

Partizipation und Planung der aktiven Mobilität: Der Einsatz von Cape Revisos Methodenkoffer am Beispiel Herrenbergs

Céline Schmidt-Hamburger, Peter Zeile, Nina Haug, Thomas Obst

(MA Céline Schmidt-Hamburger, Karlsruher Institut für Technologie KIT, Professur Stadtquartiersplanung, celine.schmidt-hamburger@kit.edu)

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

(MSc. Nina Haug, Karlsruher Institut für Technologie KIT, Professur Stadtquartiersplanung, nina.haug@kit.edu)

(Dipl.-Ing. Thomas Obst, Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart HLRS, thomas.obst@hlrs.de)

DOI: 10.48494/REALCORP2024.8008

1 ABSTRACT

Dieser Artikel stellt einen Auszug aus der Cape-Reviso-Toolbox vor, mit der das Ziel verfolgt wird, die spezifische Wahrnehmung von Radfahrenden mithilfe digitaler Methoden besser erkennen und verstehen zu können. Die hier vorgestellten Module Nutzendenbefragung, Abstandsmessung, Emotionserkennung und KI-Kamerasystem wurden in Cape Reviso im Rahmen eines synchrone Testlaufs mit 16 Probandinnen und Probanden und fast 300 Datensätzen in der Stadt Herrenberg durchgeführt. Die Ergebnisse liefern hinsichtlich der Übertragbarkeit auf andere Projekte vielversprechende Ansätze hinsichtlich einer Skalierung des Erhebungsansatzes mit längerer Laufzeit, der eigenständigen Durchführung der Messungen durch die Testpersonen selbst, sowie die stärkere Integration in kommunale Planungsprozesse. Die Erkenntnisse des Projekts wurden mit Bürgerinnen, Bürgern, Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern diskutiert und erweitert mit der Bereitstellung von quantifizierbaren Messdaten das lokale Wissen über Schwachstellen im kommunalen Radverkehrsnetz.

Keywords: Sensorik, Partizipation, aktive Mobilität, EmoCycling, Herrenberg

2 EINLEITUNG

Wo fühlen sich Radfahrende gestresst, welche Konfliktpotenziale entstehen zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmenden und inwiefern können diese Umstände in bürgerinnen- und bürgernahe Planungsprozesse berücksichtigt werden? Mit diesen Fragen beschäftigt sich das Projekt Cape Reviso (HLRS, 2024), das vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, 2020) im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans 3.0 gefördert wird. In dessen Mittelpunkt stehen die Komponenten körpernahe Sensorik, Abstandsmessung und bildgebende Sensorik, die dazu beitragen, eine objektivere Sicht auf die subjektive Thematik des persönlichen Sicherheitsempfindens bzw. des erlebten Risikos zu schaffen. Der Artikel stellt drei Module aus der Cape Reviso Toolbox vor, die Sensortechnologien für Bürgerinnen, Bürger und Stadtverwaltungen enthält, die für den aktiven Einsatz in Beteiligungs- und Planungsprozessen konzipiert wurden. Als Fallbeispiel dient der Radverkehr in der Stadt Herrenberg.

3 STAND DER FORSCHUNG

Im Folgenden werden die wichtigsten Beispiele für das subjektive Sicherheitsempfinden im Zusammenhang mit dem Radfahren aufgeführt und die bereits erprobten Methoden und Technologien erläutert. Vertiefende Informationen hierzu finden sich z.B. in HAUG ET AL. (2023).

3.1 Die Rolle von Emotionen bei der Radverkehrsplanung

Internationale Studien zeigen, dass ein mangelndes Sicherheitsempfinden Menschen vom Radfahren abhalten kann. Diese Beobachtung gilt sowohl für Städte mit hohem, als auch für Städte mit niedrigem Radverkehrsanteil (WANG ET AL., 2014). Radverkehrsexpertinnen und Radverkehrsexperten wie GRAF (2016) sehen daher in der „Reduktion von Stress“ beim Radfahren einen Schlüsselfaktor für die Erhöhung des Radverkehrsanteils. Die Integration von „Stressmessungen“ als Indikator für ein mangelndes Sicherheitsempfinden beim Radfahren wurde bereits in mehreren Forschungsprojekten im internationalen Kontext beschrieben und eingesetzt (GÖTSCHI ET AL., 2018). Andere Studien fokussieren sich in diesem Kontext mehr auf den Ansatz der mobilen Beteiligung (LIßNER & FRANCKE, 2017). Das britische Near Miss Project liefert mit seinem Verständnis von „Beinahe-Unfällen“ oder „Nicht-Verletzungs-Unfällen“ ein fehlendes Bindeglied zwischen wahrgenommener Sicherheit und objektiver Sicherheit, das erklären könnte, warum Menschen vom Radfahren abgehalten werden. In ähnlicher Weise liefert dieser Ansatz durch die

Erstellung von Wegetagebüchern, in denen Informationen über Vorfälle mit Autofahrenden (z. B. zu dichtem Überholen) sowie über die Infrastruktur und das Verkehrsverhalten enthalten sind, wertvolle Informationen über Merkmale, die potenziell das Radfahren verhindern könnten. (ALDRED, 2016).

3.2 Der Einfluss persönlicher Merkmale auf das Mobilitätsverhalten

Sogenannte endogene Einflussfaktoren, die auf individuelle demografische, sozioökonomische und soziokulturelle Merkmale abzielen, sowie das soziale Umfeld der Individuen spielen eine entscheidende Rolle bei der Beeinflussung individueller Reaktionen auf Stressoren aus der gebauten Umwelt (WERMUTH 2005). Insbesondere das Alter - Kinder und ältere Menschen nehmen ihre Umgebung aufgrund unterschiedlicher Entwicklungsstadien oder altersbedingter Veränderungen unterschiedlich wahr - spielt dabei eine herausragende Rolle. Mobilitätsprofile, insbesondere bei Menschen mit Mobilitäts- oder Sehbehinderungen, sowie der Zweck der Fortbewegung und individuelle Gewohnheiten, wie z.B. die Bevorzugung des Autofahrens, beeinflussen die Anfälligkeit für Stressreaktionen (AUSSERER et al. 2013; SCHOON 2010). Auch das Geschlecht spielt eine Rolle, wobei Frauen tendenziell schneller auf Stressoren reagieren (KYRIAKOU & RESCH 2019). Psychologische Einflussfaktoren wie Persönlichkeitsmerkmale, Kontrollüberzeugung und Risikobereitschaft können die individuelle Stressreaktionen verstärken oder abschwächen (SCHANDRY 2016). Die Einbeziehung psychologischer Merkmale in wissenschaftliche Studien wird als wichtig erachtet, um Prozesse und Phänomene besser beschreiben und vorhersagen zu können (Persönlichkeit: RAMMSTEDT et al. 2012, Kontrollüberzeugung: KOVALEVA et al. 2012, Risikobereitschaft: BEIERLEIN et al. 2014). Die Persönlichkeit wird traditionell anhand der sogenannten Big Five bestimmt, die die Eigenschaften Extraversion, Neurotizismus, Offenheit, Gewissenhaftigkeit und Verträglichkeit umfassen. Die Kontrollüberzeugung beschreibt die Überzeugung einer Person, dass sie die Kontrolle über verschiedene Situationen hat und diese als Ergebnis ihrer Handlungen (internal) wahrnimmt oder sie dem Schicksal, dem Zufall oder mächtigen anderen (external) zuschreibt. Die Kontrollüberzeugung einer Person kann mit einer Charaktereigenschaft gleichgesetzt werden, da sie nachweislich das Verhalten erklärt und vorhersagt (KOVALEVA et al. 2012). Der Grad der Kontrollüberzeugung ist ein relevanter Faktor bei der Bewältigung von Stressreaktionen (BROSSHOT et al. 1994). Die Risikobereitschaft gibt dabei an, inwieweit eine Person bereit ist, riskante Handlungsweisen zu wählen. Risikoverhalten wird empirisch mit dem Fahrverhalten in Verbindung gebracht und ist daher von Bedeutung.

