

Technische Universität München

FE70.970/2019

Leistungssteigerung städtischer Straßennetze

Kurzbericht

Autoren

Dr.-Ing. Gabriel Tilg

Philipp Stüger, M.Sc.

Dr.-Ing. Matthias Spangler

Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Technische Universität München

Dr.-Ing. Gerhard Listl

gevas humberg & partner Ingenieurgesellschaft mbH

München - Karlsruhe

Auftraggeber

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

Die dieser Veröffentlichung zugrundeliegenden Arbeiten wurden im Auftrag des BMDV unter FE-Nr. 70.0970/2019 im Rahmen des Forschungsprogramms Stadtverkehr (FoPS; www.fops.de) durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt ausschließlich beim Autor.

Aufgabenstellung

Automatisierter und vernetzter Straßenverkehr kann erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit zukünftiger städtischer Straßennetze haben. Das Ziel des vorliegenden Projekts „Leistungssteigerung städtischer Straßennetze“, das im Rahmen des Forschungsprogramms Stadtverkehr (FoPS) im Auftrag des BMDV bearbeitet wurde, ist es, ebendiese möglichen Änderungen der Leistungsfähigkeit städtischer Straßeninfrastruktur zu untersuchen. Hauptinstrument in dieser Studie sind dafür mikroskopische Verkehrsflusssimulationen. Auf Basis der Ergebnisse werden Handlungsempfehlungen zum Umgang mit dem Thema des Einflusses von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen (AVF) auf den Verkehrsablauf für Forschung und Praxis entwickelt.

Im Detail umfasst das Projekt drei inhaltliche Arbeitsschwerpunkte:

1. Im Zuge einer umfangreichen Recherche werden existierende nationale und internationale Literatur sowie Ergebnisse von abgeschlossenen Forschungsprojekten analysiert. Die Recherche umfasst insbesondere die Eigenschaften und Wirkungen von AVF inkl. deren Modellierung in Verkehrsflusssimulationsprogrammen. Darauf basierend werden dann plausible Zukunftsszenarien für den städtischen Verkehrsablauf definiert.
2. Im nächsten Schritt werden verkehrstechnische Berechnungen sowie mikroskopische Simulationen durchgeführt, um die Änderung der Leistungsfähigkeit in einem städtischen Umfeld abzuschätzen. Die zuvor definierten Zukunftsszenarien werden hierfür auf repräsentativen Streckenzügen simuliert und ausgewertet. Anschließend werden Korrekturfaktoren für Kennwerte berechnet, welche in den Regelwerken der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) vorkommen. So wird ein Vorschlag unterbreitet, wie die ermittelten Effekte in die Regelwerkswelt eingespeist werden können.
3. Schließlich werden in einem letzten Arbeitsschritt die Ergebnisse interpretiert, sowie mit Mitgliedern der FGSV-Gremien diskutiert. Anhand einiger spezifischer Kennwerte wird dann die mögliche Übertragung der Erkenntnisse in die Regelwerke dargestellt. Abschließend werden Handlungsempfehlungen entwickelt, die Vorschläge unterbreiten, um die Effekte von Automatisierung und Vernetzung des Straßenverkehrs auf die Leistungsfähigkeit städtischer Straßennetze weiter abzuschätzen und wie damit in der Praxis umgegangen werden kann.

Untersuchungsmethode

Um den Möglichkeitsraum einzugrenzen und realistische Entwicklungen darzulegen, wurden in der vorliegenden Studie simulationsbasierte Untersuchungen durchgeführt. Dazu wurden vorbereitend drei Zukunftsszenarien mit unterschiedlichen AVF-Durchdringungsgraden und Verkehrssteuerungsmaßnahmen definiert:

- *Konservativ*: Durchdringungsgrad AVF von 33 %
ohne spezifische Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen,
- *Innovativ*: Durchdringungsgrad AVF von 66 %
mit Sonderfahrstreifen für AVF,
- *Visionär*: Durchdringungsgrad AVF von 95 % mit verkehrsadaptiver
Reinforcement-Learning-basierter Verkehrssteuerung.

