

Ganzheitlicher Planungsprozess und Bewertungsverfahren zur Einführung automatisierter Busse

Zur Bewältigung aktueller Herausforderungen im Bereich der Mobilität – wie Klimawandel, Fachkräftemangel, Sicherheit, Flexibilisierung und Kostendruck – ist der Einsatz automatisierter Fahrzeuge im öffentlichen Verkehr unerlässlich. Dazu zählen vor allem automatisierte Busse, die von der Allgemeinheit genutzt werden können. Mit dieser Technologie ist es zudem möglich, neue Mobilitätsangebote am Markt zu etablieren und insbesondere den ländlichen Raum besser zu erschließen.

Derzeit werden im öffentlichen Raum in Europa keine hochautomatisierten Fahrzeuge ohne die Anwesenheit eines Sicherheitsfahrers eingesetzt. Diese Arbeit wird durch die Erkenntnis motiviert, dass neben der Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie auch die Auswahl geeigneter Strecken den Einsatz automatisierter Busse beschleunigen kann. Da bislang kein entsprechendes Planungsvorgehen existiert, verfolgt diese Forschungsarbeit das Ziel, einen ganzheitlichen Planungsprozess inklusive eines Bewertungsverfahrens zur Identifikation geeigneter Strecken für automatisierte Busse zu entwickeln. Daraus abgeleitet orientierte sich diese Forschungsarbeit an zwei primären Forschungsfragen:

1. Welche Gestaltungsmerkmale benötigt ein ganzheitlicher Planungsprozess für automatisierte Busse und wie ist dieser zu konzipieren?
2. Welche Gestaltungsmerkmale müssen in einem Bewertungsverfahren berücksichtigt und welche Einflussparameter einbezogen werden?

Um die Zielsetzung dieser Arbeit zu erreichen, wird ein vierstufiges Forschungsdesign in Anlehnung an Blessing und Chakrabarti (Forschungsziel, erste deskriptive Studie, präskriptive Studie, zweite deskriptive Studie) ausgewählt. Ziel der ersten deskriptiven Studie ist es, ein grundlegendes Verständnis aufzubauen und den Forschungsfokus zu schärfen. Die drei Forschungsbereiche „Mobilität und Verkehr“, „Automatisiertes Fahren“ und „Verkehrsplanung“ stehen im direkten Bezug zur Zielsetzung dieser Arbeit. Aus diesem Grund wird eine wissenschaftliche Literaturanalyse in diesen Bereichen durchgeführt.

Im Bereich Mobilität und Verkehr wird bei der Analyse der aktuellen Entwicklungen deutlich, dass sowohl die Verkehrsleistung als auch die Mobilitätskosten steigen. Der Pkw bleibt weiterhin das dominante Verkehrsmittel in Deutschland und weltweit. Diese Faktoren tragen unter anderem dazu bei, dass die Treibhausgasemissionen stagnieren. Die Auseinandersetzung mit zukünftigen Lösungsansätzen im Bereich Mobilität und Verkehr zeigt, dass das automatisierte Fahren neue Geschäftsmodelle im Bereich der Elektromobilität und des Bedarfsverkehrs ermöglicht. Aus diesem Grund erweist sich das automatisierte Fahren als eine Schlüsseltechnologie für die Mobilität der Zukunft.

Neben der Definition des Begriffs „Automatisiertes Fahren“ wird die wissenschaftliche Literaturanalyse genutzt, um die Funktionsweise dieser Technologie zu erläutern,

verschiedene technologische Ansätze vorzustellen und einzuordnen sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen zu analysieren. Darauf aufbauend werden die zukünftige Entwicklung inklusive potenzieller Anwendungsfälle des automatisierten Fahrens beschrieben. Die Analyse der unterschiedlichen Technologieansätze im Bereich des automatisierten Fahrens bestätigt die Abhängigkeit dieser Technologie von den Streckengegebenheiten. Insbesondere das hochautomatisierte Fahren ohne Sicherheitsfahrer an Bord (Automatisierungsstufe 4) bezieht sich auf bestimmte Betriebsbereiche. Darüber hinaus wird deutlich, dass auch die rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Streckenauswahl berücksichtigt werden müssen. Zusätzlich verändern sich die Tätigkeiten in den Leitstellen von Verkehrsunternehmen, deren Mitarbeitende beim Einsatz hochautomatisierter Fahrzeuge die Fernüberwachung sowie die Freigabe von Fahrmanövern übernehmen müssen.

