

---

---

## Zusammenfassung

---

Name: Andrés Vargas Díaz

Thema: Entwurf eines Modells zur Abschätzung des Potenzials autonomer Fahrzeuge im ländlichen Raum

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze, Dipl.-Ing. Moritz von Mörner

---

Aufgrund aktueller demografischer Entwicklungen stellt die Sicherstellung eines ausreichenden Mobilitätsangebots für viele ländlichen Regionen in Deutschland eine große Herausforderung dar. In den meisten ländlich geprägten Regionen ist im Zeitraum 2005-2025 mit einem Rückgang der Bevölkerung zwischen 3 % und 10 % zu rechnen. Im Osten der Bundesrepublik sind sogar noch deutlich höhere Bevölkerungsrückgänge zu erwarten (Böhler-Baedecker et al. 2010, S. 477). Gleichzeitig verändert sich die Altersstruktur der Bevölkerung: Die Anteile der jüngeren Altersgruppen an der Gesamtbevölkerung sinken, während der Anteil der älteren Altersgruppen wächst (Appel 2007, S. 13).

Die Abnahme der Siedlungsdichte führt zur Schließung oder Zentralisierung von Einrichtungen und Angeboten der Grundversorgung, wie Schulen oder Arztpraxen (Böhler et al. 2009, S. 3). Die Vergrößerung der Entfernungen zu diesen Einrichtungen und die disperse Verteilung der Bevölkerung in der Fläche, erschweren die Bündelung der Nachfrage. Aufgrund der Alterung der Gesellschaft sinken außerdem die Schülerzahlen. Für den ÖPNV bedeutet dies eine Verringerung der wichtigsten Nachfragegruppe (Böhler-Baedecker et al. 2010, S. 477). Die wirtschaftliche Basis der Verkehrsunternehmen für die Bereitstellung von Mobilitätsoptionen wird somit zunehmend geschwächt.

Aufgrund der schwierigen Rahmenbedingungen für den ÖPNV im ländlichen Raum ist eine attraktive Gestaltung des Mobilitätsangebots nur schwer oder z. T. nicht zu realisieren. Für eine freie Entfaltung der Mobilität und die soziale Teilhabe sind die Bewohner ländlicher Räume deshalb auf den Pkw angewiesen. Die Zunahme der Pkw-Nutzung aufgrund der Ausdünnung des ÖPNV-Angebots führt gleichzeitig zu einer zunehmenden Unwirtschaftlichkeit der Betriebe.

Um die ÖPNV-Bedienung besser an die Struktur der Nachfrage in ländlichen Regionen anzupassen, besteht die Möglichkeit den Linienverkehr durch flexible Angebotsformen zu ersetzen oder zu ergänzen. Ihr wichtigstes Merkmal liegt in der bedarfsabhängigen Form der Haltestellenbedienung. Damit eine Fahrt stattfindet, muss diese erst vom Fahrgast angefordert werden. Die Haltestellen können außerdem zu festen Zeiten, innerhalb von Zeitintervallen oder zu reinzufälligen Zeiten angefahren werden (Appel 2007, S. 98). So lassen sich lauffleistungsabhängige Kosten verringern, ein kostendeckender Betrieb ist jedoch nicht zu erwarten.

---

---

Da die Personalkosten die anteilig größte Kostengruppe ist, verspricht der Einsatz autonomer Fahrzeuge große wirtschaftliche Vorteile für den öffentlichen Verkehr im ländlichen Raum. Aufgrund der Reduktion der Betriebskosten lassen sich die Frequenz und die Flexibilität der ÖPNV-Bedienung erhöhen.

Angesichts dieses großen Kostensenkungspotenzials ist Ziel dieser Arbeit ein Modell zu erstellen, mit dessen Hilfe verschiedene Einsatzmöglichkeiten autonomer Fahrzeuge in Kombination mit bedarfsabhängigen Bedienungsformen untersucht werden können. Das Modell erstellt keine genaue Prognose über das zu erwartende Verhalten des simulierten Systems, sondern verhilft vielmehr zu einem Verständnis über grundlegende Zusammenhänge. Es bezieht sich auf den Untersuchungsraum Dieburg / Groß-Zimmern / Münster und berücksichtigt nur inner- und zwischenörtliche Verkehre.