3.3 Digitale Tools und Sensoren als Mittel informationeller Gleichstellung

Ohne die Herstellung einer „informationellen Waffengleichheit“ ist jede Form der Partizipation bedeutungslos (STREICH 2014, 137). Ein guter Partizipationsprozess sollte sich deshalb daran messen lassen, wie viele Informationen zur Verfügung gestellt werden. Laut STREICH (2014) erfordert echte Partizipation nicht nur die Verfügbarkeit von Daten, sondern auch technisch-organisatorische Maßnahmen. Inspiriert von der PlaceMatters-Initiative plädiert er für „offene Werkzeuge“, insbesondere „Open-Source-Planungstools“, die mit offengelegtem Quellcode für alle zugänglich sind (STREICH 2014, 137 & 148). Daher sind fast alle Methoden und Technologien, die in diesem Ansatz verwendet werden, offen, wie unten beschrieben. Für die Erkennung von Beinaheunfällen, subjektiver Sicherheit und „Stress“ gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Sensoren: Stationäre Sensoren zum „Dynamic Scene Understanding“ (BUXTON 2003), die automatisierte Detektion und Klassifizierung von Fußgängern (ROMERO-CANO et al. 2016), mobile Handsensoren wie GPS-Empfänger oder Mikrofone zur Erfassung von Geräuschen (MAISONNEUVE et al. 2008), Lichtintensität und Farbe (GUTIERREZ-MARTINEZ et al. 2017), Schadstoffkonzentrationen über USB-Schnittstelle (SCHÄFER et al. 2017) oder auch biostatistische Sensoren (KANJO et al. 2015).

4 CAPE-REVISO-TOOLBOX

In Cape Reviso werden verschiedene Methoden zum Einsatz gebracht, die entweder aufeinander aufbauen oder unabhängig voneinander Messergebnisse liefern. Sensorgestützte Stressmessungen, standardisierte Fragebögen, Abstandsmessungen und maschinelles Lernen in Form einer Langzeiterfassung des Verkehrsgeschehens dienen in diesem Zusammenhang der Analyse und Reduzierung von Konflikten zwischen Radfahrenden und anderen Verkehrsteilnehmenden. Prinzipiell können die einzelnen Elemente auch für sich alleine genutzt werden, ihre Stärke liegt jedoch in der Verknüpfung untereinander. Die einzelnen Module werden im Folgenden erläutert.

4.1 Sensorgestützte Stressmessungen und standardisierte Fragebögen

Zur Durchführung der „Stressmessungen“ in diesem Projekt werden Sensorarmbänder (Empatica e4) verwendet, um die Vitaldaten (Hautleitfähigkeit und Hauttemperatur) der Testperson während der Fahrradnutzung zu messen. Die Vitaldaten werden mit den korrespondierenden GPS-Daten über ein Smartphone synchronisiert. Eine Stressreaktion wird in der Auswertung erkannt, wenn die Hautleitfähigkeit steigt und die Hauttemperatur sinkt (KYRIAKOU ET AL., 2019). Durch die Kombination mit einer Mixed-Methods-Befragung der Teilnehmenden können die identifizierten Stresspunkte im Anschluss dann genauer hinsichtlich verschiedener Merkmale betrachtet werden. Diese subjektive Belastungseinschätzung kann wiederum durch Informationen über das Mobilitätsprofil, soziodemografische sowie sozialpsychologische Annahmen weiter spezifiziert werden. Diese Daten werden vor den Sensormessungen mittels standardisierter Fragebögen erhoben und in die Auswertung einbezogen. Mit dieser Methodik zielt der vorgestellte Ansatz darauf ab, besonders gefährdete Gruppen in Bezug auf Stress zu identifizieren.

4.2 Netzwerkanalyse mit dem OpenBikeSensor

Der sogenannte OpenBikeSensor (OBS) wurde als offene Sensorplattform konzipiert (GITHUB, 2021). Ultraschallsensoren messen kontinuierlich den physischen Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmenden und speichern diesen georeferenziert. Durch die Aggregation aller Datensätze ist es möglich, Bereiche zu identifizieren, in denen Überholvorgänge in einem Abstand von weniger als 150 cm gehäuft auftreten. In Kombination mit Daten aus der Verkehrsüberwachung etc. ergeben sich so erste Verdachtspunkte für potenzielle Hotspots von Beinahe-Unfällen und anderen Konfliktbereichen.

4.3 Machine Learning/Trainingsdatengenerierung/Kamerasystem

Das System, das an (Beinahe-)Unfallsschwerpunkten eingesetzt wird, nutzt stationäre Kamerasysteme für die Langzeitaufzeichnung von Videodaten zur Untersuchung von Konflikten, Gefahrensituationen und Unfällen. Das System besteht aus einer Kamera, die mit einer eingebetteten Computerplatine mit einem leistungsstarken Grafikprozessor (Nvidia Jetson AGX Xavier, 32 TOPS) verbunden ist, und ermöglicht Edge Computing für die Verarbeitung von Bilddaten vor Ort unter Verwendung von Algorithmen für maschinelles Lernen. Dieser Ansatz stellt sicher, dass die Bilddaten im temporären Speicher des Systems verbleiben und in anonymisierte Verkehrsdaten umgewandelt werden, um die Einhaltung des Datenschutzes zu gewährleisten. Das modulare Softwaredesign, welches die Erkennung, Verfolgung und Trajektorienanalyse umfasst, beinhaltet klar definierte Schnittstellen für die schnelle Integration neu entwickelter Algorithmen von Drittanbietern.

