

---

# Digitalisierung im Personenverkehr

*Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät  
der Georg-August-Universität Göttingen*

---

vorgelegt: März 2020

von: Jan Christian Schlüter

aus: Husum, Deutschland



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

A developed country is not a place where the poor have cars.

It's where the rich use public transport.

— paraphrased from Enrique Penalosa, former Mayor of Bogotá, Colombia

Ich widme diese Arbeit meiner ungeborenen Tochter.

**Erstgutachter:**

Prof. Dr. Thomas Kneib, Lehrstuhl für Statistik, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften,  
Georg-August-Universität Göttingen

**Zweitgutachter:**

Prof. Dr. Marc Timme, Lehrstuhl für Netzwerk-Dynamik, Fakultät für Physik,  
Technische Universität Dresden

**Drittprüfer:**

Jun.-Prof. Dr. Holger A. Rau, Lehrstuhl für Experimentelle Wirtschaftsforschung, Fakultät für  
Wirtschaftswissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Digitalisierung im Transportbereich . . . . .	1
1.2	Alternative Bedienformen in ländlichen Gebieten . . . . .	2
1.3	Demand Responsive Transport . . . . .	3
1.4	Möglichkeiten von DRT-Systemen . . . . .	5
1.5	Übersicht über Kooperationen . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Optimierung von Minibustaxiverkehren in Südafrika unter Einbindung von Geoinformationssystemen</b>	<b>9</b>
2.1	Mobilität in Südafrika . . . . .	11
2.1.1	Allgemeines Mobilitätsverhalten . . . . .	11
2.2	Minibustaxiverkehr . . . . .	16
2.3	Anwendungsbasierte Optimierung . . . . .	17
2.4	Zusammenfassung . . . . .	20
	<b>Literatur</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>Digitalisierung im ÖPNV: vom Rufbus zu einem intelligenten nachfrageorientierten System im ländlichen Raum</b>	<b>24</b>
3.1	Bedarfsgerechte Mobilität im ländlichen Raum . . . . .	26
3.2	Das Projektgebiet . . . . .	27
3.3	Das EcoBus-Konzept . . . . .	29
3.4	Datenauswertung . . . . .	31
3.5	Ergebnisse und Fazit . . . . .	36
	<b>Literatur</b>	<b>38</b>

<b>4</b>	<b>Determinants of customer satisfaction with a true door-to-door DRT service in rural Germany</b>	<b>40</b>
4.1	Introduction . . . . .	42
4.2	Existing Research on Public Transportation in rural areas . . . . .	43
4.3	Case study area and Data description . . . . .	45
4.4	Statistical Model . . . . .	48
4.5	Results . . . . .	49
4.6	DRT Satisfaction in Time constrained Groups . . . . .	53
4.7	Conclusion . . . . .	54
	<b>Bibliography</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>Impact Assessment of Autonomous Demand Responsive Transport as a Link between Urban and Rural Areas</b>	<b>59</b>
5.1	Introduction . . . . .	61
5.2	Related work . . . . .	61
5.3	Area of investigation . . . . .	63
5.3.1	Geographic analysis of Bremerhaven . . . . .	65
5.3.2	Mobility behaviour in the urban core and the rural periphery . . . . .	66
5.4	Methodology . . . . .	68
5.4.1	Generation of demand and locations . . . . .	68
5.4.2	Simulation scenarios . . . . .	70
5.4.3	Quality parameters and economic aspects . . . . .	72
5.5	Results . . . . .	72
5.5.1	Rural area . . . . .	72
5.5.2	Rural and urban area . . . . .	73
5.5.3	Cost calculation . . . . .	75
5.5.4	Evaluation and discussion . . . . .	78
5.6	Conclusion . . . . .	79
	<b>Bibliography</b>	<b>81</b>
5.1	Appendix . . . . .	85
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>91</b>

<b>Literatur</b>	<b>93</b>
<b>Weitere Publikationen im Bereich Transport</b>	<b>109</b>

# Abbildungsverzeichnis

1	Modal Split Südafrikas nach Reisezweck . . . . .	12
2	Modal Split der Arbeitswege nach Einkommen . . . . .	13
3	Modal Split der Arbeitswege nach Raumtyp . . . . .	15
4	Darstellung einer MBT Route in Kapstadt . . . . .	18
5	Einfluss demographische Entwicklung . . . . .	26
6	Bevölkerungsentwicklung Kalefeld . . . . .	28
7	Altersaufbau in Kalefeld . . . . .	29
8	Bevölkerungsentwicklung Bad Gandersheim . . . . .	30
9	Bediengebiet vom EcoBus in der Pilotregion . . . . .	31
10	Entwicklung der Nutzeraccounts . . . . .	32
11	Anzahl der Buchungen . . . . .	32
12	Anzahl der Ridepooling . . . . .	33
13	Prozentuale Verteilung der erfolgreichen Buchungen . . . . .	34
14	Verteilung der erfolgreich durchgeführten Buchungen nach Tageszeit . . . . .	35
15	Verteilung der erfolgreich beförderten Fahrgäste nach Wochentag . . . . .	36
16	Service areas of EcoBus Pilots . . . . .	47
17	Gender and age groups of respondents . . . . .	50
18	Bremerhaven and settlements . . . . .	64
19	Road infrastructure in Bremerhaven . . . . .	65
20	Modal split according to number of trips in percent . . . . .	67
21	Average number of daily trips per capita according to area . . . . .	67
22	Bremerhaven and eleven settlements used in the simulation setup . . . . .	69
23	Average waiting times firstDRT Scenario . . . . .	85
24	Average waiting times second DRT Scenario . . . . .	85
25	Relative occupancy of DRT Vehicles in first scenario . . . . .	86
26	Relative occupancy of DRT Vehicles in second scenario . . . . .	86

# Tabellenverzeichnis

1	Kennzahlen Minibustaxiverkehre . . . . .	18
2	Kostenschätzung pro Fahrzeug . . . . .	19
3	$CO_2$ -Emissionseinsparungen . . . . .	19
4	Variables used in regressions . . . . .	49
5	Stated reason for using the EcoBus . . . . .	50
6	Reported satisfaction levels . . . . .	51
7	Regression output . . . . .	52
8	Statistical models . . . . .	53
9	Rural population sample scenarios . . . . .	72
10	Relative change of values compared to the DRT scenario with 1,800 vehicles . . .	73
11	Rural and urban population sample scenarios . . . . .	74
12	Relative change of values compared to the DRT scenario with 4,500 vehicles . . .	74
13	Operational and environmental costs . . . . .	77



# Abkürzungsverzeichnis

<b>AV</b>	autonomous vehicle
<b>BBSR</b>	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
<b>BLS</b>	Bayerisches Landesamt für Statistik
<b>BMVI</b>	Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur
<b>BRT</b>	Bus Rapid Transit
<b>CBD</b>	Central Business District
<b>DRT</b>	Demand Responsive Transport
<b>DVRP</b>	Dynamic Vehicle Routing Problem
<b>EFRE</b>	Europäischer Fond für Regionale Entwicklung
<b>FTS</b>	flexible Verkehrsdienste
<b>ICT</b>	Information Communication Technology
<b>MaaS</b>	Mobility as a Service
<b>MATSim</b>	Multi Agent Transport Simulation
<b>MBTV</b>	Minibustaxiverkehr
<b>MIT</b>	motorised individual traffic
<b>MIV</b>	motorisierter Individualverkehr
<b>NHTS</b>	National Household Travel Survey

<b>OLOGIT</b>	ordered logit model
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>OR</b>	odds ratios
<b>OSM</b>	OpenStreetMaps
<b>ÖV</b>	Öffentlicher Verkehr
<b>PKW</b>	Personenkraftwagen
<b>POI</b>	point of interest
<b>QGIS</b>	geographic information system
<b>RGB</b>	Regionalverbund Großraum Braunschweig
<b>SAV</b>	shared autonomous vehicle
<b>TNC</b>	transportation network companies
<b>TRP</b>	Taxi Recapitalisation Programme
<b>VKT</b>	vehicle kilometer traveled
<b>ZVSN</b>	Zweckverband Verkehrsverbund Süd-Niedersachsen

# 1 Einleitung

## 1.1 Digitalisierung im Transportbereich

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) durchlebt aktuell einen Wandel, welcher durch die Innovationen und Entwicklungen im Bereich der Informationstechnologien vollzogen wird. Ein weiterer Megatrend der letzten Jahre ist die Veränderung zu einer nachhaltigen und umweltbewussten Gesellschaft. Nach jahrzehntelanger politischer Priorisierung des motorisierten Individualverkehrs vollzieht sich langsam ein gesellschaftlicher und politischer Umbruch hin zu neuen Mobilitätskonzepten, die durch den demographischen Wandel, die Sparpolitik sowie Umwelt- und Klimabedenken induziert werden (Wallin Andreassen 1995).

Neue Mobilitätsdienste gehen auf die heterogenen Verbraucherpräferenzen ein, denen die traditionellen ÖPNV-Dienste nicht gerecht werden konnten. So hat sich in den letzten Jahren ein Wandel auf der Nachfrageseite nach Mobilität entwickelt. Eine gleichzeitige Verschiebung in der Automobil- und Dienstleistungsindustrie führt zu neuen Anbietern von gemeinsam genutzten Mobilitätsdiensten, einem traditionell öffentlich dominierten Sektor.<sup>1</sup>

Die Angebotsseite des Marktes verändert sich daher auch mit sogenannten Mobility-as-a-Service (MaaS)-Konzepten (Aapaoja et al. 2017). Die meisten dieser neuen Modi beheben die Mängel der traditionellen ÖPNV-Dienste, z. B. den Mangel an Flexibilität und Angebot in ländlichen Gebieten. Aufgrund des Potenzials, die Abhängigkeit von Autos und die Autonutzung für die Menschen in ländlichen Gebieten zu verringern, können innovative ÖPNV-Konzepte eine wesentliche Rolle bei einer Verkehrsverlagerung spielen oder zumindest die wirtschaftlichen Herausforderungen eines ländlichen ÖPNV-Systems, die durch die Verstädterung und die abnehmende Landbevölkerung verursacht werden, abmildern.

Für die ländlichen Gebiete mit geringerer Bevölkerungsdichte unterscheiden sich die Entwicklungen jedoch erheblich von denen in städtischen Gebieten, wo vielfältige neue Verkehrsmittel zur Verfügung stehen, z. B. E-Scooter oder Car-Sharing-Dienste. Viele Verkehrsmittel sind auf-

---

<sup>1</sup>In vielen Entwicklungsländern sind Mobilitätsdienste vom informellen Sektor dominiert, wie in Kapitel 2 gezeigt wird.

grund fehlender Größenvorteile nicht realisierbar, z. B. wegen der geringen Fahrgastzahlen, die eine U-Bahn oder Straßenbahnlinie in bevölkerungsschwachen Gebieten ineffizient machen. Folglich gibt es in diesen Gebieten hauptsächlich Busse, Eisenbahndienste und einige Taxidienste. Daher ist der Anteil des ÖPNV an der Gesamtmobilität immer noch gering (Pucher und Renne 2005). In den letzten Jahrzehnten wurden jedoch der feste Fahrplan und die festen Liniendienste, z. B. Busse und Stadtbahnen, durch flexiblere und nachfrageorientierte Verkehrsmittel ergänzt oder ersetzt (Mounce et al. 2018). Während die ersteren konventionellen Verkehrsträger stark reguliert sind, werden die letzteren neuen Verkehrsträger nur langsam reguliert. Diese Umstände sind sowohl Ergebnis als auch Grund für neue Mobilitätsanbieter auf den Märkten, insbesondere in städtischen Gebieten, die von einem unregulierten und innovativen Umfeld profitieren. Neue Verkehrsträger in ländlichen Gebieten sind jedoch nur spärlich vorhanden, da Innovationen Zeit und politische Unterstützung benötigen, um sich in weniger besiedelte Regionen zu verbreiten. Unter diesen Prämissen können innovative Mobilitätsdienste dazu beitragen, das geringe Angebot und die geringe Nachfrage nach öffentlichen Verkehrsmitteln in ländlichen Gebieten umzukehren (vgl. Kapitel 3). Für viele Innovationen im Verkehrssektor gibt es bestimmte IT-Anforderungen, die in den entwickelten Ländern üblicherweise erfüllt werden. In Entwicklungsländern kann die Situation jedoch anders sein und die Innovationen sind weniger verstreut, sodass viele der hier beschriebenen neuen Verkehrsmittel und Technologien noch nicht in allen Bereichen weltweit einsetzbar sind (vgl. Kapitel 2).

## 1.2 Alternative Bedienformen in ländlichen Gebieten

Um diese Disparität mit dem ländlichen Raum zu beheben, wird in Deutschland aufgrund der besonderen Anforderungen schon seit den 1970er Jahren mit alternativen Bedienformen im ÖPNV experimentiert. Unter alternativen Bedienformen werden Systeme verstanden, welche nicht dem klassischen Linienverkehr mit festen Fahrplänen entsprechen und mindestens eins der folgenden Kriterien erfüllen (Steinbrück und Küpper 2010):

- ▷ variabler Fahrzeugeinsatz,
- ▷ Bedienung nur bei Bedarfsanmeldung,
- ▷ Bedienung weicht ab von der Linien und/oder Haltestellenbindung.

In der Regel ist eine Bedarfsanmeldung vor Fahrtbeginn durchzuführen um Leerfahrten und Umwege zu vermeiden. Die ökonomische Effizienz dieser Bedienform wird im Erfolgsfall durch die geringe Anzahl an Leerfahrten, Einsparungen bei Personal und Fahrzeugen sowie große



Flächenabdeckung erreicht (Steinbrück und Küpper 2010). Zu berücksichtigen bleibt, dass die ökonomische Effizienz eines solchen Systems selten den Bereich der Kostendeckung im ländlichen Raum erreicht und dahingehend weiterhin Zuschüsse benötigt (Böhler et al. 2009a). In Anbetracht der Aufgabe des Staates gleichwertige Lebensverhältnisse in den Regionen herzustellen, bzw. zu erhalten, ist das Bereitstellen eines flächendeckenden, attraktiven und kostengünstigen ÖPNV wichtig um Mobilität für die gesamte Bevölkerung bereitzustellen (Grundgesetz 2019 und Steinbrück und Küpper 2010). Entsprechend sind neue Entwicklungen im Transportbereich auch in den geringer besiedelten Regionen einzusetzen und zu erproben.

### 1.3 Demand Responsive Transport

Ein Beispiel für Innovation im Transportbereich sind Demand Responsive Transport (DRT)-Systeme. Diese DRT-Systeme sind eine technologische Weiterentwicklung der früheren Rufbus-Dienste, die in den 1970er Jahren verfügbar waren (Guenther 1970; Gustafson und Navin 1973; Li und Quadrifoglio 2010). Viele der früher zweckgerichteten Rufbus-Dienste werden nun zu Fahrten überführt, die sich an die breitere Bevölkerung richtet, mit dem Ziel einer effizienten Nutzung der Ressourcen bzw. neuen Geschäftsmodellen.

Rufbus-Dienste oder DRT-Dienste sind üblicherweise zwischen regulären Bus- und Taxidiensten angesiedelt. Als Beispiel beschreiben Wang et al. (2015) DRT-Dienste wie folgt: (1) Der Dienst ist öffentlich zugänglich, (2) es kommen Kleinbusse oder Kleinwagen zum Einsatz, (3) je nach Nachfrage wird die Strecke und Zeit dynamisch optimiert und (4) der Fahrpreis ist wie bei herkömmlichen öffentlichen Diensten pro Fahrgast zu zahlen.

DRT-Konzepte werden auch als flexible Verkehrsdienste (FTS) bezeichnet (Velaga et al. 2012). Diese FTS- oder DRT-Dienste können unterschiedlichen Strukturen und Ausstattungen folgen: Zum einen kann der Umfang der Streckenflexibilität variieren, z.B. kann er virtuellen Haltestellen folgen oder ist auf das Abholen und Absetzen entlang bestimmter Gebiete beschränkt, oder er kann als echter Tür-zu-Tür-Dienst angeboten werden. Wesentliche Unterscheidungen im System kann es bei den Vorbuchungszeiten geben. Einige FTS erlauben Buchungen mit einer Vorbuchungszeit von mehreren Tagen, während andere Dienste auf Vorbuchungszeiten von einer Stunde oder nur auf Sofortfahrten beschränkt sein können. Die spezifische technische Infrastruktur hängt hauptsächlich von der vorgesehenen Form ab, die von den Betreibern und den lokalen Verkehrsbehörden festgelegt wird. So deuten Untersuchungen zu idealen FTS-Ausgestaltungen für spezifische Umstände darauf hin, dass bestimmte Merkmale eines Einsatzgebietes bei der jeweiligen Dienstaufstellung berücksichtigt werden müssen (Velaga et al. 2012).

In Kombination mit den Begriffen DRT und FTS werden häufig die Konzepte des Ride-Sharing, des Ride-Pooling, des Ride-Sourcing und des Ride-Hailing erwähnt (Machado et al. 2018). Diese Begriffe, die häufig synonym verwendet werden, unterscheiden sich in mehreren Dimensionen, z. B. der liefernden Einheit oder dem technischen Aufbau, erheblich. Es bestehen jedoch Ähnlichkeiten, da die meisten Konzepte vergleichbare Ziele haben, z. B. die Reduzierung der Reisekosten pro Person oder eine verminderte Umweltbelastung durch geringere Emissionen im Vergleich zu individuellen Fahrten.

Mitfahrgelegenheiten beziehen sich im Allgemeinen auf die Kombination von Pendelfahrten in einem Fahrzeug. Im Vergleich zu Fahrgemeinschaften ist es privat organisiert und auch privat betrieben, z. B. teilen sich Mitarbeiter desselben Unternehmens ein Auto für die Fahrt. Fahrer und Passagier(e) teilen sich also ein identisches oder ähnliches Ziel. Es wurde argumentiert, dass die Mitfahrgelegenheit nicht nur aus Profitgründen motiviert ist (Chan und Shaheen 2012). Ride-sourcing kann gleichbedeutend mit Mitfahrgelegenheit verwendet werden (Jin et al. 2018). Initiativen zur Mitfahrgelegenheit beziehen sich oft auf Zeiten knapper Ressourcen und geringerer Wohlfahrt, z. B. während des Zweiten Weltkriegs. Ferguson (1997) verbindet die Verringerung von Fahrgemeinschaften für die USA zwischen 1970 und 1990 mit der erhöhten Anzahl von Fahrzeugen pro Haushalt und geringeren Kosten, z. B. Treibstoffkosten.

Fahrgemeinschaften erfordern eine Organisationseinheit, die die Einzelfahrten zu geteilten Fahrten zusammenführt. Diese Organisationseinheit ist heutzutage ein Information Communication Technology (ICT)-System, das einen Algorithmus zur Fahrzeugdisposition und einen Routing-Algorithmus enthält, der Echtzeit-Lokalisierungs- und Fahrplananforderungsdaten verwendet, die ähnliche Fahrplananfragen einem bestimmten Fahrzeug entlang einer dynamischen Route zuweisen. Das Konzept des Pooling kombiniert die Eigenschaften von Fahrgemeinschaften und Mitfahrgelegenheiten, wenn beispielsweise eine Verkehrsbehörde einen Mobilitätsdienst auf Abruf anbietet, bei dem Fahrgäste ein Fahrzeug anfordern, das von einem Fahrer zu einem Zielort transportiert werden soll. Wenn keine weiteren Fahrten entlang der Strecke gepoolt werden, weist der angebotene Dienst für den Kunden alle Merkmale von Mitfahrgelegenheiten auf, abgesehen davon, dass er während und entlang der Strecke öffentlich zugänglich ist.

Was die Frage des Anbieters von Mobilitätsdiensten in ländlichen Gebieten betrifft, so können entweder öffentliche oder private Einrichtungen Mitfahrgelegenheiten oder Fahrgemeinschaften anbieten. In Anbetracht des relativ hohen Subventionsbedarfs für den Transport in Gebieten mit geringer Bevölkerungsdichte, der auf höhere Kosten im Vergleich zu möglichen Einnahmen zurückzuführen ist, werden öffentliche Einrichtungen jedoch wahrscheinlich weiterhin für die Be-

reitstellung von Mobilitätsdiensten zuständig sein. Soder und Peer (2018) stellen beispielsweise fest, dass die Mobilitätsversorgung durch Arbeitgeber in einem österreichischen ländlichen Gebiet sozial und wirtschaftlich ineffizient ist. Die Forschung zu den Triebkräften der DRT-Nutzung ist noch genauso spärlich wie die betrieblichen DRT-Dienste. Daher liegen nur wenige Erkenntnisse über relevante Faktoren für die DRT-Nutzung vor. Wang et al. (2015) kategorisieren sie in dienstleistungsbezogene, gebietsbezogene und personenbezogene Faktoren. Wartezeit, Zeit im Fahrzeug, Servicehäufigkeit und die allgemeine Zeit- und Routenflexibilität sind dienstleistungsbezogene Faktoren, die die DRT-Nutzung beeinflussen (Tyrinopoulos und Antoniou 2008 und Takeuchi et al. 2003; vgl. Kapitel 4).

## 1.4 Möglichkeiten von DRT-Systemen

Damit ein Verkehrsmittel von vielen Kunden genutzt werden kann, muss der Nutzen die Kosten übersteigen, insbesondere im Vergleich zu einzelnen Verkehrsmitteln, z. B. dem Auto (vgl. Kapitel 5). Daher werden in diesem Zusammenhang häufig Flexibilität und Verfügbarkeit genannt. Die DRT-Systeme stellen sich diesen Herausforderungen und sollen eine flexible und finanziell tragfähige Transportdienstleistung bieten. Gleichzeitig können DRT-Dienste es ermöglichen, verschiedene Transportleistungen zu kombinieren, indem sie Dienstleistungen für bestimmte Nutzergruppen, z. B. Fahrten für medizinische Untersuchungen, mit abdecken. Insgesamt können sich gesamtgesellschaftliche Effizienzen ergeben, wenn die neuen Verkehrsdienste unter Berücksichtigung der regionalen Gegebenheiten umgesetzt werden.

Durch die Verringerung der sozialen Ausgrenzung aufgrund mangelnder Mobilität kann sie einen weiteren Beitrag zur Wiederbelebung ländlicher Gebiete leisten (J. Farrington und C. Farrington 2005). Fransen et al. (2015) zeigen, dass mangelnde Mobilität zu sozialen Benachteiligungen beiträgt. Lopez Iglesias et al. (2018) zeigen das Potenzial für die ländliche Entwicklung auf, indem sie das ländliche Hinterland mit lokalen Funktionsräumen verbinden (vgl. Kapitel 4). Auch Hough und Rahim Taleqani (2018) kommen zu dem Schluss, dass die technologischen Entwicklungen die ländlichen Gebiete aufgrund der höheren Lebensqualität und der besseren Erreichbarkeit durch innovative Verkehrsmittel wahrscheinlich wiederbeleben werden. Langfristig werden Analysen des induzierten Reiseeffekts, d. h. der Schaffung von zusätzlicher Verkehrsnachfrage durch ein erweitertes Mobilitätsangebot, von Interesse sein (Rayle et al. 2016).

Wenn es einem DRT-Dienst gelingt, die private individuelle Autonutzung zu ersetzen, ergeben sich direkte und indirekte Umweltvorteile. Ein direkter Effekt kann durch weniger Fahrzeugemissionen erzielt werden, wenn durch DRT Fahrgemeinschaften gebildet werden. Indirekte

Effekte beziehen sich auf weniger Verkehr und damit weniger Staus, weniger zusätzliche Fahrten bei der Parkplatzzsuche und freiwerdende Parkplätze. Für ländliche Gebiete ist der Mangel an Parkplätzen unintuitiv, vorausgesetzt, es gibt viel Platz und somit sind die Preise für Land im Vergleich zu dicht besiedelten Gebieten niedriger.

Allerdings können die topographischen Gegebenheiten den verfügbaren Raum, z. B. für Parkplätze, auch in ländlichen Gebieten einschränken. Im Kontext des ländlichen Tourismus hat beispielsweise der DRT-Dienst EcoBus in Mitteldeutschland die Erreichbarkeit von Bergskigebieten während der Schneeperioden erleichtert, während einige Straßen wegen des Mangels an Parkplätzen im Harzgebiet blockiert waren. Wie Le-Klähn und Diem-Trinh (2014) feststellen, spielt der ÖPNV jedoch noch immer nur eine geringe Rolle im Tourismus für abgelegene oder ländliche Gebiete. Daher können innovative Ansätze für den ÖPNV, wie z. B. automatisierte DRT-Systeme, dazu beitragen, Touristen für ländliche Regionen zu gewinnen. Die Bedeutung vom ÖPNV für einen nachhaltigen ländlichen Tourismus wurde von Tomej und Liburd (2020) hervorgehoben.

Eine Herausforderung bei den neuen Mobilitätsdiensten ist die Konsolidierung mehrerer Dienste, z. B. Taxidienste. Da der DRT-Dienst zwischen dem regulären Busverkehr und dem Taxidienst positioniert werden kann, könnte letzterer vom Markt verdrängt werden. Für bestimmte Aufgaben kann ein DRT-Dienst jedoch immer noch zu ineffizient oder unzureichend sein, sodass die regulären Taxidienste diese Marktnische ausfüllen könnten. Letztendlich könnten einige Anbieter sich verlagern oder in einen öffentlichen DRT-Dienst einbezogen werden, während andere übrig bleiben, um die übermäßige Nachfrage zu befriedigen.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Vielfalt der Verkehrsdienste das ÖPNV-Angebot insgesamt verbessern kann und langfristig eine wünschenswerte Situation darstellen sollte. Daher sind die Verkehrsbehörden verantwortlich, die Zusammenarbeit zu verstärken, um ihren Fahrgästen integrierte Dienstleistungen anzubieten. Intuitiv sollten neue ländliche ÖPNV-Lösungen die Segmentierung unter den Anbietern mildern, um ein integriertes und breites Angebot zu ermöglichen (Hough und Rahim Taleqani 2018). Allerdings müssen die Finanzierungsstrukturen (insbesondere die Subventionen) entsprechend angepasst werden. Auch hier ist die Zusammenarbeit zwischen den Anbietern der Schlüssel für die Zukunft eines innovativen ÖPNV-Angebots.



## 1.5 Übersicht über Kooperationen

Die Publikationen in den folgenden Kapiteln waren Kooperationsarbeiten von verschiedenen Wissenschaftlern, aufgrund dessen erfolgt hier eine Erläuterung der Anteile des Autors dieser Schrift.

