

RASCH – RAdSCHnellwege: Gestaltung effizienter und sicherer Infrastruktur

Schnell zum Ziel auf dem Radweg von morgen

Kurzfassung

In RASCH werden die Potentiale von Radschnellwegen hinsichtlich der Steigerung der Attraktivität, Sicherheit und Effizienz des Radverkehrs untersucht. Es werden zwei Verkehrssteuerungsmaßnahmen zum Einsatz an Knotenpunkten von Radschnellwegen mithilfe eines Simulationslabors erprobt und bewertet.

Die Eigenschaften der Infrastruktur spielen dabei eine wichtige Rolle in Bezug auf die Attraktivität und die Verkehrsqualität von Radschnellwegen. In RASCH werden zwei Optionen zur Realisierung eines urbanen Radschnellwegs im Simulationslabor untersucht. Das Zusammenspiel der Führungsform des Radschnellwegs, der Lichtsignalsteuerung an den Knotenpunkten sowie der Zusammensetzung und den verkehrlichen Eigenschaften des Radverkehrs hat einen großen Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufs an Radschnellwegen. Dieser Einfluss wird im Zuge des Projektes RASCH analysiert.

Innerhalb des Simulationslabors werden zwei unterschiedliche Methoden zur Analyse und Bewertung der infrastrukturellen und Verkehrssteuerungsmaßnahmen eingesetzt:

- Fahrradsimulatorstudien dienen der Untersuchung des Verhaltens und der Präferenzen von Proband*innen
- Mikroskopische Verkehrsflusssimulation dienen der Hochrechnung des beobachteten Verhaltens einzelner Radfahrender auf das gesamte Verkehrssystem

Hierbei dient ein realitätstreuere Simulationsmodell der bestehenden Infrastruktur, des Verkehrs und der Signalsteuerung eines Straßenzuges der Ludwigstraße/Leopoldstraße in München als Ausgangspunkt für die Modellierung der untersuchten Verkehrssteuerungsmaßnahmen und Infrastrukturoptionen. Der Verkehr wurde dabei an sieben Knotenpunkten durch Videoaufnahmen und Verkehrszählungen erfasst und ging in die Modellierung des Basis-Modells ein. Signalpläne an Schnittstellen zum Straßennetz wurden von der Landeshauptstadt München bereitgestellt und in der Simulation detailgetreu abgebildet. Auf Basis der Studien im Simulationslabor wurde das Potenzial der untersuchten Steuerungsmaßnahmen sowie Führungsformen zur Verbesserung der Qualität des Radverkehrsflusses ermittelt.

Schon durch die Verbreiterung des Radfahrstreifens auf 3,0 m sind Zeitverlustreduktionen um durchschnittlich 7 % für den Radverkehr feststellbar. Mit einer Verkehrssteuerungsstrategie der grünen Welle für den Radverkehr

reduzieren sich die Zeitverluste sogar um 54%. Bei angepasster LSA-Steuerung bei beidseitigen Einrichtungsradwegen kann sogar die Reisezeit für den motorisierten Verkehr um durchschnittlich 21 % reduziert werden. Grund dafür sind schnellere Abwicklungen von Radfahrendenpuls an signalisierten Knotenpunkten. Die Proband*innen der Fahrradsimulatorstudien empfinden Radschnellwege als angenehmer und einfacher. Jedoch kann bei den Proband*innen auch festgestellt werden, dass bei mehr verfügbarem befahrbarem Raum an den Knotenpunkten auch unvorsichtiger und riskanter gefahren wird.

