

# Masterarbeit

## Detektion und Prädiktion von Fahrzeugverkehr mittels Funksensorik

Der zunehmende Straßenverkehr führt mancherorts zu langwierigen und damit kostspieligen sowie umweltschädlichen Staus. Prognosen beziffern die direkten und indirekten Kosten auf ca. 80 Millionen Euro pro Jahr, wovon alleine ca. 5,1 Millionen Euro auf Verzögerungen in innerstädtischen Bereichen entfallen [1]. Insbesondere Gebiete mit einer hohen Dichte an Wohnraum bzw. Gewerbe sind von solchen Verkehrsbelastungen, u.a. aufgrund von heterogenem Durchgangs- und Parkraumsuchverkehr, verstärkt betroffen. Weil bauliche Maßnahmen oftmals aus finanziellen Gründen sowie mangels Freiflächen nicht realisiert werden können, ist eine effiziente Auslastung bestehender Infrastrukturen (z.B. durch intelligente Verkehrsflusssteuerung) eine sinnvolle Option. Erste Angebote, wie der von der Stadt Dortmund aktuell eingeführte Grüne-Welle-Assistent [2], nutzen App-basierten Lösungen. Diese haben den Nachteil, dass nur ein Bruchteil der Verkehrsteilnehmer von diesem Angebot profitiert und zumeist keine aktuellen Verkehrsinformationen berücksichtigt werden. Diese Lücke kann ein flächendeckend installiertes Sensornetz schließen, das erhobene Verkehrsflussinformationen für unterschiedliche Dienste, u.a. Parkplatzbilanzierung, standortspezifische Verkehrszählung oder intelligentes Routing, in Abhängigkeit verschiedener Faktoren (bspw. Verkehrssituation, Emissionen) bereitstellen kann. Ein solches Sensornetz sollte folgende Anforderungen erfüllen: hohe Genauigkeit hinsichtlich der Detektion und Klassifikation unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer, zuverlässiger Betrieb auch bei widrigen Wetterbedingungen, geringe Beschaffungs-, Installations- und Wartungskosten sowie Wahrung der Privatsphäre und Schutz personenbezogener Daten von Verkehrsteilnehmern.

In den vergangenen Jahren hat der Lehrstuhl für Kommunikationsnetze in Zusammenarbeit mit Partnern eine Funksensorik entwickelt und für verschiedene Anwendungsfälle optimiert, welche die zuvor genannten Anforderungen erfüllt. Während die Sensorik eingangs zur Detektion von Falschfahrern an Autobahnen eingesetzt wurde (Falschfahrerwarnsystem) [3], wurden spätere Iterationen zwecks Klassifikation im Rahmen einer Parkplatzbilanzierung [4,5] sowie einer kostengünstigen und modularen Verkehrsflusserhebung in urbanen Szenarien optimiert [6].

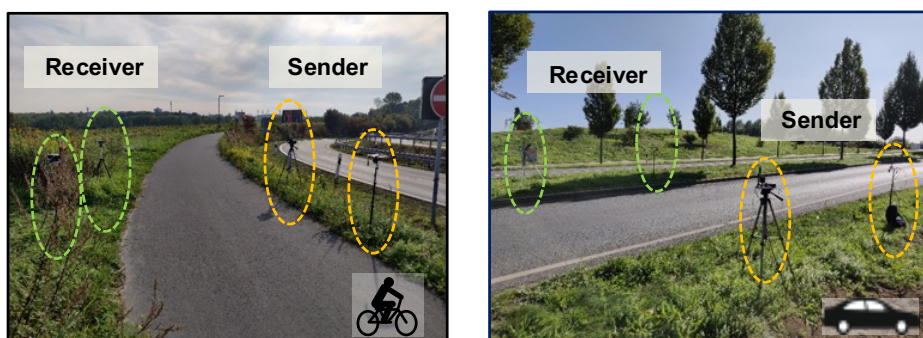
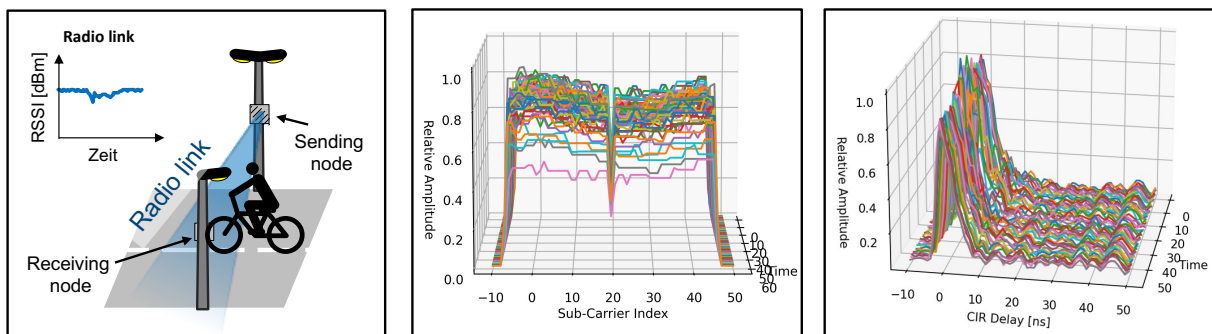


Abbildung 1: Messaufbauten zur Aufzeichnung von Rad- (links) und Kfz-Verkehr (rechts)

Abbildung 1 zeigt Messaufbauten der modularen Funksensorik zur Aufzeichnung von Rad- (links) und Kfz-Verkehr (rechts). Die grundlegende Annahme besteht darin, dass verschiedene Typen von Verkehrsteilnehmern (z.B. Radfahrer, PKW, LKW) charakteristische Interferenzen des Funksignals verursachen (*Fingerabdruck*). Neben der Detektion von Verkehrsteilnehmern erlauben diese hochaufgelösten Fingerabdrücke auch feinere Analysen wie eine Erkennung der Fahrtrichtung sowie eine Klassifikation verschiedener Fahrzeugtypen.

