

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Postfach 4120, 39016 Magdeburg

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg  
Fakultät Maschinenbau  
Dekanat  
z.Hd. Dr. Martin Schönemann

INSTITUT FÜR ENGINEERING  
VON PRODUKTEN UND SYSTEMEN  
Lehrstuhl für Logistik

**Prof. Dr.-Ing.  
Hartmut Zadek**  
Lehrstuhlleiter

Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg

Telefon: +49 391 67-58604

Telefax: +49 391 67-12646

E-Mail: zadek@ovgu.de

Internet: www.ilm.ovgu.de

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom:

Unsere Zeichen:

Durchwahl:

Datum:

Za

-18604

27.05.2025

## **Gutachten**

über die vorgelegte Dissertation von  
**Herrn M.Sc. Sönke Beckmann**

### **„Ganzheitlicher Planungsprozess und Bewertungsverfahren zur Einführung automatisierter Busse**

Automatisierte Busse werden in Zukunft einen hohen Stellenwert in der Mobilität, insbesondere im Hinblick auf den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) einnehmen. Die Gründe sind vielfältig. Automatisierte Fahrsysteme reduzieren das Risiko menschlicher Fehler – die häufigste Ursache von Verkehrsunfällen. Durch präzise Sensorik und schnellere Reaktionszeiten können automatisierte Busse potenziell sicherer fahren als herkömmliche Fahrzeuge. Automatisierte Busse können flexiblere Mobilitätslösungen bieten, insbesondere in ländlichen oder schlecht erschlossenen Gebieten, wo der Betrieb herkömmlicher Busse unwirtschaftlich ist. In Kombination mit elektrischen Antrieben können automatisierte Busse zur Reduzierung von Emissionen beitragen. Ein optimierter Verkehr und geringerer Energieverbrauch pro Fahrgast können den ökologischen Fußabdruck weiter verringern. Durch attraktive öffentliche Transportoptionen können automatisierte Busse den Individualverkehr verringern und dadurch Staus reduzieren. Automatisierte Busse können nahtlos in ein multimodales Transportsystem integriert werden, das verschiedene Verkehrsmittel von öffentlichen Verkehrsmitteln über Fahrräder bis hin zu autonomen Fahrzeugen koordiniert. Langfristig können Personalkosten durch den Einsatz von automatisierten Bussen gesenkt werden, da weniger Fahrer benötigt werden. Zudem können optimierte Routen und effizienter Energieverbrauch zu Kosteneinsparungen beitragen.

Neben allen genannten Gründen führt jedoch der sich jetzt bereits abzeichnende Fahrermangel zu der Notwendigkeit, automatisierte Busse im ÖPNV einzusetzen, wenn das bestehende Beförderungsangebot erhalten bleiben oder gar ausgebaut werden soll. Der Einsatz automatisierter Busse ermöglicht auch neue Mobilitätsdienstleistungen wie On-Demand-Verkehre, eine flexible Last-Mile-Bedienung und eine 24/7-Nutzung. Die Einführung automatisierter Busse bietet viele potenzielle Vorteile, muss jedoch sorgfältig geplant und mit umfassenden Tests sowie der Berücksichtigung von Datenschutz-, Sicherheits- und ethischen Aspekten einhergehen. Zudem ist es wichtig, die Akzeptanz in der Bevölkerung sicherzustellen, um eine reibungslose Einführung und Nutzung zu gewährleisten.

In der Literatur gibt es bislang keine systematischen und umfassenden Planungsansätze für den Einsatz automatisierter Busse. Zwar existieren einige Studien zu Teilaspekten, aber es fehlt an einem ganzheitlichen Planungsprozess, der alle relevanten Faktoren umfasst, einschließlich der Identifikation geeigneter Strecken. Die vorgelegte Dissertationsschrift von Sönke Beckmann zielt darauf ab, diese Lücke zu füllen und einen integrierten Ansatz zu entwickeln.

Neben der Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie ist die Einsatzplanung ein entscheidender Treiber für die Implementierung automatisierter Busse. Zur Verbesserung des letzteren Aspektes konzentriert sich der Autor auf die Entwicklung eines umfassenden Planungsprozesses zur Einführung automatisierter Busse. Dabei nutzt und integriert er bestehende Planungsansätze aus der Verkehrs- und Angebotsplanung, die jedoch bislang nicht speziell auf automatisierte Busse ausgerichtet sind. In jede Phase des Planungsprozesses werden spezifische Anforderungen automatisierter Busse einbezogen.

