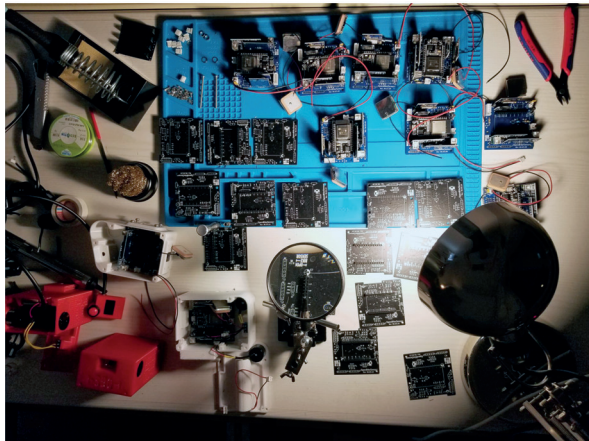
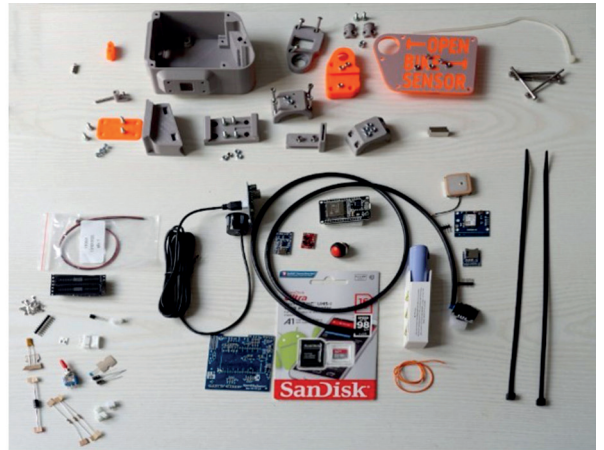
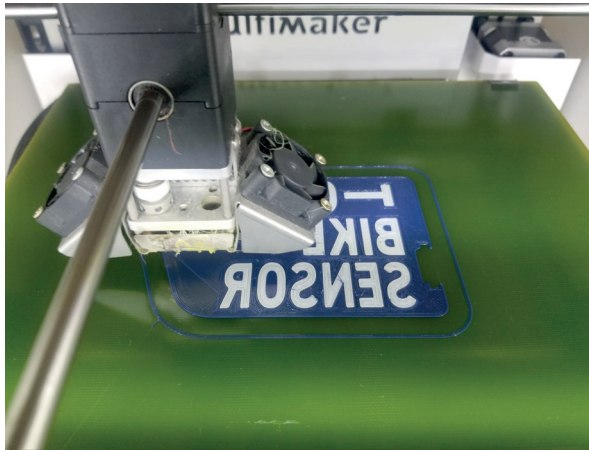


**Bild 1:**  
Bau des Open-  
BikeSensors und  
Montage am  
Fahrrad.  
© Zeile et al.



# Radfahrende und Fußgänger\*innen auf gemeinsamen realen und virtuellen Flächen

## Das CapeReviso-Projekt des Nationalen Radverkehrsplans NRVP

Radfahren, Zufußgehen, Planung, digitale Werkzeuge, Partizipation, Simulation

**Peter Zeile, Thomas Obst, Céline Schmidt-Hamburger, Nina Haug, Johanna Drescher, Uwe Wössner**

*Für die Analyse von Konflikten zwischen Radfahrenden und Fußgänger\*innen schafft das Projekt CapeReviso ein Methodenset, das Sensoren zur Erfassung von Stress und Überholabständen, georeferenzierte Daten, Machine Learning, Verkehrssimulationen und digitale Zwillinge kombiniert. Mit Mitteln des Nationalen Radverkehrsplans 3.0 des Bundesministeriums für Digitalisierung und Verkehr (BMDV) werden die Methoden entwickelt und quelloffen zur Verfügung gestellt. So soll die Planung von Rad- und Fußverkehrsinfrastruktur zukünftig besser umgesetzt werden können. Am Beispiel räumlicher Experimente in Herrenberg und Stuttgart werden diese neuen Ansätze vorgestellt.*

