

Radfahren auf realen und virtuellen Flächen – Das NRVP-Projekt Cape Reviso

Peter Zeile, Thomas Obst, Fabian Dembski, Johanna Drescher, Özlem Cinar, Uwe Woessner

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

(MSc. Thomas Obst, High Performance Computing Center Stuttgart (HLRS), Dep. Vizualisation, thomas.obst@hlrs.de)

(Dr. Fabian Dembski, HLRS & Tallinn University of Technology, Academy of Architecture and Urban Studies,
fabian.dembski@hlrs.de,)

(MA Johanna Drescher, Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. (ADFC), Bundesgeschäftsstelle, johanna.drescher@adfc.de)

(MSc. Özlem Cinar, Karlsruher Institut für Technologie KIT, Professur Stadtquartiersplanung STQP, oezlem.cinar@kit.edu)

(Dr.-Ing. Uwe Woessner, High Performance Computing Center Stuttgart (HLRS), Dep. Vizualisation, uwe.woessner@hlrs.de)

1 ABSTRACT

Das durch den Nationalen Radverkehrsplan (NRVP) vom Bundesministerium für Verkehr und digitaler Infrastruktur (BMVI) geförderte Verbundprojekt Cape Reviso (Cyclist And PEdestrians on REal and Virtual Shared rOads) befasst sich mit der Problematik, welche möglichen Konflikte Fußgängerinnen, Fußgänger, Radfahrerinnen und Radfahrer im täglichen Verkehr ausgesetzt sind. Ziel ist es, Optimierungsstrategien für Führungsformen und Knotenpunkte durch Erfassung des gegenwärtigen Zustandes und Simulationen von Variationen in Living Labs zu entwickeln. Der Ansatz verfolgt Methoden im realen und virtuellen Raum. Die aus den Erkenntnissen entwickelten Werkzeuge und Empfehlungen für eine moderne Stadt- und Verkehrsplanung sollen helfen, durch gute Infrastruktur die Attraktivität des Zu-Fuß-Gehens und Radfahrens zu steigern, speziell vor dem Fokus der Reduktion von Stress und Konflikten. Oftmals bilden diese eben ein persistierendes Hemmnis in der Gruppe der unentschlossenen Radfahrerinnen, Radfahrer, Fußgängerinnen und Fußgänger. In der Realität bleiben gefährliche und Stress auslösende Knotenpunkte und Führungsformen oft unerkannt, da die Unfallzahlen in einem Erhebungsgebiet zu gering sind. Die zu entwickelnden Werkzeuge zielen daher darauf ab, Situationen und Orte zu erfassen und zu messen, in denen Radfahrende und Zu-Fuß-Gehende sich subjektiv unsicher fühlen (Stress empfinden) oder es zu gefährlichen Situationen (Beinahe-Unfällen) kommt. Zielgruppe des Projektes sind nicht ausschließlich Stadt- und Verkehrsplanerinnen sowie Stadt- und Verkehrsplaner. Die entwickelnden Werkzeuge sind quelloffen und verhältnismäßig günstig. Sie können so nicht nur von Kommunen für die Planung, sondern auch von Initiativen und Verbänden eingesetzt werden, um sich für sichere Verkehrsbedingungen einzusetzen. Um breite Zielgruppen mit den Projektergebnissen anzusprechen, werden die entwickelten Werkzeuge direkt angewendet und aus dieser Anwendung allgemeingültige Empfehlungen abgeleitet. Beispielhaft werden in diesem Beitrag erste Ergebnisse aus der freiwilligen Messkampagne mit dem OpenBikeSensor (OBS) in Stuttgart sowie erste Analysen des Straßennetzwerkes mit „Space Syntax“ vorgestellt.

Keywords: living labs, sensoring, virtual reality, Zu Fuß Gehen, Radfahren

2. EINLEITUNG

Urbane öffentliche Verkehrsräume unterliegen ständigem Wandel: temporär durch Baustellen oder Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer, praktisch durch Nutzungsansprüche verschiedenster Teilnehmerinnen und Teilnehmer und politisch, wie „Verkehrsplanung“ in den Städten und Gemeinden betrieben werden soll. Gemein ist dieser Tatsache, dass der knappe Verkehrsraum in Städten zwischen allen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern aufgeteilt werden muss, oftmals kann er nur gemeinsam genutzt werden. Die Wahl des Verkehrsmittels hängt neben den Faktoren wie Kosten und Wegzeit auch davon ab, ob Mobilität als angenehm oder unangenehm empfunden wird. Potentielle Konflikte entlang des Weges und subjektiv empfundener Stress beeinflussen die Wahl. Fuß- und Radverkehr kann nur dann sinnvoll gefördert werden, wenn die Planenden sich dieser Konflikte bewusst sind, und sie diese in Hinblick auf die Nutzungsmuster der besonders schwachen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern reduzieren. Die Analyse offizieller Unfallzahlen mit der Beteiligung von Radfahrerinnen, Radfahrern, Fußgängerinnen und Fußgängern ist aufgrund der geringen Fallzahlen oftmals schwierig. Nach DESTATIS (Statistisches Bundesamt DESTATIS, 2021) liegen in den Partnerkommunen im Jahr 2017 nur 50 gemeldete Unfälle zwischen Radfahrerinnen, Radfahrern, Fußgängerinnen und Fußgängern mit Verletzten in Stuttgart (16), Karlsruhe (34) und Herrenberg (0) vor. Während bei statistisch relevanten Unfallhäufungen an einer Stelle Maßnahmen ergriffen werden können, bleiben gefährliche und konfliktreiche Knotenpunkte und Führungsformen oft unerkannt und bilden ein persistierendes Hemmnis für unentschlossene Radfahrerinnen, Radfahrer, Fußgängerinnen und Fußgänger.

Das in diesem Projekt vorgeschlagene Verfahren zielt auf eine Verbesserung von Knotenpunkten und Führungsformen in der Schnittstelle zwischen dem Rad- und Fußverkehr durch Erfassung der Verkehrssituation mit Machine Learning und Humansensorik in der Realität und durch Simulation zukünftig geplanter Varianten mit Menschen als Probandinnen und Probanden in der virtuellen Realität (VR) und im Living Lab.

3. STAND DER FORSCHUNG

Im folgenden Kapitel werden schlaglichtartig einige der wichtigsten Quellen im Kontext von Zu-Fuß-Gehen, Radfahren, der Detektion von subjektivem Sicherheitsempfinden und der Dokumentation von Beinaheunfällen kurz angerissen.