Für die Bilderkennung verwendet das System das Convolutional Neural Network YOLO (REDMON & FARHADI, 2016) mit der Deep Neural Network Library tkDNN (VERUCCHI ET AL., 2020), das bei FullHD-Videos mit etwa 40 Bildern pro Sekunde arbeitet, wobei die Erkennungsergebnisse lokal gespeichert oder im JSON-Format gestreamt werden. Es wurde mit dem COCO-Erkennungsdatensatz (LIN ET AL., 2015) und der ImageNet-Klassifikationsdatenbank trainiert. Die Anpassungen für den europäischen/deutschen Mikromobilitäts-Mix umfassen ein Webportal (<https://capereviso-portal.hlrs.de/>), das das Image Labeling Tool (KIM, 2019) für Crowdsourcing von zusätzlichen Klassifikationsdaten nutzt. Das Portal erleichterte die Interaktion mit Freiwilligen, was zu Trainingsdaten für die Klassifizierung verschiedener Verkehrsteilnehmer führte, darunter Fahrräder, Zufußgehender, Motorroller, Rollstühle und Personen mit Kinderwagen.

Im Rahmen des Projekts wurden drei Tracking-Algorithmen getestet und teilweise implementiert. Das Poisson-Multi-Bernoulli-Gemisch (BOHNSACK, 2019) wurde für das Live-Tracking erweitert, und es wurde ein Multikamerasystem mit Sensorfusion erforscht (VALDER, 2021). SORT (BEWLEY ET AL., 2016) zeigte vielversprechende Ergebnisse in Ein-Kamera-Systemen, und es wird daran gearbeitet, DeepSORT (WOJKE ET AL., 2017) auf Mehr-Kamera-Systeme zu erweitern. Die Trajektorienanalyse reicht von der einfachen Zählung von Verkehrsteilnehmenden bis hin zu tiefgreifenden Untersuchungen komplexer Interaktionen. Kritikalitätsmetriken (WESTHOFEN ET AL., 2023), die für gefährdete Verkehrsteilnehmende angepasst wurden, bieten Einblicke in Konfliktmechanismen und unterscheiden einzelne extreme Ereignisse von wiederkehrenden Ereignissen. Neben Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmetriken die Trajektorienanalyse TTCE (time to closest encounter, engl.: Zeit bis zur nächsten Begegnung) und DCE (distance of closest encounter, engl.: Entfernung bis zu nächsten Begegnung)

umfassen, mit möglichen Erweiterungen zur Identifizierung von Infrastrukturen, die kritische Begegnungen fördern.

5 ERGEBNISSE DER FALLSTUDIE HERRENBERG

Die Partnergemeinde Herrenberg dient als Beispiel, um die Nutzung der Toolbox von Cape Reviso zu veranschaulichen. Herrenberg liegt im Südwesten Deutschlands, 40 km südwestlich von Stuttgart. Mit 33.000 Einwohnerinnen und Einwohnern kann sie als mittelgroße Stadt eingeordnet werden. Im Jahr 2016 ergab der Modal Split einen Radverkehrsanteil von 11 % und einen Fußverkehrsanteil von 19 % (MEIGL ET AL., 2019). Im Rahmen von Cape Reviso wurden im Herbst 2022 verschiedene Erhebungen durchgeführt. Dazu gehören Stress- und Entfernungsmessungen über zwei Wochen mit 16 Teilnehmenden sowie der Einsatz des Kamerasystems. Trotz der Tatsache, dass 16 Teilnehmende für die Bevölkerung Herrenbergs nicht als repräsentativ betrachtet werden können, ist dennoch die besondere Bedeutung des Testlaufs hervorzuheben. Denn im Rahmen dieses Testlauf wurde erstmals die synchrone Nutzung der beschriebenen Technologien in Verbindung mit den standardisierten Fragebögen erprobt. Dabei wurde die Skalierbarkeit von der reinen Einzelauswertung (wie in den Urban Emotion Cycling Experimenten ZEILE et al. 2016) bis zur unbeaufsichtigten täglichen Nutzung getestet.

5.1 Beschreibung der Stichprobe mit standardisierten Fragebögen

Die standardisierten Fragebögen gewähren Einblicke in das Radfahrverhalten, die Persönlichkeitsmerkmale und die Einstellungen der Teilnehmenden, die ihre Präferenzen und ihr Verhalten in Bezug auf das Radfahren beeinflussen können (vgl. Tabelle 1.). Die Mehrheit (69 %) der Teilnehmenden ist über 40 Jahre alt, mit einem leichten Überschuss an Menschen, die sich als Frauen identifizieren (59%). Ein erheblicher Teil (81%) hat einen hohen Bildungsgrad. Die Teilnehmenden werden in Radfahrertypen eingeteilt (GELLER, 2009), wobei die Mehrheit „Alltagsradfahrende“ (56%) und „interessierte Radfahrende“ (44%) sind. Daher sind in der Studie keine extremen Positionen zum Radfahrverhalten vertreten. Die meisten Teilnehmenden (81%) fahren mit Muskelkraft, 19% nutzen E-Bikes. Häufige Fahrradtypen sind Trekkingräder (50%) und Cityräder (31%). Herrenberg wird laut Fahrradklimatest des ADFC (Note= 3,9, N= 154) beim Zufußgehen als durchschnittlich (Note 3,4) und beim Radfahren als schlecht (Note 4,1) bewertet. „Konflikte mit Zufußgehenden“ (Note: 4,1) sind ein besonderes Anliegen der Herrenberger Radfahrenden, der Faktor wird um 0,5 Notenpunkte schlechter bewertet wird als im Durchschnitt vergleichbarere Städte (ADFC 2022).

Variable	N _{Teilnehmende} =16 (in %)
Alter (>40)	69
Gender (female)	56
Bildung, hoch	81
Radfahrertypen (Geller 2009)	
Keine Chnace, egal wie	0
Interessierte Radfahrende	44
Alltagsradfahrende	56
Furchtlose Radfahrende	0
Fahrradantrieb	
Konventionell	81
Elektrisch	19
Fahrradtyp (am häufigsten genutzt)	
Trekking Fahrrad	50
City Fahrrad	31
Bewertung der Verkehrssituation in Herrenberg (Schulnoten)	
Radfahren	Ø 4.1
Zufußgehen	Ø 3.4
Big-Five-Persönlichkeitsmerkmale	
Extraversion (überdurchschnittlich)	57
Neurotizismus (überdurchschnittlich)	71
Offenheit (überdurchschnittlich)	64
Gewissenhaftigkeit (unterdurchschnittlich)	79
Verträglichkeit (unterdurchschnittlich)	33
Kontrollüberzeugung	
Internal (unterdurchschnittlich)	73
External (unterdurchschnittlich)	80
Risikobereitschaft (hoch)	73

Tabelle 1: Beschreibung der Stichprobe, eigene Berechnungen

Die Teilnehmenden weisen ausgeprägte Persönlichkeitsmerkmale auf (RAMMSTEDT et al. 2012), mit einem höheren Grad an Extraversion, Neurotizismus und Offenheit im Vergleich zum deutschen

Durchschnitt. Sie sind weniger gewissenhaft und sozial verträglich. Die Ausprägung der Kontrollüberzeugung zeigt in Herrenberg eine Präferenz für internale Kontrolle. Im Durchschnitt besitzen die Teilnehmenden eine hohe Risikoaffinität (73 %) (BEIERLEIN et al. 2015).