Nicht jede Straße und jedes Quartier respektive die vorhandene Infrastruktur eignen sich aus heutiger Sicht gemäß des Standes der Fahrzeugtechnologie für den Betrieb automatisierter Busse. Die Implementierung und der Betrieb automatisierter Busse ist mit hohen Investitionen verbunden und kann nicht in kurzer Zeit flächendeckend erfolgen. Vielmehr ist ein kontinuierlicher Aufbau dieser Beförderungskapazitäten nach klaren Prioritäten sinnvoll. Für die Bewertung der Eignung von Straßen für automatisierte Busse wird von Herrn Beckmann ein dreistufiges Bewertungsverfahren entwickelt, das verschiedene Methoden wie Wirkungsanalyse und Kosten-Nutzen-Analyse einsetzt. Dieser Planungs- und Bewertungsprozess wird am Beispiel der Stadt Köthen validiert, um geeignete Straßen und Strecken zu identifizieren und zu priorisieren.

Herr Beckmann verfolgt in seiner Arbeit mehrere Zielsetzungen. Hauptziel ist die Entwicklung eines allgemein gültigen Planungsprozesses und Bewertungsverfahrens für den Einsatz automatisierter Busse in Deutschland unter Berücksichtigung der spezifischen rechtlichen Rahmenbedingungen. Nebenziel ist dabei die Sicherstellung der Praxistauglichkeit durch die Anwendung und Validierung des Planungsprozesses an einem realen Beispiel, nämlich der Stadt Köthen. Durch das Bewertungsverfahren zur Eignung und Priorisierung von Fahrstrecken für einen automatisierten Bus soll einem lediglich temporären Einsatz vorgebeugt und der Aufbau eines dauerhaften Regelbetriebes unterstützt werden. Herr Beckmann will mit seinem entwickelten Planungsprozess und Bewertungsverfahren gleich mehrere Zielgruppen unterstützen: Kommunen, Verkehrsunternehmen, politische Entscheidungsträger und Bushersteller sowie Verkehrswissenschaftler und Mobilitätsforscher.

Der Autor setzt bei seinen Ausarbeitungen auf ein systematisches wissenschaftliches Vorgehen. Die Formulierung seiner Forschungsziele, Hypothesen und Erfolgskriterien basieren auf einer umfangreichen Literaturrecherche zur Identifikation von Forschungslücken und Lösungsansätzen. In einer ersten deskriptiven Studie widmet er sich dem aktuellen Stand der Technik und kann dadurch seine Forschungsfragen präzisieren. Im Rahmen einer präskriptiven Studie entwickelt der Autor einen Lösungsansatz, der auf den definierten Forschungszielen basiert, einschließlich Konzeptentwicklung und Realisierungsplanung. Dabei werden von ihm Anforderungen aus den Bereichen Mobilität, Verkehrsplanung und rechtliche Rahmenbedingungen integriert, um einer ganzheitlichen Sicht gerecht zu werden. Darüber hinaus werden Best-Practice-Beispiele und Experteninterviews zur Erweiterung des Bewertungsverfahrens einbezogen. Im Rahmen einer weiteren deskriptiven Studie erfolgt die Validierung des entwickelten Planungsprozesses und Bewertungsverfahrens durch eine Fallstudie in der Stadt Köthen, um die Allgemeingültigkeit und Anwendbarkeit in der Praxis zu überprüfen. Die Arbeit schließt mit einer kritischen Reflexion der Ergebnisse, mit Handlungsempfehlungen und der Formulierung von weiterem Forschungsbedarf.

Dieses methodische Vorgehen verbindet verschiedene Forschungsfelder, um eine umfassende, ganzheitliche und praxisorientierte Lösung für den Einsatz automatisierter Busse in Deutschland zu entwickeln. Methodisch kombiniert Herr Beckmann in seiner Arbeit qualitative und quantitative Methoden und folgt somit einem abduktiven Vorgehen. In einer ersten Phase geht er induktiv vor und sammelt qualitative Daten mittels Literaturrecherche, Best-Practices und Experteninterviews. Mit Hilfe eines Rating-Systems ermittelt er auf theoretischer Basis für jede Methode einen Nutzwert hinsichtlich der Auswirkungen auf die Einzelfertigung. Mit Hilfe einer

Untersuchung des Stadtgebietes Köthen ermittelt er in einer zweiten, deduktiven Phase quantitative Daten zur Praxiseinschätzung und validiert somit seine Ergebnisse aus der ersten Phase. Am Ende gelingt ihm ein praxisrelevantes Bewertungsverfahren zur Einführung automatisierter Busse.