3.1. Radfahren

Der Radverkehrsanteil in Deutschland soll in den nächsten Jahren kontinuierlich erhöht werden, auch durch den Ausbau der Fahrradinfrasturktur, beschlossen im Nationalen Radverkehrsplan 3.0 (BMVI, 2021). Jedoch zeigen Studien, dass gerade das fehlende Sicherheitsempfinden viele Menschen davon abhält, auf das Rad umzusteigen. Dieser Trend verstärkt sich in Städten mit einem geringen Radverkehrsanteil (Horton, 2007; Hull und O'Holleran, 2014; Thornton et al., 2011; Wang et al., 2014). Das subjektive Sicherheitsempfinden verschiedener Nutzungsgruppen sollte dementsprechend im Planungsprozess – nicht nur bei Radverkehrsanlagen – mehr Beachtung finden. Einige Radfahrexpertinnen und Radfahrexperten wie Graf (2016) empfehlen mittlerweile sogar die „Reduzierung von Stress“ im Radverkehr als einen wesentlichen Faktoren zur Steigerung des Radverkehrsanteils (Graf, 2016). Alrutz et al. (2009) identifizierten große bauliche Unterschiede der Radverkehrsanlagen als einen der Hauptfaktoren auf das subjektive Sicherheitsempfinden. Die Integration von „Stressmessungen“ beim Radfahren sind u. a. die Emocycling-Ansätze (Groß und Zeile, 2016; Höffken et al., 2014), die neben biostatistischen Messungen auch videobasiert Radfahrten auswerten. Negativ wie bei anderen videobasierten Studien ist die lange Auswertungszeit der Videos (Götschi et al., 2018; Groß, 2015; Schleinitz et al., 2015). Weitere Studien legen den Fokus stärker auf den Ansatz der mobilen Partizipation (Lißner und Francke, 2017; Werneke, Dozza, und Karlsson, 2015). Das UK Near Miss Project versuchte sich der Problematik analog zu nähern, indem durch Wegetagebücher Beinahe-Unfälle in Verbindung mit Verkehrsverhalten und infrastrukturellen Bedingungen dokumentiert wurden (Aldred, 2016; Aldred et al., 2018).

3.2. Zufußgehen

Im Kontext der Alltagsmobilität werden rund 95 % der Kurzstrecken unter 100 Metern zu Fuß zurückgelegt (Schwab et al., 2012), jedoch wurde das „Zu-Fuß-Gehen“ als Verkehrsmittel lange Zeit noch nicht ernsthaft berücksichtigt und auch nicht gemessen (Sauter und Wedderburn, 2008). Dieser Aspekt ändert sich langsam, aber es mangelt immer noch sowohl an Sensibilität, politischem Willen, als auch an geeigneten Methoden für die Bewertung des Zu-Fuß-Gehens: Es fehlten, wie auch im Radverkehr, verlässliche Daten, die die Gründe der Entscheidung für das „Gehen“ auch unter Berücksichtigung subjektiver Wahrnehmung und Emotionen miteinbeziehen (Ma, 2000). Ein Hilfsmittel zur Identifizierung von „Fußgängerfreundlichkeit“ ist die sogenannte „Walkability“, die versucht mithilfe quantitativer und qualitativer Aspekte das Gehen in Städten zu bewerten. Die verschiedenen Konzepte sowie eine kritische Bewertung inklusive des Überblicks über eingesetzte Methoden ist bei Dörrzapf et al. (2019) zu finden sowie als Methodenkanon im städtebaulichen Kontext bei Gehl (2011) und Flückinger & Leuba (2015). Neben Audit-basierten Ansätzen (z. B. bei Giles-Corti und Donovan, 2002; Pikora et al., 2003) wird auch die Zuhilfenahme von Sensoren empfohlen.

3.3. Sensoren und digitale Tools

Zur Detektion von Beinaheunfällen, subjektiver Sicherheit und negativer Erregungen – vulgo „Stress“, wird der Einsatz unterschiedlicher Sensoren vorgeschlagen: seien es stationäre Sensoren zum „Dynamic Scene Understanding“ (Buxton, 2003) bzw. zur automatisierten Detektion und Klassifikation von Zufußgehenden (Romero-Cano, Agamennoni und Nieto, 2016), mobile Sensoren wie GPS-Empfänger oder Mikrofone zur Erfassung von Geräuschen (Maisonnette, Stevens und Steels, 2008), Lichtintensität und Farbe (Gutierrez-Martinez et al., 2017; Harari et al., 2016), Schadstoffkonzentrationen via USB-Schnittstelle (Schäfer et al., 2017) oder eben biostatistische Sensoren (Kanjo, Al-Husain und Chamberlain, 2015; Kreibig et al., 2007; Kyriakou und Resch, 2019; Osborne und Jones, 2017). Ein weiteres Werkzeug ist die Space Syntax Analyse, eine räumliche Netzwerkanalyse bzw. geometrische Erreichbarkeitsanalyse, basierend auf der Graphentheorie (Hillier, 2007). Die Methode beschreibt und quantifiziert, wie gut (öffentlicher) Raum bzw.

Straßen- und Wegenetze zugänglich und navigierbar sind, indem sie konfigurative Beziehungen der gebauten Umwelt berechnet (Dembski, 2020, S. 31; Yamu et al., 2021).

Für die mikroskopische Untersuchung von Verkehrsströmen kann auf die Open-Source-Software SUMO (Simulation of Urban MObility, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) zurückgegriffen werden (Alvarez Lopez et al., 2018), die sowohl intermodale Verkehrsmodelle, Modellentwicklungen als auch eine Schnittstelle zur Simulator-Kopplung anbietet. Über das modulare Open-Source-Visualisierungssystem COVISE (COllaborative VISualization and Simulation Environment, Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart), das für die kollaborative Visualisierung von Daten in virtuellen Umgebungen sowie auf dem Desktop entwickelt wurde, werden die digitalen Modelle visualisiert und Simulationen sowie andere Daten integriert. Die Architektur von COVISE ermöglicht es Entwicklern, die vorhandene Funktionalität durch die Integration von neuen Codes als Module zu erweitern. In einem visuellen Application Builder werden diese Module zu einem Datenflussnetz verbunden (Dembski, Wössner, und Letzger, 2019, S. 7). Am Ende der Pipeline befindet sich ein Render-Modul, das entweder ein Desktop-Renderer oder das VR-orientierte Render-Modul OpenCOVER sein kann. COVISE bietet bereits Lesemodule zum Einlesen von Ergebnissen aus unterschiedlichen Simulationen und die vorhandenen Module können zur Visualisierung von Geometrie, Schnittflächen, Isoflächen, Stromlinien usw. verwendet werden. In früheren Projekten wurden auch Module entwickelt, um Space-Syntax-Daten einzulesen, die georeferenzierten Daten zu projizieren und 2D-zu 3D-Modellen zu verarbeiten (ibid), was die Darstellung verbessert und in VR verständlicher macht. Alle diese Daten werden dann in OpenCOVER zusammen mit dem 3D-Stadtmodell im digitalen Zwilling gerendert. OpenCOVER basiert auf OpenSceneGraph und unterstützt jede Art von projektionsbasierter VR-Umgebung wie CAVEs (Cave Automatic Virtual Environments), Powerwalls, Domes oder Tiled Displays. Außerdem unterstützt es VR und AR Head Mounted Displays (HMDs). C++-Plugins können für eine Erweiterung der Funktionalität von OpenCOVER programmiert werden. Eine Reihe von Plugins wird entwickelt oder erweitert, um die Daten für dieses Forschungsprojekt zu visualisieren. Großflächige Terrains werden mit Virtual Planet Builder (VPB) oder osgEarth gerendert. Punktwolken aus terrestrischen LIDAR-Scans (Light Detection und Ranging) werden für ein effizientes Rendering in einer Octree-Datenstruktur geordnet. 3D-Stadtmodelle können in verschiedenen Datenformaten geladen werden – zum Beispiel als CityGML oder DXF (ibid).