5.2 Sensorgestützte Stressmessungen

Bei der Messung der Vitalwerte (Hautleitfähigkeit, Hauttemperatur) von 16 Testpersonen zur Stresserkennung wurden 283 Datensätzen erfasst. Die reine Fahrzeit der Probandinnen und Probanden betrug 58,46 Stunden, was 210467 Messpunkten entspricht. Dabei wurden 5422 Stressmomente (MOS) festgestellt. Abbildung 2 zeigt die gesamte Messkampagne über das Stadtgebiet von Herrenberg (links) sowie einen Schwerpunktbereich um den Reinhold-Schickplatz und die angrenzende Ringstraße (rechts). Hier wurde eine hohe Anzahl von MOS festgestellt, was mit dem „lokalen Wissen“ über die hohe Verkehrsproblematik an diesem Ort einhergeht.

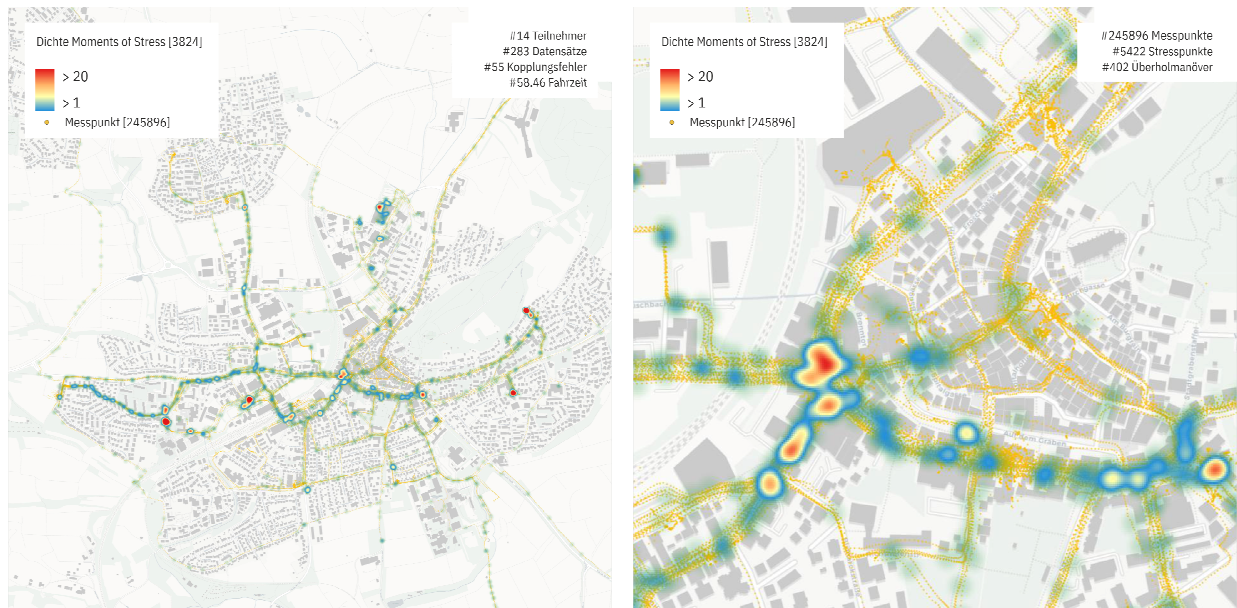


Abbildung 2: Alle Messpunkte und MOS-Detektion in Herrenberg (links) und mit Fokuspunkt auf dem Reinhold-Schickplatz (rechts)

Anhand von Fragebögen und anonymisierten Stressdaten wurden erste Auswertungen auf Basis von Persönlichkeitsmerkmalen durchgeführt. Zu den wichtigsten Untersuchungen gehören in diesem Zusammenhang geschlechtsspezifische Unterschiede und die Unterscheidung in Radfahrertypen (Abb. 3).

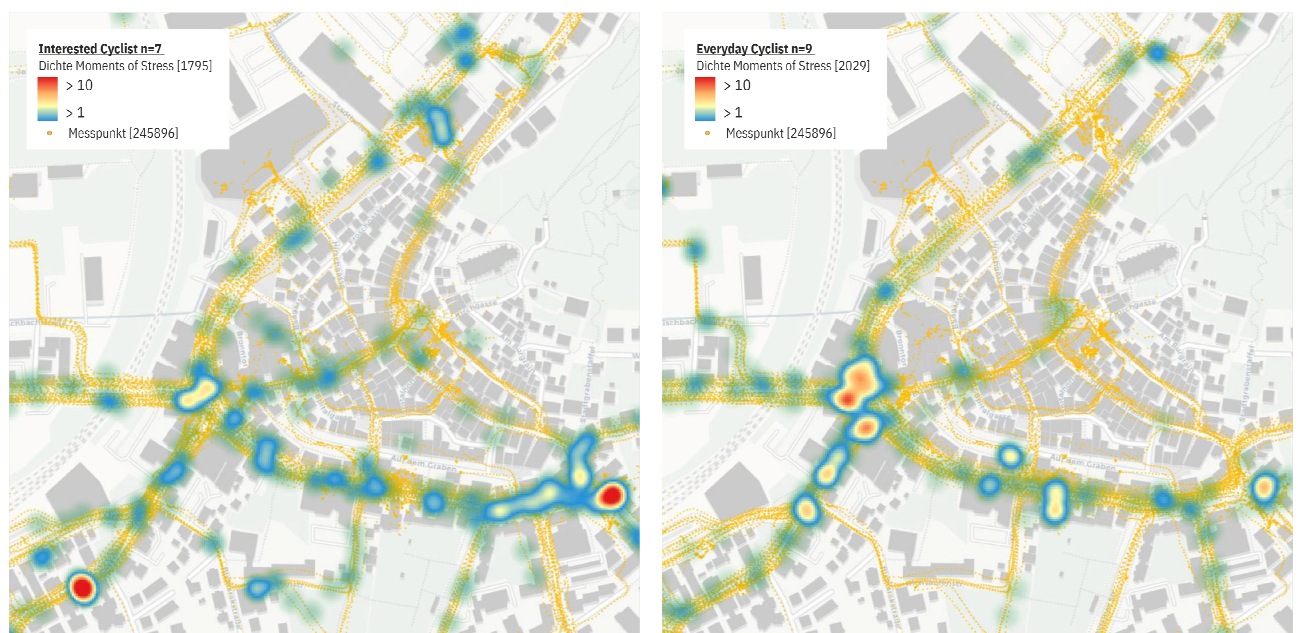


Abbildung 3: Unterschiedliche Stress-Hotspots der Radfahrertypen „Interessierter Radfahrende“ (links) und „Alltagsradler“ (rechts)

5.3 Netzwerkanalyse mit dem OpenBikeSensor

Bis November 2022 wurden im Untersuchungsgebiet über 210.000 Punkte erfasst. Von den 402 erfassten Überholvorgängen waren 179 Nahüberholungen unter 150 cm. Zu den Hotspots gehören der Reinhold-Schickplatz, die Horber Straße und die Hindenburgstraße. Aufschlüsselung der Nahüberholungen: 25 im Bereich 0-50 cm, 53 im Bereich 50-100 cm und 101 im Bereich 100-150 cm. Weitere Punkte (64 in 150-200 cm und 41 >200 cm) liegen außerhalb der gesetzlichen Mindestabstände, werden aber dennoch als „Nahmanöver“ wahrgenommen. Insbesondere auf Straßen mit erlaubter Geschwindigkeit von mehr als 50 km/h erfahren Radfahrende starke seitliche Kräfte, die ihr subjektives Sicherheitsempfinden beeinträchtigen können (GROMKE & RUCK, 2021).