### **Baukasten zur Konflikterkennung**

Ziel des Projektes ist die Erstellung eines Open-Source-Methodensets für Planende, Bürger\*innen und andere Interessierte, um mehr über Konflikte von Zufußgehenden und Radfahrenden jenseits offizieller Statistiken und traditioneller Methoden

zu erfahren. Dabei sollen Konflikte mit anderen Verkehrsarten als auch diejenigen untereinander, also zwischen Fuß und Rad, untersucht werden. Ziel ist eine Förderung des nichtmotorisierten Verkehrs, in dem eine sichere Infrastruktur so gestaltet wird, dass ihre Benutzung als angenehm und sicher

empfundene wird. Denn Konflikte entlang des Weges und subjektiv empfundener Stress haben großen Einfluss auf die Wahl des Verkehrsmittels. Der Baukasten umfasst:

- Den OpenBikeSensor, der kontinuierlich und georeferenziert die Abstände zu anderen Verkehrsteilnehmer\*innen misst, und diese Ergebnisse in einem Portal sammelt,
- eine Methodik zur Detektion von georeferenzierten, stressauslösenden Ereignissen durch die Messung biostatistischer Signale,
- ein Erfassungssystem zur bildbasierten Verkehrsbeobachtung, die bei KI-gestützter Auswertung der Wegestrecken mittels automatisierter Attributierung und Trajektorienbestimmung im virtuellen Raum erfolgt,
- die Nutzung digitaler Zwillinge. In der virtuellen Nachbildung des Stadtraums können die gewonnenen Daten sowohl im Planungskontext genutzt, als auch mit verschiedenen Planungsvarianten auf einem Rad-Simulator ausprobiert werden.

### OpenBikeSensor

Der OpenBikeSensor (OBS) misst den physischen Abstand von Proband\*innen zu anderen Verkehrsteilnehmer\*innen mithilfe von Ultraschall etwa 20-mal pro Sekunde und speichert diesen georeferenziert ab. Pate für den OBS stand der Berliner Radmesser [1], wobei der OBS als quelloffene Sensorplattform einen Schritt weiter geht. Durch die Veröffentlichung aller Bestandteile wie Hardware-Design, Firmware, Datenportal-Software unter einer freizügigen Open-Source-Lizenz [2] können das System und auch einzelne Module selbständig nachgebaut (Bild 1) und weiterentwickelt werden. So ist der OBS mittlerweile in einer deutschlandweit in 45 Städten aktiven Community mit vielen Ehren-



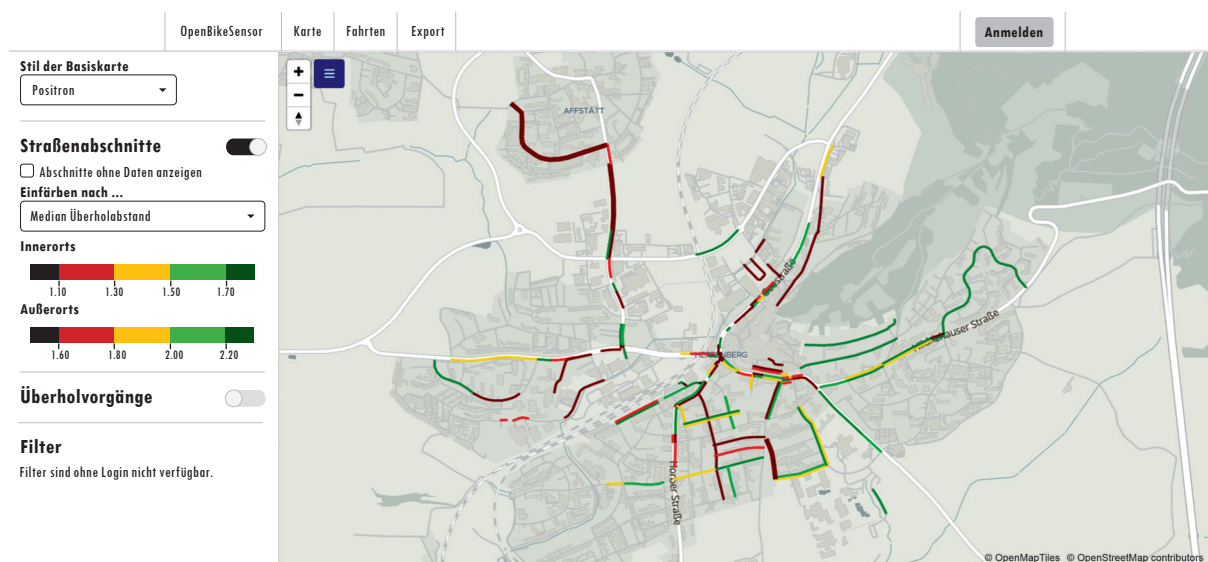
**Bild 2:** Schematische Darstellung des Sensorequipments mit Smartphone, Empatica E4, GoPro-Kamera sowie zum OpenWalkSensor umgebauten OpenBikeSensor. © Zeile et al.

amtlichen verstetigt. Im Projekt CapeReviso wurde eine Version gebaut, bei der die Sensoren in einen Rucksack für Fußgänger\*innen eingebaut wurden.