Ausgangssituation, Projektidee und Zielsetzung

Im FGSV-Arbeitspapier „Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen“ von 2014 werden unterschiedliche Führungsformen für den Radverkehr bei der Implementierung von Radschnellverbindungen vorgestellt. Das Potenzial und die Gestaltungseigenschaften von urbanen Radschnellwegen wurde bis jetzt nicht ausführlich untersucht. Vor allem in Bezug auf deren Implementierung lassen sich fehlende Erkenntnisse zum Entwurf und zur Steuerung der urbanen Radschnellwege der Zukunft feststellen. Deutschland hat dabei, verglichen mit den Niederlanden und Dänemark, sehr wenige Erkenntnisse aus den ausgewählten implementierten Strecken gezogen, sodass vorhandene FGSV-Richtlinien diesen Bereich noch nicht vollständig abdecken. Urbaner Radverkehr schöpft vor allem in den Spitzenstunden die Kapazitätsreserven der vorhandenen Radverkehrsinfrastruktur voll aus. Es entstehen, vor allem am Beispiel München, Radverkehrsstaus und sicherheitskritische Situationen an verschiedenen Stellen von Radwegen und -fahrstreifen.

Das Projekt wurde durch den Lehrstuhl für Verkehrstechnik initiiert und reiht sich an Vorarbeiten zur Radverkehrsforschung am Lehrstuhl (Twaddle et al. 2014a, 2014b, 2016a, 2016b, Amini et al. 2016 und Twaddle 2017). Ein bestehender Fahrradsimulator wurde erweitert (Keler et al. 2018) und am Beispiel von Pilotrouten in München wurden mit diesem die notwendigen Studien durchgeführt.

Eine Vielzahl europäischer Projekte mit bereits implementierten Radschnellverbindungen waren Motivatoren für die Untersuchung eines urbanen Radschnellweges in München mit neuartigen methodischen Untersuchungsansätzen. Die mikroskopische Verkehrsflusssimulation von Verkehrsströmen auf Radschnellverbindungen ist neuartig und wurde in dieser Art noch in keiner bisherigen Publikation gefunden. Die Nutzung eines Fahrradsimulators für verkehrstechnische Aufgaben ist, die frühen Ansätze von Sun und Qing (2017) ausgenommen, neuartig, vor allem in Bezug auf die Interaktion zu unterschiedlichen Verkehrsteilnehmenden und der Radfahrenden zueinander.

Es fehlte an praktischen verkehrstechnischen Untersuchungsmethoden, vor allem für urbane Radschnellwege, mit vorhandenen Verkehrssteuerungsstrategien. Der Großteil der methodischen Ansätze kommt aus der Verkehrsplanung und vereinfacht die Untersuchung der Effizienz und Sicherheit durch Verwendung aggregierter Durchschnittswerte von Verkehrseffizienz und -sicherheit. Fahrradsimulatoren wurden bisher nicht primär für die Untersuchung der Interaktionen zu anderen Verkehrsteilnehmenden genutzt. Außerdem gab es keine vergleichbare Schnittstelle zwischen Fahrsimulatoren und Tools für Mikrosimulationen. Dies alles wurde innerhalb des Projektes RASCH untersucht, durch allgemeine Methodik beschrieben und als Pilotanwendungen realisiert.

Es wurde durch das Projekt erhofft, die Effizienz- und Sicherheitssteigerungen durch neuartige Radverkehrsinfrastruktur sowie die Attraktivität zu quantifizieren. Urbane Radschnellwege sollten nach ihrer Art und in Zusammenhang mit den gewählten Verkehrssteuerungsansätzen für ein reales urbanes Untersuchungsgebiet evaluiert werden. Neben der neuartigen Simulation von Radverkehrsnetzen sollte eine Methodik geschaffen werden, komplexen urbanen Raum in eine virtuelle erlebbare Umgebung zu überführen. Hierzu zählen auch die Aufnahme von Verkehrszählungen und Signalsteuerungsdaten, die zur Kalibrierung der Simulationsnetze dienen.