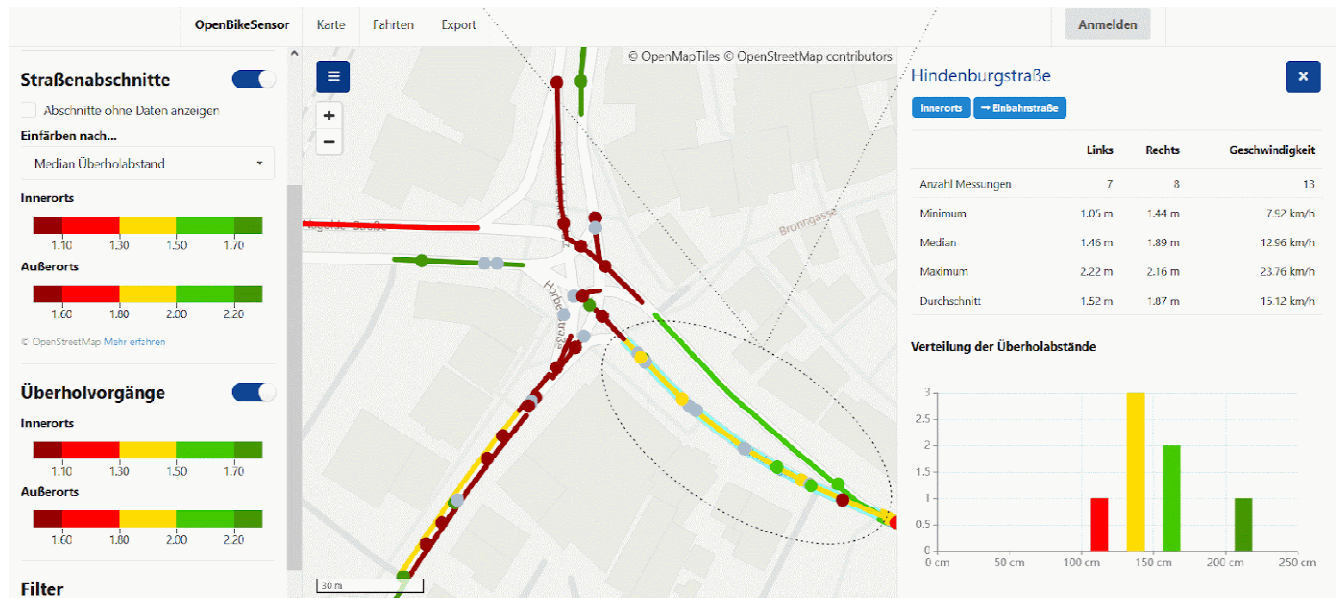


Abbildung 1: Aus dem OBS-Portal generierte Informationen, zugeschnitten auf Herrenberg

(<https://openbikesensor.hlrs.de/map#17.66/48.59486925734776/8.867378921008>): Focus Spot mit statistischen Informationen zu einem Straßenabschnitt.

5.4 Langzeiterfassung des Verkehrsgeschehens mittels Kamerasystem

Zwischen 2022 und 2023 zeichneten die Herrenberger Verkehrsdetektionssysteme an über 1600 Tagen an fünf Systemen und neun Standorten auf. Aufgrund von Einschränkungen im Tracking-Algorithmus wurden reine Erfassungen auf Einzelbildern gespeichert und später mit angepassten Algorithmen analysiert. Die Auswahl der zu untersuchenden Bereiche erfolgte auf der Grundlage der Daten mobiler Sensoren und der Erfahrungen der Kommunen. In diesem Zusammenhang liefert die Analyse der räumlichen Dichte Einblicke in die Verkehrswege und zeigt die Haupttrouten der verschiedenen Verkehrsteilnehmer auf. Abbildung 4 veranschaulicht die Ergebnisse des Kameraerfassungssystems an der Volkshochschule Herrenberg. Außerdem können einzelne Trajektorien von Interesse zusammen mit den anderen Verkehrsteilnehmenden, die zu einem bestimmten Zeitpunkt anwesend sind, angezeigt werden. Allerdings werden detaillierte Abläufe eines Konflikts immer noch nicht zuverlässig erkannt. Zu nahes Überholen z.B. oder das Schneiden der Fahrtrinie können nicht ausgemacht werden. Verfolgungsverluste und Rauschen in der exakten räumlichen Ausdehnung führen zu Unsicherheiten, die eine Weiterentwicklung der Erkennungsstabilisierung und Filterung erfordern. Die detaillierteste Analyse wurde vor der Volkshochschule in Herrenberg durchgeführt, wo die allgemeine Verkehrssituation deutlich von motorisierten Fahrzeugen dominiert wird.

An dieser Stelle müssen sich Radfahrende, die aus Richtung Osten kommen, entscheiden, ob sie sich mit dem motorisierten Verkehr, der von einer Landstraße in Herrenberg einfährt, mischen oder gesetzeswidrig den Gehweg benutzen wollen. Aus zweiterer Entscheidung können jedoch Konflikte mit dem Fußverkehr resultieren. Ob der Gehweg rechtlich für Radfahrende geöffnet werden kann, ist eine laufende Diskussion in Herrenberg. Die bisherigen Annahmen über die derzeitige Wegenutzung können durch die Analysen des Kamerasystems bestätigt werden.