Herr Sönke Beckmann geht bei der Erarbeitung seiner Ergebnisse sehr fundiert und analytisch vor. Umfangreiche Recherchen, Praxiserfahrungen und -befragungen und eine schlüssige Argumentation kennzeichnen den Weg in seiner Arbeit.

### **Inhalt und Struktur**

Herr Beckmann gliedert seine Arbeit in acht Kapitel. Im ersten Kapitel betrachtet er nach einer Einführung in die Problemstellung und Zielsetzung der Dissertation seine Forschungsfragen. Weiterhin erläutert er seine wissenschaftliche Vorgehensweise und den Aufbau seiner Arbeit.

Im zweiten Kapitel werden von Herrn Beckmann die für seine Forschungsfragen relevanten Grundlagen im Bereich Mobilität und Verkehr erklärt. Dabei definiert er einerseits die erforderlichen Begriffe und geht andererseits auf die Formen des Personenverkehrs ein. Nach der detaillierten Darstellung des status quo zur Mobilität in Deutschland und Europa befasst sich der Autor mit den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Mobilität. Dabei betrachtet er diese ganzheitlich in Form einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Komponente. Es folgt dann eine Zusammenstellung zukünftiger Lösungsansätze im Bereich der Mobilität gegliedert in eine technologische, ökonomische, institutionelle und kulturelle Dimension. Dabei wird vom ihm deutlich das Potenzial automatisierten Fahrens als Schlüsseltechnologie aufgezeigt, um die Mobilität der Zukunft nachhaltig zu verändern und eine Mobilitäts- bzw. Verkehrswende zu erreichen. Das Kapitel zwei schließt mit einer Zusammenfassung und der Ableitung zentraler Anforderungen an den Planungsprozess zur Einführung automatisierter Busse: Berücksichtigung eines flexiblen Bedarfsverkehrs, von Ladezyklen für Elektrobusse und des Akzeptanzgrades automatisierter Busse.

Das dritte Kapitel ist ebenfalls ein Grundlagenkapitel mit Erläuterungen rund um das automatisierte Fahren. Aufbauend auf Begriffserklärungen stellt Herr Beckmann die Stufen des automatisierten Fahrens sowie deren Chancen und Risiken dar. Der Autor hebt hervor, dass eine weitere Zwischenstufe entsteht: Stufe 4 ÖV = Vollautomatisiert fahrerlos im spezifischen Anwendungsfall des Öffentlichen Verkehrs mit Überwachung aus der Ferne anhand einer Betriebsleitstelle mit technischer Aufsicht (Operation Control Center), was insbesondere für

automatisierte Bus- und Taxiflotten von Relevanz sein wird. Es folgt eine sehr detaillierte Betrachtung der Funktionsweise und des status quo im automatisierten Fahren. Beides ist nicht nur für den unbedarften Leser dienlich, sondern von hoher Relevanz für das spätere von ihm entwickelte Bewertungsverfahren. Auch auf den rechtlichen Rahmen zum automatisierten Fahren geht der Autor ein und zieht dabei einen Vergleich zwischen Deutschland, Europa und der Welt. Das Kapitel drei schließt mit den zukünftigen zu erwartenden Entwicklungen nebst Anwendungsfällen beim automatisierten Fahren ab und mündet in eine Zusammenfassung mit Ableitung weiterer Anforderungen an den Planungsprozess zur Einführung automatisierter Busse: detaillierte Streckenanalyse, verkehrsorganisatorische bzw. infrastrukturelle Maßnahmen, realisierbare Fahrzeugtechnologie, rechtliche Rahmenbedingungen, Wetterdaten im Bedienungsgebiet, Personaleinsatzplanung in der Leitstelle.