Es wurden drei Simulationsszenarien erstellt. Jedes Simulationsszenario setzt sich aus ein Angebots- und ein Nachfrageszenario zusammen. Das erste Simulationsszenario betrachtet vorhandene flexible Bedienungsformen im Untersuchungsraum. Die Simulationsszenarien 2 und 3 sind Zukunftsszenarien für das Jahr 2030. Im zweiten Simulationsszenario werden autonome Sammelverkehre betrachtet und im dritten Simulationsszenario werden individuelle Fahrten unter Nutzung autonomer Pkws abgebildet. Die individuell abrufbaren Pkws verkehren im Flächenbetrieb und die Sammelverkehre im Sektorbetrieb. Beide Mobilitätsangebote sind somit als Ergänzung des Hochleistungs-ÖPNV konzipiert und erfüllen die Funktion der Feinerschließung in der Fläche.

In jeder Gemeinde des Untersuchungsraums werden ein Verknüpfungspunkt mit dem übergeordneten Linienverkehr und mehrere Flächenhaltestellen definiert. Von den Verknüpfungspunkten starten zur vollen und halben Stunde Sammelfahrten bei bestehender Nachfrage zu den Flächenhaltestellen im Sektor, an denen die Fahrgäste abgeholt werden. Die Hinfahrten gehen ohne Endhalt in Rückfahrten über und bringen die Fahrgäste zum Verknüpfungspunkt und/oder zu anderen Flächenhaltestellen. Am Verknüpfungspunkt bestehen für die Fahrgäste Anschlussmöglichkeiten an den übergeordneten Linienverkehr.

Der Flächenbetrieb ähnelt einem konventionellen Taxi-Service, bei dem die individuellen Fahrtwünsche so schnell wie möglich bedient werden. Da die Fahrten zu beliebigen Zeiten stattfinden, ist eine Koordinierung mit dem Linienverkehr ausgeschlossen. Die Verknüpfung mit dem höherrangigen ÖPNV wird dem Fahrgast überlassen.

Die Modellierung der Nachfrage erfolgt auf Basis von Strukturdaten des Untersuchungsraums. Es wird ein Raumstrukturmodell erstellt, das sich im Wesentlichen aus Verkehrszellen und Verbindungen zwischen ihnen zusammensetzt. Das Raumstrukturmodell erfasst außerdem Angaben zu Einwohnerzahlen je Verkehrszelle für den Analyse- und den Prognosezustand (Jahr 2030). Darüber hinaus werden bei der Nachfragemodellierung das Mobilitätsverhalten der Bewohner sowie verschiedene Parameter des ÖV-Grundangebots (Linienverkehr) im Untersuchungsraum berücksichtigt. Modelliert wird die Nachfrage an einem typischen Werktag. Die

---

---

Tagesnachfrage wird anhand von typischen Ganglinien für den ländlichen Raum erst in Stundenwerten auflöst. Anschließend wird sie in fünf-Minuten-Intervalle verteilt. Aus der Kombination von Nachfrage- und Angebotsdaten werden die drei Simulationsszenarien gebildet.

Die Simulationsergebnisse werden sowohl aus Betreiber- als auch aus Nutzersicht in drei Kategorien unterteilt dargestellt: Leistung des Systems, Leistung der Fahrzeuge sowie passagierbezogene Daten. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass das Potenzial der Fahrtenbündelung bei den Sammelverkehren gering ist. Maßgebender Grund dafür ist die räumlich und zeitlich disperse Verteilung der Nachfrage. Eine Möglichkeit das Bündelungspotenzial zu erhöhen besteht in der Reduzierung des Fahrtenangebots. Es wurden deutlich mehr Fahrten angeboten als von den Fahrgästen tatsächlich angefordert. Außerdem erweist sich der Einsatz von Pkws anstatt von Kleinbussen für die Durchführung der Sammelfahrten als geeigneter.