### **Kapitel 2: Optimierung von Minibustaxiverkehren in Südafrika unter Einbindung von Geoinformationssystemen**

Diese Publikation ist eine gemeinsame Arbeit mit Leif Sörensen, Johannes Simons und Justin Coetzee. Jan Schlüters Anteil ist: Organisation und Planung, Analyse, Erstellung der Forschungsfrage, Untersuchung und Forschung, Datenkuration, Methodik, Ressourcen, Leitung und Aufsicht, Validierung, Mitverfassen des Original-Manuskripts. Der Anteil von Leif Sörensen besteht aus folgenden Teilen: Datenkuration, Untersuchung und Forschung, Software, Untersuchung und Forschung, Überarbeiten und Editieren vom Original-Manuskript. Der Anteil von Johannes Simons besteht aus: Untersuchung und Forschung, Datenkuration, Untersuchung und Forschung, Software, Mitverfassen des Original-Manuskripts. Weiterhin besteht der Anteil von Justin Coetzee aus Datenkuration und Ressourcen.

### **Kapitel 3: Digitalisierung im ÖPNV: vom Rufbus zu einem intelligenten nachfrageorientierten System im ländlichen Raum**

Diese Publikation ist eine gemeinsame Arbeit mit Leif Sörensen und Jörg Lahner. Jan Schlüters Anteil ist: Organisation und Planung, Analyse, Erstellung der Forschungsfrage, Untersuchung und Forschung, Datenkuration, Methodik, Ressourcen, Leitung und Aufsicht, Validierung, Mitverfassen des Original-Manuskripts. Der Anteil von Leif Sörensen an dieser Arbeit war: Untersuchung und Forschung, Datenkuration, Software, Mitverfassen des Original Manuskripts. Weiterhin war der Anteil von Jörg Lahner an der Arbeit: Validierung, Überarbeiten und Editieren vom Original-Manuskript.

---

#### **Kapitel 4: Determinants of customer satisfaction with a true Door-to-Door DRT service in rural Germany**

Diese Publikation ist eine gemeinsame Arbeit mit Niklas Avermann. Jan Schlüters Anteil ist: Organisation und Planung, Analyse, Erstellung der Forschungsfrage, Untersuchung und Forschung, Methodik, Ressourcen, Leitung und Aufsicht, Validierung, Mitverfassen des Original-Manuskripts. Niklas Avermann's Anteil ist: Organisation und Planung, Datenkuration, Analyse, Untersuchung und Forschung, Methodik, Software, Validierung, Mitverfassen des Original-Manuskripts.

#### **Kapitel 5: Impact Assessment of Autonomous Demand Responsive Transport as a Link between Urban and Rural Areas**

Diese Publikation ist eine gemeinsame Arbeit mit Andreas Bossert, Philipp Rössy und Moritz Kersting. Jan Schlüters Anteil ist: Organisation und Planung, Analyse, Erstellung der Forschungsfrage, Untersuchung und Forschung, Methodik, Ressourcen, Leitung und Aufsicht, Validierung, Mitverfassen des Original-Manuskripts. Der Anteil von Andreas Bossert an dieser Arbeit besteht aus: Datenkuration, Analyse, Untersuchung und Forschung, Software, Validierung, Überarbeiten und Editieren vom Original-Manuskript. Der Anteil von Philipp Rössy besteht aus: Untersuchung und Forschung, Methodik, Software, Datenkuration, Validierung, Mitverfassen des Original-Manuskripts. Weiterhin besteht der Anteil von Moritz Kersting aus: Software, Datenkuration, Überarbeiten und Editieren vom Original-Manuskript.

## **2 Optimierung von Minibustaxiverkehren in Südafrika unter Einbindung von Geoinformationssystemen**



## Optimierung von Minibustaxiverkehren in Südafrika unter Einbindung von Geoinformationssystemen

Jan Schlüter <sup>a,d</sup>, Leif Sörensen <sup>b,d</sup>, Johannes Simons <sup>c,d</sup> and Justin Coetzee <sup>e</sup>

<sup>a</sup>Institut für Dynamik komplexer Systeme, Fakultät für Physik, Georg-August-Universität zu Göttingen,  
Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen, Deutschland

<sup>b</sup>Lehrstuhl für Statistik, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Georg-August-Universität zu Göttingen, Humboldtallee  
3, 37073 Göttingen, Deutschland

<sup>c</sup>Professur für Verkehrsbetriebslehre und Logistik, Fakultät für Verkehrswissenschaft, Technische Universität Dresden,  
01062 Dresden, Deutschland

<sup>d</sup>Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Abteilung für Dynamik Komplexer Fluide, Am Fassberg 17,  
37077 Göttingen, Deutschland

<sup>e</sup>GoMetro, 10 Church Street, Durbanville, Cape Town, South Africa, 7550

**Eingereicht in: Standort am 20.01.20**

Das Minibustaxi ist eines der wichtigsten Mobilitätsangebote in Südafrika. Allerdings sind Informationen, wie Fahrpläne oder -zeiten, aufgrund der hohen Flexibilität gar nicht oder nur selten verfügbar. Die damit einhergehenden Ineffizienzen, auch im Hinblick auf eine Abstimmung mit anderen Mobilitätsangeboten, können ohne Dokumentation des Status-Quo nur schwer behoben werden. Daher bietet dieser Artikel eine Übersicht über das Mobilitätsverhalten der Südafrikaner und Südafrikanerinnen exemplarisch für Kapstadt. Das Minibustaxi hat vor allem für die unteren Einkommensschichten eine hohe Relevanz für den täglichen Mobilitätsbedarf. Die Datenerfassung mittels einer mobilen Anwendung sowie dessen Auswertung zeigt darüber hinaus, dass Effizienzsteigerungen im Minibustaxiverkehr von rund 30 % unter den getroffenen Annahmen realisierbar wären. Neben den operativen und gesamtwirtschaftlichen Einspar-/Ertragsmöglichkeiten kann zusätzlich die potenzielle Emissionseinsparung von CO<sub>2</sub> angebracht werden. Dieser Artikel leistet folglich ein wichtiges Argument für Formalisierungsansätze, um Effizienzsteigerungen im Mobilitätssektor gegenüber dem Status-Quo auch politisch vorantreiben zu können.

## 2.1 Mobilität in Südafrika

In vielen Schwellenländern der Welt bilden informelle Verkehre, auch als Paratransit bezeichnet, die Basis des öffentlichen Verkehrs. Allerdings sind nur begrenzt offene und standardisierte Daten über die Betriebsmerkmale von Paratransitdiensten in aufstrebenden Städten verfügbar. Das öffentliche Verkehrssystem (ÖV) setzt sich aus mehreren Betreibern, die mehrere Routen bedienen, zusammen. Die Kombination all dieser Routen bildet ein komplexes Transportnetzwerk, das sich als Reaktion auf Änderungen bei Angebot und Nachfrage ständig weiterentwickelt und verändert.

Ein genaues Verständnis des Netzwerks und der Abläufe in raumbezogener Hinsicht bietet viele Vorteile für alle Interessengruppen, die an der Bereitstellung von öffentlichen Verkehrsdiensten beteiligt sind (Demissie et al. 2016). Denn bisher sind die Betreiber der vielen öffentlichen Personenverkehre bzw. Paratransit-Verkehre nicht in der Lage, ein Streckennetz und dessen Eigenschaften hinsichtlich der Frequenzen, Kapazitäten, Fahrgastzahlen und Fahrzeiten effizient zu ermitteln (Jiang et al. 2013). Dies liegt vor allem daran, dass die genannten Verkehre aus einer großen Anzahl von Agenten bestehen, die sich über zufällige, nichtlinear-interagierende Rückkopplungsschleifen organisieren.

Um die benötigten Wege zu verstehen, gibt dieser Artikel einen Überblick über das Mobilitätsverhalten in Südafrika. Neben allgemeinen Zahlen liegt der Fokus vor allem auf dem Minibustaxiverkehr (MBTV). Zunächst werden Erkenntnisse des *National Household Travel Survey* (NHTS) aus dem Jahr 2013 dargelegt und diskutiert. Es folgt eine Charakterisierung des MBTVs, wobei sowohl die historische Entwicklung als auch aktuelle Herausforderungen erörtert werden. Abschließend wird gezeigt, wie mit kartographischen Maßnahmen das Mobilitätsangebot verbessert werden kann.

### 2.1.1 Allgemeines Mobilitätsverhalten

Um einen Überblick über das Mobilitätsverhalten in Südafrika zu erhalten, werden in diesem Abschnitt die wichtigsten Erkenntnisse aus dem NHTS von 2013 (Statistics South Africa 2014) dargestellt und, soweit sinnvoll, mit Ergebnissen aus 2003 (Department of Transport 2005) verglichen. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem straßengebundenen ÖV im Allgemeinen und dem MBTV im Speziellen. Die Ergebnisse der NHTS, und damit verbunden die folgenden Aussagen, beruhen auf Interviews, in denen die Personen in der Stichprobe zu ihrem Reiseverhalten in den vergangenen sieben Tagen befragt wurden.

Zunächst ist interessant, dass nur 81,4% der Bevölkerung überhaupt reisen. Dieser Wert ist etwas niedriger in urbanen und etwas höher in ländlichen Räumen. Im Vergleich zu 2003 ist die Zahl Reisender in allen Räumen gleichermaßen um ca. 5% gestiegen. Als Grund für das Nichtreisen wird vornehmlich genannt, dass es nicht nötig ist (43,1%), die Person zu alt oder zu jung ist (22,8%) oder das Reisen zu teuer ist (11,3%). Vor allem in der Gruppe der 26-40-jährigen wird der finanzielle Aspekt häufig als Grund angebracht.

Abbildung 1 zeigt den Modal Split für verschiedene Reisezwecke in Südafrika im Jahr 2013.

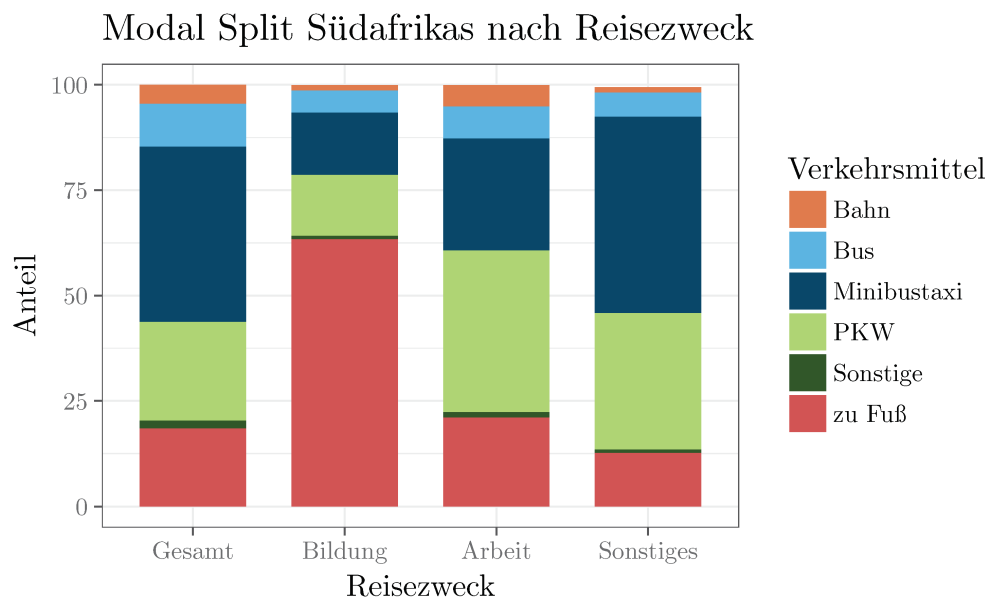


Abbildung 1: Modal Split Südafrikas nach Reisezweck. Die Höhe eines Balkens gibt den Anteil eines Verkehrsmittels an allen Wegen zum genannten Reisezweck für ganz Südafrika im Jahr 2013 an. *Gesamt* beinhaltet alle Reisezwecke, auch die separat aufgeführten. (Quelle: eig. Darstellung nach Statistics South Africa (2014)).

Insgesamt ist das Minibustaxi das meistgenutzte Verkehrsmittel (41,6%), gefolgt vom PKW (23,4%) und dem Zufußgehen (18,5%). Schlusslicht bildet der konventionelle ÖV mit dem Bus (10,2%) und der Bahn (4,4%). Zu Bildungseinrichtungen gelangen Südafrikaner überwiegend zu Fuß (63,4%). Dieser Wert ist vorrangig mit dem Alter der Lernenden zu erklären. Die Verkehrsmittelwahl verändert sich deutlich zu Ungunsten des Zufußgehens, betrachtet man nur Lernende an Universitäten oder Weiterbildungseinrichtungen. Der PKW (37,7%) und das Minibustaxi (30,5%) sind für Studierende das meistgenutzte Verkehrsmittel. Für Weiterbildungseinrichtungen hingegen ist der Anteil des Minibustaxis deutlich höher (45%), der PKW spielt eine geringere Rolle (11,5%). Die Vermutung liegt nahe, dass dies auf finanzielle Unterschiede zwischen den Gruppen zurückzuführen ist, wenn man unterstellt, dass das Haushaltseinkommen Studierender bzw. ihres Elternhauses deutlich höher ist. Auf Wege zur Arbeit soll später

in diesem Abschnitt im Detail eingegangen werden.

Unter *Sonstiges* sind alle übrigen Reisezwecke von Privatpersonen innerhalb eines Tages zusammengefasst. Darunter fällt das Einkaufen, der Besuch von Verwandten oder Freunden und die medizinische Versorgung. Hier wird das Minibustaxi am häufigsten genutzt (46,6%), gefolgt vom eigenen PKW (32,4%). Der konventionelle ÖV mit dem Bus (5,7%) und der Bahn (1,2%) spielt eine untergeordnete Rolle. Nur 12,7% erreichen ihr Ziel zu Fuß. Eine Erklärung kann sein, dass etwa Ärzte von Alten und Kranken aufgesucht werden, die nicht in der Lage sind zu laufen. Einge kaufte Waren werden nur ungern über längere Distanzen getragen. Auch findet sich in dieser Gruppe häufig der Reisezweck des Besuches von Verwandten und Freunden, nicht selten über längere Distanzen.

Für die einzelnen Reisezwecke liegen detaillierte Zahlen vor, die nach verschiedenen sozio-ökonomischen Eigenschaften der Befragten variieren. Der Reisezweck der Arbeit, als für die Volkswirtschaft und das Gesamtverkehrsaufkommen wichtiger Faktor, wird im Folgenden exemplarisch näher betrachtet. Es erfolgt zunächst eine Differenzierung nach dem Einkommen der befragten Arbeitenden. Abbildung 2 zeigt den Modal Split für Arbeitswege nach Einkommenssituation des Haushaltes der Befragten.

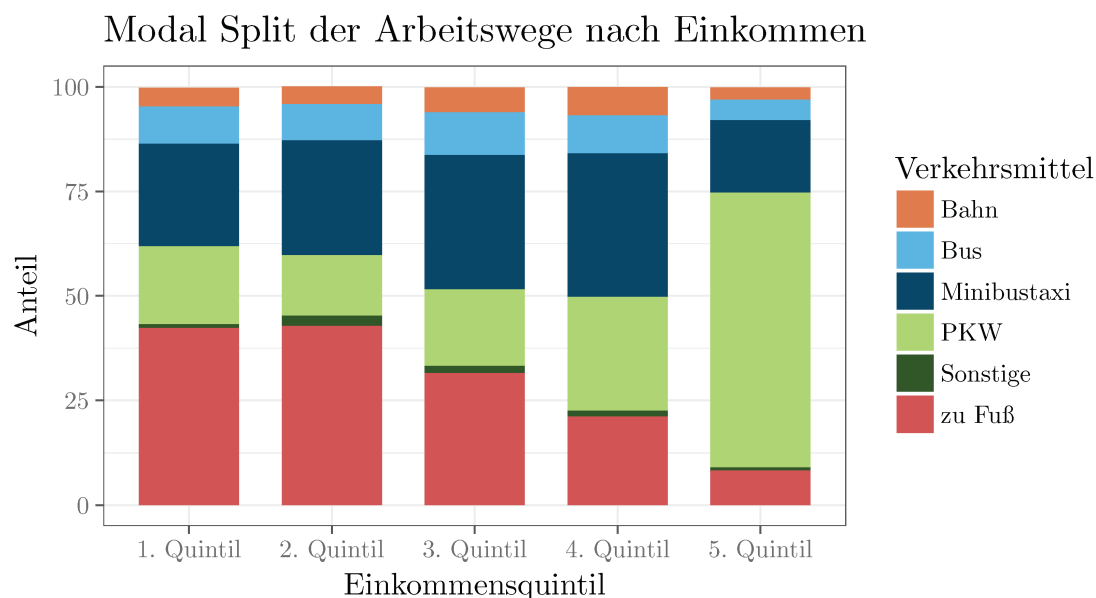


Abbildung 2: Modal Split der Arbeitswege nach Einkommen. Die Höhe eines Balkens gibt den Anteil eines Verkehrsmittels an allen Wegen der Befragten im entsprechenden Einkommensquintil für ganz Südafrika im Jahr 2013 an. Ein Quintil beinhaltet je 20% der nach Haushaltseinkommen aufsteigend sortierten Beobachtungen. (Quelle: eig. Darstellung nach Statistics South Africa (2014, S. 40)).

Zunächst fällt auf, dass der Anteil an zu Fuß zurückgelegten Wegen in den unteren beiden Einkommensquintilen sehr hoch ist (42,4% und 42,9%) und ab dem 3. Quintil kontinuierlich sinkt.

Im 5. Quintil werden nur noch wenige Wege zu Fuß absolviert (8,4%), der PKW ist hier mit Abstand das meistgenutzte Verkehrsmittel (65,7%). Der Sprung von allen darunter liegenden Quintilen ist enorm. Ein möglicher Erklärungsansatz ist, dass der PKW-Besitz erst ab vergleichsweise hohem Einkommen überhaupt bezahlbar ist. Dagegen spricht, dass der PKW auch in den unteren beiden Quintilen durchaus zu berücksichtigende Anteile aufweist (18,6% und 14,5%). Ein möglicher Grund ist die Nutzung von Fahrgemeinschaften. Der Anspruch im 5. Quintil ist vorrangig auf die Nutzung eines PKWs, der auch selbst gefahren wird, zurückzuführen. Eine weitere Erklärung für eine PKW-Nutzung auch in unteren Einkommensschichten ist die Nutzung von für die Arbeit benötigten bzw. zur Verfügung gestellten Fahrzeugen. So ist es z.B. gängige Praxis, dass Minibustaxifahrer die Fahrzeuge nahe ihres Wohnhauses parken und von dort aus zum ersten Einsatzort fahren (Del Mistro und Aucamp 2000, S. 4).

Der hohe Anteil des PKWs im 5. Quintil geht auch zu Lasten des gesamten ÖVs. Das Minibustaxi ist nur noch mit 17,3% vertreten, Bus und Bahn mit 4,9% und 2,9%. Meist genutzt ist die Bahn mit 6,7% im 4. Quintil, der Bus im 3. Quintil mit 10,2%.

Das Minibustaxi gilt im Allgemeinen als Verkehrsmittel für die arme Bevölkerung. Dies wird aus Abbildung 2 nicht auf den ersten Blick ersichtlich. In den unteren beiden Einkommensquintilen sorgen hohe Anteile des Zufußgehens für geringere Anteile des Minibustaxis (24,6% und 27,5%). Betrachtet man nur motorisierte Verkehrsmittel, so ist das Minibustaxi hier führend. Hinzu kommt die absolute Zahl der Personen in der Bevölkerung, die als arm gelten. Hinsichtlich der Einkommensverteilung, ermittelt in einer Haushaltsumfrage in den Jahren 2014/15 (Statistics South Africa 2017), zeigt sich, dass in keinem der unteren vier Quintile das durchschnittliche Haushaltseinkommen aus Arbeit von rund R 100.246<sup>1</sup> erreicht wird. Das 4. Quintil beginnt schon bei Einkommen von R 28.092, das 5. Quintil bei R 71.479. Es gibt in Südafrika schlicht eine große arme Bevölkerungsschicht und eine hohe Ungleichheit im Haushaltseinkommen. Ein Gini-Koeffizient<sup>2</sup> von 63,4, womit Südafrika die Liste der größten Ungleichheit bei der Einkommensverteilung anführt, verdeutlicht dies (Statista 2017b).

Abbildung 3 zeigt die Verkehrsmittelwahl für Arbeitswege nun differenziert nach dem Raumtyp an. Auf den ersten Blick ersichtlich werden die Unterschiede im Anteil des Zufußgehens. Erreichen in Metropolen nur 10,4% ihre Arbeitsstätte zu Fuß, sind es in mittelgroßen Städten 26,2% und in ländlichen Regionen sogar 40,7%. In Metropolen führen Wohnsitze außerhalb von Central Business Districts (CBDs) zu weiten Wegen, die nur motorisiert zurückzulegen sind. Hohe

<sup>1</sup> Am 19.01.2018 entsprach €1 in etwa R 15 und damit R 100 in etwa €6,70 (finanzen.net 2018).

<sup>2</sup> Der Gini-Koeffizient ist ein Maß für die Ungleichheit von Einkommen. Er gibt die Abweichung der Einkommensverteilung von einer Gleichverteilung an und kann Werte zwischen 0 und 100 annehmen. Zum Vergleich: Deutschland erreicht einen Wert von 30,1. Die Ukraine erreicht mit 24,1 den niedrigsten Wert (Statista 2017a).



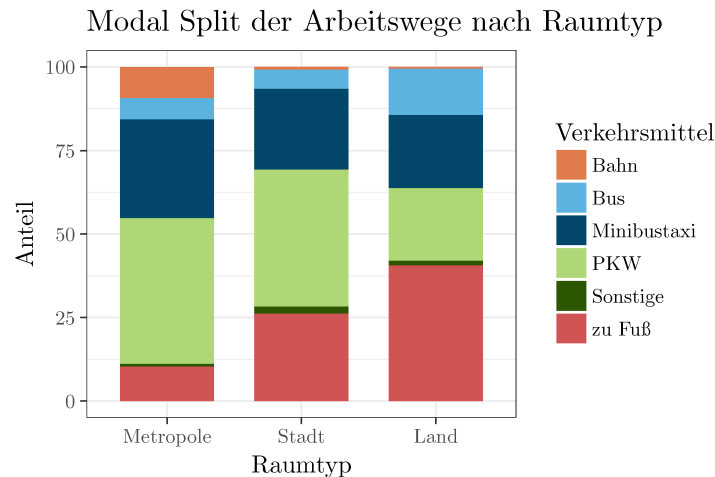


Abbildung 3: Modal Split der Arbeitswege nach Raumtyp. Die Höhe eines Balkens gibt den Anteil eines Verkehrsmittels an allen Wegen der Befragten im entsprechenden Raumtyp im Jahr 2013 an. Die Definition der Raumtypen folgt der des südafrikanischen *Municipal Demarcation Board*. (Quelle: eig. Darstellung nach Statistics South Africa (2014, S. 40)).

Mieten in zentralen Lagen und Nachwirkungen der räumlichen Segregation während der Apartheid tragen dazu bei. Von ähnlichen Effekten ist in kleineren urbanen Räumen auszugehen. Der hohe Anteil des Zufußgehens in ländlichen Regionen, in Industrieländern kaum vorstellbar, ist damit zu erklären, dass für das tägliche Leben vieler Menschen dort weitere Wege entweder nicht nötig sind, oder kein motorisiertes Verkehrsmittel zur Verfügung steht bzw. erschwinglich ist. Weiterhin fällt auf, dass die Bahn es nur in Metropolen auf einen nennenswerten Anteil (9,2%) schafft. Ein Grund ist, dass schienengebundener Nahverkehr fast nur dort in Form von S-Bahn-ähnlichen Systemen namens *Metrorail*, zur Verfügung steht. Trotz neuer Projekte, wie dem 2010 in Betrieb genommenen *Metrorail*-System *Gautrain* in der Gauteng-Provinz, ist der Anteil des Bahnverkehrs im Vergleich zur NHTS 2003 um 2% gesunken. Obwohl auch neue Bus Rapid Transit (BRT)-Systeme in Metropolen eingerichtet und ausgebaut worden sind, wie etwa *ReaVaya* in Johannesburg oder *MyCiti* in Kapstadt, sank auch der Anteil des Busverkehrs um 1,8 Prozentpunkte auf 6,3%. Jedoch ist davon auszugehen, dass diese Entwicklung ohne neue Projekte weitaus höher ausgefallen wäre. Die Bevölkerungszahlen südafrikanischer Städte sind in den vergangenen Jahren enorm gewachsen (South African Cities Network 2016, S. 33). Die neuen ÖV-Projekte scheinen gerade noch mit der Bevölkerungsentwicklung mithalten zu können. Im ländlichen Raum hat der Bus mit 13,8% einen vergleichsweise hohen Anteil, was darauf hindeutet, dass hier für weitere Wege zwischen Dörfern durchaus ein Angebot besteht. Das Minibustaxi ist hier jedoch mit 21,9% das meistgenutzte motorisierte Verkehrsmittel. In Metropolen und kleineren urbanen Räumen schafft dieses es auf Wegen zur Arbeitsstätte mit 29,6% und 24,1% auf den ersten Rang nur beim gesamten ÖV. Der PKW ist hier mit 43,6%

und 41,1 % das meistgenutzte Verkehrsmittel.

## 2.2 Minibustaxiverkehr

Der Beginn des Minibustaxiverkehrs (MBTV) lässt sich in die Zeit der Apartheid verordnen. In der Zeit vom Anfang des 20. Jahrhunderts bis in die 1990er Jahre führte eine strikte Rassenentrennung zu einer ungleichen Verteilung von Zugängen zu Mobilität, Wohnraum und damit zu Arbeitsplätzen und Infrastruktureinrichtungen zu Ungunsten der schwarzen Bevölkerung. Die Ausnahme, dass Schwarze ein Auto besaßen, wurde oft zu Verdienstzwecken eingesetzt, indem für ein geringes Entgelt Beförderungen von mehreren Personen durchgeführt wurden (Woolf und Joubert 2013, S.286). Das Minibustaxigewerbe wurde nach einigen Jahren rechtlich teilweise anerkannt und erhielt durch damit einhergehende positive Veränderungen, wie der legalen Mitnahme von bis zu 16 Passagieren, der Ausbau von schnellen Verbindungen und die Festlegung von niedrigen Fahrpreisen immer mehr Zuwachs. Durch die hohe Verfügbarkeit und eine schnelle Reaktion auf Nachfrageänderungen wurde das Minibustaxi zum meist verwendeten öffentlichen Verkehrsmittel Südafrikas (Venter 2013, S.115). Zugleich veranlassten die niedrigen Zutrittsbarrieren ein Überangebot innerhalb der Branche, weshalb es über Rivalitäten um Routen bis hin zu den sogenannten *Taxi Wars* kam. Ausschreitungen, gewalttätige Auseinandersetzungen und Mordanschläge blieben und bleiben bis heute hier keine Seltenheit. Nach der Zeit der Apartheid erfolgten Bestrebungen einer Formalisierung des MBTVs, welche jedoch nicht den erhofften Erfolg mit sich brachten (Boudreaux 2006, S.19 ff.).