Projektverlauf

Das Projekt wurde durch wissenschaftliche Mitarbeitende und studentische Hilfskräfte des Lehrstuhls für Verkehrstechnik an der TU München und durch Mitarbeitende der TESIS GmbH (Teil der Vektor Informatik GmbH) durchgeführt. Es gab weitere Vernetzungen zum Kreisverwaltungsreferat der Stadt München, zum Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung und zur Virtence GmbH vor allem in Bezug auf verfügbare Geo- und Verkehrsdaten. Die Landeshauptstadt München hatte den Zugang zu Verkehrszählungs- und Signalsteuerungsdaten ermöglicht und ebenso Drehgenehmigungen an bestimmten Knotenpunkten des Untersuchungsgebietes gefördert.

Die Zielgruppe des Projektes waren Kommunen und private Planungsbüros mit Interesse an innovativen Tools für die Planung und Realisierung von neuer effizienter und sicherer Radverkehrsinfrastruktur, vor allem im urbanen Raum. Die Zielgruppe wurde unter Einbeziehung erster Ergebnisse aus Simulations- und Simulatorstudien indirekt in das Forschungsvorhaben einbezogen.

Bestehende mikroskopische Verkehrsflusssimulationen wurden verwendet, um komplexe urbane Verkehrsabläufe zu simulieren. Hierbei lag der Fokus auf Radverkehr und motorisierten Verkehrsteilnehmenden um primär die Einflüsse auf die Verkehrseffizienz dieser Verkehrsträger abzuschätzen. Zu Fuß Gehende und ÖPNV gingen nicht in die Betrachtung ein. Bei den Fahrradsimulatorstudien mit Proband*innen wurde eine neuartige Methodik angewandt, angelehnt an traditionelle Fahrsimulatorstudien. Bei den Studien werden je Proband*in zunächst jeweils der Ist-Zustand eines realen Untersuchungsgebietes auf den gegebenen Radwegen durchfahren. Anschließend werden gleichlange Strecken mit implementierter Radschnellweginfrastruktur in zwei Varianten (beidseitige Einrichtungsradswege, einseitiger Zweirichtungsradsweg) und mit einer an eine Grüne Welle angelehnte Verkehrssteuerungsstrategie für den Radverkehr durchfahren.

Das Projekt RASCH gliederte sich in fünf Arbeitspakete. Im ersten Arbeitspaket Grundlagenanalyse wurde eine Literaturrecherche zum Stand der Technik durchgeführt und die Zukunftsszenarien und Verkehrssteuerungsmaßnahmen entworfen. Es folgte das Arbeitspaket Vorbereitung der Simulationsstudien mit der technischen Weiterentwicklung des Fahrradsimulators, dem Aufbau des Praxisbeispiels in der mikroskopischen Verkehrssimulation, dem Entwurf von Untersuchungsszenarien und der Vorabvalidierung des Fahrradsimulators. Anschließend wurden im nächsten Arbeitspaket die Versuche im Fahrradsimulator und in der mikroskopischen Verkehrssimulation durchgeführt. Das vierte Arbeitspaket beinhaltete die Evaluierung mit der Datenauswertung zur Quantifizierung des Radverkehrsflusses und die Evaluierung der Verkehrssteuerungsmaßnahmen. Im finalen Arbeitspaket Ergebnisverbreitung wurde ein Leitfaden zum Einsatz von Verkehrssteuerungsmaßnahmen für Radschnellwege und ein Erfahrungsbericht zur Fahrradsimulator-Studie angefertigt.