OpenCOVER ermöglicht nicht nur die 3D-Navigation im virtuellen Modell, sondern auch die Interaktion mit den Visualisierungsmodulen. Durch Farbskalen oder die unterschiedliche Dimensionierung von Tubes (röhrenartige Darstellung), die z. B. die Space-Syntax-Analysen repräsentieren, können Ergebnisse visuell und grafisch nach Belieben angepasst und visualisiert werden.

2 CAPE REVISO – PROJEKTZIELE

In „Cape Reviso“ werden unterschiedliche Methoden, die aufeinander aufbauen bzw. einander bedingen eingesetzt. Schlagworte hierbei sind Machine Learning, Echtzeit-Humansensorik, szenarienbasierte Fahrsimulation und die Nutzung von digitalen Zwillingen in Virtueller Realität zur Analyse und Reduktion der Konflikte zwischen Radfahrerinnen, Radfahrern, Fußgängerinnen und Fußgängern. Das angestrebte Methoden-Set soll soweit als möglich „offen“ vorliegen: Das Projekt soll Nachahmer finden, welche die offene Werkzeugbox nutzen, weitertragen, und in das aktive Methodenrepertoire von Planerinnen und Planern in Kommunen einsetzen. Ähnlich dem Mash-up Gedanken der Web2.0-Ära sollen die Technologien einzeln eingesetzt werden, aber auch als Methoden-Set funktionieren, das Erweiterungen zulässt. Die Entwicklung erfolgt auch unter dem Aspekt, aus dieser ein Werkzeug für die Stadt- und Verkehrsplanung (Planning- and Decision-Support-Tool) ableiten zu können.

2.1 Bausteine in Cape Reviso

Um die sich gegenseitig bedingenden, aber zeitgleich auch individuell einsetzbaren Module im Gesamtkontext des Projektes besser zu verstehen, werden diese im nachfolgenden sowohl hinsichtlich des Einsatzortes, der Komplexität und der Verknüpfung mit anderen Bausteinen näher erläutert (Abb. 1).

Prinzipiell sind die einzelnen Elemente auch solitär einsetzbar, die Stärke liegt allerdings in ihrer Verknüpfung.

2.1.1 Unfallatlas

Einen ersten Überblick bietet der vom Statistischen Bundesamt veröffentlichte Unfallatlas (Statistisches Bundesamt DESTATIS, 2021), der alle Unfälle mit Personenschaden für jedes Jahr geografisch als auch in Straßenabschnitten verortet. Über die tatsächliche Zahl der Unfälle als auch der Beinaheunfälle gibt das Planwerk keine Auskünfte, da alleinige Sachschäden nicht in die Statistik aufgenommen werden. Die Datensätze der Jahre 2016-2019 sind im csv- und shp-Format frei verfügbar (Statistisches Bundesamt DESTATIS, 2021a) und geben in aggregierter Form einen ersten Überblick, wo Unfälle mit Radfahrerinnen, Radfahrern, Fußgängerinnen und Fußgängern stattgefunden haben.

2.1.2 .Netzwerkanalyse mit OBS und Space Syntax, angereichert mit biostatistischen Daten

Ein Kernelement ist die „Abstandsmessung“ der Probandinnen und Probanden zu anderen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern. Dafür wird der sogenannte OpenBikeSensor verwendet, der als offene Sensor-Plattform konzipiert wurde (GitHub, 2021; OpenBikeSensor, 2021). Durch Ultraschallsensoren wird fortlaufend der physische Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern gemessen und georeferenziert gespeichert. Pate für den OBS ist der Radmesser (Tagesspiegel, 2018). Konzipiert ist dieser für die Nutzung am Fahrrad, jedoch ist durch die offene Bauweise auch die Kombination mit einem Rucksack für Fußgängerinnen und Fußgänger in Konzeption. Durch die Aggregation aller Datensätze können Bereiche identifiziert werden, in denen Überholvorgänge unter 150 cm Abstand vermehrt auftreten.

In Kombination mit den Daten aus der Space Syntax Analyse, gefüttert mit Daten der Verkehrsüberwachung etc. ergeben sich erste Verdachtspunkte für potentielle Hotspots von Beinahe-Unfällen und anderen Konfliktbereichen. Space Syntax eignet sich sehr gut für Analysen von Straßen- und Wegenetzwerken für unterschiedliche Verkehrsmodi, zum Beispiel für Fuß- und Radverkehr oder den motorisierten Individualverkehr. Die Modelle des Status quo können dazu beitragen, das Untersuchungsgebiet für eine eingehendere Analyse zu definieren aber auch zu einem späteren Zeitpunkt die Entwicklung von Szenarien für Living Labs oder längerfristige Interventionen zu unterstützen.