Neben dem Gerät selbst ist die Veröffentlichung der gemessenen Überholabstände in Datenportalen ein wichtiges Element des OBS. Einzeltracks bleiben aus Datenschutzgründen verborgen, während die gesammelten Informationen zu einzelnen Straßenabschnitten öffentlich für Zivilgesellschaft, Stadtplanung, Wissenschaft und Entscheidungsträger\*innen einsehbar sind. So können Bereiche identifiziert werden, in denen Überholvorgänge unter 150 cm innerorts vermehrt auftreten (Bild 2). Diese Daten liefern Hinweise, wo Handlungsbedarf besteht, um Radfahren sicher zu gestalten, und auf Gefahrenpotenziale in der Infrastruktur – wie zu schmale Rad-schutzstreifen, irreführende Markierungen oder vieles mehr [3].

### Biostatistische Stresserkennung „Emocycling“

Ein weiterer Baustein, der niederschwellig, bürgerzentriert und zielgruppenübergreifend angewendet werden kann, ist die georeferenzierte Nutzung von biostatistischen Daten zur Ermittlung von Stress-Situationen. Proband\*innen erkunden ihre Stadt zu Fuß oder mit dem Fahrrad und sind dabei mit Sensoren ausgestattet, die die Hautleitfähigkeit, Hauttemperatur, Geoposition und die Distanzen zu Objekten aufzeichnen (Bild 2).



**Bild 3:** Aggregierte Daten im Portal in Herrenberg. © Zeile et al.



**Bild 4:**  
Heatmap aus der  
zweiwöchigen  
Erhebungsphase  
mit 15 Teilneh-  
mern in der Stadt  
Herrenberg.  
© Zeile et al.

Steigt nun die Hautleitfähigkeit und die Hauttemperatur und fällt daraufhin kurz danach ab, so ist dies ein Indikator für eine „Stresssituation“ im Stadt- raum. Dieses Muster ist eindeutig in den biosta- tistischen Werten zu erkennen [4]. Zur schnelleren und verständlicheren Kommunikation der Mess- ergebnisse können Heatmaps für einzelne oder alle Proband\*innen oder bestimmte Personengruppen erzeugt werden. Heatmaps sind Karten, die eine Häufung von Stresspunkten an einer bestimmten Position innerhalb der Stadt visualisieren (Bild 4). Sie dienen auch als Indikator für eine Fokusunter- suchung: Ist der Stress „infrastrukturbedingt“, so dass planerisch interveniert werden kann? Sind die vorherrschenden Verkehrsströme vor Ort schuld an den Stressreaktionen? Wie sieht es mit Beinahe- Kollisionen aus? Für die Fragestellung der Ströme und Beinahe-Kollisionen bietet sich neben lokalem Wissen und der Einbeziehung der Akteur\*innen vor Ort die Untersuchung mit dem entwickelten Erfas- sungssystem an.

**Bild 5:**  
Kamera-  
erfassungssystem  
mit Objekt-  
erkennung links,  
gespeicherter  
Information in der  
Mitte, und exem-  
plarischer Auswer-  
tung der Wege der  
Verkehrsteilneh-  
menden rechts.  
© Zeile et al.