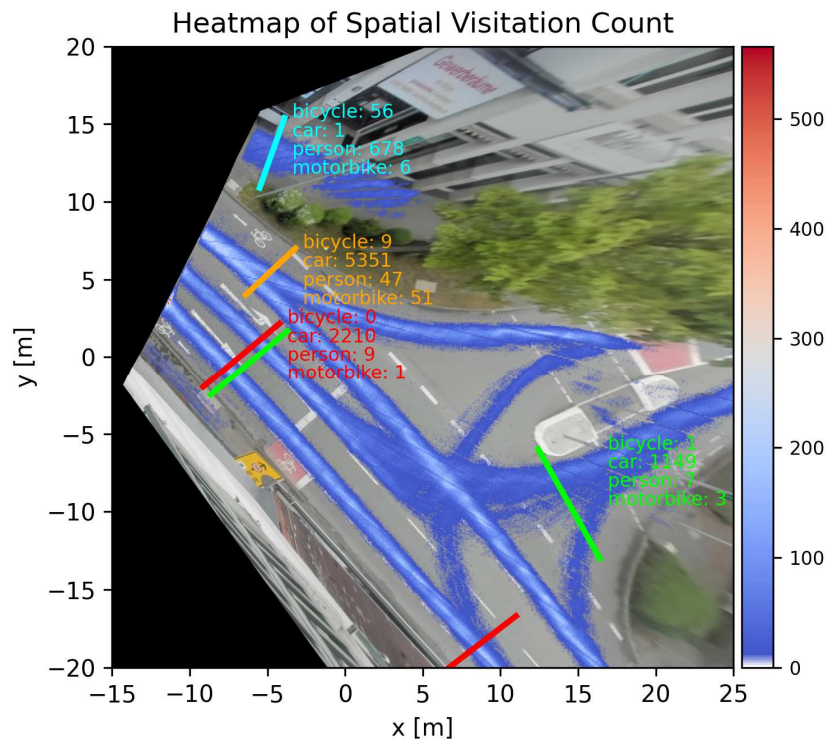


Abbildung 4: Kameraaufzeichnungen an der Volkshochschule Herrenberg. Räumliche Verteilung der Besuchszahlen der Verkehrsteilnehmenden am Referenzpunkt auf einem Raster mit 0,1 m Auflösung zusammen mit den Zählungen von ein- (cyan und orange) und mehrspurigen Kreuzungen (rot und grün). Kumulierte Daten vom 1. Mai 2023

5.5 Verknüpfung der Tools

Perspektivisch birgt die Verknüpfung aller Ansätze ein großes Potenzial: Das gesamte Straßennetz wird auf Stresssituationen der Radfahrenden gescannt und gleichzeitig kritische Überholabstände protokolliert. Durch diesen Gefährdungsnachweis können wertvolle Daten hinsichtlich einer möglichen Neudimensionierung der Radwege gewonnen werden. An den identifizierten Hotspots wurden mit dem Kamerasystem Schwerpunktanalysen durchgeführt und die Ergebnisse der Stressmessungen können Aufschluss darüber geben, welche Stellen von „Umsteigenden“ – also der Gruppe der Interessierten Radfahrenden - besonders gemieden werden. In diesem Experiment wurden die Kamerastandorte an den identifizierten Hotspots eingerichtet. Insbesondere an einem Fokusbereich, der Volkshochschule, konnten wir kontextuelle Vorteile für die Kameraaufzeichnungen identifizieren. Bei der Analyse der Verkehrsströme und der tatsächlich gefahrenen Strecken konnten wir feststellen, dass Radfahrende den Gehweg der Straße vorziehen. Die eigentliche Radverkehrsinfrastruktur wurde gemieden und es gab weniger MOS als erwartet und keine Unfälle in der Unfallstatistik. Die Toolbox kann genutzt werden, um z.B. funktionale von dysfunktionalen Verkehrssituationen zu unterscheiden, und kann Informationen für die Stadtplanung liefern, um Maßnahmen zu priorisieren. Weiterhin konnte keine eindeutige Korrelation zwischen einem geringen Überholabstand und den einzelnen Stressauslösern festgestellt werden: An einigen Stellen ist dies der Fall, an anderen Stellen mit sehr geringen Abständen wurden jedoch keine Stressmomente registriert (siehe Abb. 5).

Dieses Phänomen deckt sich auch mit den Ergebnissen von HAUENSTEIN et al. (2023): Ein erhöhter Belastungszusammenhang bei geringeren Überholabständen unter 1,6 m ist mit dem Pearson's Chi-Quadrat-Test statistisch nachweisbar, aber nicht für jeden Belastungsauslöser „sichtbar“. Die Überlagerung beider Messungen unterstützt somit systemisch die gesetzliche Forderung nach einem Überholabstand von 1,5 m innerorts, aber als kombinierte Anwendung im Planungskontext des Radverkehrs liefern beide Messreihen zusammen nicht die erforderlichen Hinweise. Interessant wäre in diesem Zusammenhang aber auch, ob es eine statistische Korrelation zwischen Stressauslösern, Abstand und den oben genannten Persönlichkeitsmerkmalen gibt.

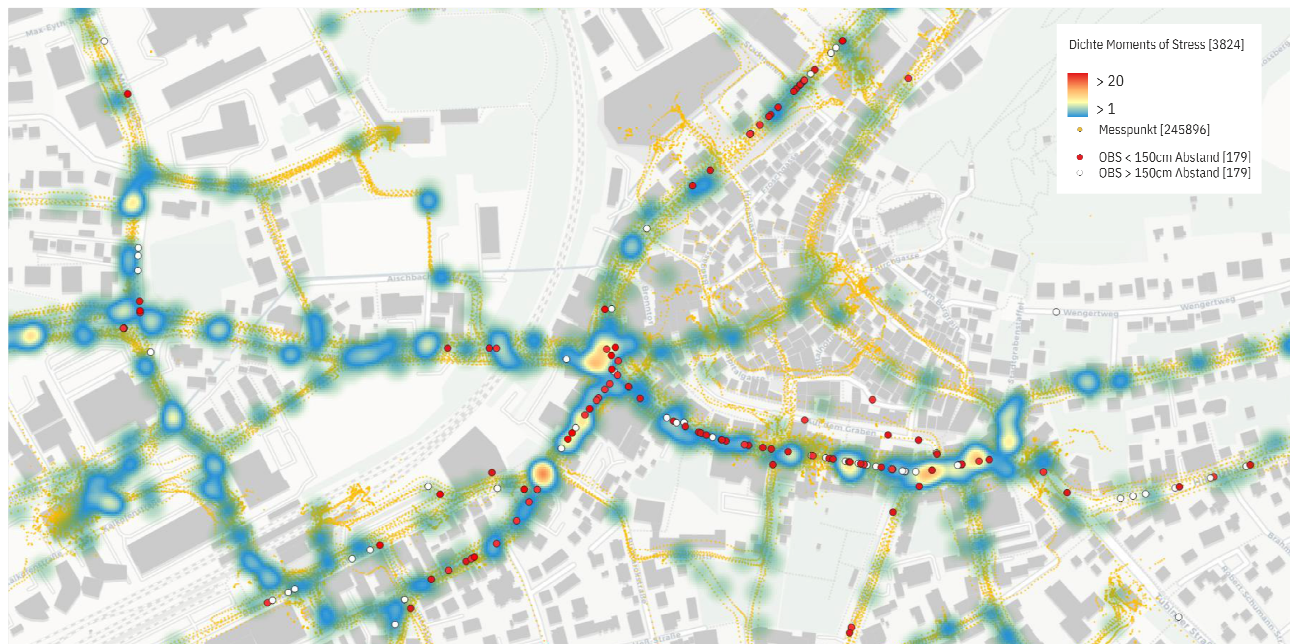


Abbildung 5: Korrelationen zwischen Überholabstand und MOS am Fokuspunkt Reinhold-Schickplatz, eigene Darstellung

6 CONCLUSIO

Im Rahmen des Projekts Cape Reviso wurde eine Toolbox entwickelt, die biostatistische Sensoren, Distanzmesser und ein Kamerasystem für die Beteiligung von Bürgerinnen, Bürgern und Stadtverwaltung an Planungsprozessen umfasst. Ausgehend von der Intention, Konflikte zwischen Radfahrenden und Zufußgehenden messen zu können, sind die hier vorgestellten Ergebnisse in Kombination mit den Untersuchungen zum Fußverkehr am Stuttgarter Marienplatz (SCHMIDT-HAMBURGER et al. 2023) ein wichtiger Baustein zum Verständnis vom Stressempfinden und Konflikten zwischen Radfahrenden und Zufußgehenden.