Nach einer kurzen Definition des Forschungsgebiets der Verkehrsplanung werden bereits existierende Planungsprozesse der Verkehrs- und Angebotsplanung im ÖPNV sowie aus angrenzenden Forschungsgebieten vorgestellt. Daraus konnten acht Planungsansätze identifiziert werden, die auf ihre Anwendbarkeit im Hinblick auf die Zielstellung dieser Arbeit überprüft werden. Des Weiteren werden die unterschiedlichen Planungsebenen in der Verkehrsplanung betrachtet.

Durch die Analyse dieser drei Forschungsbereiche werden zehn allgemeine sowie neun spezifische Anforderungen an einen ganzheitlichen Planungsprozess für den Einsatz automatisierter Busse abgeleitet. Auf dieser Grundlage werden die zuvor identifizierten Planungsprozesse mit den allgemeinen und spezifischen Anforderungen verglichen. Dabei zeigt sich, dass derzeit kein strukturierter Planungsprozess existiert, der alle Anforderungen an den Einsatz automatisierter Busse berücksichtigt.

Auf Grundlage dieser Erkenntnis wird im Rahmen der präskriptiven Studie ein eigener ganzheitlicher Planungsprozess entwickelt. Als Grundstruktur dienen die fünf Phasen der Verkehrsplanung: Orientierung, Problemanalyse, Maßnahmenuntersuchung, Abwägung und Entscheidung sowie Umsetzung der Konzepte. In die Phase der Maßnahmenuntersuchung werden die fünf Schritte der Angebotsplanung (Netzplanung, Kapazitätsplanung, Fahrlagenplanung, Fahrzeugeinsatzplanung und Personaleinsatzplanung) integriert. Damit werden zwei bestehende Planungsansätze zu einem neuen Planungsprozess kombiniert. Für den gesamten Planungsprozess wird zunächst das Vorgehen für konventionelle Fahrzeuge beschrieben. Anschließend werden die spezifischen Anforderungen für den Einsatz automatisierter Busse in jeder Phase ergänzt. Der Hauptfokus der Ausarbeitung liegt auf den fünf Schritten der Angebotsplanung. Für jeden Schritt werden die notwendigen Arbeitsschritte, Eingangsdaten, Methoden und Ergebnisse definiert. Die Ergebnisse basieren einerseits auf der vorangegangenen Literaturrecherche, andererseits auf einer Best-Practice-Analyse sowie auf eigener Projekterfahrung.

Auf Basis der zusammenfassenden Darstellung aller Planungsschritte wird verdeutlicht, dass sich durch die Berücksichtigung automatisierter Busse die eingesetzten Methoden und die Ergebnisse der Angebotsplanung signifikant

verändern. Die größten Veränderungen resultieren aus der Abhängigkeit von den infrastrukturellen Gegebenheiten der Strecke, dem fahrerlosen Betrieb und der Fernüberwachung in der Leitstelle. Ein zentraler Bestandteil dieses ganzheitlichen Planungsprozesses stellt ein Bewertungsverfahren dar, das im Rahmen der Netzplanung die Eignung und die Kosten von Straßen für den Einsatz automatisierter Busse bewertet.

Die Anforderungen an das Bewertungsverfahren werden aus dem ganzheitlichen Planungsprozess abgeleitet. Eine Analyse der aktuellen Fachliteratur zeigt, dass derzeit kein Verfahren existiert, das sowohl die Eignung als auch die potenziellen Kosten von Linien für automatisierte Busse quantifiziert. Daher wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit ein separates Bewertungsverfahren entwickelt. Es ist in drei Stufen gegliedert und betrachtet nacheinander: Eignung, Kosten und Eignung sowie Kosten und Nutzen sämtlicher Straßen eines Untersuchungsgebiets. Innerhalb des Verfahrens kommen die Wirkungsanalyse, die Nutzwertanalyse, die Kosten-Wirksamkeits-Analyse und die Kosten-Nutzen-Analyse zum Einsatz. Zunächst wird die Eignung auf Basis von 53 verkehrsorganisatorischen und infrastrukturellen Kriterien, wie beispielsweise der Fahrbahnbreite oder der Steigung, bewertet. In der zweiten Bewertungsstufe werden Infrastrukturmaßnahmen berücksichtigt, um die Eignung der Strecken zu verbessern. Dabei werden Kosten und Eignung in Beziehung gesetzt. Abschließend erfolgt ein Vergleich der Kosten mit monetären Nutzenkriterien (Fahrgeldeinnahmen sowie Einsparung von CO₂- und Kraftstoffkosten). Mithilfe der wissenschaftlichen Literaturanalyse, einer Best-Practice-Analyse, 13 Experteninterviews und eigener Projekterfahrung werden die im Bewertungsverfahren zu berücksichtigenden Streckenkriterien, Infrastrukturmaßnahmen und -kosten, gesellschaftliche Konsequenzen sowie Nutzenkriterien ermittelt.