Ergebnisse und Projekterfolge

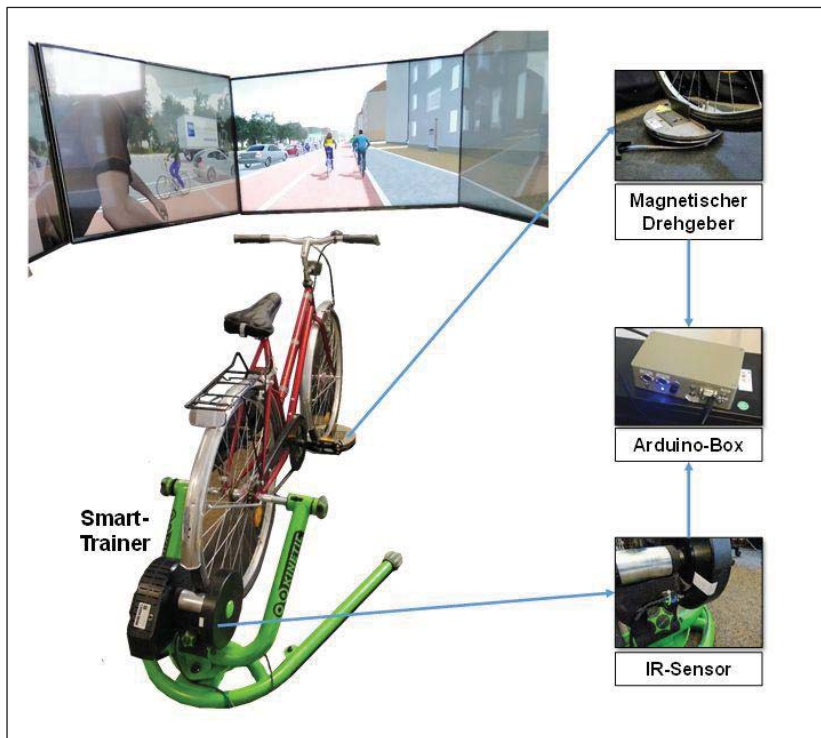
Sämtliche Fragestellungen des Projektes RASCH konnten innerhalb der Projektlaufzeit beantwortet werden. Aufgrund der Komplexität des gewählten Untersuchungsgebietes in der Münchner Innenstadt konnten viele Aspekte der Variation von Entwurfselementen und Signalsteuerungsansätzen analysiert werden. Dadurch konnten Vorschläge zur Ergänzung des Arbeitspapiers für die Anlage von Radschnellverbindungen der FGSV von 2014 gegeben werden, vor allem in Hinblick auf Richtwerte der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für Radfahrer. Diesbezüglich konnte ein signifikanter Unterschied zur Bemessung von Radschnellverbindungen im Vergleich zur Verkehrsinfrastruktur des motorisierten Verkehrs sowie sonstiger Radverkehrsinfrastruktur festgestellt werden. Für die Untersuchungen konnte ein großes urbanes Netz mit einer Vielzahl in der Realität erfasster Daten kalibriert werden. Die ersten Erkenntnisse zu Fahrradsimulatorstudien mit Proband*innen wurden dokumentiert. Hier zeigten sich die Grenzen und Möglichkeiten der Datengenerierung durch Proband*innen. Innerhalb der Probandenstudien wurden die Akzeptanz und die Attraktivität der Maßnahmen zusammen mit der Verkehrssicherheit und Effizienz bewertet. Die erarbeitete Methodik kann als eine prototypische Umsetzung von Probandenstudien mit einem Fahrradsimulator gesehen werden (Kaths et al. 2020).

Über neun Simulations- und sechs Simulatorstudienzenarien zu urbanen Radschnellwegen konnten viele der identifizierten Problemlagen adressiert werden. Auf Grundlage der Auswertungen beider sich ergänzender Maßnahmen (Varianten von Entwurfselementen und Signalsteuerungsansätzen) konnte der Großteil der Erkenntnisse die identifizierten Problemlagen klären. Es zeigte sich eine Effizienzsteigerung und eine Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Einführung von urbanen Radschnellverbindungen.

Innerhalb der Fahrsimulatorforschung wurden eingehende Erkenntnisse zur Akzeptanz von Fahrradsimulatoren gewonnen, insbesondere die favorisierte Dauer des Experiments, sowie der Umfang der anschließenden Befragung. In Bezug auf die Ausprägung der Simulatorkrankheit während der Experimente konnte vor den Probandenstudien schon festgestellt werden, dass VR-Brillen dafür eher ungeeignet sind. Hiermit mussten Fahrten häufig bereits in den ersten Minuten abgebrochen werden.