Zu diesem Zweck zeichnet das System pro Funkverbindung kontinuierlich Messwerte (*Traces*) auf, bereitet diese in einem mehrstufigen Vorverarbeitungsprozess auf und extrahiert anschließend diverse statistische Größen für eine Machine Learning-gestützte Detektion bzw. Klassifikation von Verkehrsteilnehmern.

Abbildung 2 zeigt die schematische Darstellung einer minimalen Systemkonfiguration (links) bestehend aus je einer Sende- und einer Empfangseinheit, deren Funkverbindung durch einen Radfahrer gestört wird, sowie beispielhafte Traces einer Funkverbindung für die Funktechnologien WLAN (Mitte) bzw. UWB (Ultra-Wideband, rechts). Während bei WLAN frequenzselektive Kanalinformationen in Form von Channel State Information (CSI) bereitstehen, kann der Funkkanal im Fall von UWB mittels hochpräziser Kanalimpulsantworten (CIR, Channel Impulse Response) analysiert werden. Die hohe Eignung beider Funktechnologien zwecks Detektion bzw. Klassifikation von Verkehrsteilnehmern konnte in einer vorhergehenden Untersuchung bestätigt werden [5].



**Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Funkverbindung bei Durchfahrt eines Radfahrers (links) sowie beispielhafte Traces bei Nutzung von WLAN CSI (Mitte) bzw. UWB CIR (rechts).**

Für eine effizientere Auslastung urbaner Infrastrukturen bedarf es neben einer zuverlässigen und präzisen Erhebung von Verkehrsdaten auch einer anschließenden Verwertung dieser Informationen. Beispielsweise könnten Modelle zur Prädiktion urbaner Verkehrsströme anhand standort-spezifischer Messdaten entwickelt und so für eine intelligente Verkehrssteuerung eingesetzt werden. Neben einer gesamtheitlichen Verkehrsbelastung erlauben diese Modelle auch feingranulare Vorhersagen, die eine fahrzeugspezifische Verkehrsleitung (z.B. Umleitung von LKW aufgrund von erwarteten Emissionswerten) ermöglichen. Da der Aufbau flächendeckender Sensornetze zeit- und kostenintensiv ist, können historische Zähl- und Messdaten die Basis eines solchen Verkehrsmodells bilden, welches durch stichprobenartige Messungen an verschiedenen Knotenpunkten sukzessive aktualisiert wird.

#### Potentielle Arbeitsziele der Arbeit

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit sind folgende Ziele denkbar:

- *State of the Art-Analyse*: Literaturrecherche zu etablierten Verfahren der Verkehrsflussdetektion und -prädiktion
- *Standortanalyse*: Identifizierung geeigneter Standorte mit Fokus auf infrastrukturelle Gegebenheiten und Verkehrsströme
- *Feldtests*: Experimentelle Erhebung urbaner Verkehrsströme (an min. zwei Standorten)
- Konzeptionierung und Evaluierung punktueller Verkehrsflussmodelle (z.B. mittels ARIMA, CNN/RNN) für den Pilotbereich Dortmund Kreuzviertel

**Voraussetzungen:**

- Grundverständnis von Funktechnologien
- Programmierkenntnisse (z.B. Python)

[1] <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/staukosten-der-stillstand-kostet-milliarden/23977168.html>

[2] [https://www.dortmund.de/de/leben\\_in\\_dortmund/nachrichtenportal/alle\\_nachrichten/nachricht.jsp?nid=662297](https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/nachrichtenportal/alle_nachrichten/nachricht.jsp?nid=662297)

[3] S. Händeler, A. Lewandowski, C. Wietfeld, "Passive Detection of Wrong Way Drivers on Motorways Based on Low Power Wireless Communications", In IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), pp. 1–5, May 2014.

[4] M. Haferkamp, M. Al-Askary, D. Dorn, B. Sliwa, L. Habel, M. Schreckenberger, C. Wietfeld, "Radio-based Traffic Flow Detection and Vehicle Classification for Future Smart Cities", In IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Spring) Workshop on Connecting All Things for Enabling Smart Cities (CONTEST), Sydney, June 2017.

[5] B. Sliwa, N. Piatkowski, M. Haferkamp, D. Dorn, C. Wietfeld, "Leveraging the Channel as a Sensor: Real-time Vehicle Classification Using Multidimensional Radio-fingerprinting", In 2018 IEEE 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Maui, Hawaii, USA, November 2018.

[6] M. Haferkamp, B. Sliwa, C. Wietfeld, "A Low Cost Modular Radio Tomography System for Bicycle and Vehicle Detection and Classification", In 2021 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Vancouver, Canada, April 2021.