Das Minibustaxigewerbe zeichnet sich durch ein sehr flexibles, nachfragegetriebenes System aus. Nachteilig daran ist, dass der Fahrplan weder in digitaler noch in Papierform öffentlich deklariert werden kann, wodurch den Fahrgästen Wissen und Erfahrung im MBTV in ihrer Region abverlangt wird (Neumann et al. 2015, S.140). Die Fahrer geben lediglich Acht auf eine Routenplanung mit dem größtmöglichen Profit (Browning 2006, S.12). Für die Kommunikation zwischen Fahrern und Fahrgästen stehen verschiedene Handzeichen, wie der erhobene Zeigefinger zur Verfügung, welcher beispielsweise das Fahrtziel in die Innenstadt preisgibt (Woolf und Joubert 2013, S.292). Bei den Anbietern am Markt existieren zwei Gruppen: Einzelne Fahrer mit eigenem Minibus und Unternehmer mit mehreren Fahrzeugen und engagierten Fahrern (McCormick et al. 2016, S.59 ff.). Neben dem Verdienst ihres Lebensunterhaltes kommen die regelmäßigen Wartungen sowie die nötigen Reparaturen der Fahrzeuge zu kurz (Browning 2006, S.12 ff.). Gründe, das Minibustaxi nicht zu verwenden und hingegen auf andere Verkehrsmittel wie den Bus, den Zug oder das eigene Auto zurückzugreifen, sind die mangelhaften Serviceattri-

bute sowie die unzureichende Verfügbarkeit in den entsprechenden Regionen (Statistics South Africa 2014, S.100 ff.). Unzulänglichkeiten in dem Minibustaxiverkehr stellen die Infrastruktur der Taxi Ranks, die Fahrpreise und die Unfallsicherheit dar. Die Unfallsicherheit ist durch das Verhalten des Fahrpersonals und durch die Fahrtauglichkeit der Fahrzeuge bestimmt (Govender und Allopi 2006, S.1). Zudem sind in einigen Regionen Überfälle sowie sexuelle Belästigungen während der Fahrt- sowie der Wartezeit ein ernstes Problem der Branche (Chakamba 2017). Neben Vorhaben wie dem Taxi Recapitalisation Programme (TRP) im Jahr 2005 sollte es weiterhin an der Tagesordnung bleiben, eine strengere Regulierung der Branche zu erzielen (Arrive Alive 2011).

## 2.3 Anwendungsbasierte Optimierung

Mittels einer mobilen Applikation des südafrikanischen Unternehmens *GoMetro* konnten Fahrten der Minibustaxiverkehre in einigen Städten Südafrikas dokumentiert und kartographisch dargestellt werden. Hierzu wurde anhand der Applikation in ausgewählten Minibustaxis durch Personen die Umfrage durchgeführt. Mit diesen gesammelten Daten wurden Schichtpläne für Fahrer sowie Routenvorschläge verbreitet, die Effizienzsteigerungen des Minibustaxiverkehrs ermöglichen konnten. So wurden neben Start- und Zielpunkten der Fahrgäste auch demographische Indikatoren gesammelt. Für eine effektive Datenverarbeitung wurden die Daten automatisiert bereinigt und verarbeitet, sodass Analysen und Berichte schnellstmöglich verfügbar waren. Die gewonnenen Mobilitätsdaten ermöglichten ein tieferes Verständnis der Nachfrage für die Behörden und Mobilitätsanbieter, um ihr Angebot entsprechend zu gestalten. Exemplarisch wird hier die Analyse für Kapstadt angeführt in Anlehnung an den Beiträgen von Coetzee, Krogscsheepers et al. (2018) und Coetzee, Zhuwaki et al. (2019). Letzterer Beitrag beschäftigt sich intensiv mit der Abbildung von Mobilitätsnachfrage, um Ineffizienzen im Verkehrsnetzwerk zu beheben. Als untergeordnetes Ziel wurde folglich die Zahl unproduktiver Fahrten innerhalb eines definierten Projektgebiets bestimmt, um diese dann durch weniger Fahrzeuge und somit weniger Fahrzeugkilometern gegenüber den Personenkilometern zu reduzieren. Als unproduktiv galt eine Fahrt mit weniger als 5 Personen bei einer Kapazität von 16 Fahrgästen.

In Kaptstadt werden mehr als 50 % der Pendler-Fahrten durch das Minibustaxi bedient (Stats SA 2014). Laut Behörden waren in 2018 rund 3.500 legale Minibustaxi-Routen in Kapstadt bekannt, die durch rund 24.000 registrierte Minibustaxis bedient werden. Über einen Zeitraum von 12 Monaten konnten rund 380.000 einzelne Fahrgastfahrten dokumentiert werden. Diese Daten ermöglichen den Behörden oder den Verkehrsbetreibern eine Grundlage, um Reforment-

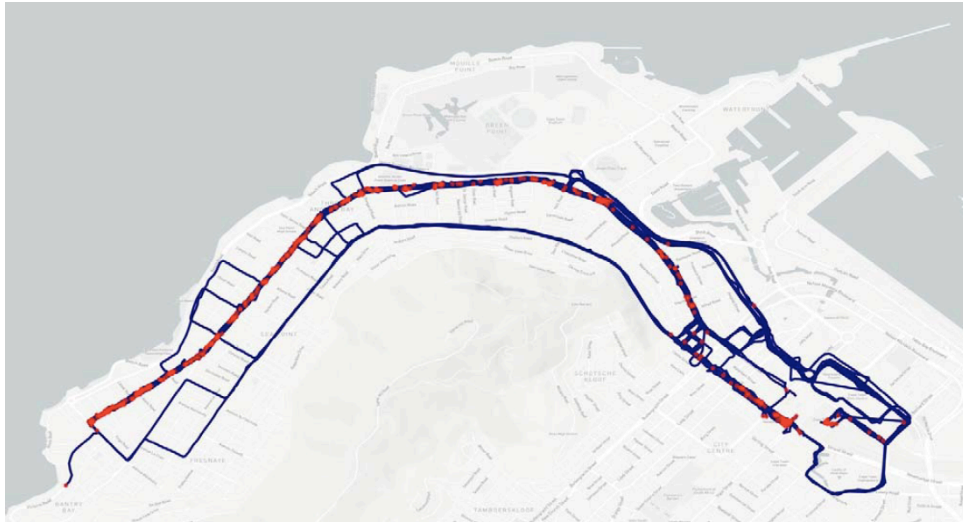


Abbildung 4: Darstellung einer dokumentierten MBT Route in Kapstadt. Quelle: Coetzee, Krogscheepers et al. (2018).

scheidungen bezüglich des Geschäftsmodells zu erlangen. Diese Ergebnisse resultieren aus einem dreistufigen Prozess: Zunächst werden in ersten Treffen der Ist-Zustand dokumentiert und die Rahmenbedingungen geklärt, innerhalb derer eine Umfrage durchgeführt werden kann. In einem zweiten Schritt werden die erlangten Informationen von allen Beteiligten ausgewertet und darauf aufbauend eine Umfrage angefertigt. Dieser Ablaufplan der Umfrage wurde zunächst auf Validität getestet, bevor die definierten Zielparameter in der tatsächlichen Umfrage erhoben werden. Im dritten und letzten Schritt wird die Umfrage durchgeführt und die Datenanalyse angefertigt.

Diese Datenauswertungen erlauben folglich eine detaillierte Betrachtung des Mobilitätsverhaltens einzelner Fahrgäste in den untersuchten Fahrzeugen, sodass Routen und die Mobilitätsnachfrage im Tagesverlauf mittels entsprechender Darstellungen (z.B. Karten oder Tabellen) zugänglich gemacht werden (vgl. Abbildung 4).

	Aktueller Betrieb	Empfohlener Betrieb	Veränderung	Veränderung in %
Anzahl Fahrzeuge	78	38	40	-51
Anzahl Sitzplätze (Tag)	29.624	23.587	6.037	-20
Anzahl Fahrgäste (Tag)	18.840	18.840	0	0
Anzahl Fahrten (Tag)	2.116	1.404	712	-34
Durchschn. Fahrtdistanz (km)	8	8	0	0
Gefahrene km (Tag)	16.928	11.232	5.696	-34
Gefahrene km (Jahr)	5.078.400	3.369.600	1.708.800	-34

Tabelle 1: Veränderungen einiger Kennzahlen vor und nach einer anwendungsbasierten Optimierung des Minibustaxiverkehrs aus einer Datenerhebung an einem beliebigen Wochentag. Die prozentualen Veränderungen zeigen gerundete Werte. Quelle: Coetzee, Zhuwaki et al. (2019).

Wie Tabelle 1 zeigt, ermöglicht eine Nachfrageglättung sowie eine optimierte Fahrgastverteilung operative Kosteneinsparungen im Minibustaxiverkehr. So lassen sich rund 51 % der Minibustaxis

einsparen, was aber durch die bessere Verteilung und Auslastung der einzelnen Fahrzeuge zu lediglich 20 % weniger Angebot in Form von Sitzplätzen führt. Zeitgleich wird eine Reduktion der absolvierten Fahrten erreicht, was zu Einsparungen in den gefahrenen Fahrzeugkilometern von rund 34 % führt. Die gleiche Veränderung tritt zwingendermaßen für die Jahreshochrechnung auf. Unter der Annahme einer statischen Nachfrage kann so das optimierte Angebot hohe Kosteneinsparungen bedeuten. Für das Minibustaxiverkehrsnetz in Coetzee, Zhuwaki et al. (2019) resultiert mit diesem optimierten System ein Profit von rund R 9 Millionen gegenüber einem geschätzten Verlust von R 6,78 Millionen für die Ausgangssituation mit dem aktuellen Betrieb.

	Aktueller Betrieb	Empfohlener Betrieb
Jährl. Profit	- R 6.782.040	R 9.042.720
Tägl. Einnahmen je Fahrzeug	R 1.932,21	R 1.932,21
Tägl. Kosten je Fahrzeug	R 2.222,04	R 1.545,76
Tägl. Ertrag je Fahrzeug	-R 289,83	R 386,44

Tabelle 2: Aktuelle Kostenschätzungen sowie mögliche Einnahmen je Fahrzeug. Der *Empfohlene Betrieb* bezieht sich auf die Daten aus Tabelle 1. Quelle: Coetzee, Zhuwaki et al. (2019).

Der ausgewiesene Verlust ergibt sich unter Berücksichtigung aller operativen Kosten. Allerdings fallen in der größtenteils informellen Minibustaxi-Industrie einige ausgewiesene Betriebskosten nicht an.

Unabhängig der möglichen, betrieblichen Kosteneinsparungen führt eine potenzielle Reduktion der Fahrzeugkilometer zu signifikanten Emissionseinsparungen und einer besseren  $CO_2$ -Bilanz der Fahrgäste. Unter den getroffenen Annahmen sind jährliche  $CO_2$ -Einsparungen in Höhe von rund 1.140 Tonnen gegenüber dem Status-Quo realisierbar.

	Aktueller Betrieb	Empfohlener Betrieb	Veränderung	Veränderung in %
$CO_2$ in $kg/km$	0,45	0,33	0,12	-27
Emissionen in $t$	7,6	3,7	3,9	-51

Tabelle 3: Berechnung möglicher  $CO_2$ -Emissionseinsparungen zwischen dem heutigen und dem empfohlenen Minibustaxibetrieb. Quelle: Coetzee, Zhuwaki et al. (2019).

Dieses Emissionseinsparpotenzial ist vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels auch für Entwicklungs- und Schwellenländer von Bedeutung. Somit ist eine Optimierung des Minibustaxiverkehrs nicht nur aus betriebs- und gesamtwirtschaftlicher Sicht vorteilhaft, sondern ermöglicht darüber hinaus, die Lebensqualität der Südafrikaner und Südafrikanerinnen im Sinne der Luftqualität nachhaltig zu verbessern.

Kritisch zu sehen sind mögliche negative Beschäftigungseffekte, die mit dem vorgeschlagenen Modell einhergehen. Es müssten folglich zahlreiche Fahrer einer neuen Beschäftigung nachgehen, welche vor dem Hintergrund der historischen Bedeutung des Minibustaxis mit dessen Ursprung

zur Zeit der Apartheid durch die Bevölkerung kritisch gesehen werden wird. Allerdings ist der Abbau von Ineffizienzen in einer Industrie nachhaltig und ermöglicht es zudem, das Produktivitätsniveau eines Landes zu verbessern, sofern es zu produktiven Alternativbeschäftigung des neu verfügbaren Arbeitskräftepotenzials kommt. Des Weiteren ist eine potenzielle Formalisierung der Minibustaxi-Industrie eine Möglichkeit, prekäre Beschäftigungsverhältnisse und -praktiken zu verhindern und somit die Lebenssituation der verbleibenden Fahrer nachhaltig zu verbessern. Im Bereich der Personenbeförderung könnte dies als indirekter Effekt zu einer verbesserten Verkehrssicherheit führen, indem Fahrerschichten kürzer werden und der Wettbewerb auf den Straßen zwischen den einzelnen Fahrern nachlässt.

## 2.4 Zusammenfassung

Nach einer allgemeinen Mobilitätsanalyse unter Einbezug aller verfügbaren Fortbewegungsmittel, zeigt diese Analyse des NHTS vor allem die Bedeutung des Minibustaxiverkehrs für die südafrikanische Bevölkerung auf. Neben den Unterschieden hinsichtlich der Raumtypen sind hierbei vor allem die hohen Fahrgastanteile im MBTV der unteren Einkommensquintile hervorzuheben. Dennoch geben die Menschen in Kapstadt einen sehr hohen Einkommensanteil für Mobilität aus, die zwar flexibel ist, jedoch häufig Mängel in der Straßensicherheit und Verlässlichkeit aufweist. Mit der Analyse von Datensätzen zu einzelnen Minibustaxifahrten in Kapstadt wird in dieser Arbeit ein umfassendes Bild über den MBTV in Südafrika gezeichnet. Ein detailliertes Verständnis des Mobilitätsverhaltens sowie des Verkehrsnetzwerkes ist zwingend erforderlich für eine Modernisierung des Verkehrssystems in Südafrika. Vor allem der Bereich der Minibustaxiverkehre ist mit gesamtgesellschaftlichen Ineffizienzen verbunden, die eine Dokumentation von Routen, Bedarfen und Passagieren notwendig machen.

Nach mäßig erfolgreichen Regulierungsbestrebungen wird in diesem Beitrag eine anwendungs-basierte Optimierung vorgestellt, und deren potenziellen Effekte mit dem Status-Quo exemplarisch für den Minibustaxiverkehr in Kapstadt verglichen.

Die hier präsentierten Überlegungen, basierend auf der Arbeit von Coetzee, Zhuwaki et al. (2019), zeichnen ein mögliches Bild der effizienteren Ausgestaltung des Minibustaxiverkehrs in Kapstadt. Unter der Annahme einer Nachfrageglättung können Einsparungen bei den Minibustaxis zu erheblichen Kostenreduktionen im Betrieb sowie einer Verminderung des Umwelteinflusses des Minibustaxiverkehrs auf die Umwelt erzielt werden. Über eine effiziente Koordination des bestehenden Mobilitätsangebots können folglich volks- und betriebswirtschaftlich vorteilhafte Effekte erzielt werden. Problematisch wird eine Kommunikation und Überzeugung

der bisher als veränderungsresistent angesehenen Minibustaxi-Industrie, sich an solchen Bestrebungen zu beteiligen. Hierzu bedarf es stetiger, auch politischer, Bemühungen, die argumentativ und strategisch Veränderungen erwirken können. Dieser Beitrag stellt dieser Debatte ein solches Argument zur Verfügung, derer es zweifelsohne noch zahlreicher weiterer Bedarf.

## Literatur

- Arrive Alive. (2011). Taxi Recapitalization. Zugriff 10. August 2017 unter <https://www.arrivealive.co.za/Taxi-Recapitalization>
- Boudreaux, K. (2006). Taxing alternatives: Poverty allevation and the South African taxi/minibus industry. *Mercato Policy Series - Policy Comment*, 3.
- Browning, P. (2006). The Paradox of the Minibus-Taxi. *Paper presented to the Chartered Institute of Logistics and Transport in South Africa, Pretoria*.
- Chakamba, R. (2017). Tackling Rape and Assault in South Africa's Taxi Industry. Zugriff 26. November 2017 unter <https://www.newsdeeply.com/womenandgirls/articles/2017/04/06/tackling-rape-and-assault-in-south-africas-taxi-industry>.
- Coetzee, J., Krogscheepers, C. & Spotten, J. (2018). Mapping minibus-taxi operations at a metropolitan scale—methodologies for unprecedented data collection using a smartphone application and data management techniques.
- Coetzee, J., Zhuwaki, N. & Blagus, D. (2019). Demand-responsive transit design methods and applications for minibus-taxi hybrid models in south africa. Southern African Transport Conference 2019.
- Del Mistro, R. F. & Aucamp, C. A. (2000). Development of a public transport cost model. *South African Transport Conference 'Action in Transport for the New Millennium' Conference Papers*.
- Demissie, M. G., Phithakkitnukoon, S., Sukhvibul, T., Antunes, F., Gomes, R. & Bento, C. (2016). Inferring passenger travel demand to improve urban mobility in developing countries using cell phone data: A case study of senegal. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(9), 2466–2478.
- Department of Transport. (2005). *Key Results of the National Household Travel Survey*. South Africa.
- finanzen.net. (2018). Euro in Südafrikanischer Rand Währungsrechner. Zugriff 19. Januar 2018 unter [https://www.finanzen.net/waehrungsrechner/euro\\_suedafrikanischer-rand](https://www.finanzen.net/waehrungsrechner/euro_suedafrikanischer-rand).



- Govender, R. & Allopi, D. (2006). Towards a safer minibus taxi industry in South Africa. *Proceedings of the 25th Southern African Transport Conference*.
- Jiang, T., Wu, Z., Song, Y., Liu, X., Liu, H. & Zhang, H. (2013). Sustainable transport data collection and application: China urban transport database. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- McCormick, D., Schalekamp, H. & Mfinanga, D. (2016). The nature of paratransit operations. In R. Behrens, D. McCormick & D. Mfinanga (Hrsg.), *Paratransit in African Cities - Operations, Regulation and Reform* (S. 59–78). London: Routledge.
- Neumann, A., Röder, D. & Joubert, J. W. (2015). Towards a simulation of minibuses in South Africa. *The Journal of Transport and Land Use*, 8(1), S. 147–154.
- South African Cities Network. (2016). State of South African Cities Report.
- Statista. (2017a). Ranking der 20 Länder mit der größten Gleichheit bei der Einkommensverteilung im Zeitraum von 2010 bis 2015 auf Basis des Gini-Index. Zugriff 19. Januar 2018 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/166444/umfrage/ranking-der-20-laender-mit-der-groessten-gleichheit-bei-der-einkommensverteilung/>.
- Statista. (2017b). Ranking der 20 Länder mit der größten Ungleichheit bei der Einkommensverteilung im Zeitraum von 2010 bis 2015 auf Basis des Gini-Index. Zugriff 13. September 2017 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37024/umfrage/ranking-der-20-laender-mit-der-groessten-ungleichheit-bei-der-einkommensverteilung/>.
- Statistics South Africa. (2014). *National Household Travel Survey 2013 - Statistical Release*.
- Statistics South Africa. (2017). *Living Conditions of Households on South Africa - Statistical Release*.
- Stats SA. (2014). National household travel survey – western cape profile report. Report No. 03-20-02.
- Venter, C. (2013). The lurch towards formalisation: Lessons from the implementation of BRT in Johannesburg, South Africa. *Research in Transportation Economics*, 39, S. 114–120.
- Wolf, S. & Joubert, J. (2013). A people-centred view on paratransit in South Africa. *Cities*, (35), S. 284–293.

### **3 Digitalisierung im ÖPNV: vom Rufbus zu einem intelligenten nachfrageorientierten System im ländlichen Raum**

---

## Digitalisierung im ÖPNV: vom Rufbus zu einem intelligenten nachfrageorientierten System im ländlichen Raum

Jörg Lahner<sup>a</sup>, Jan Schlüter<sup>b</sup>, Leif Sörensen<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Chair of Economic Development and Corporate Governance, Faculty of Resource Management, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Büsingenweg 1a, 37077 Göttingen, Germany

<sup>b</sup>NGM, Department of Dynamics of Complex Fluids, Max-Planck-Institute for Dynamics and Self-Organization, Am Fassberg 17, 37077 Göttingen, Germany

<sup>c</sup>Chair of Statistics, Department of Economics, Georg-August-University of Göttingen, Humboldtallee 3, 37073 Göttingen, Germany

Veröffentlicht in: Neues Archiv für Niedersachsen II/2019

- Digitalisierung in Niedersachsen - (Lahner et al. 2019)

Die Digitalisierung eröffnet auch für die Mobilität in ländlichen Regionen neue Chancen, um den bestehenden Bedarfen trotz besonderer Herausforderungen gerecht zu werden. Ein entsprechender Lösungsansatz ist der EcoBus, der durch das sogenannte Ridepooling (Fahrtenbündelung) eine verbesserte Kapazitätsauslastung bei gleichzeitiger Erhöhung des Mobilitätsangebots erreichen will. Zu diesem Zweck basiert der EcoBus vollständig auf einem Algorithmus, der die Effizienz des Systems erhöhen und folglich finanziell tragfähiger machen soll. Die wachsende Nutzeranzahl im Pilotbetrieb lässt für die Zukunft auf einen positiven Beitrag sowohl zur Verkehrs- und Emissionsreduktion als auch zur Sicherstellung eines ausreichenden Mobilitätsangebots hoffen. Somit könnten Ridepoolinglösungen wie der EcoBus zu einem wichtigen Element der Daseinsvorsorge in ländlichen Räumen avancieren.

### 3.1 Bedarfsgerechte Mobilität im ländlichen Raum

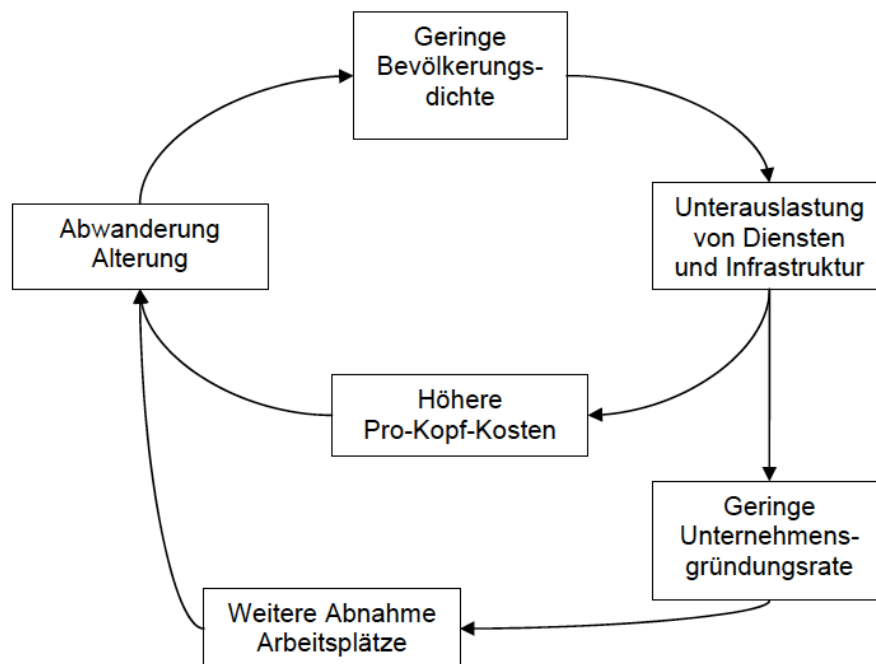


Abbildung 5: Einflüsse und Wechselwirkungen von einer negativen demographischen Entwicklung im Zusammenhang zu einer Unterauslastung und einem niedrigen Angebot in Infrastruktur, Mobilität und Wirtschaft. Quelle: (Hahne 2005).

Mobilität stellt in vielen Räumen mit geringer Besiedlungsdichte ein Problem dar (Bertelsmann Stiftung, 2018). Zur Sicherung der Daseinsvorsorge der Bevölkerung ist die Bereitstellung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) auch im ländlichen Raum notwendig (Verband Deutscher Verkehrsbetriebe 2017). Der Kreislauf in Abbildung 5 zeigt die Wechselwirkungen der jeweiligen Elemente, die zu einer negativen demographischen Entwicklung in ländlichen Räumen führen und damit unmittelbar als Herausforderung für die Sicherstellung von Mobilität vor Ort zu sehen sind. Kapazitäten in Bussen und Bahnen übersteigen häufig den Bedarf, sodass vor allem Linienbusse außerhalb von Stoßzeiten eine geringe Fahrgastauslastung aufweisen (Schmitt und Sommer 2013). Des Weiteren ist die zeitliche Taktung des Linienverkehrs aufgrund dieser niedrigen Nachfrage eher gering und folglich die Mobilität der Bevölkerung in peripheren Räumen erschwert. Somit sind viele Personen gezwungen, ihren Mobilitätsbedarf mittels motorisierten Individualverkehrs (MIV) eigenständig zu sichern. Dies führt jedoch zu hohen volkswirtschaftlichen Kosten und belastet zusätzlich die Umwelt durch Emissionen. Vor diesem Hintergrund erscheint es naheliegend, innovative Mobilitätskonzepte zu entwickeln und zu erproben, welche die neuen technischen Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen. Einen solchen Lösungsansatz stellt das Zusammenlegen von gleichgerichteten Fahrtstrecken, das sogenannte

Ridepooling (Fahrtenbündelung), dar. Dafür ein bereits erprobtes Beispiel ist das Projekt Eco-Bus, ein nachfragegesteuerter und computergestützter Kleinbus, der mittels des Ridepoolings die Notwendigkeit des MIVs reduziert und Mobilität im Sinne der Daseinsvorsorge und darüber hinaus anbietet. Eine erste Pilotphase zur Erprobung und wissenschaftlichen Auswertung des EcoBus-Konzepts fand in der Region Bad Gandersheim und Kalefeld statt.