Anschließend wurden vier repräsentative Streckenzüge ausgewählt, von denen drei in Ingolstadt und einer in München liegen. Sie beinhalten eine große Bandbreite von Infrastrukturelementen (verschiedene Knotenpunktgeometrien und -zufahrtstypen, ein- und mehrstreifige Streckensegmente, sowie signalisierte und nicht signalisierte Knotenpunkte) und repräsentieren somit gut typische städtische Straßennetze. Geachtet wurde bei der Auswahl nicht nur auf die Häufigkeit des Auftretens der Infrastrukturelemente, sondern auch auf ihren Anteil an der Fahrleistung in einem urbanen Straßennetz. Die so ausgewählten Streckenzüge wurden mittels der Verkehrsflusssimulationssoftware SUMO (Simulation of Urban Mobility) (Lopez et al., 2018) modelliert und anhand realer Daten kalibriert. Bezüglich des Verhaltensmodells der Fahrer wurde auf Konformität mit dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) (FGSV, 2015) geachtet. Verhaltensmodelle für AVF wurden dem CoExist-Projekt (CoEXist Consortium, 2020) entnommen.

Als Kenngrößen wurden die Verkehrsflüsse und -dichten, deren Zusammenhänge, sowie Sättigungsverkehrsstärken und Rückstaulängen evaluiert. Jedes Szenario wurde mit einem Basiszenario verglichen, welches den Ist-Zustand ohne AVF darstellt, um den jeweiligen Effekt auf die Leistungsfähigkeit des Streckenzugs untersuchen zu können. Die Resultate der Simulationsstudie werden dazu verwendet, den im HBS und anderen Richtlinien vorkommenden Berechnungsmethoden Korrekturfaktoren zuzuweisen, welche die Auswirkungen von AVF berücksichtigen.

Zusätzlich wurden Handlungsempfehlungen aus den Berechnungsergebnissen und ergänzenden Fachpersonen-Befragungen abgeleitet.

Untersuchungsergebnisse

Auswertemethodik

Auf Basis der Simulationen können Aussagen zu einer Vielzahl an Parametern getätigt werden. Exemplarisch sind Ergebnisse des konservativen Szenarios in Abbildung 1 dargestellt. Eine gute Übersicht bietet das Fundamentaldiagramm (Zusammenhang zwischen der mittleren Verkehrsstärke und Verkehrsdichte), da es (i) im HBS eine Eingangsgröße für die Dimensionierung ist, (ii) Auskunft über die Verkehrszustände über verschiedene Nachfrageintensitäten gibt, und (iii) die Kapazität sowie das Ausmaß von Stau abzulesen sind.

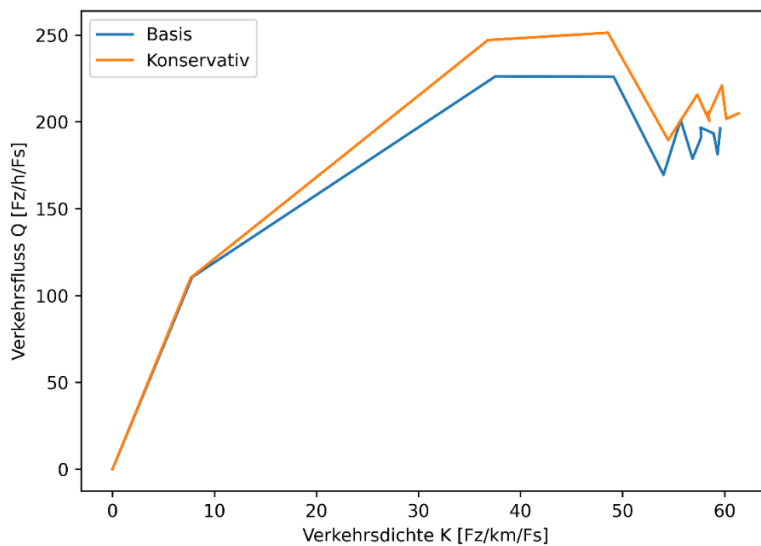


Abbildung 1: Fundamentaldiagramm für das konservative Szenario und den Streckenzug "Ingolstadt klein".