Das Angebot unter Nutzung individuell abrufbarer autonomer Pkws ist zeitlich und räumlich flexibler als der Sektorbetrieb, deshalb bietet es einen größeren Komfort für die Nutzer, zum einen aufgrund kürzerer Fahrten, zum anderen weil der Fahrgast die Möglichkeit hat, seine Fahrt zu einer beliebigen Zeit zu planen. Ein Vorteil aus Betreiberperspektive ist, dass weniger Leerfahrten im Vergleich zum Sektorbetrieb durchgeführt werden. Da der größte Teil der Fahrten im Sektor zwischen den Flächenhaltestellen und nicht zum Verknüpfungspunkt stattfindet, fahren die Kleinbusse oft ohne Fahrgäste zum Verknüpfungspunkt zurück. Beim Flächenbetrieb bleiben die Fahrzeuge am Zielort des zuletzt beförderten Passagiers, bis ein nächster Fahrgast eine Fahrt anfordert. Da keine Fahrten gebündelt werden, müssen jedoch mehrere Fahrzeuge bereitgehalten werden. Ein weiterer sehr interessanter Vorteil dieses Angebots ist die Möglichkeit, den Nutzern verschiedene Fahrzeugtypen für unterschiedliche Fahrtzwecke anzubieten. Der Fahrgast könnte, je nachdem, ob er z. B. alleine zum Büro oder zusammen mit seiner Familie Einkaufen fahren möchte, vor jeder Fahrt entscheiden, ob er mit einem kleinen Pkw oder mit einem Familienauto seine Fahrt durchführt.

Individuell abrufbare Fahrzeuge im Flächenbetrieb eignen sich insgesamt für die Bedienung der im Untersuchungsraum vorhandenen Nachfrage am besten. Der Erfolg flexibler Bedienformen ist aber sehr stark an die örtlichen Gegebenheiten des Bedienungsgebiets geknüpft. Daher ist die Nutzung der in dieser Arbeit dargestellten Simulationsergebnisse für die Planung flexibler Angebotsformen in anderen ländlichen Räumen nicht zu empfehlen. Um das Potenzial zur Ausweitung der vorhandenen flexiblen Bedienformen mit autonomen Fahrzeugen abschätzen zu können, ist jedoch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erforderlich. Das Modell liefert alle hierfür notwendigen Eingangsgrößen. Eine Bewertung der betrachteten Mobilitätsangebote hinsichtlich aller Kosten und Erlöse würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit überschreiten.

Ausgehend von dem Modell in dieser Arbeit können im Rahmen einer detaillierteren Bearbeitung weitere Angebotsformen betrachtet werden, wie z. B. die Bündelung von Fahrten im Flächenbetrieb oder die Integration von Warentransporten in die Mobilitätsdienstleistungen. Ein weiterer Aspekt, der noch zu untersuchen ist, ist der Einfluss veränderter Nachfragebedingungen auf das Verhalten der Systeme.

---

---

## Quellen

---

**Appel, Lars (2007):** Demografische Entwicklung und öffentlicher Personennahverkehr im ländlichen Raum. Fachbereich Bauingenieurwesen Universität Kassel, Dr.-Ing.

**Böhler, Susanne; Jansen, Ulrich; Koska, Thorsten; Schäfer-Sparenberg, Carolin; Arens, Christof; Hillebrand, Philipp; Kindl, Annette; Klinger, Daniela (2009):** Handbuch zur Planung flexibler Bedienungsformen im ÖPNV. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.

**Böhler-Baedecker, Susanne; Jansen, Ulrich; Kindl, Annette; Reuter, Christiand; Schäfer-Sparenberg, Carolin; Walter, Christoph (2010):** Chancen und Risiken flexibler Bedienungsformen im ÖPNV in ländlichen Räumen. In: Informationen zur Raumentwicklung (Heft 7), S. 477-488.