## 3.2 Das Projektgebiet

Die Gemeinde Kalefeld im Landkreis Northeim zählt in ihren elf Ortschaften insgesamt 6.351 Einwohner (Gemeindeverwaltung Kalefeld 2018) und gilt laut Bundesinstitut für Bau- (2018) als kleine Kleinstadt. Die Bevölkerungsdichte liegt bei 77,7 Einwohnern pro Quadratkilometer gegeben einer Fläche von 84 km<sup>2</sup> (Landesamt für Statistik Niedersachsen 2018). Seit 2010 divergiert die Anzahl der Lebendgeborenen gegenüber der der Gestorbenen, daraus resultiert ein negatives natürliches Bevölkerungssaldo wie in Abbildung 6 zu erkennen ist. Es lässt sich zudem ein Fortzug, vor allem in der Bevölkerungsgruppe der 18- bis 26-Jährigen, feststellen. Der Altersdurchschnitt beträgt 47,3 Jahre und ist somit 6,5 % höher als der Landesdurchschnitt von 44,4 Jahren (Landesamt für Statistik Niedersachsen 2018). Ersichtlich wird diese Altersstruktur bei der Betrachtung der Alterspyramide für Kalefeld für 2017. In den höheren Altersgruppen ist ein Überhang an Frauen im Verhältnis zu der männlichen Bevölkerung zu verzeichnen. Zudem entspricht die Form der Bevölkerungspyramide in Abbildung 7 einer Urne, was ein Zeichen für die Überalterung der Bevölkerung in dieser Gemeinde ist (Bundesamt 2011). Mit einer Fläche von 90,8 km<sup>2</sup> und einer Einwohnerzahl von 10.960 ergibt sich für die Stadt Bad Gandersheim eine Bevölkerungsdichte von 120,7 Einwohnern pro Quadratkilometer (Landesamt für Statistik Niedersachsen 2018). Bad Gandersheim ist somit laut BBSR als größere Kleinstadt definiert. Aufgrund der hohen Alterungsrate der Bevölkerung ist Bad Gandersheim dem Demographietyp 8 zuzuordnen (Bertelsmann Stiftung 2019). Vor allem der geringe Anteil der jungen Bevölkerung ist deutlich zu erkennen. Die Kaufkraft ist analog zu Kalefeld unterentwickelt. Die Altersstruktur der Stadt Bad Gandersheim weist wie Kalefeld eine urnenförmige Verteilung auf: Die meisten Einwohner sind zwischen 45 und 65 Jahren alt, gefolgt von der Gruppe der über 65-Jährigen. Das Durchschnittsalter liegt mit 47 Jahren ebenfalls über dem landesweiten Durchschnitt (Landesamt für Statistik Niedersachsen 2018). Die auffallend kleinste Altersgruppe ist die der 18- bis 25-jährigen Personen. Die Stadt Bad Gandersheim weist eine negative Bevölkerungsentwicklung auf. Legt man das Basisjahr 1980 zugrunde, so hat sich bis 2017 die Einwohnerzahl von Bad Gandersheim um 14 % verringert wie in Abbildung 8 ersichtlich wird (Knierim 2018).

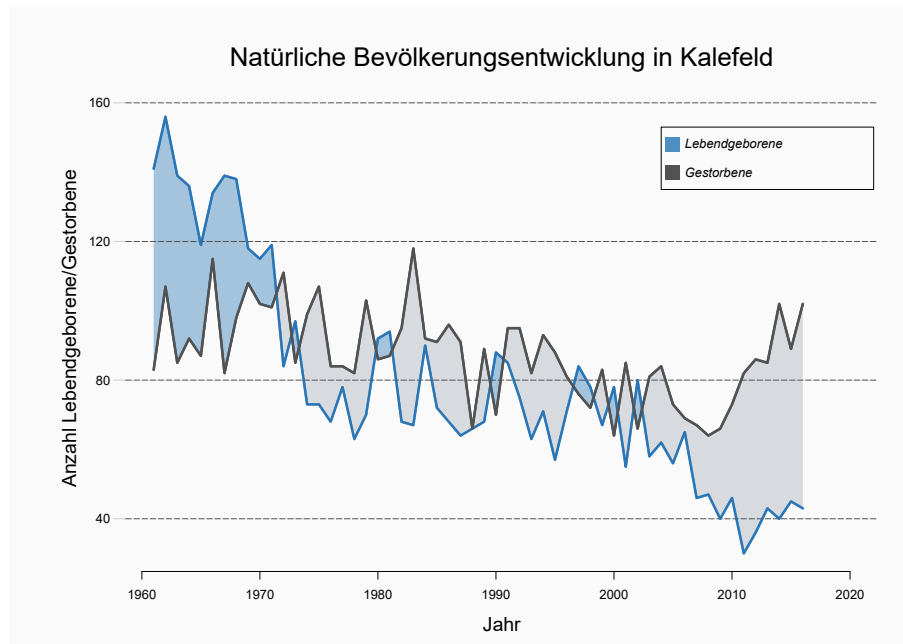


Abbildung 6: Natürliche Bevölkerungsentwicklung in der Gemeinde Kalefeld seit 1960. Dargestellt wird die Anzahl der Lebendgeborenen und der Gestorbenen und die Differenz zwischen beiden Zahlen. Die dunkle Schraffierung zeigt eine Bevölkerungszunahme, die hellen Flächen zeigen eine Abnahme. Quelle: (Knierim 2018).

Die durchschnittliche Entfernung zwischen allen Ortschaften in dem Pilotgebiet beträgt acht Kilometer. Für die Region Kalefeld ist ein direkter Anschluss an die Bundesautobahn 7 und somit eine Anbindung in nord-südlicher Richtung vorhanden. Im Gegensatz zu Bad Gandersheim verfügt Kalefeld nicht über einen Bahnhof, sodass eine Anbindung an den Schienenverkehr nur über den Bahnhof in Kreiensen möglich ist. Zum Erreichen dieses Bahnhofs stehen lediglich der private Pkw oder eine einzelne Buslinie zur Verfügung, welche fünfmal am Tag verkehrt. Die Anbindung nach Bad Gandersheim und die dazugehörigen Ortsteile erfolgt durch die Buslinien 261 und 264 zweimal täglich. Zu beachten ist, dass alle genannten Linien an Feiertagen und zu Schulferien eingeschränkt oder vollständig eingestellt werden. In Kalefeld sind keine Taxiunternehmen ansässig, sodass diese von Bad Gandersheim oder Einbeck mit einer langen Anfahrtszeit und -distanz verkehren müssen. Unter diesen Restriktionen ist Mobilität über den ÖPNV nur sehr eingeschränkt verfügbar. Eine hohe Abhängigkeit von privaten Pkw ist festzustellen. Für Bad Gandersheim besteht eine ähnlich gute Anbindung an die Bundesautobahn 7. Hinzu kommt immerhin ein eigener Bahnhof, die stündliche Taktung der Züge gewährleistet eine gewisse Flexibilität. Die Verbindung der Ortsteile in Bad Gandersheim wird durch die Buslinien 264, 271 und 837 sichergestellt. Darüber hinaus bestehen die Linien 41 und 61 zur Anbindung an Hildesheim. Die vorhandene Verkehrsinfrastruktur kann jedoch insgesamt das Mobilitätsbedürfnis der Bewohner in beiden ausgewählten Gemeinden nur unzureichend bedienen. Während der Schulferien verschärft sich diese Situation zusätzlich. In Anbetracht des demographischen Wandels

ist eine Bereitstellung von zusätzlichen Mobilitätsangeboten durch den ÖPNV unwahrscheinlich, obwohl gerade dies das Wirtschaftspotential der Region verbessern könnte (Gans 2005). Vor diesem Hintergrund ist eine Mobilitätssicherung mit den vorhandenen Großraumbussen und einem starren Liniennetz wenig zukunftsfähig. Diesem Problem soll durch den Einsatz des bedarfsgesteuerten EcoBusses entgegengewirkt werden.

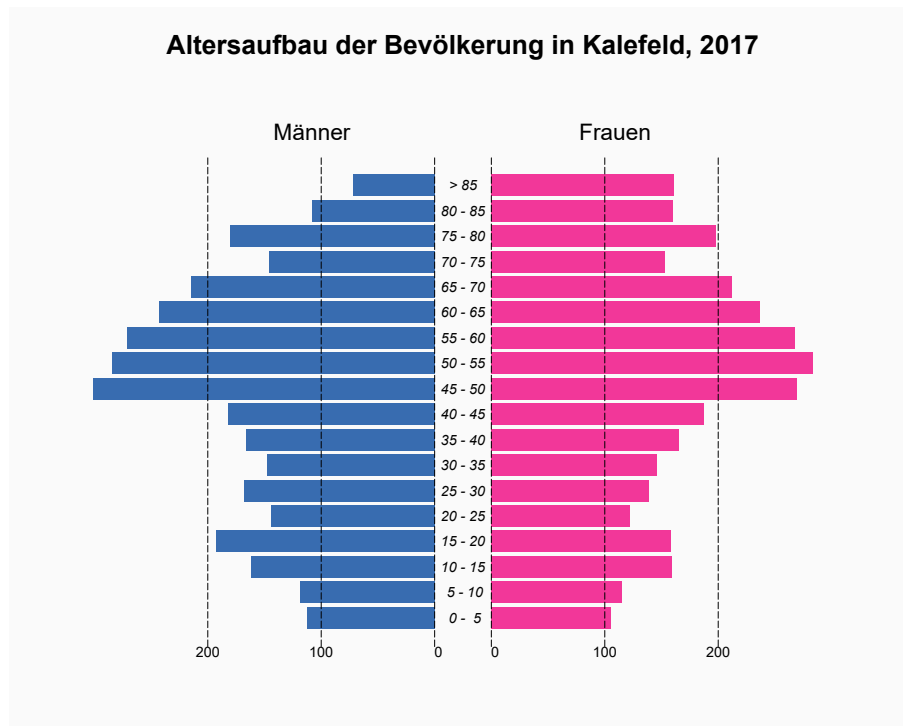


Abbildung 7: Altersaufbau der Bevölkerung in Kalefeld. Die blauen Balken auf der linken Seite zeigen die absolute Anzahl an männlichen Einwohnern, die pinken Balken auf der rechten Seite zeigen die absolute Anzahl der Frauen je Altersgruppe. Das Altersintervall beträgt 5 Jahre und ist von unten aufsteigend dargestellt. Die Gruppe der Über-85-Jährigen ist zusammengefasst. Quelle: (Knierim 2018).

### 3.3 Das EcoBus-Konzept

Der EcoBus ist ein bedarfsgesteuerter Kleinbus zur Beförderung von bis zu acht Passagieren zuzüglich eines Fahrers. Laut BMVI ist es somit dem Bedarfsverkehr zuzuordnen, einer flexiblen Angebotsform des ländlichen ÖPNVs unter dem Personenbeförderungsgesetzes (Sommer et al. 2016). Das Gebiet des Pilotprojekts in Abbildung 9 erstreckt sich über die Gemeinden Bad Gandersheim und Kalefeld, innerhalb derer Personen per mobiler App, über die Homepage im Internet oder per Telefon ihren Transportbedarf anmelden können. Der Bahnhof in Kreiensen ist ebenfalls mit dem EcoBus erreichbar. Es gibt die Möglichkeit unmittelbar (innerhalb einer bestimmten Wartezeit) oder zu einem bestimmten späteren Zeitpunkt am Buchungstag an einem von den Passagieren ausgewählten Standort abgeholt und zu einem beliebigen

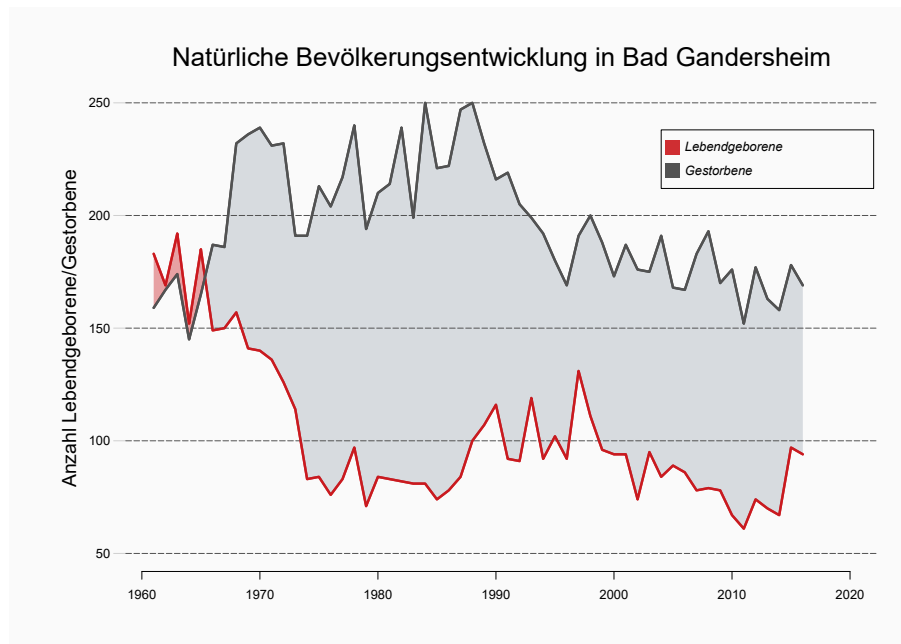


Abbildung 8: Natürliche Bevölkerungsentwicklung in der Gemeinde Bad Gandersheim seit 1960. Dargestellt wird die Anzahl der Lebendgeborenen und der Gestorbenen und die Differenz zwischen beiden Zahlen. Die dunkle Schraffur zeigt eine Bevölkerungszunahme, die hellen Flächen zeigen eine Abnahme. Quelle: (Hahne 2005).

Zielort innerhalb des Pilotgebiets befördert zu werden, sodass der EcoBus laut BMVI dem Flächenbetrieb zugeordnet wird (Sommer et al. 2016). Der EcoBus nutzt ein System, welches die Fahrplanfragen effizient bündelt und somit Fahrten in ähnlichen Richtungen zusammenlegt, das sogenannte Ridepooling. Die Fahrpreise entsprechen den ortsüblichen Tarifen des regulären Busverkehrs und sind in den lokalen Verkehrsverbund integriert, d. h. etwaige Monatsfahrkarten haben auch für den EcoBus Gültigkeit. Zur Integration in den bestehenden ÖPNV wurden die Kleinbusse mit den üblichen Fahrkartenmaschinen der regulären Linienbusse ausgestattet. Auf ein innovatives Bezahlssystem, beispielsweise über die mobile App, wurde in diesem Pilotprojekt des EcoBusses verzichtet. Als Endgerät zur Übertragung von Fahrplanfragen und der sich daraus ergebenden Navigation wurde ein Tablet-Computer in jedem Bus integriert, wobei die Software eigens entwickelt wurde. Für das Pilotprojekt in der Region Bad Gandersheim und Kalefeld waren die fünf Fahrzeuge zu folgenden Zeiten im Einsatz: Mo.–Fr. (06:00–23:00), Fr. (06:00–02:00), Sa. (08:00–02:00), So. (08:00–23:00). Eine Buchung war ausschließlich zu diesen Uhrzeiten möglich. Die Kooperationspartner für das Pilotprojekt sind der Zweckverband Verkehrsverbund Süd-Niedersachsen (ZVSN) und der Regionalverband Großraum Braunschweig (RGB). Die Regionalbus Braunschweig GmbH ist das durchführende Verkehrsunternehmen. Die finanzielle Förderung stammt aus dem Südniedersachsenprogramm, dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) sowie Mitteln der Max-Planck-Gesellschaft.



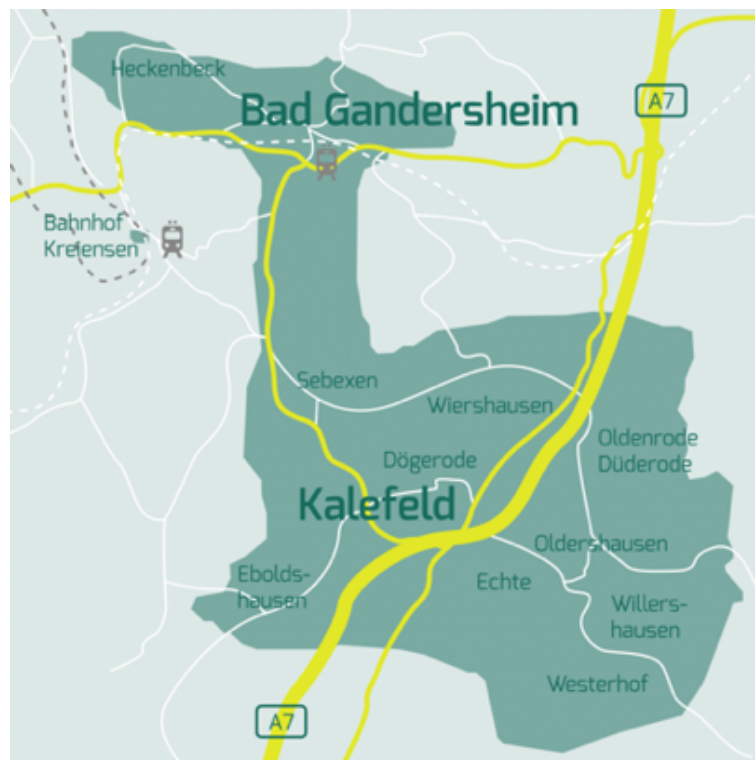


Abbildung 9: Bediengebiet vom EcoBus in der Pilotregion.

### 3.4 Datenauswertung

Die Pilotphase erfolgte vom 10. Juni 2018 bis zum 5. August 2018 (57 Tage). Die Nutzerzahl entwickelte sich über diesen Zeitraum positiv. Am Ende der Pilotphase gab es 756 Nutzeraccounts. Über einen Zeitraum von 57 Tagen registrierten sich im Durchschnitt 13 neue Nutzer täglich. Die braune Kurve in Abbildung 10 zeigt zu Beginn der Pilotphase einen fallenden Verlauf, was auf eine erhöhte Nachfrage zu Beginn des Pilotprojekts zurückzuführen ist. Nutzer, die den Auftakt des EcoBus erwarteten, registrierten sich unmittelbar zu Beginn des Projekts, sodass im Anschluss weniger neue Nutzer pro Tag hinzukamen. Anschließend schwankt die Kurve relativ konstant und steigt erst gegen Ende der Pilotphase stark an. Diese Bewegung ist vermutlich auf das finale Wochenende der Bad Gandersheimer Domfestspiele zurückzuführen, das eine ungewöhnlich hohe Nachfrage nach dem EcoBus und dessen Mobilitätsmöglichkeiten begründete. Das System hat während der Betriebszeiten der Pilotphase 3.834 Buchungen registriert, wovon 987 Buchungen durch die Fahrgäste wieder storniert wurden. Des Weiteren sind 384 Fehlfahrten der Fahrzeuge zu verzeichnen, welche sowohl durch Fehler im EcoBus-System als auch durch Bedienfehler der Fahrer/-innen auftreten können. Letztlich wurden während der Pilotphase 2.774 Buchungsanfragen erfolgreich bedient und 4.446 Fahrgäste befördert.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bei den Berechnungen wurde eine Buchungsanzahl von 2.764 verwendet, da die digitale Dokumentation bei 10 Fahrten keinen Absetzzeitpunkt der Fahrgäste ausweisen kann. Die Anzahl von 2.774 erfolgreichen Buchungen hat dennoch Bestand, weil jeder eingestiegene Fahrgast den EcoBus an einem dokumentierten Standort wieder

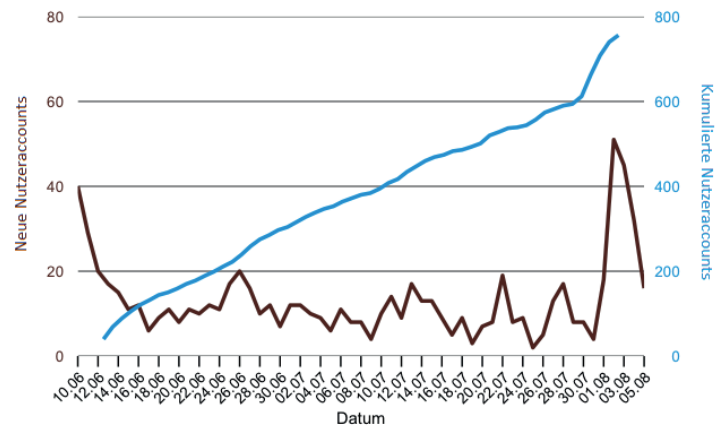


Abbildung 10: Entwicklung der Nutzeraccounts in absoluten Zahlen über den Pilotzeitraum von 57 Tagen. Die braune Kurve zeigt die Anzahl der neuen Nutzeraccounts je Tag (Ordinatenachse links). Die blaue Kurve beschreibt die kumulierte Anzahl an Nutzeraccounts (Ordinatenachse rechts). Auf der Abszisse ist das jeweilige Datum abgetragen. Quelle: Eigene Darstellung.

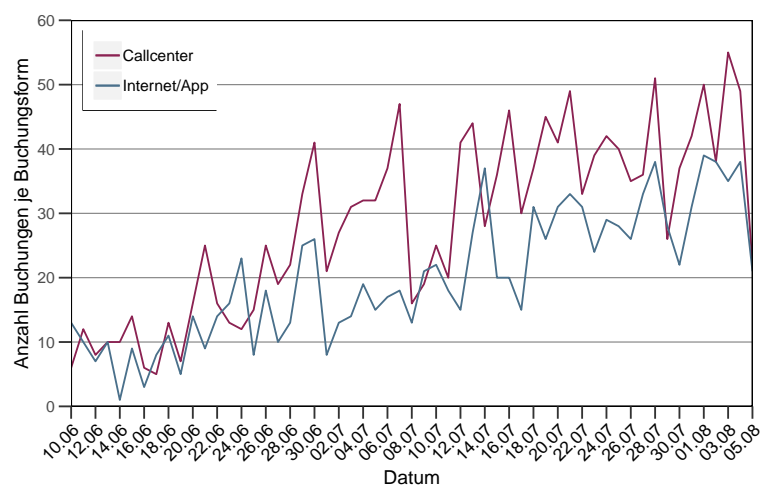


Abbildung 11: Anzahl der Buchungen nach der jeweiligen Buchungsform je Tag. Die rote Linie zeigt die absolute Anzahl der Buchungen über das Callcenter. Buchungen über die App bzw. die Homepage sind durch die blaue Linie dargestellt. Quelle: Eigene Darstellung.

Es wurden 1,64 Personen je Buchung und rund 78 Personen pro Tag über den Pilotzeitraum von 57 Tagen befördert. Im Folgenden bezieht sich eine erfolgreiche Buchung(-sanfrage) auf eine oder mehrere der 2.774 Buchungsanfragen, die tatsächlich durch einen EcoBus bedient wurden. Von den erfolgreichen Buchungsanfragen wurden 59,5 % über das Callcenter gebucht und 40,5 % über die mobile App oder die Homepage. Die Verteilung der Buchungen auf die verschiedenen Buchungsplattformen ist in der Abbildung 11 dargestellt. Der hohe Anteil an telefonischen Buchungen lässt sich vermutlich durch die erhöhte Altersstruktur erklären. Das Bedienen der EcoBus-App kann für einige Nutzer zu umständlich oder unbekannt sein. Ein weiterer Grund könnte die geringe Netzabdeckung in den ländlichen Räumen für die mobile Internetnutzung sein, welche die Buchung über die App teilweise nicht zulässt. In Abbildung 12 ist die Anzahl der Buchungen, bei denen es zu Ridepooling kam, sowie die Anzahl der involvierten Passagiere und der jeweiligen Buszuordnung dargestellt.<sup>2</sup>

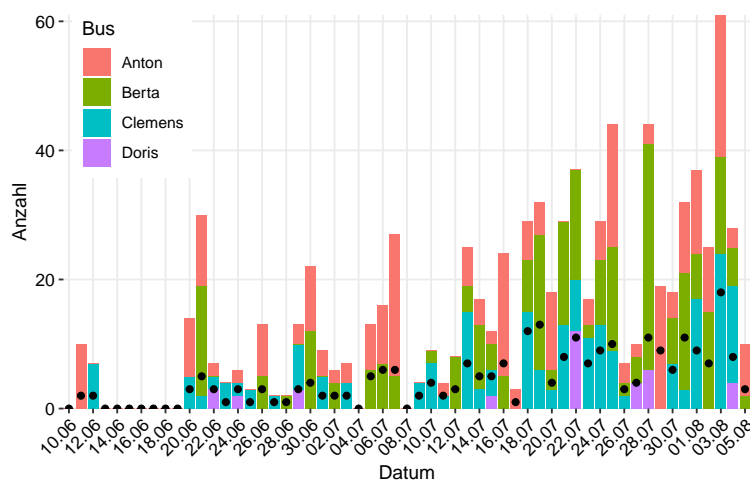


Abbildung 12: Anzahl an Ridepooling pro Tag und Anzahl an Fahrgästen, die im Ridepooling involviert waren. Das Ridepooling ist durch eine Überschneidung von zwei Buchungen je Bus definiert, sodass Fahrgäste bereits im EcoBus befindlich waren als die Fahrgäste einer weiteren Buchung aufgenommen wurden. Die Reihenfolge des Ausstiegs der jeweiligen Fahrgäste wird nicht betrachtet. Es werden Daten zum jeweiligen Datum des Pilotzeitraums von 57 Tagen dargestellt. Die absolute Anzahl an Ridepooling Events ist durch die schwarzen Punkte dargestellt. Die Anzahl der beteiligten Personen ist den farbigen Säulen zu entnehmen. Quelle: Eigene Darstellung.

Das Ridepooling bedeutet, dass Fahrgäste aufgenommen werden während bereits Fahrgäste einer anderen Buchung im Bus befindlich sind. Hierbei lässt sich keine Aussage darüber treffen, welche Fahrgäste nach dem Einsammeln zuerst abgesetzt wurden. Während der Pilotphase kam es bei 251 Buchungen zum Ridepooling, was 9 % aller erfolgreichen Buchungen entspricht. Es waren 843 und somit rund 19 % aller 4.446 Fahrgäste in Ridepooling involviert. Über den Zeitverlauf lässt sich ein leichter Anstieg an Fahrten mit Ridepooling erkennen, das Maximum

verlassen hat. Es handelt sich somit nur um einen technischen Hinweis.

<sup>2</sup>Die vier eingesetzten EcoBusse wurden mit den Namen Anton, Berta, Clemens, Doris und Emil versehen.

wird am 3. August 2018 mit 16 Ridepooling-Fahrten erreicht. Dieses Maximum fällt zeitlich mit den Bad Gandersheimer Domfestspielen zusammen und kann, wie bereits zuvor in Bezug auf die Anzahl der Nutzeraccounts, durch ein erhöhtes Buchungsaufkommen entstehen. Die Verteilung des Ridepoolings korreliert mit der Auslastung der EcoBusse, folglich ist der Anteil am Ridepooling der EcoBusse Anton, Berta und Clemens am höchsten. Im EcoBus Doris gab es an 7 der 57 Tage einen Ridepoolingfaktor über 1. Im EcoBus Emil, der insgesamt sechs Fahrten durchführte, fand kein Ridepooling statt. Insgesamt lässt sich feststellen, dass in der zweiten Hälfte des Pilotzeitraums der Ridepoolingfaktor, aggregiert für alle EcoBusse, immer über 1 lag. Auch die Anzahl der beteiligten Personen stieg über den Pilotzeitraum an.