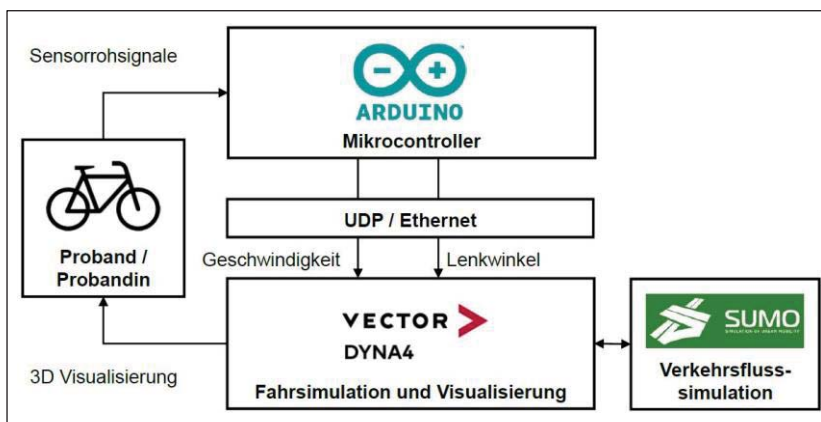
Der Aufbau des Fahrradsimulators (Stand: August 2019) des Lehrstuhls für Verkehrstechnik der Technischen Universität München (TUM-VT) wird in Abb. 1 dargestellt. Abb. 2 zeigt zusätzlich gesondert die Software- und Hardwarekomponenten des Fahrradsimulators.

Abb. 1:
Aufbau des
Fahrradsimulators des
Lehrstuhls für
Verkehrstechnik



Quelle: Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Technische Universität München (Stand: August 2019).

Abb. 2:
Software- und
Hardwarekomponenten
des Fahrradsimulators



Quelle: Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Technische Universität München.

Das Projekt erlaubte es, eine Methodik zu entwickeln, um teure Infrastrukturbauvorhaben in der Planungsphase objektiv und subjektiv zu evaluieren. Angefangen mit der Anreicherung frei nutzbarer Geodaten aus dem OpenStreetMap-Projekt mit Straßenmarkierungen, der Übertragung von realen Signalplänen an Lichtsignalobjekte und der Definition von Verkehrsströmen basierend auf realen Verkehrszählung, wird in den ersten Schritten ein reales Untersuchungsgebiet als eine virtuelle Umgebung abgebildet. Die darauf basierenden Simulationsnetze werden nach Art der Infrastruktur und Verkehrssteuerungsmaßnahme eines Radschnellweges in mehreren Varianten definiert. Die anschließenden Simulationsläufe können Aussagen darüber geben, ob Verbesserungen der Verkehrseffizienz- und -sicherheit bei der Implementierung von Radschnellwegen auf bestehenden Radwegen möglich sind. Durch die Vergleiche mehrerer Simulationsszenarien können Verkehrssteuerungsmaßnahmen für den Radverkehr evaluiert werden. Mit den Simulatorstudien können zusätzlich Daten durch Proband*innen erho-

ben werden, um so das persönliche Empfinden von äußerlichen Formen der Infrastruktur und generellen Abläufen jeder Fahrt zu verbessern. Damit wurden neue Möglichkeiten geschaffen, neue Radverkehrsinfrastrukturvorhaben eingehend und umfassend zu evaluieren.

Die erzielten Ergebnisse haben große Relevanz für die Praxis, da eine kostengünstige alternative Planung von Bauvorhaben und dem Entwurf von Signalprogrammen ermöglicht wird. Neben der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation, basierend auf realen Daten, können entworfene Radschnellwege auch aus der Egoperspektive eines Radfahrers subjektiv evaluiert werden. So kann eine effektive und schnelle Abschätzung der Relevanz der Implementierung von Radverkehrsinfrastruktur erfolgen.