Simulation Konservatives Szenario

Insgesamt ist hier der positive Einfluss der Automatisierung im Bereich der Kapazität signifikant gegeben. Dies ist ein erwartbares Ergebnis, da die AVF mit geringeren Zeitlücken fahren. Allerdings scheint die konstantere Fahrweise wenig Auswirkung auf die Varianz der gestauten Verkehrszustände zu haben, wie der unstete Kurvenverlauf zeigt. Das allgemeine Verkehrsgeschehen bei hohen Verkehrsdichten scheint somit immer noch sehr stochastisch zu sein. Für das konservative Szenario ergeben sich an den vier simulierten Streckenzügen so beispielsweise für die mit Hilfe des Fundamentaldiagramms ermittelten Kapazität Korrekturfaktoren bis zu 1,15 im Vergleich zum Basisszenario.

Simulation Innovatives Szenario

Im innovativen Szenario wurde durch die zusätzliche Implementierung eines AVF-Sonderfahrstreifens auf den untersuchten Streckenzügen kein positiver Einfluss auf die Verkehrsflüsse gegenüber dem Fahren im Mischverkehr automatisierter und konventioneller Fahrzeuge verzeichnet. Dies ist auf die erhöhte Anzahl an Konflikten und komplexe Interaktion in Knoten-

punktbereichen zurückzuführen, wo sich Fahrzeugströme kreuzen, um gewünschte Abbiege Spuren zu erreichen. Das bedeutet, dass solche Sonderfahrstreifen auf Basis anderer Argumente implementiert werden müssten. An den Streckenzügen untersucht wurde eine Sonderfahrstreifen-Ausprägung, die sich in umfangreichen Simulationsläufen an einem isolierten Knotenpunkt als am leistungsfähigsten herausgestellt hat: Die Sonderfahrstreifen liegen, wenn möglich, am linken Rand der Fahrbahn, es werden keine Vorsignale (zum Einordnen vor Knotenpunkten) betrachtet. AVF wird das Fahren auf Busspuren erlaubt. Insgesamt wurden Korrekturfaktoren der mit Hilfe des Fundamentaldiagramms ermittelten Kapazität zwischen 0,9 und 1,4 im Vergleich zum Basisszenario ermittelt.

Simulation Visionäres Szenario

Die Ergebnisse des visionären Szenarios zeigen, dass der hohe AVF-Durchdringungsgrad zusammen mit einer adaptiven Reinforcement-Learning-basierte Verkehrssteuerung einen vergleichsweise starken positiven Einfluss auf den Verkehrsfluss hat. Dies ist bereits bei niedrigen Verkehrsdichten der Fall und liegt zum Teil auch an dem hohen Durchdringungsgrad von 95 % im visionären Szenario und den geringen Zeitlücken der AVF, wie die Vergleichsszenarien aufzeigen. Es ist jedoch anzumerken, dass die Reinforcement-Learning-Steuerung zu einer weiteren substantiellen Erhöhung der Effekte der geringen Zeitlücken führt. D.h., die Optimierung der Signale auf Basis der Daten der Fahrzeuge kann zu enormen Leistungssteigerungen führen, sogar im Vergleich zur klassischen verkehrsabhängigen Steuerung. Im gezeigten Fall wird die Kapazität im Vergleich zum Basisszenario mindestens verdoppelt. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass eine große Variabilität in den Signalzeiten durchaus auch positive Auswirkungen auf den Verkehrsablauf haben kann. Dies ist eine interessante Erkenntnis mit Hinblick auf die im Allgemeinen etablierte Meinung, dass mit möglichst wenig Variabilität die Effekte von kooperativen Funktionen wie einem Ampelphasenassistent wirksam eingesetzt werden können und dadurch größere Verkehrsstärken erzielt werden können. Das visionäre Szenario weist einen Korrekturfaktor der mit Hilfe des Fundamentaldiagramms ermittelten Kapazität von etwa 2,5 aus.