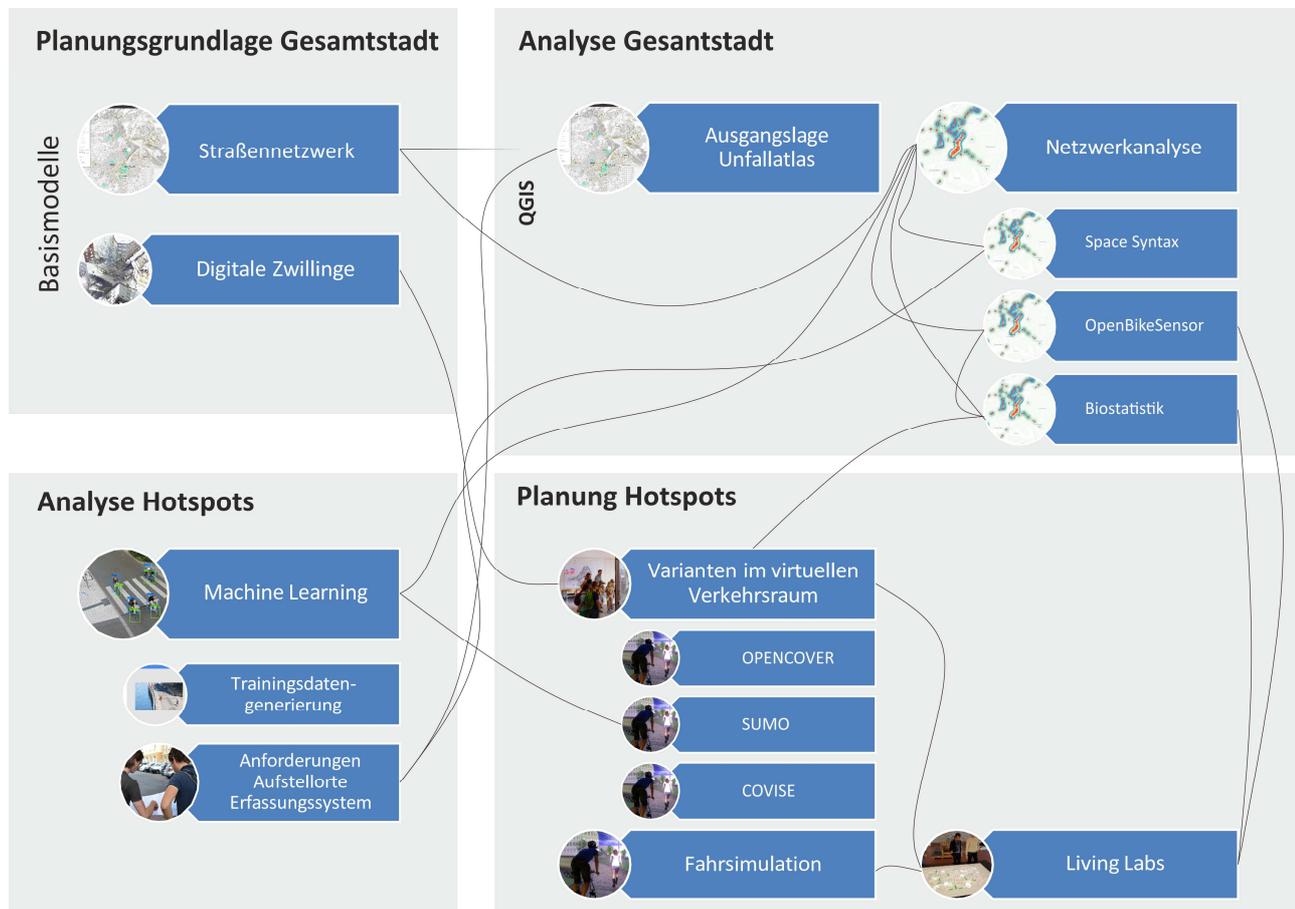


Abb. 1: Bausteine im Cape Reviso Projekt

2.1.3 Machine Learning / Trainingsdatengenerierung

An bestimmten (Beinahe-) Unfall-Hotspots wird mithilfe von stationären Kamerasystemen eine Langzeiterfassung von Videodaten durchgeführt, um der Frage nachzugehen, an welchen Stellen, zu welcher Uhrzeit und wie häufig es zu Konflikten, gefährlichen Situationen oder sogar Unfällen kommt.

Das Kamerasystem analysiert dabei mithilfe neuronaler Netzwerke zur Bilderkennung das Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer. Der Datensatz soll mithilfe von Crowdsourcing-Methoden über ein eigens dafür eingerichtetes Portal trainiert werden. Die so gewonnenen Trainingsdaten sollen später die Klassifikation der Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer über anonymisierte Metadaten des Verkehrs erlauben. Im Detail sind dies die Fortbewegungsart bzw. die Kategorisierung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer (Fahrrad, Zu Fuß Gehende, Roller, Rollstuhl, Person mit Kinderwagen, etc.), deren Geschwindigkeit sowie Beschleunigung bzw. Bremsrate, ihre Trajektorien und ihr Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer. Durch die schon auf dem Kamerasystem intern erfolgte Auswertung werden keine Videoaufnahmen oder personalisierte Daten gespeichert, sondern nur Metadaten die datenschutzrechtlich unbedenklich sind. Langzeitziel ist die Erfassung dieser Daten über den Zeitraum eines Jahres, sodass Effekte wie unterschiedliche Witterung (Regen, Schnee, Glätte), die Koinzidenz von Dämmerung oder Dunkelheit mit den Hauptverkehrszeiten, die Änderung im Modalsplit im Jahresverlauf und weitere jahreszeitliche Phänomene untersucht werden können.

2.1.4 Digitale Zwillinge

In den digitalen Zwillingen werden die Daten aus der Netzwerkanalyse (OBS, Biostatistische Auswertungen, Space Syntax) gesammelt und in bestehende 3D-Stadtmodelle integriert. Diese werden in der CAVE als immersive Umgebung mit einem Fahrradsimulator „befahren“ und getestet. Durch die SUMO-Schnittstelle wird anhand der Beobachtungen bzw. der Daten der Kamerasysteme ein realitätsnaher Verkehrsfluss mit allen am Verkehr Beteiligten simuliert. Gleichzeitig werden die Probandinnen und Probanden biostatistisch auf eventuell auftretende Stress-Situationen überwacht. Neuralgische oder in der Realität potentiell gefährliche Stellen werden im digitalen Zwilling in verschiedenen, „sichereren“ Varianten planerisch geprüft, in iterativen Prozessen auf die Stressreaktionen der Nutzerinnen und Nutzer hin getestet und entsprechend optimiert. Die besten so entwickelten Szenarien werden in den Living Labs im realen Raum (temporär) umgesetzt.

2.1.5 Living Labs

Durch die Umsetzung einzelner Szenarien im Living Lab sollen die Auswirkungen der planerischen Veränderungen aus der digitalen Welt in der realen Welt untersucht und verifiziert, sowie wiederum als iterative Schleife zur Anreicherung des Machine Learning Algorithmus des Systems zur automatischen Verkehrserfassung untersucht und verglichen werden. Als temporäre räumliche Interventionen sind z. B. die farblich-grafische Gestaltung öffentlicher Flächen (Straßenraum, Parkplätze, Geh- und Radwege etc.), temporäre Stadtmöblierung, oder Absperrungen (z.B. mittels Leitkegeln) angedacht.

3 ERSTE ERGEBNISSE

Die COVID-Pandemie beeinträchtigte den Start des Projektes, da direkter Kontakt zwischen Forschenden und Probandinnen und Probanden – Radfahrenden und Zu-Fuß-Gehenden – dafür notwendig ist. Begleitende Workshops, wie der zum Bau des OpenBikeSensors, konnten bisher nur online als „Inkubatorenworkshops“ durchgeführt werden.

3.1 Unfall-Atlas

Eine erste gesamtstädtische Analysemöglichkeit zur Detektion der Häufungen von Unfällen ist der Unfallatlas des Statistischen Bundesamtes DESTATIS. Dort werden Unfälle mit Personenschaden nach Kalenderjahren erfasst. Ein Nachteil dieser Datensätze ist allerdings, dass Unfälle, bei denen nur Sachschaden entsteht, nicht abgebildet werden. Der Atlas ermöglicht eine erste Übersicht über Stellen, an welchen Konflikte auftreten können, da neben Unfallort und -häufigkeit in Straßenabschnitten auch Attribute zur Unfallkategorie (Art und Anzahl der Verunglückten), Unfallart (z.B. Zusammenstöße oder Abkommen von der Fahrbahn), Unfalltyp (Fahrerunfall, Abbiegeunfall etc.) sowie Angaben zu „Arten der Verkehrsbeteiligten“ auch separat erfasst werden (Statistisches Bundesamt DESTATIS, 2021b).

Als offene Datensätze liegen Informationen zu den Jahren 2016 bis 2019 vor. Diese werden für eine erste Übersicht in der Open-Source-GIS-Software QGIS aggregiert bzw. zusammengeführt. Im Projektgebiet mit den Arealen der Städte Karlsruhe, Herrenberg und Stuttgart sind für den Zeitraum von 2016 bis 2019 insgesamt 22.848 Unfälle mit Personenschäden registriert worden (davon mit Fußgängerinnen und Fußgängern 2134, mit Radfahrerinnen und Radfahrern 5736). Fokussiert auf die Stadt Stuttgart (7853 gesamt, 966 Fuß, 1693 Rad) ergibt sich je nach Unfallbeteiligten ein differenziertes Bild der Unfall-Hotspots:

Sind im Gesamtstadtgebiet die absoluten Unfälle sehr konzentriert auf die Hauptverkehrsadern wie B10, B27 und B14, so sind die Hotspots für den nicht motorisierten Verkehr heterogener verteilt. Ein für die städtebauliche Entwicklung interessanter Raum ist der Marienplatz (s. Abb. 2). Dort findet eine Vielzahl von Verkehrsmittelwechselln statt, er ist urbaner Aufenthaltsort, teilweise Fußgängerzone und liegt an der Hauptfahrrad-Route 1. Herzog (2021) fordert in ihrer Studie über den Marienplatz, dass mehr Platz für Radfahrende und Zu-Fuß-Gehende Stress reduzieren wird. Diese Aussagen sind jedoch mithilfe des Datensatzes von DESTATIS nicht quantifizierbar.