### Erfassungssystem

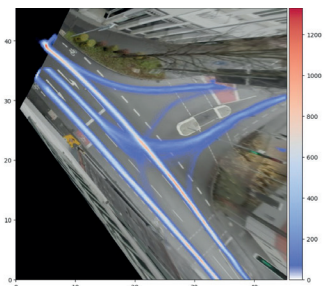
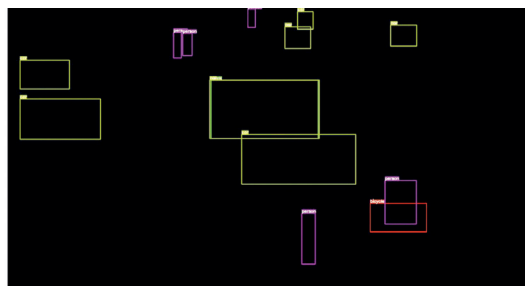
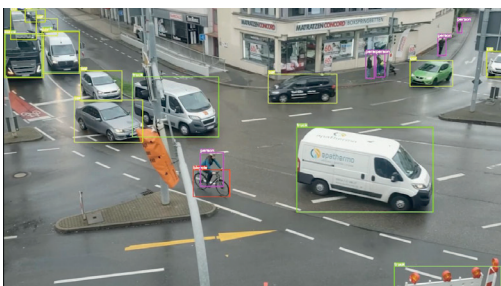
Das im Projekt entwickelte Erfassungssystem vereint zählende und beobachtende Methoden. Pate standen hier sowohl die Burano-Methode [5], das Behavioral Mapping, Zeitausschnitte als auch die teilnehmende Beobachtung, welche bereits erfolg- reich zur Beobachtung der Qualität öffentlicher Räume gerade im Hinblick auf Fußverkehr einge- setzt werden [6]. Das System verarbeitet dazu an

einem fest aufgestellten Standort die Bilddaten einer angeschlossenen Kamera direkt in anony- me Metadaten von Verkehrsteilnehmer\*innen. Dies geschieht mithilfe eines kleinen auf KI-An- wendung spezialisierten Computers. Dabei wird Maschinelles Lernen angewandt, denn das System klassifiziert Verkehrsteilnehmer\*innen mithilfe eines neuronalen Netzes, welches mit einer Bild- datenbank trainiert wurde. Es zeichnet nur deren Trajektorien im Beobachtungsraum auf. Der Algo- rithmus wurde auf einem Portal trainiert, auf dem Verkehrsteilnehmer\*innen gelabelt wurden. So können besondere Formen der Mikromobilität wie e-Scooter, Transporträder oder Personen mit Roll- stuhl oder Rollator besser erkannt werden.

Als Ergebnis sollen Daten zu Befahrungshäufigkeiten ermittelt werden, die nach Art der Verkehrsteilnehmer\*innen, Zeit und Lage im Raum getrennt analysiert werden können (Bild 5). Dabei ist eine weitere Differenzierung in einer Szene mög- lich, und zwar nach dem zeitlichen Verlauf und der größten Annäherung der Teilnehmer\*innen, deren Beschleunigungsdaten sowie örtliche Verteilung von Geschwindigkeiten und Richtungen.

### Digitaler Zwilling – Virtual Reality

Ein digitaler Zwilling ist ein Spiegelbild eines physi- schen Prozesses, das in der Regel genau dem Ablauf des physischen Prozesses entspricht, der in Echtzeit abläuft. Der Begriff wurde Anfang der 2000er Jahre von *Michael Grieves* [7] geprägt und bezog sich ur- sprünglich auf Designprojekte. Mittlerweile dient er zur Charakterisierung einer Vielzahl von digitalen Si- mulationsmodellen. Wichtig in diesem Zusammen- hang ist, die Unterschiede zwischen einem realen System und einem Computermodell dieses Systems zu definieren und auch auf die Grenzen hinzuwei- sen. Modelle müssen immer auch mit Auslassungen arbeiten, da die Komplexität zu hoch ist. Für die Stadtplanung hat sich ein 3D-Stadtmodell als Basis etabliert, in das sukzessive weitere Simulationen in- tegriert werden können. Hier liegt die Stärke in der Reduktion von Komplexität und in der räumlichen und visuellen Darstellung als „Übersetzungshilfe“. Die Visualisierung in 3D macht die Teilnahme an



Beteiligungsverfahren attraktiver und kann auch Personengruppen einbeziehen, die sonst mit solchen Formaten nur schwer zu erreichen sind, wie Kinder, Jugendliche, Menschen mit internationaler Geschichte, niedrigem Bildungsniveau oder Sprachbarrieren.