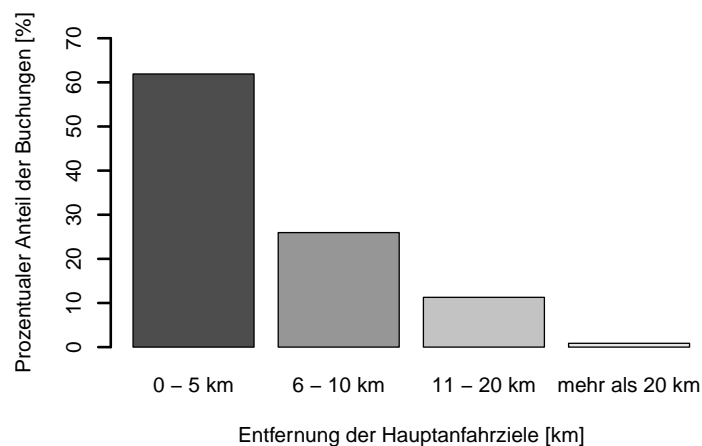


Abbildung 13: Prozentuale Verteilung der erfolgreichen Buchungen nach Wegstrecke zwischen dem Start- und Endstandort der Buchungsanfragen. Die Anteile beziehen sich auf eine Grundgesamtheit von 2774 erfolgreich durchgeführten Buchungen. Die Entfernungen wurden durch die Start- und Endorten entsprechend der Buchungsdaten in Straßenkilometern berechnet. Quelle: Eigene Darstellung, Datenauswertung nach Bossert (2018).

Ridepooling ist eine relevante Größe zur Bewertung, da es die Personenkilometer je Fahrzeug im Verhältnis zu den gesamten Fahrkilometern der Fahrzeuge erhöht. Ein hoher Ridepoolingfaktor erhöht die Anzahl der Personen je Fahrzeug und Strecke und steigert damit die Effizienz des ÖPNVs. Neben den Kosteneinsparungen, die sich unter anderem durch den Wegfall von Einzel- oder Leerfahrten für die jeweiligen Buchungen ergeben, werden ebenfalls die Emissionen pro Fahrgast reduziert. Eine höhere Fahrgastauslastung erhöht die Emissionsreduktion je Fahrgast, vor allem gegenüber anderen Mobilitätsformen wie dem MIV. Als allgemeiner Vergleichswert für den ÖPNV wird häufig das Maß der Personenkilometer verwendet (Verband Deutscher Verkehrsbetriebe 2017). Innerhalb der erfolgreichen 2.774 Fahrten beträgt die durchschnittliche Fahrtstrecke je Buchung 5,401 km. Es wurden 4.446 Fahrgäste befördert, was zu einer Fahrtstrecke von 24.014 Personenkilometer führt. Die mittlere Fahrtenweite für den ÖPNV mit Om-

nibussen liegt bundesweit bei 6,6 km pro Person für die ersten beiden Quartale in 2018 (destatis, S. B. 2018). Abbildung 13 zeigt die prozentuale Verteilung der 2.774 erfolgreichen Buchungen in Bezug zur jeweiligen Entfernung zwischen Start und Endpunkt der Buchungsanfrage. Auffällig ist, dass 61,89 % der Buchungen für eine Distanz zwischen 0 und 5 km angefragt wurden und lediglich 0,86 % eine Distanz von über 20 km aufweisen. Dies hängt mit den geringen Entfernungen zwischen den Ortschaften (ca. 8 km) innerhalb des Projektgebietes zusammen (Knierim 2018). Die absoluten Zahlen der Buchungen hinsichtlich der tageszeitlichen Verteilung sind Abbildung 14 zu entnehmen, welche keinen Aufschluss über den Buchungszeitpunkt sondern nur über den Fahrtzeitpunkt gibt. Wenn eine Fahrt bspw. um 06:00 Uhr gebucht wurde, der Fahrtzeitpunkt aber erst um 15:00 Uhr ist, wird diese Fahrt zur Kategorie nachmittags gezählt. 1.134 Fahrten wurden nachmittags, 1.056 morgens und 574 Fahrten nach 18:00 Uhr durchgeführt. Auf dieser Grundlage ist der Mobilitätsbedarf zu Geschäftszeiten zwischen 8:00 Uhr und 18:00 Uhr deutlich erhöht gegenüber den Nachtzeiten.

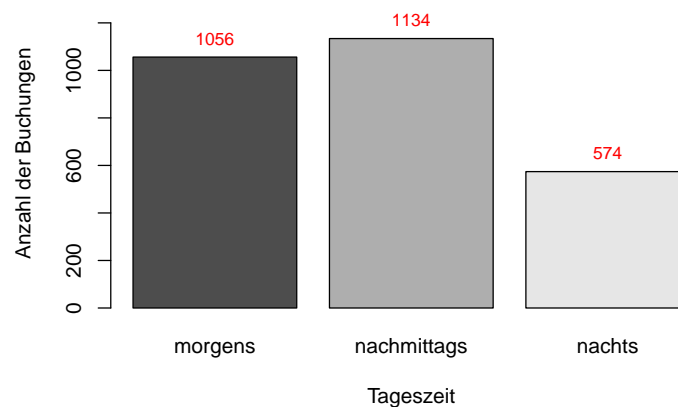


Abbildung 14: Verteilung der 2774 erfolgreich durchgeführten Buchungen nach Tageszeit. Morgens summiert alle Buchungen vor 12:00 Uhr mittags, nachmittags bezeichnet die Buchungen zwischen 12:00 Uhr und 18:00 Uhr. Nachts betrifft alle Buchungen nach 18:00 Uhr. Die roten Zahlen geben die Anzahl der jeweiligen Buchungen zu den definierten Zeitintervallen an. Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 15 zeigt die Verteilung der Fahrgäste nach Wochentagen. Die meisten Fahrten finden an Wochenenden statt, samstags wurden insgesamt 872 Fahrgäste befördert. An zweiter und dritter Stelle folgen Freitage (682) sowie Sonntage (641). Montags hingegen wurden mit 497 Fahrgästen die wenigsten Personen befördert. Mögliche Gründe für diese Wochentagsverteilung sind unter anderem Bedienzeiten und Veranstaltungen. So weisen Freitage die längste Betriebszeit von 20 Stunden auf, da von 06:00 Uhr morgens bis 02:00 Uhr nachts Fahrten angeboten werden. Samstags erreicht der EcoBus 18 Betriebsstunden. Von Montag bis Donnerstag werden 17 Betriebsstunden angeboten. Die kürzeste Bedienzeit fällt auf die Sonntage mit 15 Betriebs-

stunden. Dokumentierte Störungen und Probleme traten ausschließlich während der ersten 38 Tage des Pilotzeitraums auf. Das zeitlich letzte Drittel war hingegen größtenteils problemfrei.

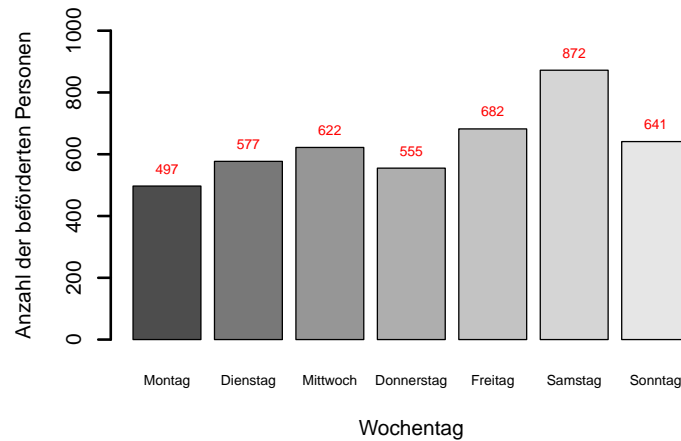


Abbildung 15: Verteilung der 4446 erfolgreich beförderten Fahrgäste nach Wochentag. Die rote Zahl über den jeweiligen Balken zeigt die Anzahl der Fahrgäste, die an den jeweiligen Wochentagen während der Pilotphase von 57 Tagen durch einen der EcoBusse befördert wurden. Quelle: Eigene Darstellung.

### 3.5 Ergebnisse und Fazit

Die Datenanalyse und -auswertung erbrachte die folgenden Ergebnisse: die Anzahl der Nutzeraccounts und auch die Fahrgastzahlen sind über den Pilotzeitraum stetig angestiegen. Die meisten Buchungen mit rund 60 % wurden über das Callcenter getätigt, 40 % erfolgten über die App oder die Homepage. Entsprechend der Zunahme an Fahrgästen über den Pilotzeitraum stieg auch die Anzahl der Fahrten, bei denen es zu Ridepooling kam. Bei rund 9 % der 2.774 Fahrten kam es zu Ridepooling. Die mittlere Fahrtenweite betrug 5,4 km. Für einen ländlichen Raum ist diese Distanz verhältnismäßig gering, aber in Anbetracht des kleinen Pilotprojektgebiets und einer durchschnittlichen Entfernung zwischen den Gemeinden von 8 km nachvollziehbar. Rund 62 % der Fahrten hatten eine Wegstrecke von 0 bis 5 km. Mit 4.446 beförderten Fahrgästen ergibt sich anhand der mittleren Fahrtenweite eine Gesamtfahrtstrecke von 24.014 Personenkilometern. Die meisten Fahrten finden nachmittags oder morgens statt. Abends oder nachts finden innerhalb der Betriebszeiten signifikant weniger Fahrten statt. Es lässt sich feststellen, dass die meisten Fahrten an Wochenenden durchgeführt werden, vor allem samstags und freitags. Gründe hierfür sind längere Betriebszeiten sowie das finale Wochenende der Bad Gandersheimer Domfestspiele. In der Gesamtschau muss für den – allerdings recht kurzen – Pilotzeitraum festgestellt werden, dass der Anteil von Ridepooling, also solchen Fällen, bei denen mehrere

unterschiedliche Fahrtwünsche gebündelt werden konnten, noch ausbaufähig erscheint. Erfreulich ist aber, dass sich binnen kurzer Zeit eine beachtliche (und wachsende) Nachfrage nach den Beförderungsleistungen des EcoBus eingestellt hat. Dies gibt Anlass zur Hoffnung, dass es durch Ridepooling-Konzepte wie dem EcoBus gelingen kann, Mobilitätsbedarfen in ländlichen Räumen gerecht zu werden und darüber hinaus einen positiven Beitrag zur Verkehrs- und Emissionsreduktion zu leisten.

## Literatur

- Bertelsmann Stiftung. (2019). Demografiebericht bad gandersheim. Zugriff 15. April 2019 unter <https://www.wegweiser-kommune.de/kommunen/bad-gandersheim>
- Bossert, A. (2018). *Einführung eines nachfrageorientierten transportsystems in ländlichen räumen in deutschland – eine empirische studie auf basis von umfrage und realdaten*. (Magisterarb., Universität Göttingen).
- Bundesamt, S. (2011). *Herausforderungen des demografischen wandels* (S. zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Hrsg.).
- Bundesinstitut für Bau-, S. R. (2018). Stadt und gemeindetypen in deutschland. Zugriff 15. April 2019 unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumebeobachtung/Raumabgrenzungen/Stadt-Gemeindetyp/StadtGemeindetyp%5C\\_node.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumebeobachtung/Raumabgrenzungen/Stadt-Gemeindetyp/StadtGemeindetyp%5C_node.html)
- destatis, S. B. (2018). Verkehr – personenverkehr mit bussen und bahnen. Zugriff unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/PersonenverkehrSchienenverkehr/PersonenverkehrBusseBahnenJ2080310167004.pdf>
- Gans, P. (2005). Tendenzen der räumlich-demographischen entwicklung. in demographischer wandel im raum: Was tun wir? In *Gemeinsamer kongress von arl und bbr* (Bd. 225, S. 42–53).
- Gemeindeverwaltung Kalefeld. (2018). Bevölkerungszahlen kalefeld. Zugriff 15. April 2019 unter <https://www.kalefeld.de/ortschaften/ortsteile-der-gemeinde-kalefeld/>
- Hahne, U. (2005). Zukunftskonzepte für schrumpfende ländliche räume. von dezentralen und eigenständigen lösungen zur aufrechterhaltung der lebensqualität und zur stabilisierung der erwerbsgesellschaft. *Neues Archiv für Niedersachsen*, 1, 2–25.
- Knierim, L. (2018). *Standortuntersuchung zur implementierung eines flexiblen ride-pooling-konzepts im ländlichen raum - eine demografische und ökonomische analyse der kommunen bad gandersheim und kalefeld*. (Magisterarb., Universität Göttingen).
- Landesamt für Statistik Niedersachsen. (2018). Lsn-online datenbank. Zugriff 15. April 2019 unter <https://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/default.asp>



- 
- Schmitt, V. & Sommer, C. (2013). *Mobilfalt –ein mitnahmesystem als ergänzung des öpnv in ländlichen räumen. in schritte in die künftige mobilität*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Sommer, C., Schäfer, F., Löcker, G., Hattop, T. & Saighani, A. (2016). *Mobilitäts- und angebotsstrategien in ländlichen räumen*. Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur. Zugriff 15. April 2019 unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/mobilitaets-und-angebotsstrategien-in-laendlichen-raeumen-neu.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/mobilitaets-und-angebotsstrategien-in-laendlichen-raeumen-neu.pdf?__blob=publicationFile)
- Verband Deutscher Verkehrsbetriebe. (2017). *Jahresbericht 2017*. Zugriff 18. April 2019 unter <https://www.vdv.de/jahresbericht---statistik.aspx>.

## **4 Determinants of customer satisfaction with a true door-to-door DRT service in rural Germany**



---

## Determinants of customer satisfaction with a true Door-to-Door DRT service in rural Germany

Niklas Avermann<sup>a,c</sup> and Jan Schlüter<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Chair of Statistics, Department of Economics, Georg-August-University of Göttingen, Humboldtallee 3, 37073 Göttingen, Germany

<sup>b</sup>Institute for the Dynamics of Complex Systems, Faculty of Physics, Georg-August-University of Göttingen, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen, Germany

<sup>c</sup>Max-Planck-Institute for Dynamics and Self-Organization, Department of Dynamics of Complex Fluids, NGM, Am Fassberg 17, 37077 Göttingen, Germany

**Noch nicht zugeordnet in: Research in Transportation Business & Management (Avermann and Schlüter 2020)**

The effects of demographic change and the lack of acceptance represent some of the main problems for the public transport infrastructure in rural areas. As a consequence, the development of new transport service options becomes especially relevant for rural communities. The Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization developed a new form of Demand Responsive Transport, the EcoBus, to examine the viability of new DRT systems in rural Germany. Our work draws on customer satisfaction data during the trial runs of the EcoBus. Based on the survey data, this paper develops regression models to explain the determinants of DRT customer satisfaction. Our main findings include the importance of waiting times and the ease of entry for overall customer satisfaction. Nevertheless, we found no evidence that the presence of other guests in the vehicle had any negative impact on customer satisfaction. Findings of other works that women are significantly more likely to use DRT services could not be validated from our data.

## 4.1 Introduction

The ability to lead an independent and self-determined life is one of the most important and basic needs for people of all age groups. One aspect of this is the assurance of spatial mobility. Restriction of general mobility is often accompanied by a perceived loss in the quality of life, autonomy and freedom (Limbourg 2015; Limbourg and Matern 2009). Especially in rural areas, these demands represent an increased challenge. Many rural areas are characterised by similar features. Often the distances to be covered, for example to medical appointments, school or work, are very long and public transport is often insufficiently developed, so that the mobility demands of local residents cannot be adequately taken into account. Due to the low population density, traditional scheduled transport is often underutilised. Frequently, many seats in the transport vehicles remain unused and entire lines are removed from the public transport offer, as it is not worthwhile for the transport providers to continue financing the service. Regularly, the transport providers are focused on school times, since relatively large capacity utilisation can be reached here. Outside these rush hours, however, frequency of busses in rural areas is comparatively low, as low load factors or empty runs are more likely. The low frequency often leads to general dissatisfaction among citizens, for whom regular bus services are becoming less and less important, as they see no added value in their quality of life through the existing services. The need for flexible and low-cost mobility is therefore only insufficiently met by scheduled transport. A significant part of the population in rural areas therefore remains dependent on their cars. The operators of existing public transport systems are thus tasked to combine cost efficiency with a satisfactory service concept for their customers. Given this background Demand Responsive Transport (DRT) systems might be a valid possibility to provide rural areas with sufficient access to efficient public transport services. DRT systems are a mean of public transport that falls between private car usage and conventional public transport which aims at combining the benefits of busses and their higher occupancy rates with the greater comfort levels of taxi services (Bakker 1999). Following the common definition, we define a DRT system as being publicly accessible to all groups and not focused on one special age group for example. Contrary to taxi services, fares are charged per customer and not per vehicle. Furthermore, the DRT system changes according to variations in demand and is provided by low capacity vehicles like vans opposed to large busses. There has already been substantial research on a wide array of different DRT cases and varying aspects of these services. However, these studies had relatively limited focus on the user perceptions of DRT services. Furthermore, many similar projects often utilised semi-fixed routes in their projects where some stop points are obligatory

only allowing for some deviations from main routes (Brake et al. 2007). Within the framework of two pilot projects the Max-Planck-Institute for Dynamics and Self-Organisation researched the implementation of a DRT system in rural areas. Here, we had the possibility to examine the previously presented problems during the trial run of a true door-to-door minibuss system in the regions of Bad Gandersheim and Kalefeld as well as for the Harz area of Lower-Saxony. For the pilot phases, a questionnaire on general customer satisfaction was developed. This questionnaire refers to customer experiences with the Demand Responsive Transport System EcoBus. The EcoBus was operated as part of a first pilot project in the Bad Gandersheim and Kalefeld region from 2 July 2018 to 5 August 2018 and from 11 August 2018 to 28 February 2019 in the Harz. In this work, the survey in question is to be evaluated as part of a statistical analysis. Through the evaluation of our customer satisfaction survey, we try to add to the scholarly knowledge on customer perception of DRT services. In our analysis of the viability of DRT systems we solely focus on the demand side of the service in form of satisfaction parameters. Although there is evidence that DRT services were often discontinued due to high costs (e.g., Mageean and Nelson 2003; Davison et al. 2014), we think that demand for public transport is often very lacking due to the unattractiveness of the service for the average citizen. Furthermore, since we are investigating pilot projects, it would be quite difficult to investigate the actual cost of a DRT service during actual continuous operation.

In this paper, the problems of public and private transport in rural areas are elucidated. Furthermore, literature regarding Demand Responsive Transport systems and their possible solutions for the transport problems are presented. This is followed by a brief presentation of the statistical model, the case study and our data. Then the results of our analysis are presented. First, we analysed the influence of different variables on the satisfaction levels with an DRT system. Next, we used our model to analyse the differences between groups with time restrictions and a control group. Finally, a concluding summary is given.

## 4.2 Existing Research on Public Transportation in rural areas

The effects of demographic change and the lack of acceptance represent some of the main problems for the public transport infrastructure in rural areas. Often, these areas are suffering from small population growth which does not sustain the overall population level. This is even further aggravated by the fact that rural regions are often subject to emigration especially of younger generations. Negative population growth then results in rising average costs per inhabitant until authorities in the countryside are ultimately no longer able to afford public

transport services (Weiß 2006).

The usual DRT providers range on the one hand from informal community transports that are for example specialised on walking impaired or older citizens to more sophisticated public or private service networks. DRT systems are also often referred to as ridepooling services. Here, the primary objective is to ensure that the routes of different passengers are served by a single journey, with passengers accepting detours that should be kept to a minimum (Alonso-Mora et al. 2017). Ridesharing on the other hand is generally characterised by the fact that private drivers offer their free seats in the car to third parties on a journey and determine the framework conditions, such as the place of departure, the time and the exact destination. The passengers may pay the driver an amount that generally does not exceed the total cost of the journey. If drivers cannot find passengers for the trip they are offered, they will still take the trip. Jokinen (2016) postulated that an increased usage of DRT by public transport operators can yield higher overall cost-efficiency (in terms of consumer and societal costs) given that demand density and fleet size are sufficiently large. By providing an example of a DRT service in Finland he found that these preconditions often remain challenging. Political requirements regarding budget constraints and service area are limiting factors for the DRT fleet size. Jokinen found that for a Finnish case study average occupancy rates remained relatively low and thus subsidisation rates high. Wang et al. (2015) have analysed a DRT service of the Lincolnshire County Council in the UK called ‘CallConnect’. Through the analysis of a customer survey they gained information on customer satisfaction with the public transport system. They found that the majority of the respondents were either “very satisfied” (62.96%) or “fairly satisfied” (19.91%) with the DRT service overall. However, as far as we understand their service used semi-fixed stops. Regarding the overall success of DRT projects, Herminghaus (2019) claims that the reason for many recent systems not being successful is the low number of operating vehicles. As a result these services are unable to provide viable waiting times for customers. In his work Herminghaus estimated that costs for DRT services, in similar areas to ours are about 4 times higher per kilometre per person than for private cars. This results from higher operating costs from driver salaries and larger fuel consumption. Furthermore, he claims that until recently processing power of computers was not sufficiently high to effectively handle scheduling and travel requests. Consequently, it is asserted that in a fully developed DRT system, traffic volume and energy consumption could be reduced by a factor of five through increased ride pooling. Hence, demand responsive transport is seen as a potentially viable option even for rural areas.

Baumeister and Meier-Bebereich (2018) found that public transport in Germany’s rural areas

is mainly focused on school transport, which is generally becoming more expensive due to longer journeys (increasing expenditure) and decreasing numbers of pupils (decreasing capacity utilisation). By means of statutory incentives and public funding systems by policy makers, pupil transport was integrated into the public transport system, which, however, is generally unattractive for general public (e.g. because of the timetable and the connection to stops). This implicit incentivisation has led to the extensive dependence of public transport providers on school transit. Consequently, in many regions there is only rudimentary local public transport at weekends and during school holidays. Hence, dependency on a private car remains high. Berg and Ihlström (2019) also identified a lacking service offer as a main reason for car usage over public transport in rural areas. Other reasons included habits and time concerns of the residents. There are several studies that found a significantly higher share of women using DRT services (see Koffman (2004), Nelson and Phonphitakchai (2012), and Rosenbloom (2004)) Morton et al. (2016) followed a similar approach to ours in this paper. They analysed perceived quality of bus services related to convenience, cabin environment and ease of use issues. Then they analysed how these perceived differences in quality changed over socio-economic cohorts. They found females exhibiting relatively lower opinions regarding the bus interior. Other findings include that the perceived convenience of the bus service showed a significant impact on satisfaction levels. They suggest that improvements in service frequency, availability, reliability and stability are likely to increase satisfaction among passengers.

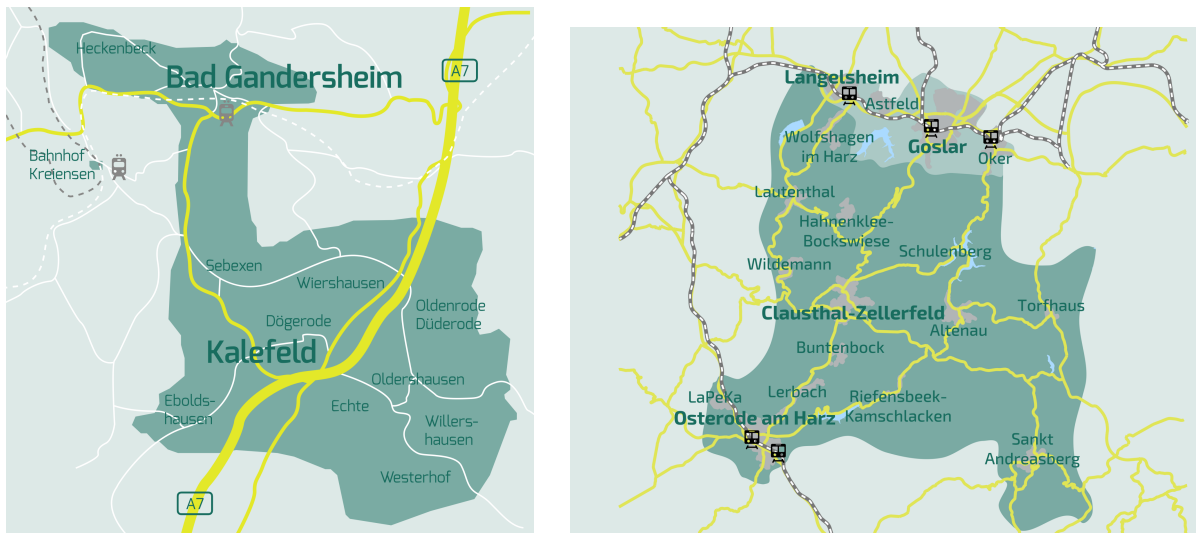
### 4.3 Case study area and Data description

The geographical area of Südniedersachsen is located in the south-eastern part of the federal state of Lower-Saxony in Germany. It is comprised of the county districts of Goslar, Göttingen, Holzminden and Northeim. With the exception of Göttingen, the region is characterised by sparsely settled rural districts or districts with some rudimentary settlement densification. Specifically, the areas where the DRT trial projects took place, Northeim and the former county district of Osterode am Harz (now county district Göttingen) are counties with an urban population share of less than 50 % and a population density of less than 100 inhabitants per square kilometre, while the district of Goslar has a population density of less than 150 inhabitants per square kilometre but an urban population share slightly above 50 % (BBSR n.d.). The “Verkehrsverbund Südniedersachsen” is the municipal public transport service provider for the region. In cooperation with the Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization located in Göttingen they initiated the EcoBus project. The EcoBus is a newly created DRT sys-

tem which operated during two trial runs in Bad Gandersheim and Kalefeld (District Northeim) and in the Harz region of Lower-Saxony (former district Osterode am Harz and district Goslar). Apart from DRT, public transport in the trial areas is generally provided by conventional bus and sparsely available train services. In these areas, mobility along the main transport routes is mostly available through aforementioned busses. However, public transport routes are generally inflexible regarding their routing and scheduling offers and are less accessible outside of the main school hours. Given the lacking public transport service provision, most inhabitants rely on motorised individual transport. Based on these characteristics, the EcoBus was created to supplement the existing public transport through a flexible demand responsive transport component. The EcoBus system is designed to transport customers to their destination on demand and without predetermined routes, timetables or stops. The customer can book the desired journey online, via app or by ordering over a call centre. The call centre option was implemented to make the service accessible to all user groups especially elderly people who are less willing or unable to get involved with a smartphone (Clewlow and Mishra 2017; Kloth and Mehler 2018). Journey requests are consequently bundled and assigned to the individual busses. Route planning and optimisation is facilitated by a route optimising algorithm. The algorithm and accompanying software were designed by the Max-Planck-Institute for Dynamics and Self-organization in Göttingen. After booking, the user receives feedback on his planned pick-up period. Ticketing and pricing were based on the already existing infrastructure of the local transport providers such that the DRT system was fully integrated in the existing public transport system and required no further adjustments. A ticket for the DRT service had the same price as a regular bus ticket on the same route and was charged per ride with no additional charge per driven kilometre.