Im vierten Kapitel analysiert der Autor die Planungsprozesse der Verkehrsplanung. Aufbauend auf den Grundlagen der Verkehrsplanung untersucht Herr Beckmann existierende Planungsprozesse und -modelle in der Verkehrs- und Angebotsplanung von konventionellen Buslinien. Seine Untersuchungen erweitert er um Betrachtungen in angrenzenden Forschungsbereichen wie z.B. Logistikplanung insbesondere die Intralogistik betreffend. Mit den daraus gewonnenen Ergebnissen komplettiert er die in den Kapiteln zwei und drei identifizierten Anforderungen an den Planungsprozess zur Einführung automatisierter Busse: Phasen der Verkehrsplanung und der Angebotsplanung sowie deren integrierte Betrachtung, kontinuierliche Wirkung der Angebotsplanung, Nachfrage, Effektivität und Effizienz im Planungsprozess, Korrektheit, Transparenz und Akzeptanz im Planungsprozess. Abschließend prüft der Autor, wie gut existierende Planungsprozesse und -modelle die Anforderungen erfüllen und somit zur Anwendung geeignet wären. Zusammenfassend stellt er fest, dass keines der betrachteten Planungsprozessmodelle alle Anforderungen an einen ganzheitlichen Planungsprozess zur Einführung automatisierter Busse erfüllt. Damit beantwortet der Autor seine ersten beiden sekundären Forschungsfragen.

Kapitel fünf stellt den ersten Schwerpunkt der Entwicklungsleistung von Herrn Beckmann dar. Hier leitet er einen ganzheitlichen Planungsprozess zur Einführung automatisierter Busse ab, wobei er auf hochautomatisierte Elektro-Busse ohne Fahrer an Bord abstellt, die im öffentlichen Verkehr eingesetzt werden und wenn möglich Bedarfsverkehre abdecken können. Dabei erläutert der Autor detailliert die Phasen Orientierung, Problemanalyse, Maßnahmenuntersuchung, Abwägung und Entscheidung sowie Umsetzung. Die Maßnahmenuntersuchung nimmt dabei einen Schwerpunkt ein, widmet sie sich doch der Netz-, der Kapazitäts- und der

Fahrlagenplanung, der Fahrzeug- und Personaleinsatzplanung sowie der Wirkungsanalyse und Variantenbewertung. Neben der Beschreibung aller Phasen stellt der Autor auch übergreifende Aufgaben hinsichtlich Transparenz und Öffentlichkeitsarbeit sowie Monitoring/ Evaluation und Qualitätsmanagement dar. Der Autor zieht am Ende ein Zwischenfazit in der Form, dass das von ihm entwickelte Verfahren in der Lage ist, alle Anforderungen der automatisierten Busse in das bestehende Verfahren der Angebotsplanung zu integrieren.

Ein zweiter Schwerpunkt der Entwicklungsleistung des Autors erfolgt in Kapitel sechs, wo es um die Erstellung eines umfassenden Bewertungsverfahrens zur Einführung automatisierter Busse geht. Ausgangspunkt seiner Überlegungen sind die Definition von Anforderungen an ein derartiges Bewertungsverfahren und die Betrachtung bereits existierender Verfahren zur Bewertung von Eignung, Kosten und Nutzen. Er bildet fünf Oberkategorien und definiert dazu relevante Kriterien einschließlich relevanter Indikatoren. Am Ende entsteht ein ganzheitliches, dreistufiges Bewertungsverfahren, was Herr Beckmann inhaltlich im Detail mit Hilfe von infrastrukturellen und verkehrsorganisatorischen Kriterien ausgestaltet. Die Bewertung der Eignung erfolgt anhand von 53 Streckenkriterien, die in mehreren Experteninterviews erhoben worden sind. Kosten- und Nutzenaspekte für das Bewertungsverfahren wurden aus Projekterfahrungen, Best-Practices sowie den Zielgrößen der Angebotsplanung abgeleitet. Die Ergebnisse der Nutzen-, der Kosten-Wirksamkeits- sowie der Kosten-Nutzen-Analyse werden grafisch als eingefärbte Straßenkarte dargestellt. Grüne Straßen haben einen hohen Nutzwert bzw. geringen Kosten-Wirksamkeitsindex bzw. positives Kosten-Nutzen-Verhältnis und bieten sich daher für eine Route des automatisierten Busses an.

Damit ist aber die Arbeit von Herrn Beckmann noch nicht beendet. Er führt in Kapitel sieben eine umfangreiche Validierung seines Planungsprozesses und Bewertungsverfahrens am Beispiel der Stadt Köthen mit Realdaten durch. Die Validierung ermöglicht ihm nicht nur ein abschließendes Fazit sondern auch die Ableitung von Handlungsempfehlungen an die unterschiedlichen Zielgruppen sowie eine kritische Reflexion seiner Vorgehensweise. Das Kapitel endet mit einer Bewertung der Übertragbarkeit und der Eignung für den Praxiseinsatz. Ein weiterer Vorteil des in dieser Arbeit entwickelten Ansatzes besteht darin, dass sowohl konventionelle Busse betrachtet werden können als auch der Einsatz automatisierter Busse in einem bestehenden oder neuen Liniennetz bewertet werden kann.