Die im Projekt genutzten digitalen Zwillinge von Stuttgart und Herrenberg können in Räumen zur Projektion einer dreidimensionalen Illusionswelt der virtuellen Realität, der sogenannten CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), in Würfelform angeordnete, mit bis zu sechs Bildschirmen oder rückseitenprojizierenden Wänden, für kollaborative Formate genutzt werden. Auch mobile Einrichtungen wie VR-Rückprojektionen mit bis zu 15 Personen sind für „Kommunikationsformate vor Ort“ möglich. Umgestaltete Verkehrsräume können hier nicht nur gezeigt werden, sondern sind mit entwickelten Fahrrad-, Rollstuhl- und Skateboardsimulatoren auch interaktiv erlebbar (**Bild 6**). Andere Verkehrsteilnehmer\*innen werden über eine gekoppelte SUMO-Verkehrssimulation, ein quelloffenes, mikroskopisches und kontinuierliches multimodales Verkehrssimulationspaket, realisiert.

### Living Labs

Mit Living Labs schließt sich der Kreis des Methodensets. Nach der Analyse der IST-Situation mithilfe der Sensoren und des Erfassungssystems kann der Verkehrsraum in verschiedenen Varianten neu geplant und im digitalen Zwilling visualisiert und erlebbar gemacht werden. Diese Varianten können bei zeitlich begrenzten Interventionen im realen Verkehrsraum umgesetzt werden. In dieser Phase erfolgt wieder der Einsatz der mobilen und stationären Sensoren. In der Auswertung lässt sich zum einen belegen, ob die veränderte Verkehrsführung die gewünschten Auswirkungen auf Konfliktsituationen hat. Zum anderen können negative Folgen für den Verkehrsfluss bei einer Umverteilung der Räume identifiziert werden. So werden informierte und faktenbasierte Entscheidungen über die langfristige Umgestaltung von Verkehrsräumen ermöglicht.

### Fazit

Das Projekt und die vorliegenden Technologien geben einen Ausblick auf die Möglichkeiten neuer Methoden für die Fuß- und Radverkehrsplanung. Sie sind auf das Mitmachen ausgerichtet, von der Konzeption niederschwellig und sie können im Idealfall „verborgenes Konfliktpotenzial“ aufdecken und dieses in einer anschaulichen Form vermitteln. Weiterhin sind durch den Open-Source-Gedanken die Technologien skalierbar und dementsprechend auch für



eine Anwendung durch Kommunen und außerhalb der Forschungslandschaft verfügbar. In Teilen ist dies auch schon möglich: So wird der OpenBikeSensor schon in vielen lokalen Projekten genutzt, die im Rahmen von Bürgerentscheiden oder als Mitmachprojekte für mehr Verkehrssicherheit beim Fahrradfahren starke Resonanz erfahren. Die Adaption auf den Fußverkehr war ein spannendes Experiment, ist aber in der Realität schwer anzuwenden. Zur Detektion des Sicherheitsempfindens beim Zufußgehen müsste eher ein 360°-Sensor deutlich geringere Mindestabstände erfassen.

Die Stressdetektion erfuhr durch die intensive Forschung im Projekt CapeReviso sowie innerhalb der Urban Emotions-Initiative einen starken Schub. Die Auswertungen pro Fahrt funktionieren nun in wenigen Minuten und sind durch die Verwendung von Standardbibliotheken wesentlich anwendungsfreundlicher geworden. Während zu Beginn der Forschung die Hauptfrage noch lautete, wie wir an genügend Daten kommen, so ist der Fokus nun eher, wie die Stresspunkte noch besser bewertet, verglichen

**Bild 6:**  
Digitaler Zwilling  
in Herrenberg  
in der CAVE mit  
Fahrradsimulator  
© Zeile et al.

**Bild 7:**  
Mobiler Fahrrad-  
und Skateboard-  
simulator  
während des  
Stuttgarter Mo-  
bilitätsfestivals,  
im Hintergrund  
der temporäre  
modale Filter  
im Rahmen des  
Living Labs.  
© Zeile et al.



und in einen sinnvollen Kontext in Bezug auf Sicherheit im Straßenverkehr gesetzt werden können. Der Radverkehr eignet sich aufgrund des „einfachen“, sehr linearen Verhaltens – Radfahrende fahren gerade aus, biegen nur rechts oder links ab – sehr gut für diese Methode. Auch hier sind die Aussagen zu Fußgänger\*innen wieder schwieriger zu generalisieren als die zu Radfahrenden. Fünf Punkte lassen sich jedoch für beide Verkehrsarten durch die im Projekt erfassten Stresspunkte und qualitative Befragungen der Proband\*innen konstatieren: Das Verlassen der gewählten Wunschlinie, enge Verkehrsräume, Lärm und allgemein schlechter Zustand der Infrastruktur sowie lange Wartezeiten „stresst“ alle.

