

Leistungssteigerung städtischer Straßennetze durch automatisierte und vernetzte Fahrzeuge

Eine szenariobasierte Simulationsstudie

Gabriel Tilg¹, Philipp Stüger¹, Gerhard Listl², Matthias Spangler¹, Klaus Bogenberger¹

1) Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Technische Universität München
2) gevas humberg & partner Ingenieurgesellschaft mbH

Ziele

- *Automatisierter und vernetzter Straßenverkehr:* Erheblicher Einfluss auf die Leistungsfähigkeit zukünftiger städtischer Straßennetze zu erwarten
- *Simulationsbasierte Untersuchung:* Eingrenzung des Möglichkeitsraums, Darlegung realistischer Entwicklungen, Vorstellung v. Methodik für Einarbeitung in FGSV-Werke vorzustellen

Hauptergebnisse

- *Kapazitätssteigerungen:* Möglich bei entsprechendem Fahrverhalten der AVF
- *Verkehrsmanagement:* Substantielle Effekte auf Kapazitäten
- *Korrekturfaktoren:* Können Effekte von AVF auf Kenngrößen des Verkehrsablauf numerisch abbilden
- *Simulation:* Große Bedeutung haben sinnvolle Annahmen, hohe Relevanz für praxistaugliche Ergebnisse

Grundlagen

- *Menschlicher Fahrer vs. AVF:* Fahrverhalten, Wahrnehmung, Aktorik, Verkehrsordnung, Vernetzung und Kooperation
- *Modellierung:* Spezielle mikroskopische Modelle für das Fahrverhalten von AVF
- *Wirkungen:* Bislang Fokus auf Verkehrssysteme außerorts; innerorts keine realistische Infrastruktur und kein Transfer in Praxis

Zukunftsszenarien

- *Basis:* Ist-Zustand mit Durchdringungsgrad automatisierter und vernetzter Fahrzeuge (AVF) von 0%
- *Konservativ:* Durchdringungsgrad AVF von 33%, keine Verkehrsmanagementmaßnahme
- *Innovativ:* Durchdringungsgrad AVF von 66%, Sonderfahrstreifen für AVF
- *Visionär:* Durchdringungsgrad AVF von 95%, verkehrsadaptive Reinforcement-Learning-basierte Verkehrssteuerung

Simulation

- *Software:* SUMO als mikroskopische Verkehrsflusssimulationsplattform; vom DLR speziell für wissenschaftliche Zwecke entwickelt
- *HBS-Konformität:* Anpassung der Fahrverhaltensmodelle an das HBS für Berechnung der Korrekturfaktoren
- *Vorgehen:* Fünf Schritte, um Kapazitätsänderungen für realistische Streckenzüge zu ermitteln

Abbildung 1: Vorgehen für die Berechnung von Korrekturfaktoren auf Basis des Fundamentaldiagramms.

Streckenzüge

- *Auswahl:* Vier Streckenzüge in Ingolstadt und München
- *Vielfalt:* Die Knotenpunkte repräsentieren bestmöglich die Infrastruktur in Deutschland
- *Grundlage:* Kalibrierte Netze aus abgeschlossenen Forschungsprojekten

Abbildung 2: Kartenausschnitte inkl. Kennzeichnung der ausgewählten Streckenzüge sowie Darstellung als Simulationsnetz in SUMO. Hier der Streckenzug Ingolstadt groß (IG)

Ergebnisse

Abbildung 3: Fluss-Dichte-Diagramm für das konservative Szenario (Streckenzug IG). Die beobachtete Kapazität steigt aufgrund der reduzierten Variabilität in AVF-Fahrweise, sowie der verringerten Zeittücke.

Abbildung 4: Fluss-Dichte-Diagramm für das innovative Szenario (Streckenzug IG). Der Sonderfahrstreifen mit 66% AVF führt zu einer Kapazitätsreduktion verglichen mit dem Mischverkehrsszenario. Er kann jedoch die Verkehrssicherheit erhöhen.

Abbildung 5: Fluss-Dichte-Diagramm für das visionäre Szenario (Streckenzug IG). Die Reinforcement Learning-basierte Steuerung nutzt die vorhandenen Fahrzeugdaten aus und kann dadurch die erreichbare Kapazität steigern.

Korrekturfaktoren

- *Zweck:* Auf Basis der Simulationsergebnisse kann dargestellt werden, wie analoge empirische Daten verwendet werden könnten, um den Einfluss von AVF auf den Verkehrsablauf im HBS darzustellen.
- *Korrekturfaktoren:* Für spezifische Durchdringungsgrade werden angepasste Funktionen in den Geschwindigkeit-Fluss-Diagrammen eingezeichnet. Diese können als grobe Abschätzung für den Einfluss von AVF auf den Verkehrsablauf dienen.

Abbildung 6: Geschwindigkeit-Fluss-Diagramm inkl. eingefügter Funktionen um den Einfluss von AVF darzustellen.

- *Veranschaulichung:* Mittels eines adaptierten Beispiels aus der HBS-Beispielsammlung wird eine entsprechende Anwendung vorgestellt.

Angepasstes Formblatt 53: Verkehrsqualität und mittlere Fahrgeschwindigkeit auf einer Strecke			
Strecke: Beispiel 53-1			
Teilstrecke i:			1
Grundlagen	1	Straßenkategorie gemäß den RIN (2008)	VS II
	2	angestrebte Qualitätsstufe QSV	D
	3	betrachtete Richtung	Richtung 1
	4	Länge der Strecke [m]	1300
	5	Länge der Teilstrecke L _i [m]	1300
	6	Anzahl und Art der Fahrstreifen	2n
	7	zulässige Höchstgeschwindigkeit V _{zul} [km/h]	50
Verkehrsqualität und Fahrgeschwindigkeit	8	Erwarteter Durchdringungsgrad von AVF [%]	95
	9	Erschließungsintensität (bei angebaute Hauptverkehrsstraßen)	...
	10	Bemessungsverkehrsstärke q _{kl} [Kfz/h]	900
	11	mittlere Fahrgeschwindigkeit V _f [km/h]	48
	12	Berücksichtigung der Aufteilung der Verkehrsdichte f _{kl} [-]	1
	13	fiktive fahstreifenbezogene Verkehrsdichte k _{kl} [Kfz/km]	18,75
	14	Qualitätsstufe der Teilstrecke i QSV	C
	15	mittlere fahstreifenbezogene Verkehrsdichte auf der Strecke k _{kl} [Kfz/km]	18,75
	16	Qualitätsstufe der Strecke QSV	C
	17	mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit auf der Strecke V _f [km/h]	48

Abbildung 7: Beispiel für ein angepasstes Formblatt, um den Einfluss von AVF auf den Verkehrsablauf abzuschätzen.

Danksagung

Die Projektbearbeiter bedanken sich beim Bundesministerium für Digitales und Verkehr, welches die Studie „Leistungssteigerung städtischer Straßennetze“ (FE70.9702019) im Zuge des Forschungsprogramms Stadtverkehr finanziert.

Wichtige Quellen

Ault, J., & Sharon, G. (2021). Reinforcement Learning Benchmarks for Traffic Signal Control, *NeurIPS*.
 Busch, F., Krause, S., Fehn, F., et al (2020). *Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 5: Mischverkehr*.
 COEXIST: CoEXist Consortium. (2020). CoEXist Our Approach. <https://www.h2020-coexist.eu/our-approach/>
 Lopez, P. A., Behrisch, M., et al (2018). Microscopic Traffic Simulation using SUMO. *The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*.
 UR:BAN Konsortium. (2016). *UR:BAN Ergebnisse*.