From 10 June 2018 to 5 August 2018, the very first EcoBus pilot test took place in Bad Gandersheim and Kalefeld in the county district of Northeim parallel to the Gandersheim Cathedral Festival. Here, the system could be tested for the first time in a small trial area during the summer season to gather knowledge for the regular service operation Figure 16a. From 11 August 2018 to 28 February 2019, the EcoBus was tested in a much larger area in the Harz in the districts of Goslar and Göttingen. In the mountainous area, the number of inhabitants, the topography and also the mobile phone coverage as well as the climate and the time of year posed different challenges (Figure 16a, Figure 16b). The initial number of five busses in operation was subsequently increased to a total of eight operating busses with a capacity of eight passengers and one driver per vehicle. The operating hours were: 06:00 - 22:00 on Mondays through Thursdays, 06:00 - 02:00 on Fridays, 08:00 - 02:00 on Saturdays and 08:00 - 22:00 on





(a) Service Area first pilot in Bad-Gandersheim and Kalefeld

(b) Service area second pilot in the Harz area

Figure 16: Service areas of EcoBus Pilots

Sundays. The EcoBus service area pictured in Figure 16b shows the main traffic routes along with the main train stations in the trial areas. Inside this area every single point along a passable road could be serviced by the system. The EcoBus system can therefore be considered a “true” door-to-door system that is not reliant on any (virtual) bus stops. The system was designed to provide the highest degree of comfort for customers.

Pickup requests inside impassable areas such as pedestrian zones, were handled by a “snapping” software that guided the customer on the app to the nearest passable street to be picked up by the bus. To fulfil the EcoBus’ ambition to cooperate rather than compete with existing public transport services (e.g. bus lines) some areas inside the trial region were declared to be solely pickup or drop-off zones. This means a person could order a lift to or from a point inside the special zone to any other point in the service area except inside the special zone. This was the case for the core city of Bad Gandersheim in the first trial region and for the urban areas of Goslar, Langelsheim and Oker inside the second area. These areas that are rather urban in character were deemed to have an already sufficient public transport offer through existing measures. The declaration of the pickup/drop-off zones was done to prevent cannibalisation of conventional (in urban areas more efficiently) operating bus systems. Outside of these designated areas there was no implemented mechanism to prevent DRT trips parallel to regular bus lines.

The data used in this study comes from a customer survey conducted during the two trial periods of the EcoBus service. It contains responses from 212 customers. The survey was carried out inside the busses during operating hours. The bus operators were asked to inform

their customers about the provided survey questionnaires which were available in paper form and could be returned into submission boxes inside the busses. Hence, there was no specific selection criteria for participants. The customers were asked to fill out only one survey. Questions asked in the survey include the type of ticket used, whether and how many other guests were on the bus, the waiting time, satisfaction with the entry possibilities of the bus, satisfaction with bus equipment, overall satisfaction, reason for travelling, car ownership, age, gender and job status. Regarding the waiting times, the EcoBus service had no predetermined timetable. After ordering a bus the customer received a pickup offer according to possible scheduling that depended on the number of vehicles operating and already planned trips. When the pickup offer was accepted the customer got a guaranteed time window of 20 minutes to be picked off by the EcoBus.

## 4.4 Statistical Model

In this study we used an ordered logit model (OLOGIT)<sup>1</sup> to identify the factors influencing overall satisfaction with the DRT system. The choice for this type of model is straightforward in this case. Ordinal Regressions are an extension of binomial logistics regression. The OLOGIT regression is used in this case to predict the overall satisfaction variable with multiple ‘ordered’ categories and independent variables. Generally, the regression is used to identify the relationship between the dependent variable (being made up of several ordered levels) and the independent variables. In our survey we asked the respondents to reflect on their level of satisfaction on a five-point scale ranging from very satisfied to very unsatisfied. Consequently, in our analysis we added intermediary levels to the responses, rather satisfied, neutral and rather dissatisfied. Doing so, we can identify a natural order in our levels. The observed overall satisfaction in form of our five ordered levels is estimated with one base level and four thresholds according to the ordered levels. Interpretation of the model coefficients is uncomplicated. Positive signs of the coefficients indicate a positive influence of the independent variables on overall satisfaction with the DRT service and vice versa. Like logistic models, the odds and odds ratio of a certain outcome can be computed to ease the coefficients interpretation. Limitations of OLOGIT regressions include the assumption of proportional odds in the outcome of our dependent variable and the problem of under reporting in our data (Quddus et al. 2009; Yamamoto et al. 2008). However, Wang et al. (2015) validated the viability of the OLOGIT model in a similar case study.

---

<sup>1</sup>The statistical model on which the analysis is based is presented in more detail in Wang et al. (2015)

Our chosen variables are presented in Table 4. All of our variables come from the survey done during the operating time of the EcoBus. Satisfaction is our five-level dependent variable which we want to explain. Waiting time is a four-level variable (1 = up to 10 min; 2 = up to 20 min; 3 = up to 30 min; 4 = more than 30 min). Entry is a five-level variable giving information of the perceived ease of entry into the vehicle (1 to 5 from very uncomfortable to very comfortable). Ease of entry in this case is only related to the perceived effort to enter the bus. We did not see a need to integrate another question regarding the general accessibility of the service, since the EcoBus offered its service at almost every point in the service area. Car Ownership is a dummy variable giving information whether the respondent is owning a car (with zero meaning no car ownership). Other guests in this case means whether there were other guests in the vehicle apart from the respondent or the group travelling with the respondent. Additionally, we chose the declared age of the respondent as a continuous variable. The choice of our independent variables used in our models was based on the statistical significance in the regression model. We also included gender of the respondents and the presence of other guests in the vehicle are also expressed by dummy variables in our first model.

Table 4: Variables used in regressions

	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	NA
Satisfaction	210	4.510	0.810	1	5	2
Waiting time	207	1.330	0.700	1	4	5
Entry	209	4.640	0.700	1	5	3
Car Ownership	210	0.320	0.470	0	1	2
Age	209	40.170	19.500	10	90	3
Other Guests	212	0.480	0.500	0	1	0

## 4.5 Results

Before dwelling deeper into our regression analysis we present shortly the distribution of our most important variables. An overview of the age groups separated by gender can be seen in Figure 17. The age group 46-65 is the largest group. Gender shares of the interviewees are relatively evenly distributed. The findings by Wang et al. (2014) that demand responsive transport services are used significantly more by women cannot be confirmed in this case since genders in our observed study area are roughly evenly distributed at around 50% each (BBSR n.d.). This might be due to the fact that in this particular case of rural Germany safety aspects might be not as relevant for women compared to larger cities. Therefore the added (safety) benefits from

using a DRT compared to a regular bus service might not be that great. Another possibility to look at this finding is that the added benefits only really come to fruition if the options are between normal public transport and DRT rather than between car usage and DRT. If the existing bus transport service is so bad that (female) customers rely either way on the car there would probably be no relevant added safety benefit of using a DRT system. This could explain why we could not find any significantly higher usage by female customers. The reported main reasons to use the EcoBus are depicted in Table 5.

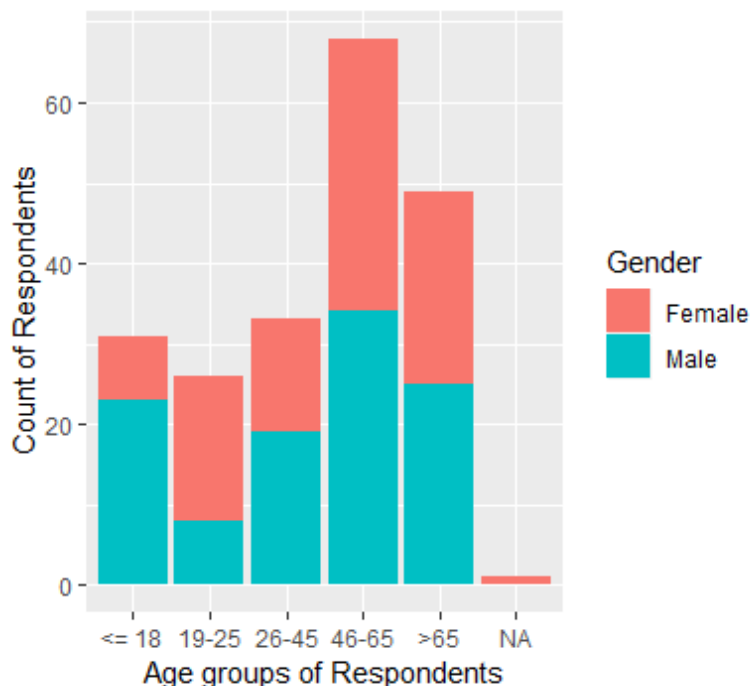


Figure 17: Gender and age groups of respondents

Table 5: Stated reason for using the EcoBus

Reason	Freq	Perc
Leisure	87	41.04
Work	55	25.94
Medical Appointment	20	9.43
Studies/School	18	8.49
Shopping	14	6.6
Other	8	3.77
NA	10	4.72
Total	212	100

Leisure being the most commonly reported reason to use the DRT system (41.04%). This may be due to the fact that the first EcoBus pilot phase took place in connection with the

Gandersheim Cathedral Festival and was also explicitly advertised as a contributor to this major event.

Table 6 shows the respondents perception regarding their overall satisfaction with the DRT system. Most of the respondents were either “very satisfied” (66.04 %) or “rather satisfied” (21.7 %) with the EcoBus system in general. The data shows some evidence that waiting times have an influence on perceived satisfaction levels. The mean satisfaction level of the two lowest waiting time with 4.53 on average is slightly higher than the mean value for longer waiting time categories with 4.14.

Table 6: Reported satisfaction levels

Satisfaction	Freq	Perc
Very Satisfied	140	66.04
Rather Satisfied	46	21.7
Neutral	18	8.49
Rather Unsatisfied	4	1.89
Very Unsatisfied	2	0.94
Not Answered	2	0.94
Total	212	100

To investigate the determinants affecting satisfaction with an operating DRT service, we used an OLOGIT model. The modelling results along with the calculated odds ratios are presented in Table 7 standard errors are given in brackets. We specified two models with six, respective four, dependent variables. Both models show strong and statistically significant influence of waiting time, the ease of entry and age of respondents on overall satisfaction with the DRT service. Males seem to respond more negatively on their level of approval, this result has however no statistical significance. The presence of other guests inside the vehicle has, somewhat confusingly, a positive sign. Generally, we would assume that the presence of other guests would have a negative impact on satisfaction levels. Nevertheless, this determinant is also not significant. This result may seem puzzling at first. Considering that one of the main drawing features of car dependency is the privacy associated with being alone or with familiar people inside the vehicle (Beirão and Cabral 2007). Overcrowding (i.e. other people being in the mode of transport) on the other hand is generally believed to decrease the perceived satisfaction of public transport users (Cantwell et al. 2009). A possible explanation for our findings might be a change in perceptions towards public transport or privacy. Since users and especially younger people, can create their own sense of privacy through the use of electronic devices, by listening to music or reading the news etc. Nevertheless, since the variable referring to

	Model 1	Model 2	Odds ratio
Waiting time	-0.73*** (0.22)	-0.69*** (0.21)	0.5
Entry	1.28*** (0.24)	1.30*** (0.23)	3.67
Age	0.03*** (0.01)	0.03*** (0.01)	1.03
Car Ownership	-0.54 (0.36)	-0.64* (0.35)	0.53
Other Guests	0.50 (0.35)		
Male	-0.22 (0.35)		
AIC	310.56	312.30	
BIC	343.39	338.64	
Log Likelihood	-145.28	-148.15	
Deviance	290.56	296.30	
Num. obs.	197	199	

\*\*\* $p < 0.01$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0.1$

Table 7: Regression output

gender and the presence of other guests show no signs of statistical significance, we excluded them from the model. Looking at our main model (model 2) we can see that the coefficient of waiting time is negative and highly significant at 1% level. The coefficients are scaled in terms of logs. To make the coefficients from the model easier to interpret we converted them into odds ratios (OR). To get the ORs we simply exponentiated the estimates. The proportional odds ratios can be interpreted for dummies, that for a one unit increase in the dummy, meaning going from 0 to 1 the odds of a higher level applying versus the one below applying combined are 'X' times greater, given that all other variables in the model are held constant. For continuous variables (such as age), we would interpret if the independent variable moves 1 unit, the odds of moving from the lower and middle categories to the high category are multiplied by the odds ratio coefficient. Holding all other variables constant, we find that for a one unit increase in waiting time, satisfaction is 0.5 times smaller. This finding is in line with our common understanding of longer waiting times having a severe and significant negative impact on satisfaction. Another factor with significance is the perceived ease of entry into the vehicle. We find a highly significant and positive impact on satisfaction with a one unit increase in the variable leading c.p. to 3.67 times increase in satisfaction. This factor might be especially relevant for older or walking impaired people who are not able (or no longer able) to operate a private car and are therefore reliant on public transport. Ease of entry therefore becomes quite important for these groups and thus the variable has significance for overall satisfaction. Next,

as mentioned before, we found no clear evidence that the EcoBus is significantly more used by the older population Figure 17. Furthermore, with increasing age respondents seem to show higher levels of satisfaction. An increase in age by one year is estimated to increase likelihood of higher satisfaction by a factor of 1.03. This might be related to the point mentioned before that older citizens are especially reliant on public transport since they are not able to drive a car. Hence, flexible transport options might be more appreciated by older generations. Finally, there is some evidence that car ownership might have a negative impact on the satisfaction level. This confirms the finding of Woldeamanuel and Cyganski (2012). Given the fact that our final sample of  $N=199$  is relatively small we would seek to verify our model in future studies with higher sample sizes.

## 4.6 DRT Satisfaction in Time constrained Groups

Generally, groups that are very prone to time constraints are thought to be more reliant on their car rather than public transport. The high levels of flexibility and reliability in terms of travel times when using a private car are often named as reasons for using a car. Hence, we tried to analyse whether there are some unique effects regarding the satisfaction of groups that are more time constrained. We identified those respondents as time constrained that answered as reasons for travelling as "Medical Appointment" "Work" or "Studying/School".

	Time constrained	Others
Waiting time	-0.45* (0.24)	-1.07** (0.45)
Entry	0.87*** (0.29)	1.78*** (0.37)
Age	0.03* (0.02)	0.03** (0.01)
Car Ownership	-0.79 (0.52)	-1.05* (0.56)
AIC	187.41	136.04
BIC	207.13	157.79
Log Likelihood	-85.70	-60.02
Deviance	171.41	120.04
Num. obs.	87	112

\*\*\* $p < 0.01$ , \*\* $p < 0.05$ , \* $p < 0.1$

Table 8: Statistical models

We declared those activities to be time constrained because they have a fixed starting time that

is not moveable. All other respondents serve as a control group in this case. One might argue that nowadays with employees being able to work "flexitime workers do not really qualify as a strongly time constrained group. However, we decided to keep "work" in our time constrained group since manufacturing for example in the chemical industry is an important factor in the region. In these industries shift work and starting on time is probably more relevant. The given reasons for the control group are "leisure", "shopping" and "other reason". In theory, longer waiting times should have a high and significant negative impact on these groups since delays of their mode in transport might result in negative repercussions for the respondents.

Looking at Table 8 we can see that our previously stated assumption regarding the influence of higher waiting times in our time constrained groups did not have the expected result. As expected, the coefficient for waiting time shows a negative sign of weak statistical significance with  $p < 0.1$ . However, the coefficient for waiting time shows a weaker influence on our satisfaction in comparison to the control group. This result might be somewhat confusing at first glance and might be due to the very high overall appreciation of the DRT service in our time constrained group that does not allow us to identify any real effects of longer waiting times on satisfaction. These high levels of satisfaction probably result from the fact that the public transport services in the region were, prior to the introduction of the DRT system, not very well liked. Therefore, the introduction of a new and flexible transport offer was highly appreciated. Thus, having a very poor existing public transport system as point of reference these people might be more willing to sustain longer waiting times and in turn rate their satisfaction levels at a higher level.

## 4.7 Conclusion

In our analysis we were able to show how statistical tools such as the OLOGIT regression model can be used to evaluate public transport survey data on a very detailed level. A better understanding of the determinants influencing overall satisfaction levels of public transport and specifically DRT systems can be useful to make future versions of rural transportation systems more viable to common citizens and eventually create a more efficient, cheap and environmentally friendly public transport offer. Our analysis provides insight on overall satisfaction levels with a real door to door DRT system and how waiting time, age of the respondents and the ease of entry into the vehicle affect the approval rates of the citizens. Our analysis of a more sophisticated door to door system offers the possibility for further research to compare satisfaction levels with other semi-fixed DRT services and gives information for public transport providers



---

as to which elements of a DRT system have the most implications for the customers well-being. Commonly known factors for customer satisfaction such as waiting times have been confirmed to have an important impact on overall satisfaction levels. Surprisingly, we could not establish any significant (negative) connection between the presence of other people in the vehicle and our satisfaction variable. We contributed this finding to a possible change in perception towards privacy by customers. Therefore, these results could be subject of further scientific research. Nevertheless, in our analysis we could not find any evidence that higher waiting times have a more severe effect on groups that are more time constrained. Furthermore, we could not verify the results from other works that that the examined DRT service was significantly more used by women. One of the implications of our work for managerial practice is that public transport service providers should focus more on the needs of older and walking impaired people, since these groups seem to be more reliant on public transport offers. Our work shows that the conduction of simple satisfaction survey can offer very useful information on closer inspection. However, since our sample size is relatively small and our trial area represents just two small rural areas there remains a large possibilities for future research.

## Bibliography

- Alonso-Mora, J., Samaranayake, S., Wallar, A., Frazzoli, E., & Rus, D. (2017). On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *114*(3), 462–467. doi:10.1073/pnas.1611675114
- Bakker, P. (1999). *Public transport planning and management: Proceedings of seminar e held at the european transport conference, robinson college, cambridge, 27 - 29 september 1999*. Volume / PTRC P. London: PTRC Education and Research Services Ltd.
- Baumeister, H., & Meier-Bebereich, J. (2018). Chancen für den öpnv im ländlichen raum durch digitalisierung: Notwendige klärungen und strategien für aufgabenträger. *V+T Verkehr und Technik*, (8).
- BBSR. (n.d.). Siedlungsstrukturelle kreistypen: Raumabgrenzungen. Retrieved from [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/kreise/Kreistypen4/kreistypen\\_node.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/kreise/Kreistypen4/kreistypen_node.html)
- Beirão, G., & Cabral, J. A. S. (2007). Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy*, *14*(6), 478–489. doi:10.1016/j.tranpol.2007.04.009
- Berg, J., & Ihlström, J. (2019). The importance of public transport for mobility and everyday activities among rural residents. *Social Sciences*, *8*(2), 1–13. Retrieved from <https://ideas.repec.org/a/gam/jscscx/v8y2019i2p58-d206541.html>
- Brake, J., Mulley, C., Nelson, J. D., & Wright, S. (2007). Key lessons learned from recent experience with Flexible Transport Services. *Transport Policy*, *14*(6), 458–466. Retrieved from <https://ideas.repec.org/a/eee/trapol/v14y2007i6p458-466.html>
- Cantwell, M., Caulfield, B., & O'Mahony, M. (2009). Examining the factors that impact public transport commuting satisfaction. *Journal of Public Transportation*, *12*(2), 1–21. doi:10.5038/2375-0901.12.2.1
- Clewlöw, R. R., & Mishra, G. S. (2017). Disruptive transportation: The adoption, utilization, and impacts of ride-hailing in the united states.

- Davison, L., Enoch, Ryley, Quddus, & Wang. (2014). A survey of demand responsive transport in great britain. *Transport Policy*, *31*, 47–54. doi:10.1016/j.tranpol.2013.11.004
- Herminghaus, S. (2019). Mean field theory of demand responsive ride pooling systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *119*, 15–28. doi:10.1016/j.tra.2018.10.028
- Jokinen, J.-P. (2016). Economic perspectives on automated demand responsive transportation and shared taxi services - analytical models and simulations for policy analysis.
- Kloth, H., & Mehler, S. (2018). Nachfragegesteuerte verkehre oder on-demand-ridepooling? *NAHVERKEHR*, *36*(6).
- Koffman, D. (2004). *Operational experiences with flexible transit services*. Transportation Research Board.
- Limbourg, M. (2015). Mobilität im höheren lebensalter in ländlichen gebieten: Probleme und lösungsansätze. In U. Fachinger & H. Künemund (Eds.), *Gerontologie und ländlicher raum* (pp. 77–98). Research. doi:10.1007/978-3-658-09005-0
- Limbourg, M., & Matern, S. (2009). *Erleben, verhalten und sicherheit älterer menschen im straßenverkehr: Eine qualitative und quantitative untersuchung (mobial)*. Mobilität und Alter. Köln: TÜV Media.
- Mageean, J., & Nelson, J. D. (2003). The evaluation of demand responsive transport services in europe. *Journal of Transport Geography*, *11*(4), 255–270. doi:https://doi.org/10.1016/S0966-6923(03)00026-7
- Morton, C., Caulfield, B., & Anable, J. (2016). Customer perceptions of quality of service in public transport: Evidence for bus transit in scotland. *Case Studies on Transport Policy*, *4*(3), 199–207.
- Nelson, J. D., & Phonphitakchai, T. (2012). An evaluation of the user characteristics of an open access drt service. *Research in transportation economics*, *34*(1), 54–65.
- Quddus, M. A., Wang, C., & Ison, S. G. (2009). Road traffic congestion and crash severity: Econometric analysis using ordered response models. *Journal of Transportation Engineering*, *136*(5), 424–435.
- Rosenbloom, S. (2004). Understanding women’s and men’s travel patterns. In *Research on women’s issues in transportation: Report of a conference*.
- Wang, C., Quddus, M., Enoch, M., Ryley, T., & Davison, L. (2014). Multilevel modelling of demand responsive transport (drt) trips in greater manchester based on area-wide socio-economic data. *Transportation*, *41*(3), 589–610. doi:10.1007/s11116-013-9506-1
- Wang, C., Quddus, M., Enoch, M., Ryley, T., & Davison, L. (2015). Exploring the propensity to travel by demand responsive transport in the rural area of lincolnshire in england. *Case*

---

*Studies on Transport Policy*, 3(2), 129–136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.12.006>

006

- Weiß, W. (2006). Zur entwicklung einer residualbevölkerung infolge lang anhaltender selektiver abwanderung in mecklenburg-vorpommern. *Zeitschrift Für Bevölkerungswissenschaft*, 31, 469–506.
- Woldeamanuel, M., & Cyganski, R. (2012). Factors affecting travellers' satisfaction with accessibility to public transportation.
- Yamamoto, T., Hashiji, J., & Shankar, V. N. (2008). Underreporting in traffic accident data, bias in parameters and the structure of injury severity models. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1320–1329.

# **5 Impact Assessment of Autonomous Demand Responsive Transport as a Link between Urban and Rural Areas**

---

## Impact Assessment of Autonomous Demand Responsive Transport as a Link between Urban and Rural Areas

Jan Schlüter <sup>a,e</sup>, Andreas Bossert <sup>b,e</sup>, Philipp Rössy <sup>c,e</sup> and Moritz Kersting <sup>d,e</sup>

<sup>a</sup>Institute for the Dynamics of Complex Systems, Faculty of Physics, Georg-August-University of Göttingen,  
Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen, Germany

<sup>b</sup>Center of Methods in Social Sciences, Department of Social Sciences, Georg-August-University of Göttingen,  
Goßlerstraße 19, 37073 Göttingen, Germany

<sup>c</sup>Chair of Statistics, Department of Economics, Georg-August-University of Göttingen, Humboldtallee 3, 37073  
Göttingen, Germany

<sup>d</sup>Chair of Economic Development and Corporate Governance, Faculty of Resource Management, Hochschule für  
angewandte Wissenschaft und Kunst, Büsgenweg 1a, 37077 Göttingen, Germany

<sup>e</sup>NGM, Department of Dynamics of Complex Fluids, Max-Planck-Institute for Dynamics and Self-Organization, Am  
Fassberg 17, 37077 Göttingen, Germany

**Eingereicht in: Transportation am 08.02.2020**

Disruptive developments in areas such as autonomous driving, new types of drive systems and digital mobility are shaping changes in the way people move spatially in everyday life. Combined with these technical potentials, novel mobility concepts such as demand responsive transportation can on the one hand provide a way to make everyday mobility of people cost-efficient and environmentally friendly. On the other hand, problems such as demographic transitions and urbanisation can be addressed and negative consequences mitigated. By that, one obvious future application of demand responsive transportation might be the connection of rural areas with an urban core. Thus, this study aims to evaluate the viability and the feasibility of a DRT-system in the interplay of rural and urban areas. The city of Bremerhaven and the surrounding area is selected as the area of investigation. In order to evaluate the effects, the software MATSim is used to simulate the inhabitants behaviour. On this basis, the global operational costs are calculated for several scenarios, e.g. autonomous driving and other drive types. The results imply that autonomous DRT systems are applicable to reduce the economic and environmental costs of transportation when applied in the interplay of rural and urban areas.

## 5.1 Introduction

In the long run, technological advancements in the field of autonomous driving will accelerate the emergence of commercial shared autonomous vehicle (SAV) services. Increased availability of autonomous vehicles (AV), initially in metropolitan regions, could reduce incentives for owning a car, fostering a situation where a considerable share of motorised individual traffic (MIT) could be replaced by SAVs. However, these developments put pressure on policymakers and both public and commercial transport operators to adapt their services. AVs providing Mobility as a Service (MaaS) could replace a large number of conventional buses in vehicle fleets and reduce the dependence of MIT. Higher flexibility and faster transportation schemes may blur the line between the different transportation modes.

In cities where mass transit systems are not economically viable, public transport is often provided under conditions that do not cover costs. Simulation studies point to SAV operations as an alternative to solve these challenges. For rural areas, demographic transitions, urbanisation trends and a traditionally low demand for public transport, more flexible and cheaper means of transport could supply a wider spectrum of services. Such an approach could target both the existing necessity of car ownership, which is associated with externalities like congestion, noise, fragmentation or land sealing, and the low demand for public transportation.

Since previous research primarily focused on the application of AV services in metropolitan regions, this contribution aims to investigate the viability and feasibility of demand responsive transport (DRT) carried out by SAVs in both rural and peripheral regions. Particular attention is paid to the function of DRT as a connector of urban centres and the surrounding rural regions.

This paper proceeds as follows. Section 2 provides an overview of the state of research and related work. Subsequently, reasoning for the selection of Bremerhaven as a suitable area of investigation is provided. Next, the political, demographic, infrastructural characteristics as well as the mobility behaviour of the population are presented. Afterwards, the settings and configurations of the simulation study are introduced. Finally, the simulation results are presented and evaluated.

## 5.2 Related work

DRT schemes exist in very different types depending on the underlying operational approach. Schemes can be classified into three categories: First fixed on-demand (service on demand but

according to a fixed schedule), second point deviation (flexible operation along a corridor with set departure and arrival times) and third flexible area based systems (corresponding to no fixed routes and no schedule) (Böhler et al. 2009). Moreover, further distinction in public transportation and individual transport services like taxis is common. Usually, the public option comes along with ride pooling, whereas the private solutions do not (Davison, M. Enoch, et al. 2012). Furthermore, the operational scheme can be divided into door-to-door and stop-based services.