Expertenbefragungen

Abschließend wurden die Simulations- und Berechnungsergebnisse in insgesamt neun Befragungen mit einer Länge zwischen einer und zwei Stunden diskutiert. Diskussionsgegenstand der Interviews waren die Berechnungsergebnisse sowie die absehbare Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens und die Abbildung entsprechender Effekte auf den Verkehrsablauf in den FGSV-Regelwerken. Die Interviews wurden mit Vertretern aus den Arbeitsausschüssen (AA) 3.1 Telematik, AA 3.3 Verkehrsbeeinflussung innerorts, AA 3.10 Theoretische Grundlagen des Straßenverkehrs und AA 3.13 Qualität des Verkehrsablaufs durchgeführt. Zentrale Ergebnisse finden sich im nächsten Kapitel.

Folgerungen für die Praxis

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass bei hohen Durchdringungsgraden, einer entsprechenden Fahrdynamik automatisierter Fahrzeuge, sowie adaptiver Lichtsignalsteuerung auf höhere Kapazitäten erreicht werden können. Dies könnte langfristig ermöglichen, heute für den motorisierten Individualverkehr reservierte Fahrstreifen umzuwidmen und anderen Verkehrsteilnehmenden oder sonstigen Zwecken zur Verfügung zu stellen. In Zukunft sind jedoch weitere Feldtests und Simulatorstudien durchzuführen, um die der Untersuchung zugrundeliegenden Annahmen ggf. zu aktualisieren bzw. zu verifizieren.

Die befragten Fachleute stimmen darin überein, dass der komplexe Zusammenhang von Automatisierung und Leistungsfähigkeit noch nicht abschließend geklärt ist und die Annahmen bzgl. der Parametrisierung der Simulationsmodelle wahrscheinlich einen mehr oder weniger großen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Dies gilt auch für die vorliegende Studie. Es besteht aber Konsens, dass in Zukunft der Einfluss von AVF auf Kenngrößen des Verkehrsablaufs in Regelwerken zu berücksichtigen ist. Möglichkeiten hierzu sind die AVF-Effekte als Korrekturfaktor in das HBS zu übernehmen und in den FGSV-Hinweisen zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation (FGSV, 2006) einen Abschnitt zur Modellierung von AVF hinzuzufügen. Generell wurde betont, dass die Regelwerke den IST-Stand der Technik abbilden und noch wesentlich mehr empirische AVF-Daten vonnöten sind, bevor Empfehlungen zur Parametrisierung und zu Korrekturfaktoren zum AVF in der Fortschreibung der Regelwerke berücksichtigt werden können.

Die vorliegende Studie bildet insgesamt eine solide Grundlage für eine Fortführung der Untersuchungen, da sie aufzeigt, welche Aspekte schwerpunktmäßig zu berücksichtigen sind (z.B.: Fundamentaldiagramme, Empirie und Steuerungsverfahren). Des Weiteren wird eine engere Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Automobilindustrie (u.a. in zukünftigen Forschungsvorhaben) dringend empfohlen, um die integrierten Modelle für AVF in Verkehrsflusssimulationen weiter zu verbessern.

Literaturverzeichnis

- CoEXist Consortium. (2020). CoEXist Our Approach. Retrieved from <https://www.h2020-coexist.eu/our-approach/>
- FGSV. (2006). Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation.
- FGSV. (2015). *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*.
- Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., ... Wießner, E. (2018). Microscopic Traffic Simulation using SUMO. In *The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*. IEEE.

Ein ausführliches Literaturverzeichnis befindet sich im Schlussbericht zum Forschungsvorhaben.