Alles in allem zeigt das Beispiel Herrenberg, wie eine bürgerinnen- und bürgernahe Planung zu einem sichereren städtischen Umfeld beitragen kann. Der methodische Ansatz ist offen gestaltet und ermutigt Planende in den Gemeinden zur Nachahmung und Umsetzung. Während die multisensorische Toolbox einen ganzheitlichen Analyseansatz mit Stärken wie Kosteneffizienz und Anpassungsfähigkeit demonstriert, gibt es jedoch auch Einschränkungen. Hierbei sind zum Beispieldie kleine und heterogene Stichprobe bei den Stress- und Abstandsmessungen, Herausforderungen beim Ableiten präziser Schlussfolgerungen aus Kameraaufzeichnungen, sowieaktuelle Beschränkungen bei digitalen Zwillingsmessungen zu nennen. Ferner wurde die Durchführung des Projekts auch durch die Beschränkungen der COVID-19 Pandemie in den Jahren 2020-2023 eingeschränkt. Trotz dieser Einschränkungen ist die Toolbox vielversprechend für die weitere Entwicklung und den Einsatz in der Stadtplanung, insbesondere mit ihrem Schwerpunkt auf Partizipation von Bürgerinnen und Bürgern und multisensorischer Datenintegration.

7 DANKSAGUNG

Das Projekt Cape Reviso (Cyclist And PEdestrians on REal and VIRTual Shared rOads) wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr BMDV im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans (NVRP) 2020 unter dem Förderkennzeichen VB2013A-C gefördert und von Manuel Hundt vom Bundesamt für Logistik und Mobilität BALM, Team Radverkehr betreut. Weitere Informationen sind unter <https://nationaler-radverkehrsplan.de> abrufbar. Ein großes Dankeschön geht auch an den ADFC Herrenberg mit Gerhard Strubbe, die Probandinnen und Probanden und die Stadtverwaltung um Bürgermeisterin Schreiber und Frank Schöck, die dem Projekt eine Plattform gaben und die Ergebnisse sowohl in den politischen Gremien als auch mit der aktiven Szene diskutierten.

8 REFERENZEN

ALDRED, R.: Cycling near misses: Their frequency, impact, and prevention. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 90, 69–83, 2016.