These systems show a relatively long tradition as means of transport and are present in different forms all over the world. Many cities in the Global South rely on this transport mode as one of the main pillars of their transportation system (Salazar Ferro 2015). For developed countries, DRT is traditionally linked to two major topics. First, it is known for providing paratransit or baseline mobility for certain groups of people without access to another mode of transport, such as elderly persons for example in Canada (Lehuen and Suen 1978) or in the USA (Nelson et al. 2010). Second, implementations of DRT-alike systems are a common measure to improve or maintain mobility in rural areas at low operational costs and date back to the 1960s (Ministry of Transport Great Britain 1965). Recent developments in the underpinning technology, a broader access to internet services and a reduction in costs let DRT concepts experience an increased attention in the mobility sector. During the last decade, the importance of these systems increased significantly and their field of (also commercial) application extended to urban areas (Davison, M. Enoch, et al. 2012).

An analysis from 2016 of rural DRT systems found 17 active systems in Germany (König and Grippenkov 2017). In 2014, 66 providers of DRT schemes are active in Great Britain, with 23 operating in urban regions and 43 in rural ones (Davison, Enoch, et al. 2014). In rural areas, challenges for operating a successful DRT scheme are linked to low demand combined with relatively high operational costs (Mulley and Nelson 2009). An increasing number of transportation network companies (TNC) provides urban DRT schemes such as UberPool, Lyft Line, Via or Abel, partly offering customers to share a ride (Alonso-González et al. 2018). For urban areas, research implies that a growing supply of TNC evokes cannibalisation effects and, thus, may lead to a lower utilisation of conventional public transportation. Hence, commercialisation and technological developments are a potential risk to established transport modes such as buses and light rail services (Clewlow and Mishra 2017). However, public transport operators started to offer DRT services in metropolitan areas like in Berlin (BVG 2017) or the Kutsuplus program in Helsinki (Jokinen et al. 2019).



Technological advances foster the vision of mobility provided by shared autonomous vehicles, as an evolution or enhancement of DRT systems (Litman 2017). Therefore, MaaS provision could lead to significant changes in the transportation business in terms of mobility behaviour and a decrease in costs per kilometre (Trommer et al. 2016). Also, reductions of overall emissions compared to traditional vehicle fleets are expected (Fagnant and Kockelman 2014).

In a scenario for Singapore, calculations indicate that replacing all modes of personal transportation by SAVs could reduce the existing passenger vehicle fleet by two thirds (Spieser et al. 2014). Simulations based on the Multi Agent Transport Simulation (MATSim) show SAVs are capable of reducing entire private car fleets. For Zurich and the surrounding area, the implementation of a SAV system could decrease the number of vehicles compared to the private fleet by up to 90 percent at acceptable service parameters (Bösch and Ciari 2016). Similar results are found for a case study in Berlin, where SAV services could replace private vehicles leading to a fleet reduction of 90 percent (Bischoff and Michał Maciejewski 2016). Research on a central area in Austin reveals that already a low share of regional trips conducted by SAVs can create a replacement ratio of one SAV to 9.3 conventional vehicles while causing increases in vehicle kilometer traveled (VKT) by 8 percent (Fagnant, Kockelman, and Bansal 2016). By carrying out the task of traditional taxis in Berlin, SAV usage reduces the amount of VKT (Bischoff, Michał Maciejewski, et al. 2017). In terms of public transport, investigations in the city of Cottbus show that driverless vehicles can offer faster and cheaper service than traditional public transport lines (Bischoff, Führer, et al. 2018). Nevertheless, the field of application is case sensitive. Replacement of buses by automated shared taxis in Berlin as a feeder system for mass rapid transit resulted in a mixed outcome in terms of travel times and costs (Leich and Bischoff 2019). In the context of DRT as public transport replacement in areas with low population density, research shows that supplying high service standards remains economically problematic due to low demand (Viergutz and Schmidt 2019).

### 5.3 Area of investigation

The area of Bremerhaven is selected as subject of investigation due to multiple factors. First, it allows examining the ability of high scale DRT to connect low populated areas with more densely populated centres. In addition, Bremerhaven does not have the size of a metropolitan area and therefore lacks mass rapid transit systems. As a result, a DRT is in theory able to provide

service for the whole area without being restricted by already existing public mass transportation systems. From a passengers perspective, this setup allows for door-to-door service that excludes the necessity of changing vehicles during the trip. The DRT system can either serve the entire population of the area or be limited to either the rural or the urban population.

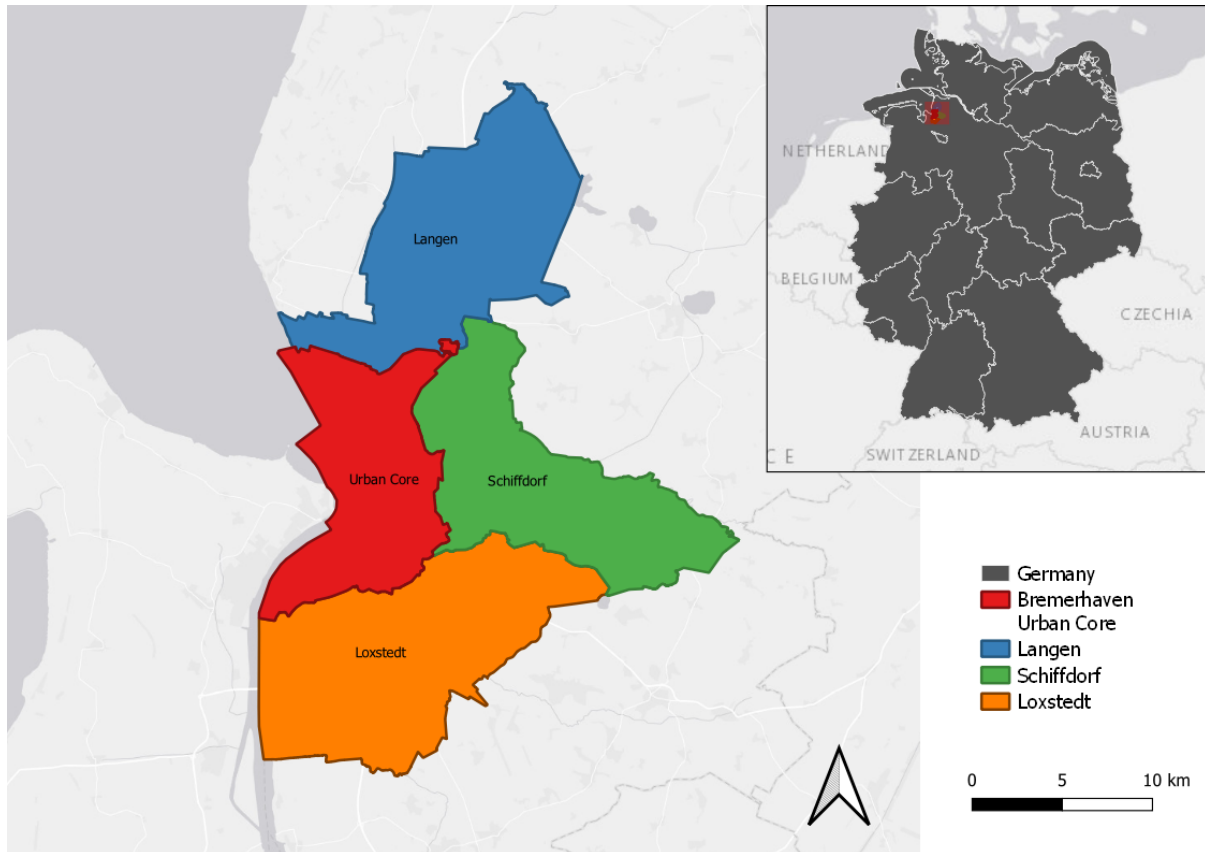


Figure 18: Bremerhaven and settlements.

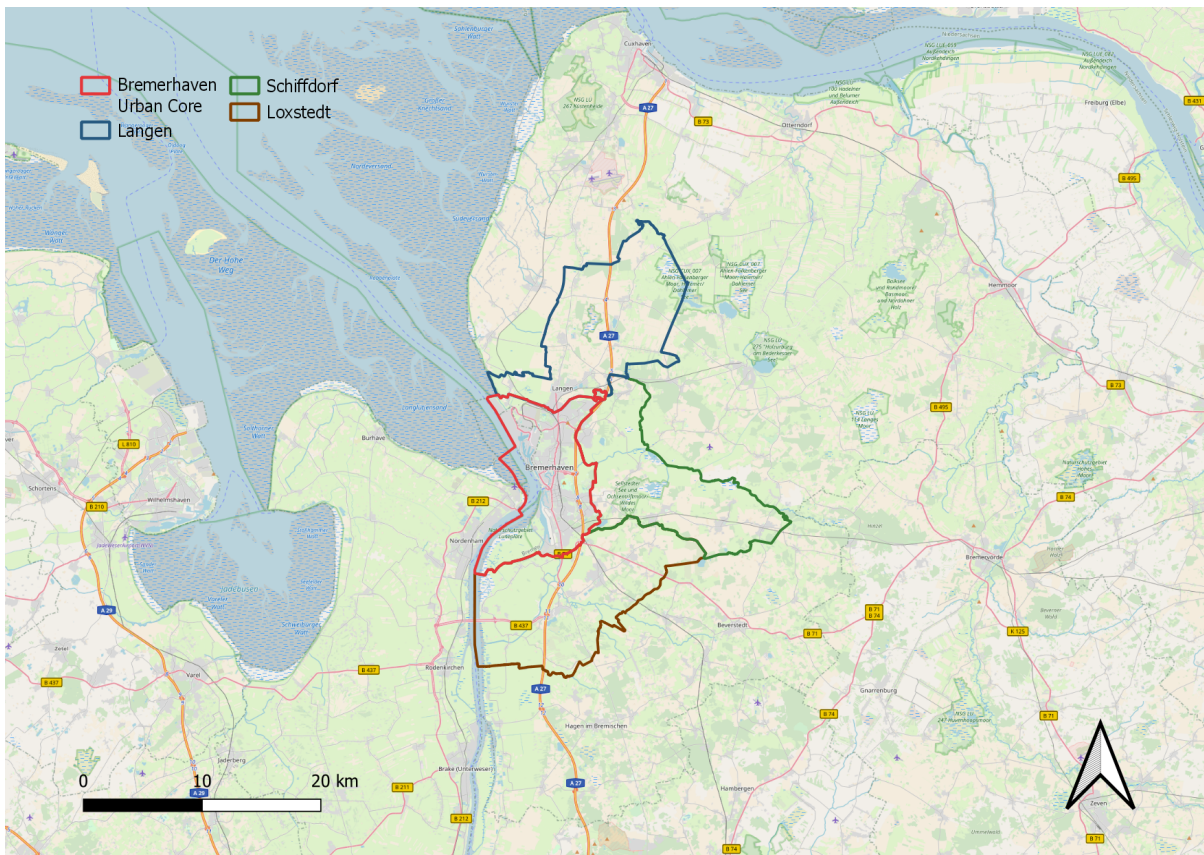


Figure 19: Road infrastructure in Bremerhaven.

### 5.3.1 Geographic analysis of Bremerhaven

The area of investigation is depicted in figure 18 and comprises regions of two federal states in Germany. The city of Bremerhaven (an exclave of the federal state Bremen) is located in the centre of the area. In the west, Bremerhaven is bounded by the North Sea. In the other directions, it is surrounded by the district of Cuxhaven, which belongs to the federal state Lower Saxony. In the north of Bremerhaven lies the former municipality Längen which is now part of the town Geestland. The municipality of Schiffdorf is located to the east of Bremerhaven. The municipality of Loxstedt is located southwards.

Bremerhaven has 117,473 inhabitants (Bürger- und Ordnungsamt Abteilung Statistik und Wahlen Bremerhaven 2018) and covers an area of 93.82 km<sup>2</sup> (Statistisches Landesamt Bremen 2014). In Schiffdorf, Loxstedt and Längen live 51,691 people on an overall area of 376.39 km<sup>2</sup>. Thus, the whole area of investigation has a size of about 470 km<sup>2</sup> and a population of around 169,000 people. Bremerhaven's population density (1,252.11 people per km<sup>2</sup>) is more than nine times higher than the population density of the surrounding area (137.33 people per km<sup>2</sup>). Overall,

36 settlements are spread over this region, the largest ones being Langen (11,577), Loxstedt (5,639), Spaden (4,638) and Schiffdorf (3,556).

The north-south axis of the area is about 33 kilometres long, while the east-west distance stretches 20 kilometres at the widest part. Therefore, the investigated region has the shape of an elongated rectangle with a north-south extension.

From the perspective of spatial planning, Bremerhaven is classified as a regional centre by the German Federal Office for Building and Regional Planning (BBSR 2017). It implies that the town provides basic and higher-level public service tasks and represents the centre of economic activities in the region. As a result, originating traffic from the surrounding area primarily targets Bremerhaven. According to a mobility survey from 2014, an estimated amount of 220,900 trips occurs every day between the city and the surrounding municipalities (Helmert et al. 2015).

The existing road infrastructure also highlights the importance of Bremerhaven as a regional centre and underlines the longitudinal dispersion of the investigated area (figure 19). The federal motorway *Bundesautobahn 27* connects the area from the south to north and crosses the municipalities Loxstedt, Langen, Schiffdorf as well as the city of Bremerhaven. The motorway can be accessed via 8 junctions throughout the area. The main road *Bundesstrasse 6* is located in the west of the motorway, running parallel to it from the north to the south. It connects the city centre with the municipality Loxstedt. The other three federal roads in the region provide a more latitudinal connection. The main roads *Bundesstraße 71* and *Bundesstraße 437* both connect to the motorway *Bundesautobahn 27* in Loxstedt while providing an east-west link. The federal road *Bundesstraße 212* is situated in the centre of Bremerhaven and is also the shortest. It reaches from the central district Bremerhaven Mitte to the federal motorway *Bundesautobahn 27*.

### 5.3.2 Mobility behaviour in the urban core and the rural periphery

In general, mobility behaviour in urbanised regions differs from mobility patterns in more rural regions. This also applies to Bremerhaven and its neighbouring rural regions (Helmert et al. 2015). Figure 20 shows the modal split in both areas measured as relative number of trips classified into four categories. In both cases, MIT represents the most important transport mode. Nevertheless, its share is more than 20 percentage points higher in the rural area compared to the urban one (51.7 vs 71.9 percent). Furthermore, the share of public transport is about twice

as high in the urbanised region (15 vs 7.3 percent) and the importance of walking is significantly higher in Bremerhaven compared to the rural areas (14.5 vs 5.4 percent). The importance of cycling is comparable for both regions, although being slightly more prevalent in the city (18.8 vs 15.4 percent).

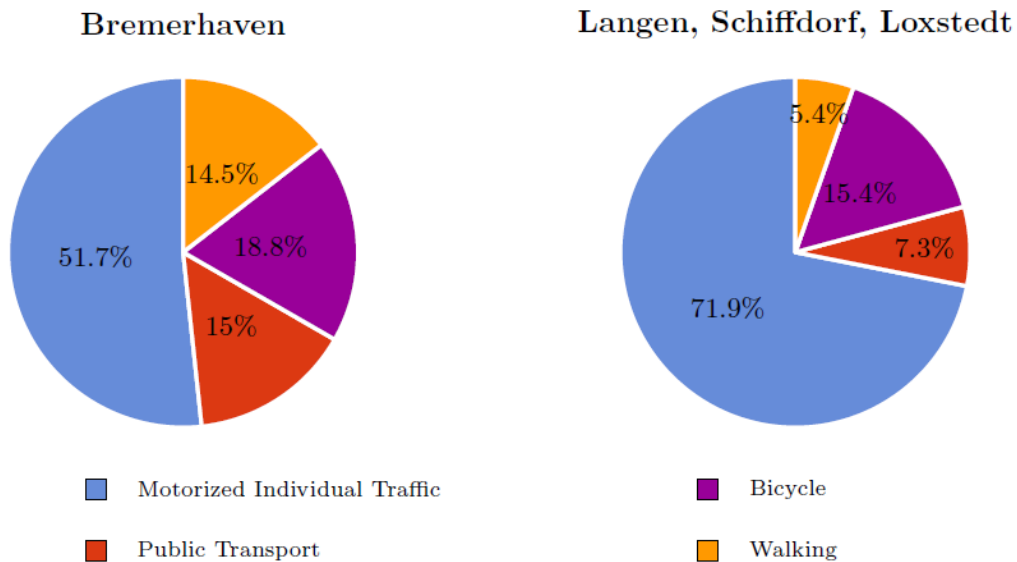


Figure 20: Modal split according to number of trips in percent; Helmert et al. (2015).

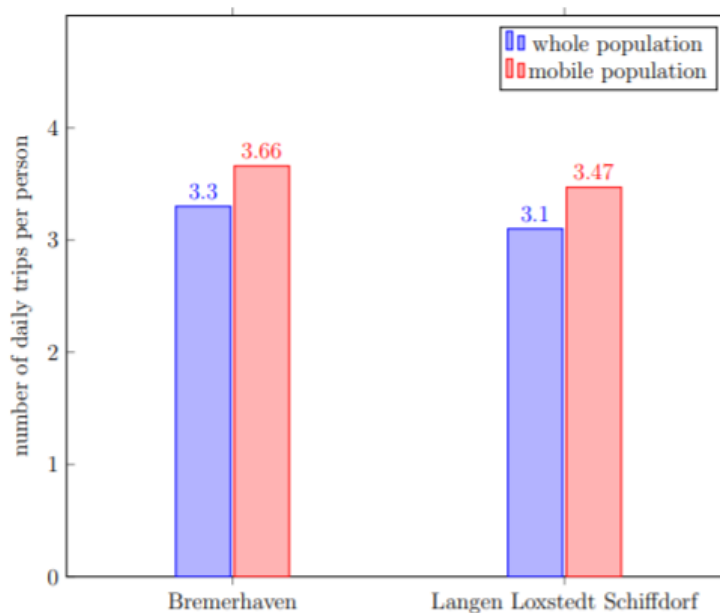


Figure 21: Average number of daily trips per capita according to area; Helmert et al. (2015).

As presented in figure 21, the daily number of trips per capita does not differ significantly

between the city core and the neighbouring municipalities (3.3 vs 3.1). With a share of mobile persons of 90.4 percent on the whole population, about 9.6 percent of Bremerhaven inhabitants conduct no trips during the day. For the surrounding areas, no reliable values are available. Thus, the average share of mobile population in Lower Saxony (89.3 percent, Lenz et al. (2010)) is applied to the rural areas, resulting in 3.66 trips per day for Bremerhaven and 3.47 for Langen, Schiffdorf and Loxstedt.

## 5.4 Methodology

In order to investigate the abilities of a DRT system to connect a rural area with an urbanised centre, the activity-based multi agent simulation framework MATSim is used (Axhausen et al. 2016). The following section describes the data source, the process of demand generation and the general specifications of the simulation setup. Moreover, several quality parameters are defined in order to evaluate and compare the results of the different scenarios.

### 5.4.1 Generation of demand and locations

In the simulation scenarios, four different activity types are created to model daily operational tasks of agents. They consist of *home* activities, *work*, *leisure* and *shopping*. *Work* includes going to school as well as studying. *Shopping* activities also include everyday matters like medical appointments or trips to authorities.

To create locations where different activities take place, information from multiple sources is used. To a large extent, the data are obtained from OpenStreetMaps (OSM) (OpenStreetMap contributors 2019). Home locations are generated by identifying settlements and districts and assigning them to their corresponding residential areas in OSM. Afterwards, an amount of point coordinates corresponding to the number of inhabitants is generated and randomly distributed throughout the shapefiles using the geographic information system QGIS (QGIS Development Team 2019). Population data for Bremerhaven is taken from the Bureau of Statistics Bremerhaven (Bürger- und Ordnungsamt Abteilung Statistik und Wahlen Bremerhaven 2018). For Langen, Schiffdorf and Loxstedt, local municipality data is used (Gemeinde Loxstedt 2019; Gemeinde Schiffdorf 2019; LSN, Landesamt für Statistik Niedersachsen 2019). Work locations are created by using OSM shapefiles and OSM points of interest (POI). Furthermore, information from local institutions is used. Leisure locations are also generated from OSM POI and





Figure 22: Bremerhaven and eleven settlements used in the simulation setup. (Helmert et al. 2015)

OSM shapefiles as well as from home locations. Locations for everyday matters are constructed from OSM POI, OSM shapefile data and local institutions.

The area of investigation is separated into eleven districts as shown in figure 22, with the exception that the district Weddewarden is added to the district of Lehe. By that, eight urban and 3 rural areas exist. Every location is assigned to a district to simulate movement between districts.

The population used in the simulation is compounded from multiple sub-populations using a

python script. In general, a set of rural agents and a set of urban agents is generated. Urban agents carry out more activities during the day and thus conduct more trips (3.66 vs 3.47 as presented in figure 21). Nevertheless, the number of trips per day and therefore the amount of activities for all agents varies between 2 and 5. Both sets of agents are further divided into two groups. One group consists of agents with activities like *work* or *school* that present the first activity of the day and require them to leave their home between 6 and 9 in the morning. Similar to a working or school day, the duration of this activities is set to 7 to 9 hours. The relative share of this sub-population is higher in Bremerhaven (61 percent) compared to the surrounding areas (56 percent). Furthermore, trips of these agents are assigned randomly and consist either of *home*, *shopping* or *leisure* activities. The other group of agents (respectively 39 percent and 44 percent) starts their activities between 9 and 12. Activities from all four categories are randomly assigned to them but *work* activities are more unlikely and only last between three and four hours. Movements between districts are randomly determined based on probabilities of a mobility matrix which is derived from traffic relations (Helmert et al. 2015). Sections of populations, daily activities, length of activities and mobility behaviour are drawn from demographics, labour statistics and mobility surveys (BLS, Bayerisches Landesamt für Statistik 2019; Bürger- und Ordnungsamt Abteilung Statistik und Wahlen Bremerhaven 2018; Helmert et al. 2015; Lenz et al. 2010; SLB, Statistisches Landesamt Bremen 2019). Corresponding to the demographics, the simulated urban population comprises 55,023 agents while the rural population consists at maximum of 30,627 agents.

#### 5.4.2 Simulation scenarios

The simulation is run by the MATSim version 12.0-SNAPSHOT (Axhausen et al. 2016) and is based on DVRP (Michal Maciejewski et al. 2016) and DRT modules (Bischoff, Führer, et al. 2018). The approach aims to simulate a typical weekday in the region. The simulated region follows the boundaries as shown in figure 18 and its main characteristics described above.

In order to assess the potential of DRT as a connecting mobility service for rural areas with an urban core, two set of scenarios are set up. The simulations of the first sets are limited to the population of the rural areas of Langen, Loxstedt and Schiffdorf in order to provide a comparative scenario opposed to the population of the whole sample. Consequently, the second scenario refers to the population of a combination of both the rural area and the urban core of the city of Bremerhaven.

For each set, a baseline scenario is provided, in which MIT carried out by individually owned



cars is the only transport mode. It is assumed that each agent owns a vehicle and uses it for the trips to his activities during the day. For performance reasons, this baseline scenario uses a 10 percent random sample of the inhabitants and is afterwards projected to the entire population. Subsequently, the complete mobility demand is operated by a DRT door-to-door scheme based on minivans with a vehicle capacity of 6 passengers. The simulation for the DRT scenarios is carried out with a 100 percent population sample. Since no MIT occurs at all, the scenarios differ only in the number of vehicles in use. In both sets of scenarios and all simulations, every agent can conduct trips within the whole area of investigation (figure 18).

The population for the rural set of simulations comprises 30,627 agents. In the baseline scenario, a passenger share of 20 percent is assumed (Helmert et al. 2015), which results in a total of 24,524 vehicles. For the combined set 85,651 agents were created, resulting in 68,521 vehicles. Since the pick-up and dropping-off times for these additional passengers are not taken into account, the simulated travel times are marginally underestimated.

For the DRT scenarios, the assignment of requests to a vehicle is done using a centralised, on-the-fly process. If an agent requests a ride, the trip is dispatched to the vehicle where the realisation of the request will cause the smallest detour with regard to the already planned route. The allocation heuristic relies on equation 5.1, where  $\mathbf{t}_r$  represents a certain travel time threshold and  $\mathbf{t}_{direct}^r$  depicts the time for a direct single trip without detours.  $\alpha$  denotes the detour factor which determines the maximum deviation in terms of time from the direct route (Bischoff, Führer, et al. 2018). In the DRT scenarios,  $\alpha$  is set to 1.5 because previous studies shows that this allows for efficient results if vehicle capacity is above two (Bischoff, Michał Maciejewski, et al. 2017).  $\beta$  accounts for the additional time due to boarding and waiting for other passengers.  $\beta$  is set to 20 minutes, since previous research implies a limited tolerance of passengers to wait for the vehicle (Bischoff, Führer, et al. 2018; Lahner et al. 2019).

$$\mathbf{t}_r = \alpha \mathbf{t}_{direct}^r + \beta \quad (5.1)$$

The heuristic is based on two constraints. On the one hand, travel times of already boarded (and thus scheduled) agents in the vehicle are not allowed to exceed  $\mathbf{t}_r$ . If this constraint cannot be fulfilled for an agent's request, the trip will not be conducted. On the other hand, there has to be a maximum waiting time  $\mathbf{t}_{wait}$  to guarantee that requesting agents will not spend too much time waiting. The stop duration  $\mathbf{t}_{stop}$  is set to 60 seconds to allow the agents to have a pleasant boarding and alighting.

### 5.4.3 Quality parameters and economic aspects

With regard to passengers, overall travel times as well as waiting and in-vehicle times present relevant criteria. Furthermore, reliability of the offered service plays an important role in the success of a DRT service. If passengers can not be certain that their transport request will be served in time or at all, the utilisation of the DRT system can be expected to be low due to a lack of reliability. As a result, it is assumed that a minimum of 95 percent of all requested journeys must be served in order to meet the quality parameter (Bischoff, Führer, et al. 2018). As described in equation 5.1, the rejection of a passengers trip request can be either due to a projected waiting time of more than 20 minutes or a detour factor of more than 1.5.

## 5.5 Results

This section presents the results from the first and second set of simulations. The scenarios are evaluated on the basis of the indicators and criteria introduced above.

### 5.5.1 Rural area

Scheme	Vehicles	Average waiting time (min)	Average in-vehicle travel time (min)	Average travel time (min)	Service rate (%)	Vehicle kilometres traveled	Empty runs (%)
DRT	1,600	11:59	15:05	27:04	0.949	583,956	0.0817
DRT	1,800	11:48	15:01	26:49	0.967	607,800	0.0823
DRT	2,000	11:37	14:59	26:36	0.976	616,243	0.0783
baseline	24,524	–	10:54	10:54	–	906,181	–

Table 9: Rural population sample scenarios. Baseline: MIT is simulated for agents in the areas of Langen, Schiffdorf and Loxstedt. DRT: replacement of private cars with door to door scheme.