Bei den im Unfallatlas erhobenen Daten handelt es sich, wie weiter oben erwähnt, um Situationen, in denen Unfalldaten mit Personenschäden verzeichnet sind. Für eine Unfallprävention sind aber auch die Konfliktsituationen interessant, die nicht (aktenkundig) aufgenommen werden. Unfälle ohne Personenschaden als auch Beinahe-Unfälle zwischen nicht motorisierten Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern werden in vielen Fällen nicht zur Anzeige gebracht. Diese Ereignisse und Orte gehen nicht in die Statistik ein. So können die Konflikte quantitativ nicht als Grundlage für die Planung von Straßen, Geh- und Radwegen oder andere öffentliche Flächen integriert werden (vgl. Statistisches Bundesamt B, 2016). Klassische Konfliktsituationen z.B. auch zwischen Radfahrerinnen, Radfahrern, Fußgängerinnen und Fußgängern – insbesondere an Orten, wo wenig Fläche bereitsteht oder die Verkehrsführung sich abrupt ändert – müssen also anders erfasst werden.

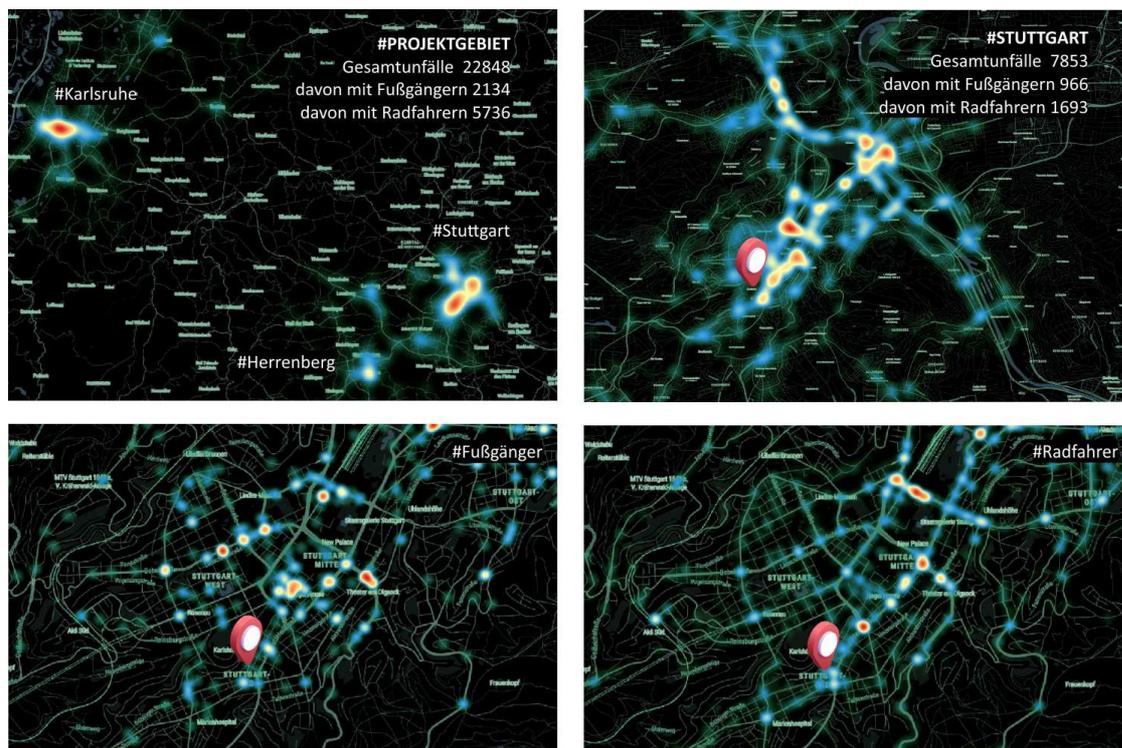


Abb. 2.: Aus Opendata generierte Übersichten der Unfallhotspots im Untersuchungsraum aus den Jahren 2016-2019, Marienplatz in Stuttgart mit Pin markiert

3.2 OBS

Wie schon oben erwähnt, wurden die OpenBikeSensoren (OBS) im Rahmen von Inkubatoren-Workshops gebaut. Die Gehäuse liegen als freie Geometriedateien zum 3D-Druck vor, ebenso die Bauteilliste für den OBS (Github 2021). Durch die Community wurden mittlerweile zwei Gehäusetyper bzw. Anbringungsmöglichkeiten entwickelt – für die Sattelstütze und das Oberrohr des Fahrrades (s. Abb. 3).

Mithilfe zahlreicher freiwilliger Nutzerinnen und Nutzer konnten im ersten Projekthalbjahr Daten auf über 6.000 km Strecke gesammelt werden.

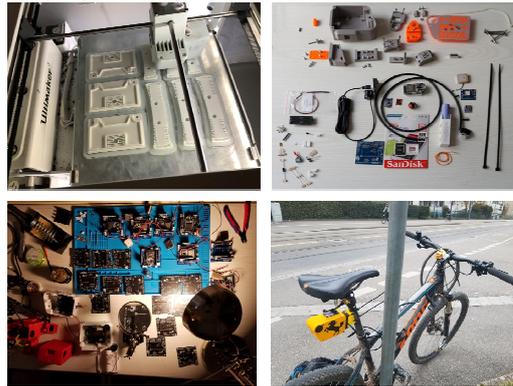


Abb 3.: Aus STL-Dateien geplottetes Gehäuse des OBS, Bauteile und Montage des Sensors sowie angebrachter Sensor inklusive Display (in Gelb) am Fahrrad.

Die durch den OBS gesammelten Daten liefern interessante Informationen bezüglich der Radverkehrsnutzung und der Situation für Radfahrerinnen und Radfahrer vor Ort und in Bewegung. Der Sensor misst neben der Position kontinuierlich auch die „Weite des Raumes“ links und rechts der radfahrenden Person. So werden die Abstände zu anderen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern aufgezeichnet. Außerdem können „gefühlte“ Abstände bzw. subjektiv zu knappes Vorbeifahren oder Überholen (unter 150 cm) durch Nutzerinnen und Nutzer mit Hilfe eines am Steuersatz bzw. Display angebrachten Knopfes verifiziert werden.