Schon durch die Verbreiterung des Einrichtungsrads auf 3,0 m sind Zeitverlustreduktionen um durchschnittlich 7 % für den Radverkehr feststellbar, und mit der Verkehrssteuerungsstrategie nach einer grünen Welle für den Radverkehr sogar um fast 54 %. Bei angepasster LSA-Steuerung bei beidseitigen Einrichtungsradswegen kann sogar die Reisezeit für den motorisierten Verkehr um durchschnittlich 21 % reduziert werden. Grund dafür sind schnellere Abwicklungen von Radfahrendenpulks an signalisierten Knotenpunkten.

Auf Ebene der Kommunen, der Länder und des Bundes ergeben sich viele neuartige methodische Ansätze bei der Umsetzung regionaler und nationaler Radverkehrsinfrastrukturprojekte durch Nutzung von Fahrradsimulatoren. Vor allem die Implementierung von Verkehrssteuerungsmaßnahmen kann erlebbar evaluiert werden und so eine Brücke schaffen zwischen subjektivem Erleben durch Bürger und validierten Ergebnissen aus mikroskopischen Verkehrsflusssimulationsstudien.

Die Proband*innen der Fahrradsimulatorstudien empfinden dabei die simulierten Radschnellwege als angenehmer und einfacher als die gegenwärtig bestehenden Radwege. Jedoch kann bei den Proband*innen auch festgestellt werden, dass bei mehr verfügbarem befahrbarem Raum an den Knotenpunkten auch unvorsichtiger und riskanter gefahren wird. Durch die Auswertung der Umfragedaten als Teil der Probandenstudien konnte ein Einblick in die subjektive Einschätzung von Proband*innen gemacht werden. Auf Grund der Stichprobe von 44 Teilnehmenden kann man dies als erste große Studie mit einem Fahrradsimulator bezeichnen. Es ist jedoch absehbar, dass für eine umfassende Evaluierung von Fahrradsimulatoren eine größere Stichprobe benötigt wird. Des Weiteren konnte nicht festgestellt werden, ob animierte Unfallabläufe oder Bewegungsrestriktionen durch Hindernisse sinnvoll sind oder eher die Simulatorfahrt durch unnötige Ablenkung behindern.

Ausblick

Diese Ergebnisse wurden bereits auf mehreren nationalen und internationalen Konferenzen vorgestellt und bieten eine Grundlage für weitere Forschungsansätze (Grigoropoulos et al. 2018, Kathis et al. 2019, Keler et al. 2018). Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit zeigt sich in der Vielzahl an gewonnenen Erkenntnissen aus den durchgeführten Simulations- und Simulatorstudien. Eine Besonderheit war dabei das großflächige und komplexe Netz, das das reale Untersuchungsgebiet hochgenau abbildet. Grundlage dafür sind reale Daten der Infrastruktur, der Verkehrssteuerung und des Verkehrsablaufs. Als weiteren Erfolg kann man die massiven generierten Daten aus den Simulationsstudien bezeichnen, sowie das Simulationsnetz eines Teils der Münchner Innenstadt, die für zukünftige

Forschungsansätze nutzbar sind. Die erfassten Daten der Proband*innen aus den Simulatorstudien sind multivariat und können mit weiteren neuartigen Machine-Learning-Ansätzen noch weiter untersucht werden. Hier könnte man, ähnlich dem Ansatz von Hardinghaus et al. (2019), die Präferenz für eine bestimmte Ausprägung der Radverkehrsinfrastruktur in Relation mit Alter und Geschlecht setzen.