Sowohl OpenBikeSensoren als auch Stressdetektion eignen sich hervorragend zur Ermittlung von neuralgischen Punkten zur Aufstellung des Erfassungssystems. Das Potenzial dieser Technologie ist sehr hoch. Hier müssen allerdings noch die Auswertungsmethoden angepasst werden.

Ein sehr guter und erfolgreicher Ansatz für Beteiligungsverfahren ist die Vermittlung von Verkehrsplanungen in 3D. Jedoch scheitert die angedachte Stressmessung im virtuellen Raum zur Prüfung verschiedener Verkehrsführungsvarianten noch an der für die Messungen zu geringen Immersion: das Erlebnis im geschützten Raum verfälscht die Messungen (noch). Hier muss auf den klassischen Fragebogen zurück gegriffen werden.

Der vorgestellte Methoden-Baukasten besitzt bei weiterer Forschung und einem konsequenten Open-Source-Ansatz jedoch das Potenzial, ein spannendes und faktenbasiertes Werkzeug für die Planung und vor allem auch für Verkehrsteilnehmer\*innen zu Fuß und auf dem Rad zu werden.

## LITERATUR

- [1] Tagesspiegel: Radmesser, <https://interaktiv.tagesspiegel.de/radmesser/>
- [2] GitHub: OpenBikeSensor, <https://github.com/openbikesensor/openbikesensor.github.io>
- [3] Arbeitsgemeinschaft fußgänger- und fahrradfreundlicher Städte, G. und K. in N. e. V. (AGFS): Die Siegerprojekte: OpenBikeSensor, <https://www.der-deutsche-fahrradpreis.de/wp-content/uploads/2022/01/OpenBikeSensor.pdf>
- [4] Kyriakou, K., Resch, B.: Spatial Analysis of Moments of Stress Derived from Wearable Sensor Data. *Advances in Cartography and GIScience of the ICA*. 2, (2019) S. 1 – 8. <https://doi.org/10.5194/ica-adv-2-9-2019>
- [5] Dellemann, C., Dellemann, K., Dellemann, P., Günter, M., Günter, R., Notdurft, W., Schlegendal, D., Schlegendal, K., Sporleder, A., Sporleder, M.: BURANO — Eine Stadtbeobachtungsmethode zur Beurteilung der Lebensqualität. In: Riege, M. and Schubert, H. (eds.) *Sozialraumanalyse*. pp. 85–101. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden (2002).

- [6] Flückiger, S., Leuba, J.: *Qualität von öffentlichen Räumen: Methoden zur Beurteilung der Aufenthaltsqualität*. Fussverkehr Schweiz, Zürich (2015).
- [7] Grieves, M.: *Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication*. White paper. 1, (2014) S. 1 – 7.
- [8] Alvarez Lopez, P., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., Wießner, E.: *Microscopic Traffic Simulation using SUMO*. 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), (2018, November 7). <https://www.itsc2019.org/>

## AUTOR\*INNEN

Dr.-Ing. **Peter Zeile**  
Senior Researcher  
Fakultät für Architektur  
Institut für Entwerfen von Stadt und Landschaft (IESL)  
Fachgebiet Stadtquartiersplanung STQP

Karlsruher Institut für Technologie KIT  
Kontakt: [peter.zeile@kit.edu](mailto:peter.zeile@kit.edu)

Dipl.-Ing. **Thomas Obst**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS), Abteilung Visualisierung

Universität Stuttgart  
Kontakt: [obst@hlrs.de](mailto:obst@hlrs.de)

**Céline Schmidt-Hamburger, M.A.**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Karlsruher Institut für Technologie KIT  
Kontakt: [celine.schmidt-hamburger@kit.edu](mailto:celine.schmidt-hamburger@kit.edu)

M.Sc. **Nina Haug**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Karlsruher Institut für Technologie KIT  
Kontakt: [nina.haug@kit.edu](mailto:nina.haug@kit.edu)

**Johanna Drescher**  
Referentin Verband  
Bundesgeschäftsstelle

Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. (ADFC)  
Kontakt: [johanna.drescher@adfc.de](mailto:johanna.drescher@adfc.de)

Dr.-Ing. **Uwe Wössner**  
Abteilungsleiter, Visualisierung  
Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS), Abteilung Visualisierung

Universität Stuttgart  
Kontakt: [uwe.woessner@hlrs.de](mailto:uwe.woessner@hlrs.de)