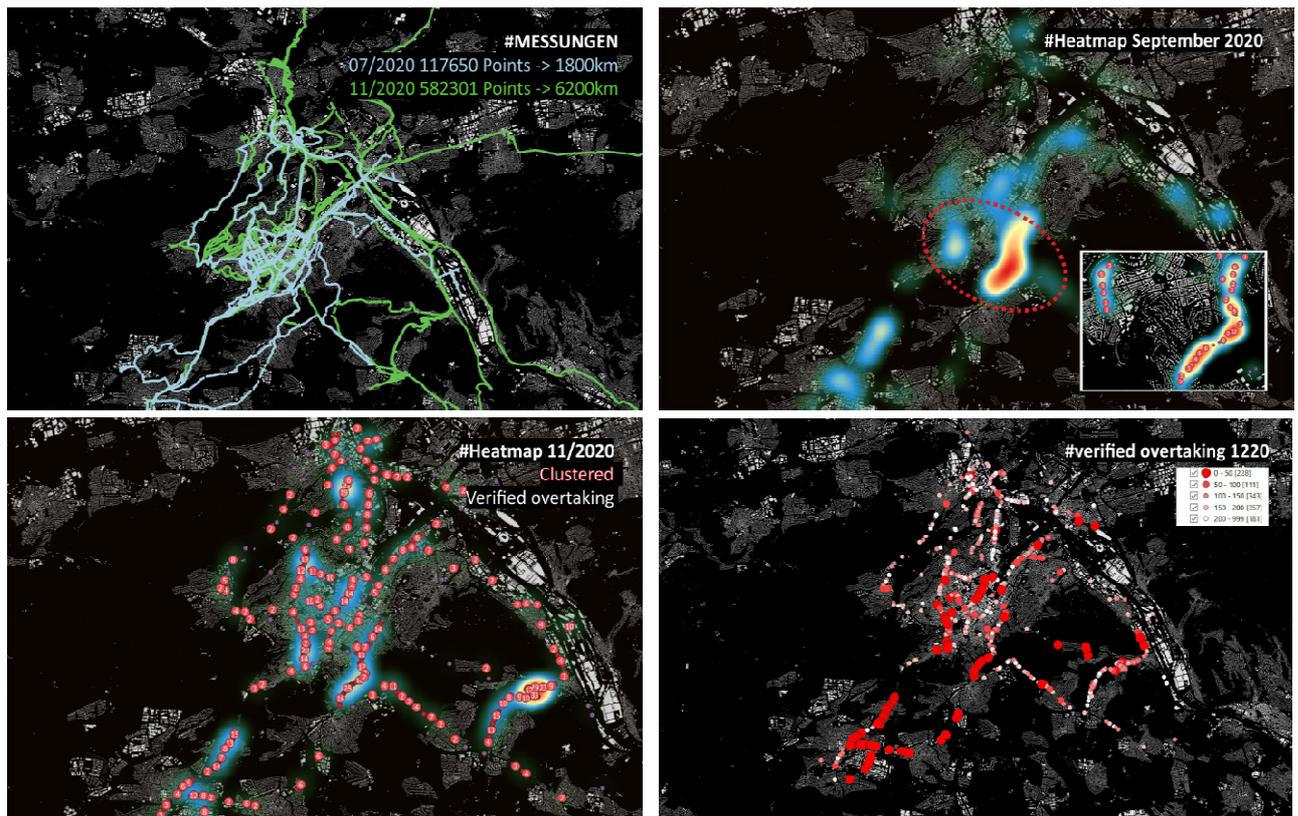


Abb. 4: Aus den Messungen des OBS generierte Informationen zum Gesamtmesssatz: Schwerpunkte der nahen Überholvorgänge im September 2020, Schwerpunkte mit Clusteranzahl im November 2020 sowie die gemappten Situationen, in denen Überholvorgänge unter 150 cm stattgefunden haben.

Insgesamt wurden mehr als 600.000 Punkte bis Dezember 2020 im Untersuchungsgebiet eingemessen. Aus den bestätigten „nahen Überholvorgängen“ konnten so im September von 419 aufgenommenen Überholvorgänge 244 Überholvorgänge unter 150 cm detektiert werden. Hotspots waren bis dahin die „Neue Weinsteige“ und der Bereich der Schickhardstraße / Schreiberstraße / Karl-Kloß-Straße. Im November zeigt sich ein anderes Bild: Im Bereich der Hedelfinger Filderauffahrt konzentrierten sich die „Near-Passbies“, im

übrigen Stadtgebiet kamen neue Punkte hinzu – insgesamt 1.220. Durch eine differenziertere Sichtweise sind auch Klassen der Abstandsmessungen ablesbar, von den 1.220 total registrierten Punkten waren 228 in der Klasse von 0-50 cm, 111 in 50-100 cm, 343 zwischen 100-150 cm, die restlichen Punkte (357 in 150-200 cm, sowie 181 >200 cm) befinden sich außerhalb des gesetzlichen Mindestabstands bei Überholmanövern, sind aber als „nahe Manöver“ empfunden worden und klassifiziert, und dementsprechend auch zu berücksichtigen. Gerade auf Straßen mit Geschwindigkeiten über 50 km/h wirken starke Seitenkräfte auf Radfahrende ein (Gromke und Ruck, 2021), sodass zumindest das subjektiv empfundene Sicherheitsgefühl negativ beeinträchtigt werden kann.

3.3 Space Syntax

Mit Space Syntax Analysen kann auf Basis von Geoinformationsdaten das „Potential Through-Movement“ (Durchgangspotenzial des Wegenetzwerkes einer Stadt) – wie in diesem Fall für Stuttgart – analysiert werden. Potential Through-Movement (Hillier et al., 1987) referenziert auf die Bewegung beim Zurücklegen der kürzesten Routen – von jedem beliebigen Ausgangsort zu allen anderen Orten in einem Netzwerk bzw. im gesamten System oder innerhalb eines vorgegebenen Radius. Mit dem Maß „Choice“ wird das Durchgangspotenzial berechnet bzw. prognostiziert (Dembski et al., 2019, S. 45.).

Abb. 5: Die globale Analyse des Straßennetzwerks in Stuttgart für Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrer des Status quo (Mai, 2021; NACH (Normalised Angular Choice) Radius N). Anmerkung: Die Normalised Angular Choice (NACH) ist sozusagen eine „korrigierte Form“ des Space-Syntax-Maßes der Choice.

Dies lässt Rückschlüsse auf die Zentralität in Netzwerken zu (siehe Abb. 5), insbesondere der „Betweenness Centrality“ – einem Maß zur Quantifizierung der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Straßensegment auf einen zufällig ausgewählten kürzesten Pfad fällt, der ein beliebiges Paar von Segmenten verbindet. Mathematisch gesehen bedeutet dies effektiv dasselbe wie das Space-Syntax-Maß der „Choice“ (Freeman, 1977, p. 37; Hillier und Iida, 2005).

Mit Space Syntax wurde so der Status quo (Stand: 2021) des für Fahrradverkehr geeigneten Straßennetzwerks analysiert. Die Ergebnisse zeigen die unterschiedliche zu erwartende potenzielle Nutzung von Wegen bzw. Straßen und ihrer Segmente. Der Einfluss der Verkehrsplanung der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist auch im Netzwerk für Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrer stark erkennbar (Abb. 5): Entlang der von Autos stark befahrenen Hauptstraßen ist auch die Zentralität bzw. das Durchgangspotenzial (Potential Through-Movement) im Radwegenetzwerk am höchsten. Dies deutet auf hohes Konfliktpotenzial hin, oder darauf, dass die Zentralität und damit die mathematische Wahrscheinlichkeit hoch ist die Wege zu nutzen, aber aufgrund der Gefahren durch den Autoverkehr von Radfahrerinnen und Radfahrern auf weniger zentrale oder ideale Routen ausgewichen wird.