Anhand einer Fallstudie zur Stadt Köthen werden innerhalb der zweiten deskriptiven Studie der ganzheitliche Planungsprozess und das Bewertungsverfahren validiert. Beim Planungsprozess werden die Phasen der Orientierung, Problemanalyse und Maßnahmenuntersuchung validiert. Das Bewertungsverfahren hingegen wird vollständig validiert. Es zeigt sich, dass es mit dem Verfahren möglich ist, ein großflächiges Gebiet hinsichtlich Eignung, Kosten und Nutzen für den Einsatz automatisierter Busse zu bewerten. Besonders hervorzuheben ist, dass für die Bewertung ausschließlich öffentlich zugängliche Daten verwendet werden. Die Ergebnisse der Bewertung werden einerseits tabellarisch in Excel dargestellt und zusätzlich kartografisch mittels QGIS visualisiert. Dadurch können sämtliche Straßen gesamtheitlich und filterbar auf einer Karte dargestellt werden. In QGIS lassen sich die Ergebnisse der drei Bewertungsstufen als separate Layer übereinanderlegen. Diese Darstellung ermöglicht eine gezielte Priorisierung geeigneter Strecken.

Zusammenfassend wird ein ganzheitlicher Planungsprozess inklusive eines Bewertungsverfahrens auf Basis wissenschaftlicher Methoden entwickelt und anhand eines Praxisbeispiels getestet. Das Ergebnis dieser Arbeit stellt somit einen methodenbasierten und praxiserprobten Ansatz dar. Dieser kann zukünftig insbesondere von Kommunen und lokalen Verkehrsunternehmen für die ÖPNV-Planung genutzt werden. Mithilfe der Ergebnisse des Planungsprozesses und des

Bewertungsverfahrens können zudem politische Entscheidungen über die Einführung neuer oder die Änderung bestehender (automatisierter) Buslinien vorbereitet werden. Aus diesem Grund zählen auch politische Entscheidungsträger zur Zielgruppe dieser Arbeit. Nicht zuletzt bieten die Ergebnisse einen Mehrwert für Hersteller automatisierter Busse, da aus der Infrastrukturanalyse eines Bedienungsgebiets zukünftige Entwicklungsschritte zur Erweiterung des Einsatzgebiets abgeleitet werden können.

Sowohl der ganzheitliche Planungsprozess als auch das Bewertungsverfahren wurden für den Einsatz automatisierter Busse in Deutschland konzipiert. Da Verkehrsplanungsprozesse anderer Länder eine hohe Ähnlichkeit zu jenen in Deutschland aufweisen, ist eine Übertragbarkeit auf andere Länder, welche über die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz automatisierter Busse verfügen, möglich. Eine Übertragbarkeit des Planungsprozesses auf andere Verkehrsmittel ist ausgeschlossen, da sich der Planungsprozess und die Angebotsplanung speziell auf den Einsatz von Bussen fokussieren. Da das Bewertungsverfahren auf internationalen Best-Practice-Ansätzen und wissenschaftlichen Quellen basieren, ist eine Übertragbarkeit mit Anpassungen auf andere Länder möglich. Zudem lässt sich das Verfahren auch auf andere Verkehrsmittel übertragen, etwa auf Lieferdienste, Müllabfuhr oder Straßenreinigung, die wiederholt dieselben Strecken befahren. Darüber hinaus stellen Roboterlieferungen oder die Schifffahrt weitere potenzielle Anwendungsfälle dar.

Der wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit liegt in der Entwicklung eines ganzheitlichen Planungsprozesses, der bestehende Planungsprozesse der Verkehrs- und Angebotsplanung kombiniert und um die spezifischen Anforderungen automatisierter Busse erweitert. Der Planungsprozess und das Bewertungsverfahren konnten anhand eines Fallbeispiels validiert werden.

Die Infrastruktur einer Straße kann zwar auf Basis von öffentlichen Daten erhoben werden, jedoch erfordert dies einen hohen manuellen Aufwand. Eine automatisierte Erhebung durch KI-basierte Bildverarbeitung könnte hier einen deutlichen Mehrwert bieten. Zusätzlich ist die Verfügbarkeit digitaler Infrastrukturdaten in den Kommunen entscheidend. Der Aufbau eines digitalen Zwillings der Straßeninfrastruktur sowie die Befähigung der Kommunen zur Datenerhebung sind Schlüsselfaktoren für den Erfolg des Bewertungsverfahrens und stellen – in Anknüpfung an die mit dieser Arbeit erzielten Ergebnisse – den zukünftigen Forschungsbedarf dar.