfahrstreifen im Vergleich zu eigenständigen Radwegen. Fakultät Informationsmanagement und Medien; Stadtquartiersplanung STQP, Karlsruhe. 2019.
- NELLO-DEAKIN, S.: Environmental determinants of cycling: Not seeing the forest for the trees? *Journal of Transport Geography* 85(May 2020), pp.102704.
- NOBIS, C., AND T. KUHNIMHOF: Empirische Ergebnisse zur Mobilität von Jung und Alt (September 2019).
- NOLD, C.: *Emotional cartography: Technologies of the self*.
- PAPASTEFANOU, G.: Ambulatorisches Assessment: Eine Methode (auch) für die Empirische Sozialforschung. In: M. Weichbold, J. Bacher, & C. Wolf (Eds.), *Österreichische Zeitschrift für Soziologie* (pp. 443–468). Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss. 2009.
- PGV-ALRUTZ, P. V.: *Wirkungskontrolle Radverkehrsförderung in Baden-Württemberg - 1. Wirkungskontrolle 2014/2015*. Hannover. 2016. [https://www.fahrradland-bw.de/fileadmin/user\\_upload\\_fahrradlandbw/1\\_Radverkehr\\_in\\_BW/g\\_Wirkungskontrolle/1\\_Wirkungskontrolle\\_2014\\_-\\_Schlussbericht.pdf](https://www.fahrradland-bw.de/fileadmin/user_upload_fahrradlandbw/1_Radverkehr_in_BW/g_Wirkungskontrolle/1_Wirkungskontrolle_2014_-_Schlussbericht.pdf) (Zugriff 28.7.2021)
- PORTLAND STATE UNIVERSITY, C. MONSERA, J. DILL, P. S. UNIVERSITY, N. MCNEIL, K. CLIFTON, ... J. PARKS: *Lessons from the Green Lanes: Evaluating Protected Bike Lanes in the U.S.* Portland State University Library. 2014. <http://archives.pdx.edu/ds/psu/12107> (Zugriff 28.7.2021)

- PUCHER, J., AND R. BUEHLER: Cycling towards a more sustainable transport future. Transport Reviews. Routledge.
- RICHTER, T., O. BEYER, J. ORTLEPP, AND M. SCHREIBER: Forschungsbericht Nr. 59 - Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen. (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Ed.). Berlin. 2019. <https://m.udv.de/de/publikationen/forschungsberichte/sicherheit-und-nutzbarkeit-markierter-radverkehrsuehrungen> (Zugriff 27 April 2019).
- SANDERS, R.: Examining the Cycle: How Perceived and Actual Bicycling Risk Influence Cycling Frequency, Roadway Design Preferences, and Support for Cycling Among Bay Area Residents. UC Berkeley Dissertations . 2013.
- SCHAEFER, L.-M., AND A. FRANCKE: Ist Sicherheitsgefühl Typfrage? Projektvorstellung RadVerS. 2019.
- SCHNÜLL, R., D. ALRUTZ, LANGE, J.: Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; 262. Bergisch Gladbach. 1992. <https://repository.difu.de/jspui/handle/difu/130899> (Zugriff 28.7.2021).
- SCHWEDES, O., S. WACHHOLZ, FRIEL, D.: Sicherheit ist Ansichtssache. Subjektive Sicherheit: Ein vernachlässigtes Forschungsfeld. Berlin: Technische Universität Berlin, Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung. 2021. <http://hdl.handle.net/10419/229189> (Zugriff 28.7.2021)
- SINUS GMBH, M. S.: SINUS-Milieus Deutschland.
- SINUS, M. S. G. H. & B., S. BORGSTEDT, J. HECHT, JURCZOK, F.: Fahrrad-Monitor Deutschland 2017 - Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung.
- SINUS MARKT- UND SOZIALFORSCHUNG: Fahrrad-Monitor Deutschland 2019. Berlin. 2019.
- TEIXEIRA, I. P., A. N. RODRIGUES DA SILVA, T. SCHWANEN, G. G. MANZATO, L. DÖRRZAPF, P. ZEILE, BOTTELDOOREN, D.: Does cycling infrastructure reduce stress biomarkers in commuting cyclists? A comparison of five European cities. Journal of Transport Geography 88(October 2020), pp.102830.
- WANG, J., L. MIRZA, A. CHEUNG, MORADI, S.: Understanding factors influencing choices of cyclists and potential cyclists: A case study at the University of Auckland.
- WERNER, C., B. RESCH, LOIDL, M.: Evaluating Urban Bicycle Infrastructures through Intersubjectivity of Stress Sensations Derived from Physiological Measurements. ISPRS International Journal of Geo-Information 8,6(June 2019), pp.265.
- WINTERS, M., G. DAVIDSON, D. KAO, AND K. TESCHKE: Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. Transportation 38,1(June 2011), pp.153–168.
- ZEILE, P., J.-P. EXNER, S. HÖFFKEN, STREICH, B.: Menschen als Messfühler -- die Kombination von Geowebmethoden und Sensorik. In: M. Schrenk, V. Popovich, & P. Zeile (Eds.), RealCORP 2010 Proceedings/Tagungsband (pp. 419–426). Wien. 2010.
- ZEILE, P., S. HÖFFKEN, PAPASTEFANOU, G.: Mapping people? The measurement of physiological data in city areas and the potential benefit for urban planning. In: M. Schrenk, V. Popovich, D. Engelke, & P. Elisei (Eds.), REAL CORP 2009 (pp. 341–352). Sitges. 2009.
- ZEILE, P., B. RESCH, M. LOIDL, A. PETUTSCHNIG, DÖRRZAPF, L.: Urban Emotions and Cycling Experience – enriching traffic planning for cyclists with human sensor data. GI\_Forum 1(2016), pp.204–216.