In einem weiteren Schritt sollen auch die Netzwerke für den Fußverkehr sowie den motorisierten Verkehr berechnet und anschließend zur genaueren Analyse – auch hinsichtlich potenzieller Konfliktsituationen und zur Analyse der Routenführung – gegenübergestellt bzw. überlagert werden.

Die Space Syntax Analysen werden mit depthmapX erstellt – einer Multiplattform-Software für räumliche Netzwerkanalyse auf unterschiedlichen Maßstäben. Die Software wurde ursprünglich von Alasdair Turner von der Space Syntax Group als Depthmap entwickelt und ist jetzt open source verfügbar (<https://www.ucl.ac.uk/bartlett/architecture/research/space-syntax/depthmapx>).

4 AUSBLICK UND FAZIT

In weiterer Folge sollen die unterschiedlichen Space Syntax Modelle mittels einer Kombination aus GRASS-GIS Toolkits zur Datenverarbeitung der georeferenzierten Ergebnisse (als Vektoren bzw. Straßensegmente) und digitalen Geländemodelle (Raster/Höhenmodell) in ein 3D-Modell umgewandelt werden. In COVISE und OpenCOVER Virtual Environment Renderer können die Daten extrudiert und farblich codiert für die Nutzung im 3D-VR Modell visualisiert werden (Dembski, Wössner & Letzgus, 2019).

Parallel dazu sollen die Ergebnisse aus Machine Learning integriert und Space Syntax auch zur Unterstützung bei der Szenarientwicklung und für Planungsvarianten eingesetzt werden – zum Beispiel für die Analyse bzw. Prognosen bei Änderung der Wegeführung oder Umgestaltung von Plätzen. Zusätzlich sollen nach Ende der Kontaktbeschränkungen die Daten der Emotionsdetektion bei Radfahrenden integriert

werden. Außerdem ist auch ein Experiment mit einem abgewandelten OpenBikeSensor für Zu-Fuß-Gehende (die Abstandssensoren werden in einen Rucksack integriert) geplant. Alle Erkenntnisse werden dann in die digitalen Zwillinge integriert, virtuell auf dem Fahrradsimulator getestet wie im Experiment von Zeile & Resch (2018) vorgeschlagen.

Inhaltlich wird einer der nächsten Schritte sein, Korrelationen zwischen Near-Passbys und Tempo 50 und Tempo 30 Strecken zu ermitteln. Insbesondere aufgrund der in §45 StVO limitierten Möglichkeiten einer Tempo 30-Anordnung (vgl. VCD 2018, Bundesgesetzblatt 2013) könnte die vorgeschlagene Methode eine Grundlage zur Ableitung von Argumentationsträngen sein, um die Umwidmung aufgrund von Gefährdungspotenzial von Radfahrern auf Tempo 50- Straßen in Tempo 30-Zonen zu vereinfachen.

Die hier beschriebenen Bausteine und die schon erzielten Ergebnisse sind vielversprechend als ergänzendes Werkzeug im planerischen Methodenkanon bezüglich Fuß-und-Radverkehrsplanung. Sie sind frei verfügbar, und werden durch eine dynamische Community auch kontinuierlich weiterentwickelt.

5 DANKSAGUNG

Das Projekt Cape Reviso (Cyclist And PEdestrians on REal and Virtual Shared rOads) wird vom Deutschen Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur BMVI im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans(NVRP) 2020 unter den Förderkennzeichen VB2013A-C gefördert und vom Bundesamt für Güterverkehr BAG, Team Radverkehr, durch Manuel Hundt betreut. Weitere Informationen sind unter <https://nationaler-radverkehrsplan.de> verfügbar.

6 LITERATUR

- ALDRED, R.: Cycling near misses: Their frequency, impact, and prevention. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 90,S.69–83. 2016.
- ALDRED, R., A. GOODMAN, J. GULLIVER, UND J. WOODCOCK: Cycling injury risk in London: A case-control study exploring the impact of cycle volumes, motor vehicle volumes, and road characteristics including speed limits. *Accident Analysis & Prevention* 117. S.75–84. 2018.
- ALRUTZ, D., W. BOHLE, H. MÜLLER, UND H. PRAHLOW: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern (Vol. 184). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wiss. 2009.
- ALVAREZ LOPEZ, P., M. BEHRISCH, L. BIEKER-WALZ, J. ERDMANN, Y.-P. FLÖTTERÖD, R. HILBRICH, ... E. WIEßNER: Microscopic Traffic Simulation using SUMO. In: 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). IEEE. 2018.
- BMVI: Nationaler Radverkehrsplan 3.0. 2021. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Radverkehr/nationaler-radverkehrsplan-3-0.html> (Zugriff 10.Mai 2021).
- BUNDESGESETZBLATT: §45 StVO – Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen – [dejure.org](https://dejure.org/gesetze/StVO/45.html). 2013.
- BUXTON, H.: Learning and understanding dynamic scene activity: a review. *Image and Vision Computing* 21,1.S.125–136. 2003.
- VCD VERKEHRSClub DEUTSCHLAND E.V.: Sie wollen Tempo 30? Wir sagen Ihnen was geht. 2018. <http://tempo30.vcd.org/> (Zugriff 29 July 2021).
- DEMBSKI, F.: Energy Conscious Urban Inward Development. Analytical Design Strategies for the Post-Oil City. The Case Study of Greater Paris. Wien: TU Wien. 2020. <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/1452> (Zugriff 1.Juni 2021).
- DEMBSKI, F., U. WÖSSNER, UND M. LETZGUS: The Digital Twin – Tackling Urban Challenges with Models, Spatial Analysis and Numerical Simulations in Immersive Virtual Environments. In: J. Sousa, J. Xavier, & G. Castro Henriques (Eds.), *eCAADe 37 / SIGraDi 23*,S. 795–804. Porto. 2019.
- DÖRRZAPF, L., A. KOVÁCS-GYÖRI, B. RESCH, UND P. ZEILE: Defining and assessing walkability: a concept for an integrated approach using surveys, biosensors and geospatial analysis. *Urban Development Issues* 62,1,S.5–15. 2019.
- EWING, R., S. HANDY, R. C. BROWNSON, O. CLEMENTE, UND E. WINSTON: Identifying and Measuring Urban Design Qualities Related to Walkability. *Journal of Physical Activity and Health* 3,Suppl 1, S.223–240. 2006.
- FLÜCKIGER, S., UND J. LEUBA: Qualität von öffentlichen Räumen: Methoden zur Beurteilung der Aufenthaltsqualität. Zürich: Fussverkehr Schweiz. 2015.
- FREEMAN, L. C.: A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry* 40,1, S.35ff. 1977.
- GEHL, J.: *Life between buildings: using public space*. Washington, DC: Island Press. 2011.
- GILES-CORTI, B., UND R. J. DONOVAN: The relative influence of individual, social and physical environment determinants of physical activity. *Social Science & Medicine* 54,12, S.1793–1812. 2002.
- GITHUB: OpenBikeSensor. 2021. <https://github.com/openbikesensor/openbikesensor.github.io> (Zugriff 12.Mai 2021).
- GÖTSCHI, T., A. CASTRO, M. DEFORTH, L. MIRANDA-MORENO, UND S. ZANGENEHPOUR: Towards a comprehensive safety evaluation of cycling infrastructure including objective and subjective measures. *Journal of Transport and Health* 8, S.44–54. 2018.
- 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., UND B. RUCK: Passenger car-induced lateral aerodynamic loads on cyclists during overtaking. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 209, S.104489ff. 2021.