- ADFC - ALLGEMEINER DEUTSCHER FAHRRADCLUB: Fahrradklimatest 2022: Alle Ergebnisse im Überblick. Herrenberg. <https://fahrradklima-test.adfc.de> (07.02.2024), 2023.
- AUSSERER, K., FÜSSL, E. & RISSER, R.: NutzerInnenbefragung: Was gefällt am Gehen und was hält davon ab? Endbericht. https://www.wienzulfuss.at/wp-content/uploads/sites/3/2016/06/2015_Gehen-aus-der-Perspektive-von-Jung-und-Alt-Endberich.pdf (07.02.2024), 2013.
- BEIERLEIN, C., KOVALEVA, A., KEMPER, C. J., & RAMMSTEDT, B.: Kurzskaala zur Erfassung der Risikobereitschaft (R-1). Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). doi.org/10.6102/zis236, 2015.
- BEWLEY, A., GE, Z., OTT, L., RAMOS, F. & UPCROFT, B.: Simple online and real-time tracking. 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). [doi:10.1109/ICIP.2016.7533003](https://doi.org/10.1109/ICIP.2016.7533003), 2016.
- BMDV - BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALE UND VERKEHR: National Cycling Plan 3.0. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Articles/StV/Cycling/nrvp.html> (07.02.2024), 2023.
- BOHNSACK, E.: Python implementation of Poisson Multi-Bernoulli Mixture Filter for Multi-Object Tracking PMBM. GitHub. <https://github.com/erikbohsack/pmbm> (07.02.2024), 2019.
- BUXTON, H.: Learning and understanding dynamic scene activity: a review. *Image and Vision Computing*, 21(1), 125–136. [doi:10.1016/S0262-8856\(02\)00127-0](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(02)00127-0), 2013.
- BROSSCHOT, J. F., GEBHARDT, W. A. & GODAERT, G.L.R.: Internal, powerful others and chance locus of control: relationships with personality, coping, stress and health. In: *Personality and Individual Differences* 16(6), S. 839-852, 1994.
- GELLER, R.: Four Types of Cyclists. Portland Bureau of Transportation. Portland, 2009.
- GITHUB: OpenBikeSensor. <https://github.com/openbikesensor/openbikesensor.github.io> (07.02.2024), 2021.
- GÖTSCHI, T., CASTRO, A., DEFORTH, M., MIRANDA-MORENO, L., & ZANGENEHPOUR, S.: Towards a comprehensive safety evaluation of cycling infrastructure including objective and subjective measures. *Journal of Transport and Health*, 8, 44–54. [doi:10.1016/j.jth.2017.12.003](https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.12.003), 2018.
- GRAF, T.: Handbuch: Radverkehr in der Kommune: Nutzertypen, Infrastruktur, Stadtplanung, Marketing: das Hygge-Modell, Ergänzungen zur ERA (1. Auflage). 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, 104489. [doi:10.1016/j.jweia.2020.104489](https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104489), 2021.
- GUTIERREZ-MARTINEZ, J.-M., CASTILLO-MARTINEZ, A., MEDINA-MERODIO, J.-A., AGUADO-DELGADO, J., MARTINEZ-HERRAIZ, J.-J. et al.: Smartphones as a Light Measurement Tool: Case of Study. *Applied Sciences*, 7(6), 616. [doi:10.3390/app7060616](https://doi.org/10.3390/app7060616), 2017.
- HAUENSTEIN, J., ECKART, J., ZEILE, P., & MERK, J.: The Effect of Over-taking Distances on the Stress Occurrence of Cyclists in Urban Areas – REAL CORP Repository. In M. SCHRENK, et al. (Eds.), *Proceedings of RE-AL CORP 2023* (pp. 699–708). [doi:10.48494/REALCORP2023.9045](https://doi.org/10.48494/REALCORP2023.9045), 2023.
- HAUG, N., SCHMIDT-HAMBURGER, C., & ZEILE, P.: Identifying urban stress and bicycle infrastructure relationships: a mixed-methods citizen-science approach. *Urban, Planning and Transport Research*, 11(1). [doi:10.1080/21650020.2023.2267636](https://doi.org/10.1080/21650020.2023.2267636), 2023.
- KANJO, E., AL-HUSAIN, L., & CHAMBERLAIN, A.: Emotions in context: examining pervasive affective sensing systems, applications, and analyses. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(7), 1197–1212. [doi:10.1007/s00779-015-0842-3](https://doi.org/10.1007/s00779-015-0842-3), 2015.
- HLRS: CapeReviso. Retrieved January 31, 2024, from <https://capereviso.hlrs.de/capereviso-2/>, 2024.
- KIM, S.: Image Labeling Tool. Github. <https://github.com/Slava/label-tool> (07.02.2024), 2019.
- KOVALEVA, A., BEIERLEIN, C.; KEMPER, C.J. & RAMMSTEDT, B.: Kurzskaala zur Messung von Kontrollüberzeugung: Die Skala Internale-Externale-Kontrollüberzeugung-4 (IE-4). In: *GESIS-Working Papers* 19, 2012, 2012.
- KYRIAKOU, K., & RESCH, B.: Spatio-Temporal Analysis of Moments of Stress Derived from Wearable Sensor Data. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. [doi: 10.5194/ica-adv-2-9-2019](https://doi.org/10.5194/ica-adv-2-9-2019), 2019.
- LIN, T.-Y., MAIRE, M., BELONGIE, S., BOURDEV, L., GIRSHICK, R., HAYS, J., PERONA, P., RAMANAN, D., ZITNICK, L. & DOLLAR, P.: Microsoft COCO: Common Objects in Context. [doi:10.48550/arXiv.1405.0312](https://doi.org/10.48550/arXiv.1405.0312).
- LIßNER, A., & FRANCKE, S. (2017), Big Data im Radverkehr. Ein anwendungsorientierter Leitfaden zur Nutzung von smartphone-generierten Radverkehrsdaten. (P. für V. T. U. D. TU Dresden Professur für Verkehrspsychologie, Ed.), 2015.
- MAISONNEUVE, N., STEVENS, M., & STEELS, L.: Measure and map noise pollution with your mobile phone. In *Information Technologies in Environmental Engineering*, 2008.
- MEIGL, T., TRÖGER, M., NOSSWITZ, U. & GOTH, A.: Integrierter Mobilitätsentwicklungsplan Stadt Herrenberg. In: *Straßenverkehrstechnik* 10.19. <https://www.herrenberg.de/tools/partPlat/projects/pdfs/37/2i99CL> (07.02.2024), 2019.
- RAMMSTEDT, B., KEMPER, C., KLEIN, M., BEIERLEIN, C. & KOVALEVA, A.: Eine kurze Skala zur Messung der fünf Dimensionen der Persönlichkeit: Big-Five-Inventory-10 (BFI-10). In: *GESIS-Working Papers* 23, 2012., 2012.
- REDMON, J., & FARHADI, A.: YOLO9000: Better, Faster, Stronger. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-January*, 6517–6525. [doi:10.48550/arxiv.1612.08242](https://doi.org/10.48550/arxiv.1612.08242), 2016.
- ROMERO-CANO, V., AGAMENNONI, G., & NIETO, J.: A variational approach to simultaneous multi-object tracking and classification. *The International Journal of Robotics Research*, 35(6), 654–671. [doi:10.1177/0278364915583881](https://doi.org/10.1177/0278364915583881), 2016.
- SCHÄFER, K., EMEIS, S., BUDDE, M., BEIGL, M., CYRYS, J., SCHNELLE-KREIS, J., PHILIPP, A., ZIEGLER, V., RIEDEL, T., GRIMM, H., & GRATZA, T.: SmartAQnet: Remote and in-situ sensing of urban air quality. In A. Comerón, E. I. Kassianov, & K. Schäfer (Eds.), *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XXII* (p. 12). SPIE. [doi:10.1117/12.2282698](https://doi.org/10.1117/12.2282698), 2017.
- SCHANDRY, R.: *Biologische Psychologie*. 4. überarbeitete Auflage. Weinheim: Julius Beltz, 2016.
- SCHOON, J. G.: *Pedestrian facilities - engineering and geometric design*. London: Thomas Telford, 2010.
- SCHMIDT-HAMBURGER, C., & ZEILE, P.: Walking in the City: An Experimental Pedestrian Stress Test for Marienplatz in Stuttgart, Germany. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 2023(8), 372–380. [doi:10.14627/537740040](https://doi.org/10.14627/537740040), 2023.
- STREICH, B.: *Subversive Stadtplanung*. Springer VS. Wiesbaden. [doi: 10.1007/978-3-658-05480-9](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05480-9), 2014.
- VALDER, R.: *Multi-Object Tracking and Labeling*. Master Thesis. HLRS, 2021.

- VERUCCHI, M., BRILLI, G., SAPIENZA, D., VERASANI, M., ARENA, M., GATTI, F., CAPOTONDI, A., CAVICCHIOLI, R., BERTOGNA, M. & SOLIERI, M.: A Systematic Assessment of Embedded Neural Networks for Object Detection, 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). doi:10.1109/ETFA46521.2020.9212130, 2020.
- WANG, J. Y. T., MIRZA, L., CHEUNG, A. K. L., & MORADI, S.: Understanding factors influencing choices of cyclists and potential cyclists: A case study at the University of Auckland. *Road and Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice*, 23 (4), 37–51. <http://eprints.whiterose.ac.uk/82492/>, 2014.
- WERMUTH, M.: Modellvorstellungen zur Prognose. In: Gerd Steierwald, Hans D. Künne und Walter Vogt: (Hrsg.): *Stadtverkehrsplanung: Grundlagen, Methoden, Ziele*. 2. Auflage. Berlin: Springer, S. 243-295, 2005.
- WESTHOFEN, L., NEUROHR, C., KOOPMANN, T., BUTZ, M., SCHÜTT, B., UTESCH, F., NEUROHR, B., GUTENKUNST, C. & BÖDE, E.: Criticality Metrics for Automated Driving: A Review and Suitability Analysis of the State of the Art. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(1), 1–35. doi:1007/S11831-022-09788-7, 2023.
- WOJKE, N., BEWLEY, A. & PAULUS, D.: Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric. doi:10.48550/arXiv.1703.07402, 2017.
- ZEILE, P., RESCH, B., LOIDL, M., PETUTSCHNIG, A., & DÖRRZAPF, L.: Urban Emotions and Cycling Experience – enriching traffic planning for cyclists with human sensor data. *GI_Forum*, 4(1), 204–216. doi:10.1553/giscience2016_01_s204, 2016.