Es bedarf weiterer Forschung, um die Reproduzierbarkeit der Ansätze auch für andere Fallstudien und Untersuchungsgebiete zu belegen. Außerdem wurden in RASCH nur ausgewählte Führungsformen urbaner Radschnellwege als Teil einer Radschnellverbindung zum ländlichen oder peripheren Raum untersucht. Grund dafür ist die viel höhere Komplexität der urbanen Infrastruktur und hier besonders der große Einfluss der Verkehrssteuerung auf die Radverkehrsqualität. Eine Erweiterung des Simulationsnetzes um die Streckenabschnitte zum ländlichen und peripheren Raum könnte noch weitere Zusammenhänge mit der Gesamtheit der Radschnellverbindung aufzeigen. Problematisch wäre hier die Verfügbarkeit von Verkehrszählungsdaten, da diese oft nur für größere urbane Knotenpunkte bei der Stadt München vorliegen. Demnach wäre die Erweiterung des Simulationsnetzes mit zusätzlichem Aufwand der Datenerhebung und Kartierung bestimmter Umfelder verbunden.

Literatur

- Amini, Sasan; Twaddle, Heather; Leonhardt, Axel (2016): Modelling of the tactical path selection of bicyclists at signalized intersections. Transportation Research Board 95th Annual Meeting, 2016.
- Grigoropoulos, Georgios.; Keler, Andreas; Kath, Jakob; Kath, Heather; Spangler, Matthias; Hoffmann, Silja (2018); Busch, Fritz: Evaluation of the Traffic Efficiency of Bicycle Highways: A Microscopic Traffic Simulation Study. hEART2018, 2018, 7th symposium arranged by European Association for Research in Transportation (hEART), <https://bit.ly/3hUJpdr> (Abruf am 30.07.2020)
- Hardinghaus, Michael; Cyganski, Rita; Bohle, Wolfgang (2019): Attraktive Radinfrastruktur. Routenpräferenzen von Radfahrenden, <https://bit.ly/3eYOoJ7> (Abruf am 30.06.2020)
- Kath, Heather; Keler, Andreas; Kath, Jakob; Busch, Fritz (2019): Analyzing the behavior of bicyclists using a bicycle simulator with a coupled SUMO and DYNA4 simulated environment. SUMO User Conference 2019, EasyChair, 2019, 99–205. <https://doi.org/10.29007/dcmp> (Abruf am 30.06.2020)
- Kath, Heather; Keler, Andreas; Hosseini, Seyed Abdollah; Grigoropoulos, Georgios; Kath, Jakob (2020): Fahrradsimulator: Anwendungsorientierter Erfahrungsbericht zu Aufbau und Nutzung. 2020 NRVP (kommende Veröffentlichung), 2020.
- Keler, Andreas; Kath, Jakob; Chucholowski, Frederic; Chucholowski, Maximilian; Grigoropoulos, Georgios; Spangler, Matthias; Kath, Heather; Busch, Fritz (2018): A bicycle simulator for experiencing microscopic traffic flow simulation in urban environments. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE, 2018, 3020-3023. <https://doi.org/10.1109/itsc.2018.8569576> (Abruf am 30.07.2020)
- Twaddle, Heather A. (2017): Development of tactical and operational behaviour models for bicyclists based on automated video data analysis. Dissertation, 2017.
- Twaddle, Heather; Grigoropoulos, Georgios; Busch, Fritz (2016a): Integration of an external bicycle model in SUMO. SUMO 2016 – Traffic, Mobility, and Logistics Proceedings, 2016, 93-102.
- Twaddle, Heather; Grigoropoulos, Georgios (2016b): Modeling the speed, acceleration and deceleration of bicyclists for microscopic simulation. Transportation Research Board 95th Annual Meeting, 2016.
- Twaddle, H., Schendzielorz, T., Fakler, O. (2014a): Bicycles in urban areas: Review of existing methods for modeling behavior. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2014, 140-146.
- Twaddle, Heather; Schendzielorz, Tobias; Fakler, Oliver; Amini, Sasan (2014b): Use of automated video analysis for the evaluation of bicycle movement and interaction. Proc. SPIE 9026, Video Surveillance and Transportation Imaging Applications 2014.

Sun, C., Qing, Z. (2017): Design and Construction of a Virtual Bicycle Simulator for Evaluating Sustainable Facilities De-

sign. Transportation Research Board 96th Annual Meeting, 2017.