Das letzte Kapitel acht dient der Zusammenfassung und dem Ausblick inklusive der Ableitung weiteren Forschungsbedarfs.

### **Gesamtwürdigung:**

Die Arbeit von Herrn Beckmann ist mit über 700 Literaturquellen, 53 Abbildungen und 51 Tabellen im Hauptteil sehr fundiert und anspruchsvoll. Der Inhalt hinsichtlich des vom ihm entwickelten Planungsprozesses und Bewertungsverfahrens zur Einführung automatisierter Busse ist bislang neu und einzigartig. Notwendige Voraussetzung zur erfolgreichen Betrachtung ist die detaillierte Literaturrecherche sowie aufwendige Erhebung der Praxisanforderungen und -einschätzungen. Dabei ist vom Autor in vorbildlicher Weise ein methodisches Vorgehen entworfen worden, welches qualitative und quantitative Methoden kombiniert. Aufgrund des methodischen Vorgehens gelingt es Herrn Beckmann auf einem hohen wissenschaftlichen Niveau, Zwischen- und Endergebnisse schlüssig herzuleiten. Der Autor überzeugt zudem durch seine Detailtiefe in der Anwendung, was an den entwickelten Kriterienkatalogen sowie der Validierung deutlich wird. Dadurch ist die Arbeit für den Leser schrittweise sehr gut nachvollziehbar – insbesondere mit Blick auf das Gesamtziel, nämlich der Entwicklung eines ganzheitlichen Planungsprozesses und Bewertungsverfahrens zur Einführung automatisierter Busse. Der Autor weist nach, dass der von ihm entwickelte Planungsprozess und das Bewertungsverfahren auch in der Praxis anwendbar und zielführend ist und somit seine Empfehlungen nicht nur wissenschaftlich fundiert, sondern zudem als praxisnah einzustufen sind. Herr Beckmann beantwortet die von ihm aufgestellten Fragestellungen stringent, argumentativ schlüssig und an jeder Stelle für den Leser verständlich.

Herr Beckmann unterstützt mit seinem entwickelten Planungsprozess und Bewertungsverfahren gleich mehrere Zielgruppen. Als Hauptzielgruppen sind Kommunen und Verkehrsunternehmen zu nennen, denn sie profitieren von den Ergebnissen dieser Arbeit originär bei der Planung und Umsetzung von ÖPNV-Initiativen. Die Ergebnisse eignen sich aber auch für politische Entscheidungsträger, fundiertere Entscheidungen zu treffen und verbesserte öffentliche Verkehrsangebote zu schaffen. Hersteller von automatisierten Bussen erhalten wertvolle Informationen über Anforderungen und Einsatzmöglichkeiten, die für die Fahrzeugentwicklung relevant sind. Darüber hinaus leistet diese Arbeit einen wichtigen Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion und fördert die theoretische Auseinandersetzung mit dem noch sehr jungen Forschungsfeld automatisierter Mobilitätslösungen.

Seine fachliche Tiefe in der Thematik zeigte Herr Beckmann auch begleitend zu seiner Promotionszeit durch die Publikation von sechs Peer-Review-Artikeln sowie seine maßgebliche Einbringung bei der Einwerbung weiterer Förderprojekte im Themenfeld zum Automatisierten

Fahren, zuletzt das mFUND-Projekt IBATOURL des Bundesministeriums für Digitalisierung und Verkehr.

Daher halte ich zusammenfassend fest:

Die Arbeit erfüllt vollständig alle Anforderungen an eine Dissertation und zwar in einer sehr hohen, vorbildlichen Qualität in Form und Inhalt. Hervorzuheben ist das vielschichtige methodische Vorgehen mit einer sehr umfangreichen Literaturrecherche, den recherchierten Praxisbeispielen sowie den Befragungen von Experten aus der Praxis. Für die Mobilitäts- und Logistikforschung hat die Arbeit einen sehr großen Stellenwert. Aufgrund des Erkenntnisgewinns und der Anwendungsorientierung wird die Arbeit auch viel Beachtung in der Praxis finden.

Die Dissertationsschrift von Herrn Sönke Beckmann bewerte ich daher mit

**summa cum laude (sehr gut mit Auszeichnung)**

und empfehle ohne Einschränkung der Fakultät die Fortsetzung des Promotionsverfahrens.

Magdeburg, 27. Mai 2025