- GROß, D.: EmoCyclingConcept – Potentiale der emotionalen Stadtkartierung für Radverkehrskonzepte am Usecase Worms. 2015. <https://doi.org/10.14627/537622040>
- GROß, D., UND P. ZEILE: EmoCyclingConcept -- Potenziale der emotionalen Stadtkartierung. In: J. Strobl, B. Zigel, G. Griesebner, & T. Blaschke (Eds.), AGIT (S. 273–278). Berlin, Offenbach: Wichmann Verlag. 2016.
- GUTIERREZ-MARTINEZ, J.-M., A. CASTILLO-MARTINEZ, J.-A. MEDINA-MERODIO, J. AGUADO-DELGADO, J.-J. MARTINEZ-HERRAIZ, J.-M. GUTIERREZ-MARTINEZ, J.-J. MARTINEZ-HERRAIZ: Smartphones as a Light Measurement Tool: Case of Study. *Applied Sciences* 7,6, S.616ff. 2017.
- HARARI, G. M., N. D. LANE, R. WANG, B. S. CROSIER, A. T. CAMPBELL, UND S. D. GOSLING: Using Smartphones to Collect Behavioral Data in Psychological Science: Opportunities, Practical Considerations, and Challenges. *Perspectives on Psychological Science: A Journal of the Association for Psychological Science* 11,6, S.838–854. 2016.
- HILLIER, B.: Space is the machine – A configurational theory of architecture. *UCL Discovery*. 2007.
- HILLIER, B., R. BURDETT, A. PENN, UND J. PEPONIS: Creating Life: Or, Does Architecture Determine Anything? *Architecture et Comportement/Architecture and Behaviour* 3, S.233–255. 1987.
- HILLIER, B., UND S. IIDA: Network and psychological effects in urban movement. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 3693 LNCS, S. 475–490). 2005.
- HERZOG, P. L.: Genius Loci -Eine neurourbanistische Untersuchung des öffentlichen Raums am Beispiel des Marienplatzes in Stuttgart. Stuttgart. 2021.
- HÖFFKEN, S., J. WILHELM, D. GROß, B. S. BERGNER, UND P. ZEILE: EmoCycling -- Analysen von Radwegen mittels Humansensorik und Wearable Computing. In: M. Schrenk, V. Popovich, P. Zeile, & P. Elisei (Eds.), *Real CORP 2014* (S. 851–860). Wien. 2014.
- HORTON, D.: Fear of Cycling. In: P. Rosen, P. Cox, & D. Horton (Eds.), *Cycling and society* (S. 133–152). Aldershot: Ashgate. 2007.
- HULL, A., UND C. O'HOLLERAN: Bicycle infrastructure: Can good design encourage cycling? *Urban, Planning and Transport Research* 2,1, S.369–406. 2014.
- KANJO, E., L. AL-HUSAIN, UND A. CHAMBERLAIN: Emotions in context: examining pervasive affective sensing systems, applications, and analyses. *Personal and Ubiquitous Computing* 19,7, S.1197–1212. 2015.
- KREIBIG, S. D., F. H. WILHELM, W. T. ROTH, UND J. J. GROSS: Cardiovascular, electrodermal, and respiratory response patterns to fear- and sadness-inducing films. *Psychophysiology* 44,5, S.787–806. 2007.
- KYRIAKOU, K., UND B. RESCH: Spatio-Temporal Analysis of Moments of Stress Derived from Wearable Sensor Data. In: *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. 2019.
- LIBNER, A., UND S. FRANCKE: 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.). Deutschland. 2017.
- MA, L.: The Objective vs. the Perceived Environment: What Matters for Active Travel. 2000.
- MAISONNEUVE, N., M. STEVENS, UND L. STEELS: Measure and map noise pollution with your mobile phone. In: *Information Technologies in Environmental Engineering*. 2008.
- OPENBIKESENSOR: Bauanleitung v00.03. 2021. <https://www.openbikesensor.org/docs/hardware/v00.03/build-instructions/> (Zugriff 12.Mai 2021).
- OSBORNE, T., UND P. I. JONES: Biosensing and geography: A mixed methods approach. *Applied Geography* 87, S.160–169. 2017.
- ROMERO-CANO, V., G. AGAMENNONI, UND J. NIETO: A variational approach to simultaneous multi-object tracking and classification. *The International Journal of Robotics Research* 35,6, S.654–671. 2016.
- SAUTER, D., UND M. WEDDERBURN: Measuring Walking . Towards internationally standardised monitoring methods of walking and public space. 8Th International Conference on Survey Methods in Transport, S.38ff. 2008.
- SCHÄFER, K., S. EMEIS, M. BUDDE, M. BEIGL, J. CYRYS, J. SCHNELLE-KREIS, ... T. GRATZA: 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* (Vol. 10424, p. 12). SPIE. 2017.
- SCHLEINITZ, K., T. PETZOLDT, L. FRANKE-BARTHOLDT, J. F. KREMS, UND T. GEHLERT: Conflict partners and infrastructure use in safety critical events in cycling – Results from a naturalistic cycling study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 31, S.99–111. 2015.
- SCHWAB, D., M. STRASSER, F. HARALD, UND S. MÜLLEHNER: Fußverkehr in Zahlen. Daten, Fakten und Besonderheiten. 2012.
- STATISTISCHES BUNDESAMT DESTATIS: Unfallatlas | OpenData. 2021a. https://unfallatlas.statistikportal.de/_opendata2020.html (Zugriff 11.Mai 2021).
- STATISTISCHES BUNDESAMT DESTATIS: Grundbegriffe der Verkehrsunfallstatistik 2021. (Zugriff 1.Juni 2021).
- TAGESSPIEGEL: Radmesser. 2018. <https://interaktiv.tagesspiegel.de/radmesser/> (Zugriff 12.Mai 2021).
- THORNTON, A., L. EVANS, K. BUNT, A. SIMON, S. KING, AND T. WEBSTER: Climate change and transport choices: Segmentation Model – A framework for reducing CO2 emissions from personal travel. (Department for Transport, Ed.). 2011.
- WANG, J., L. MIRZA, A. CHEUNG, UND S. MORADI: Understanding factors influencing choices of cyclists and potential cyclists: A case study at the University of Auckland. 2014.
- WERNEKE, J., M. DOZZA, UND M. KARLSSON: Safety--critical events in everyday cycling -- Interviews with bicyclists and video annotation of safety--critical events in a naturalistic cycling study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 35, S.199–212. 2015.
- YAMU, C., A. VAN NES, C. GARAU, UND A. HAGEN-ZANKER: Bill Hillier's Legacy: Space Syntax-A Synopsis of Basic Concepts, Measures, and Empirical Application. 2021.
- ZEILE, P., UND B. RESCH: Combining Biosensing Technology and Virtual Environments for Improved Urban Planning. *GI_Forum* 1, S.344–357. 2018.