Table 9 depicts the simulation results for the first scenario, that contains only the rural population (30,627). According to the service criteria defined in the previous section, at least 1,800 vehicles with a capacity of 6 passengers in the DRT scheme are necessary to provide a service rate of above 95 percent. To illustrate the effects of minor changes in the fleet size, additional scenarios with 1,600 and 2,000 vehicles are computed. Corresponding values for the MIT scenario are depicted as the *baseline* scheme.

The third column contains the values for the average waiting time. All values are under twelve minutes and decrease with an increasing number of DRT vehicles. Columns four and five show

the average in-vehicle travel and the average total travel time, that consists of waiting and in-vehicle time. In both cases, the values for the DRT schemes are similar but do marginally decrease with an increasing number of vehicles in operation. As already stated, the service rate depicts the share of trips that are not rejected. With 1,800 vehicles, 0.967 percent of the requested trips are served.

In the baseline scenario each inhabitant of the area owns a car and no public transportation takes place. Thus, neither the average waiting time nor a service rate nor the share of empty runs can be computed. 906,181 vehicle kilometres travelled (VKT) are caused by 30,627 inhabitants, resulting in approximately 30 VKT per capita. However, the travel times for the baseline scenario are slightly underestimated, since passenger pick-up and drop-off duration is not included in the simulation.

Scheme	Vehicles	Average waiting time (min)	Average in-vehicle travel time (min)	Average travel time (min)	Service rate (%)	Vehicle kilometres traveled	Empty runs (%)
DRT	1,600 (-11.1 %)	+1.6 %	+0.4 %	+0.9 %	-1.8 %	-3.9 %	-0.06 %
DRT	1,800 ( $\pm 0$ )	$\pm 0$	$\pm 0$	$\pm 0$	$\pm 0$	$\pm 0$	$\pm 0$
DRT	2,000 (+11.1 %)	-1.4 %	-0.2 %	-0.8 %	+0.9 %	+1.4 %	-0.4 %
baseline	24,524 (+136 %)	-	-27.4 %	-59.4 %	-	+49.1 %	-

Table 10: Relative change of values compared to the DRT scenario with 1,800 vehicles.

Table 10 shows the relative deviation of the indicators from table 9 with the 1,800 vehicle DRT scheme as base. For the service criteria (columns 3 to 6), a higher number of DRT-vehicles leads to improved outcomes. This is in line with the expectations since a larger fleet naturally decreases waiting times and detours. In comparison to the baseline scenario the DRT schemes yield significantly higher travel time values. The average travel time of the agents increases by about 60 percent when switching from a car based scenario to pure DRT.

A higher number of vehicles within the DRT fleet results in higher total VKT. This observation is primarily due to an increased service rate and a more individual routing and thus less pooling (compare figures 25 and 26 in appendix). In each scenario the share of empty runs is close to 8 percent and does not deviate significantly with the number of vehicles in operation.

### 5.5.2 Rural and urban area

The results for the simulations of the complete population sample are depicted in table 11. For a population of 85,651 inhabitants, 4,500 minivans are the smallest sufficient number of vehicles in order to fulfil the quality perimeters. To evaluate the effects of a larger or smaller fleet,

Scheme	Vehicles	Average waiting time (min)	Average in-vehicle travel time (min)	Average travel time (min)	Service rate (%)	Vehicle kilometres traveled	Empty runs (%)
DRT	4,000	11:50	18:44	30:34	0.928	1,200,383	0.0544
DRT	4,500	11:46	18:52	30:38	0.952	1,252,816	0.0529
DRT	5,000	11:49	19:13	31:02	0.967	1,283,143	0.0507
baseline	68,520	—	9:07	9:07	—	2,047,343	—

Table 11: Rural and urban population sample scenarios. Baseline: MIT is simulated for agents in the areas of Langen, Schiffdorf and Loxstedt as well as in Bremerhaven. DRT: replacement of private cars with door to door scheme.

additional scenarios with 4,000 and 5,000 vehicles are computed.

The patterns behind the computed values are similar to the first set of scenarios with some exceptions. The average waiting time is close to 12 minutes and not significantly dependent on the number of vehicles in use. The travel time values are about three minutes higher than in the rural scenarios. One viable interpretation would be, that a larger number of vehicles causes congestion especially in the densely populated areas of the city of Bremerhaven that remained unpopulated in the prior simulations.

The efficiency parameters reveal, that under the given constraints an increase of the population of roughly two third approximately doubles the VKT in the DRT scenarios. This disproportion should be due to a higher pooling rate in the comparably densely populated city of Bremerhaven. In the baseline scenario, the 85,651 inhabitants caused approximately 2 million vehicles kilometres per day, resulting in approximately 24 vehicle kilometres travelled per capita in comparison to 30 VKT per capita in rural areas. A viable explanation are shorter trip distances within the city core. At the same time the share of empty runs decreases from approximately 8 to 5 percent, which again can be explained by a higher and more concentrated demand.

Scheme	Vehicles	Average waiting time (min)	Average in-vehicle travel time (min)	Average travel time (min)	Service rate (%)	Vehicle kilometres traveled	Empty runs (%)
DRT	4,000 (−11.1 %)	+0.5 %	−0.7 %	−0.2 %	−3.52 %	−5.2 %	+3.0 %
DRT	4,500 (±0)	±0	±0	±0	±0	±0	±0
DRT	5,000 (+11.1 %)	+0.4 %	+1.8 %	+1.3 %	+2.55 %	+2.4 %	−4.1 %
baseline	68,521 (+1,422 %)	—	−107 %	−70.2 %	—	+63.4 %	—

Table 12: Relative change of values compared to the DRT scenario with 4,500 vehicles.

When comparing the relative changes in table 12 with the rural set of simulations, the differences of the DRT service to the baseline scenario are significantly higher. The average in-vehicle time

of the DRT system is more than 100 percent higher than in the baseline scenario, with the average vehicle kilometres travelled being 70 percent lower.

Within the DRT simulations the influence of a variation in the number of vehicles exerts a comparably strong and positive influence on the efficiency parameters service rate and vehicle kilometres travelled, whereas the number of empty runs decreases.

### 5.5.3 Cost calculation

Next to the presented service and performance criteria, the expected costs and environmental effects are necessary to assess the impact of a DRT-system implementation. Table 13 depicts the estimated operational and environmental costs resulting from the baseline and the DRT simulations for both scenarios. The calculations are based on the operational and environmental costs as provided in Bösch, Becker, et al. (2018) and Matthey and Bünger (2019), converted with  $1 \text{ CHF} = 0.9306 \text{ EUR}$  (15.02.2017). At first sight, switching from MIT to a DRT service can reduce the VKT in both scenarios by about one third. In the simulated scenarios, 24,524 and 68,521 cars are replaced by 1,800 and 4,500 minivans respectively. Thus, the simulated changes result in a vehicle fleet reduction of 86 and 85 percent respectively, which is in line with Bischoff and Michal Maciejewski (2016).

#### Operational costs

The operational costs are calculated for all simulations introduced above and for different types of vehicles, drive types and steering. In accordance with the characteristics of the simulated vehicles, midsize vehicle comparable to a VW Golf or similar are assumed for the MIT in the baseline scenarios. For the DRT case, minivans similar to a VW Multivan are assumed. Following Bösch, Becker, et al. (2018), the operational costs are calculated for fuel based and electric drive types as well as for autonomous and non-autonomous steering.

As depicted in table 13, the operational costs per VKT are about 5 times lower for autonomous in comparison to driver-steered vehicles. This difference is primarily due to wages and other costs related to human drivers. Moreover, autonomous vehicles usually have a lower fuel consumption and maintenance costs due to a more considerate driving behaviour (Bösch, Becker, et al. 2018).

For scenario 1 (rural population), the provided costs for rural areas are assumed. For scenario 2 (rural and urban population), mixed cost rate is calculated. Since the ratio of rural to urban

---

population is about one to three, the cost rates are included in the calculation accordingly.

### **Environmental costs**

For the environmental costs, 2016 is used as the basis year for the calculations. The cost rates taken from Matthey and Büniger (2019) are calculated in a holistic approach. They incorporate emissions from the operation of vehicles (such as combustion of the fuels, abrasion and dust turbulence), emissions from other life cycle phases (e.g. construction, maintenance and disposal of vehicles) as well as from the provision of fuels. Moreover, the negative effects on humans, nature and the landscape due to noise, fragmentation or land sealing are taken into account.

The effects are calculated for vehicles driven by gasoline, diesel and electric power due to Matthey and Büniger (2019). For diesel vehicles higher costs than for gasoline vehicles are assumed due to air pollutant emissions and higher costs for both production and infrastructure provision. Although the local effects of electric cars are less striking, the global costs for energy deployment, vehicle production and infrastructure provision leaves the environmental costs comparable to gasoline vehicles in the MIT case. For DRT, the environmental costs of a pure electric fleet are higher than for diesel or gasoline driven vehicles.

Due to less VKT, all DRT scenarios cause less environmental costs than the baseline scenarios.

	Scenario 1					Scenario 2				
	Baseline	DRT 1,600	DRT 1,800	DRT 2,000	Baseline	DRT 4,000	DRT 4,500	DRT 5,000		
Vehicle kilometres travelled (VKT)	906,181	583,956	607,800	616,243	2,047,343	1,200,383	1,252,816	1,283,143		
<i>Operational costs (€-Cent/VKT)</i>										
MIT (Conventional)	581,871.51 €				1,314,627.60 €					
MIT (Electric)	531,273.98 €				1,200,312.16 €					
DRT (Conv. SAV) <sup>1</sup>		384,023.48 €	399,703.87 €	405,256.19 €		789,400.67 €	823,881.87 €	843,825.63 €		
DRT (E. SAV) <sup>2</sup>		367,720.60 €	382,735.31 €	388,051.91 €		755,888.38 €	788,905.75 €	808,002.85 €		
DRT (Conv. nSAV) <sup>3</sup>		1,708,179.92 €	1,777,928.05 €	1,802,625.40 €		3,511,343.55 €	3,664,719.82 €	3,753,431.94 €		
DRT (E. nSAV) <sup>4</sup>		1,682,819.87 €	1,751,532.51 €	1,775,863.20 €		3,459,213.31 €	3,610,312.53 €	3,697,707.61 €		
<i>Environmental costs (€-Cent/VKT)</i>										
MIT (Gasoline)										
MIT (Diesel)										
MIT (Electric)										
DRT (Gasoline)										
DRT (Diesel)										
DRT (Electric)										
DRT (Gasoline)		38,307.51 €	39,871.68 €	40,425.54 €		78,745.12 €	82,184.73 €	84,174.18 €		
DRT (Diesel)		45,139.80 €	46,982.94 €	47,635.58 €		92,789.61 €	96,842.68 €	99,186.95 €		
DRT (Electric)		46,833.27 €	48,745.56 €	49,422.69 €		96,270.72 €	100,475.84 €	102,908.07 €		

<sup>1</sup> Conv. SAV = Autonomous vehicles with conventional combustion engines

<sup>2</sup> E. SAV = Autonomous vehicles with electric engines

<sup>3</sup> Conv. nSAV = Non-autonomous vehicles with conventional combustion engines

<sup>4</sup> E. nSAV = Non-autonomous vehicles with electric engines

Table 13: Operational and environmental costs for both scenarios and with different vehicle types per day (Bösch, Becker, et al. 2018; Matthey and Bünger 2019).

### 5.5.4 Evaluation and discussion

In order to provide a basis for evaluation, service parameters and operational as well as environmental costs are calculated on the basis of simulations. The first set of scenarios is set up to model both a pure MIT and a pure DRT approach, that exclusively serves the rural population and thus connects the periphery with the urban core of Bremerhaven. The second set of scenarios is simulated for the entire population sample to evaluate the feasibility of an extension of the DRT service to city residents.

In both scenarios, the service parameters regarding travel time and service rate do not significantly deviate with a 11 percent change of the vehicle fleet (table 9 and table 11). Nevertheless, in the rural scenario the share of unmatched requests is more than halved from 5.1 to 2.4 percent with 1,600 and 2,000 vehicles respectively. For the combined areas, the effect is even more striking, since an increase of the vehicle fleet of 11 percent increases the service rate by approximately 4 percent. Since the service rate is one important measure of a traffic system's reliability, it is a determinant for the populations overall acceptance of the service. Especially in the present case, where the DRT system is competing with MIT, that has a reliability of about 100 percent, a high DRT service rate has to be provided in everyday transportation.

Turning to the cost calculations for the first scenario, a distinct difference between autonomous and non-autonomous costs is striking (13). While the aggregated global costs for operating an autonomous DRT system in the rural areas are slightly smaller than 400,000 EUR per weekday, approximately 1.7 million EUR would have to be spend for a non-autonomous system. The difference is due to the diverging cost rates as introduced above. In contrast, the switch from conventional combustion engines to electric engines results in both the MIT and the DRT scenario to a comparable small cost reduction of approximately 50,000 and 20,000 EUR per day respectively. However, the estimated operating costs of 1,600 conventional vehicles approximately equal the costs of 2,000 electric vehicles and thus illustrate the potential of cost-neutral but positive effects on the service parameters such as the share of rejected requests.

In any case, the aggregated global operational cost of the autonomous DRT scenarios are significantly smaller than the corresponding MIT costs.

For the combined scenarios with a three times larger population, the costs for the MIT baseline scenarios approximately increase by the factor 2.26, whereas the factor for the favourable medium DRT-scenario (4,500 electric, autonomous vehicle) is 2.06. Thus, opening the rural



DRT system to the urban population results in comparative cost advantages in terms of operational cost per inhabitant.

When comparing the environmental costs of the DRT and the MIT systems (13), a significantly less negative impact of the DRT systems is noticeable without any exception. Although the environmental costs of DRT-vehicles are higher in terms of EUR per VKT, this disadvantage is outweighed by the significantly lower VKT in DRT-scenarios. The optimal scenario from an environmental perspective is a DRT-system with a gasoline-driven minivan fleet. However, every DRT approach causes less environmental costs than any MIT scenario.

## 5.6 Conclusion

The aim of this contribution is to investigate the potential of autonomous DRT systems as a connecting service between an urban core and its rural periphery. As the results imply, both operational and environmental costs significantly decrease, when transforming a MIT-based scenario (which is close to the actual status quo) into one with an autonomous DRT fleet. This is generally due to a remarkable decrease of VKT caused by the pooling of similar trips. Moreover, the vehicle fleet can be reduced by around 90 percent. By that, several negative side effects such as congestion, noise, fragmentation or land sealing can be mitigated. The findings are generally in line with previous research (e.g. Bischoff, Führer, et al. (2018), Bischoff and Michal Maciejewski (2016), and Bösch and Ciari (2016)). In the case of economic cost, the replacement of a human driver by an autonomous driving system leads to a significant cost reduction by cutting operational costs and increasing efficiency. Without the use of autonomous driving systems, DRT is economically not feasible compared to the MIT baseline scenarios.

It has to be considered, that all calculated costs are based on current values and are likely to change with technological progress and economic, political or social changes. Especially for the comparable new electric drives further research might mitigate environmental and operational costs. Moreover, the willingness to accept or pay for innovative modes of transports and sustainable mobility might change with an increased awareness for environmental problems (Nyga et al. 2020).

Several policy implications can be drawn from the results presented above. First of all, the potential of SAV systems becomes clear, especially from an economic point of view. A combi-

---

nation of autonomous vehicles, which can be operated at relatively low cost and a door-to-door DRT system, which offers high flexibility and comfort similar to MIT is conceivable. On the one hand, this could improve the connection of rural areas, that are otherwise neglected in terms of mobility. On the other hand, sustainable mobility can be promoted in both urban and rural areas.

For this reason, the development and improvement of autonomous vehicles should be promoted. This has to be accompanied by the creation of a legal framework for the use of autonomous driving systems and the simplification of approval processes. In the end, the success or failure of a new technology is largely determined by customer acceptance (Pakusch and Bossauer 2017).

Since the available data do not provide sufficient depth in certain details, the simulated scenarios come along with several limitations.

First, public transport is not incorporated in the simulated baseline framework. Since the share of public transport in the modal split (20) is comparably small, the results are not expected to be extensively biased. However, future research should take conventional public transport into account e.g. to test for cannibalisation effects or possible multimodal interactions with DRT.

Second, the replacement of the entire MIT of a region can only be assumed to be a theoretical approach. In practice, the willingness to accept new technologies like DRT systems or autonomous driving will determine the share of MIT that can be realistically replaced. Thus, further research should focus on the effects of more mixed modal splits.

## Bibliography

- Alonso-González, M. J., Liu, T., Cats, O., Oort, N. V., & Hoogendoorn, S. (2018). The potential of demand-responsive transport as a complement to public transport: An assessment framework and an empirical evaluation. *Transportation Research Record*, 2672(8), 879–889. doi:10.1177/0361198118790842. eprint: <https://doi.org/10.1177/0361198118790842>
- Axhausen, K., Nagel, K., & Horni, A. (Eds.). (2016). *Multi-agent transport simulation matsim*. doi:10.5334/baw
- BBSR. (2017). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Raumordnungsbericht 2017 - Daseinsvorsorge sichern.
- Bischoff, J., Führer, K., & Maciejewski, M. (2018). Impact assessment of autonomous drt systems. *Transportation Research Procedia*, 1–8.
- Bischoff, J., & Maciejewski, M. [Michal]. (2016). Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in berlin. *Procedia Computer Science*, 83, 237–244. The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016) / The 6th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2016) / Affiliated Workshops. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.121>
- Bischoff, J., Maciejewski, M. [Michal], & Nagel, K. (2017). City-wide shared taxis: A simulation study in berlin. (pp. 275–280). Available Open Access acceptedVersion at <https://depositonce.tu-berlin.de//handle/11303/8600>. doi:10.1109/ITSC.2017.8317926
- BLS, Bayerisches Landesamt für Statistik. (2019). Zensus 2011 der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder. Available under: <https://ergebnisse.zensus2011.de>, (retrieved on 19.09.2019).
- Böhler, S., Jansen, U., Koska, T., Schäfer-Sparenberg, C., Arens, C., Hillebrand, P., . . . Klinger, D. (2009). *Handbuch zur planung flexibler bedienungsformen im öpnv: Ein beitrag zur sicherung der daseinsvorsorge in nachfrageschwachen räumen*.
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy*, 64, 76–91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>

- Bösch, P. M., & Ciari, K. W., Francesco & Axhausen. (2016). Autonomous Vehicle Fleet Sizes Required to Serve Different Levels of Demand. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, (2542), 111–119. doi:10.3141/2542-13
- Bürger- und Ordnungsamt Abteilung Statistik und Wahlen Bremerhaven. (2018). Magistratsbericht Bremerhaven - Bericht 2018 über die Verwaltung und den Stand der Stadtangelegenheiten.
- BVG. (2017). Berlkönig. Available under: <https://www.berlkoenig.de/>, (retrieved on 31.10.2019).
- Clewlöw, R. R., & Mishra, G. S. (2017). Disruptive transportation: The adoption, utilization, and impacts of ride-hailing in the united states.
- Davison, L., Enoch, M., Ryley, T., Quddus, M., & Wang, C. (2012). Identifying potential market niches for demand responsive transport. *Research in Transportation Business & Management*, 3, 50–61. Flexible Transport Services. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2012.04.007>
- Davison, L., Enoch, Ryley, Quddus, & Wang. (2014). A survey of demand responsive transport in great britain. *Transport Policy*, 31, 47–54. doi:10.1016/j.tranpol.2013.11.004
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1–13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M., & Bansal, P. (2016). Operations of shared autonomous vehicle fleet for austin, texas, market. *Transportation Research Record*, 2563(1), 98–106. doi:10.3141/2536-12. eprint: <https://doi.org/10.3141/2536-12>
- Gemeinde Loxstedt. (2019). Gemeinde Loxstedt. Available under: <http://www.loxstedt.de/leben-in-loxstedt/portrait-der-gemeinde/>, (retrieved on 01.09.2019).
- Gemeinde Schiffdorf. (2019). Gemeinde Schiffdorf. Available under: <https://www.schiffdorf.de/rathaus-politik/>, (retrieved on 01.09.2019).
- Helmert, C., Henninger, K., & Ruhrberg, F. (2015). *Mobilitätsbefragung 2014 zum werktäglichen Verkehrsverhalten der Bevölkerung in Bremerhaven*.
- Jokinen, J.-P., Sihvola, T., & Mladenovic, M. N. (2019). Policy lessons from the flexible transport service pilot kutsuplus in the helsinki capital region. *Transport Policy*, 76, 123–133. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.12.004>
- König, A., & Grippenkovén, J. (2017). From public mobility on demand to autonomous public mobility on demand—learning from dial-a-ride services in germany. *Logistik und Supply Chain Management; University of Bamberg Press: Bamberg, Germany*, 295–305.

- Lahner, J., Schlüter, J., & Sörensen, L. (2019). Digitalisierung im öpnr: Vom rufbus zu einem intelligenten nachfrageorientierten system im ländlichen raum. *Neues Archiv für Niedersachsen, 2*.
- Lehuen, A., & Suen, L. (1978). *An overview of paratransit activities in canada*.
- Leich, G., & Bischoff, J. (2019). Should autonomous shared taxis replace buses? a simulation study. *Transportation Research Procedia, 41*, 450–460. Urban Mobility – Shaping the Future Together mobil.TUM 2018 – International Scientific Conference on Mobility and Transport Conference Proceedings. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.076>
- Lenz, B., Nobis, C., Köhler, K., Mehlin, M., Follmer, R., Gruschwitz, D., . . . Quandt, S. (2010). *Mobilität in Deutschland 2008*. infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Verkehrsforschung.
- Litman, T. (2017). *Autonomous vehicle implementation predictions*. Victoria Transport Policy Institute Victoria, Canada.
- LSN, Landesamt für Statistik Niedersachsen. (2019). Landesamt für Statistik Niedersachsen. Available under: <https://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/html/default.asp>, (retrieved on 19.05.2019).
- Maciejewski, M. [Michal], Horni, A., Nagel, K., & Axhausen, K. W. (2016). Dynamic transport services. In *The multi-agent transport simulation matsim* (pp. 145–152). Ubiquity.
- Matthey, D. A., & Bünger, D. B. (2019). Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze. Available under: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-11\\_methodenkonvention-3-0\\_kostensaetze\\_korr.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-11_methodenkonvention-3-0_kostensaetze_korr.pdf), (retrieved on 25.01.2020).
- Ministry of Transport Great Britain. (1965). *Rural bus services: Report of local enquiries*. H.M. Stationery Office. Retrieved from [https://books.google.de/books?id=%5C\\_LW0vQEACAAJ](https://books.google.de/books?id=%5C_LW0vQEACAAJ)
- Mulley, C., & Nelson, J. D. (2009). Flexible transport services: A new market opportunity for public transport. *Research in Transportation Economics, 25*(1), 39–45. Symposium on Transport and Particular Populations. doi:<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.08.008>
- Nelson, J. D., Wright, S., Masson, B., Ambrosino, G., & Naniopoulos, A. (2010). Recent developments in flexible transport services. *Research in Transportation Economics, 29*(1), 243–248. Reforming Public Transport throughout the World. doi:<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2010.07.030>
- Nyga, A., Minnich, A., & Schlüter, J. (2020). The effects of susceptibility, eco-friendliness and dependence on the Consumers’ Willingness to Pay for a door-to-door DRT system. *Trans-*

- portation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 540–558. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.030>
- OpenStreetMap contributors. (2019). Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>.
- Pakusch, C., & Bossauer, P. (2017). User acceptance of fully autonomous public transport. In *Proceedings of the 14th international joint conference on e-business and telecommunications - volume 2: Ice-b, (icete 2017)* (pp. 52–60). INSTICC. doi:10.5220/0006472900520060
- QGIS Development Team. (2019). *Qgis geographic information system*. Open Source Geospatial Foundation. Retrieved from <http://qgis.osgeo.org>
- Salazar Ferro, P. (2015). *Paratransit: A key element in a dual system*. Agence Française de Développement/Codatu, Paris.
- SLB, Statistisches Landesamt Bremen. (2019). Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort. Available under: <https://www.statistik.bremen.de/themen/erwerbstaetigkeit>, (retrieved on 01.10.2019).
- Spieser, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D., & Pavone, M. (2014). Toward a systematic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in singapore. In G. Meyer & S. Beiker (Eds.), *Road vehicle automation* (pp. 229–245). doi:10.1007/978-3-319-05990-7\_20
- Statistisches Landesamt Bremen. (2014). *Statistisches Jahrbuch 2014 Bremen*.
- Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., . . . Phleps, P. (2016). *Autonomous driving - the impact of vehicle automation on mobility behaviour*. Retrieved from <https://elib.dlr.de/110337/>
- Viergutz, K., & Schmidt, C. (2019). Demand responsive - vs. conventional public transportation: A matsim study about the rural town of colditz, germany. *Procedia Computer Science*, 151, 69–76. The 10th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2019) / The 2nd International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40 2019) / Affiliated Workshops. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.013>

## 5.1 Appendix

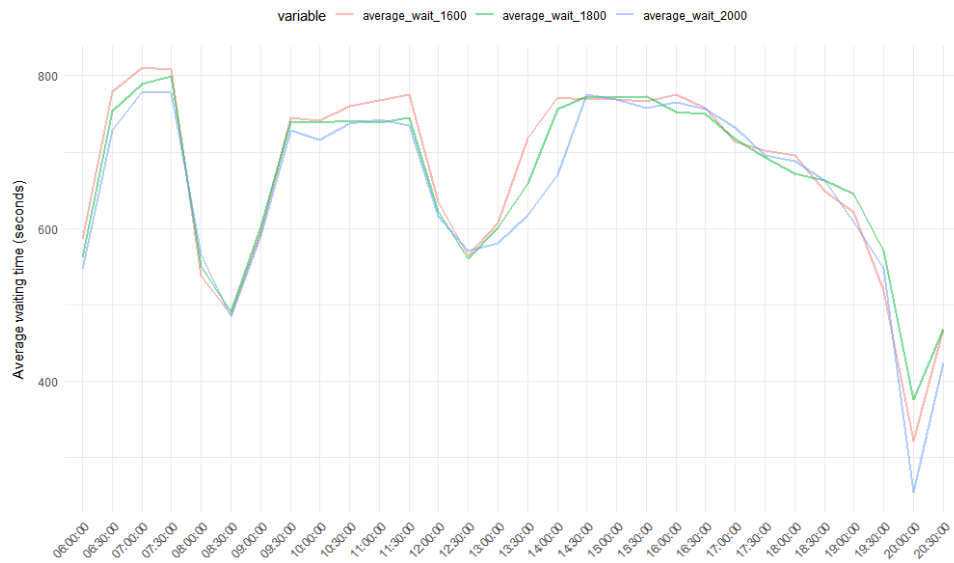


Figure 23: Average waiting times in the course of the day for the first DRT scenario.

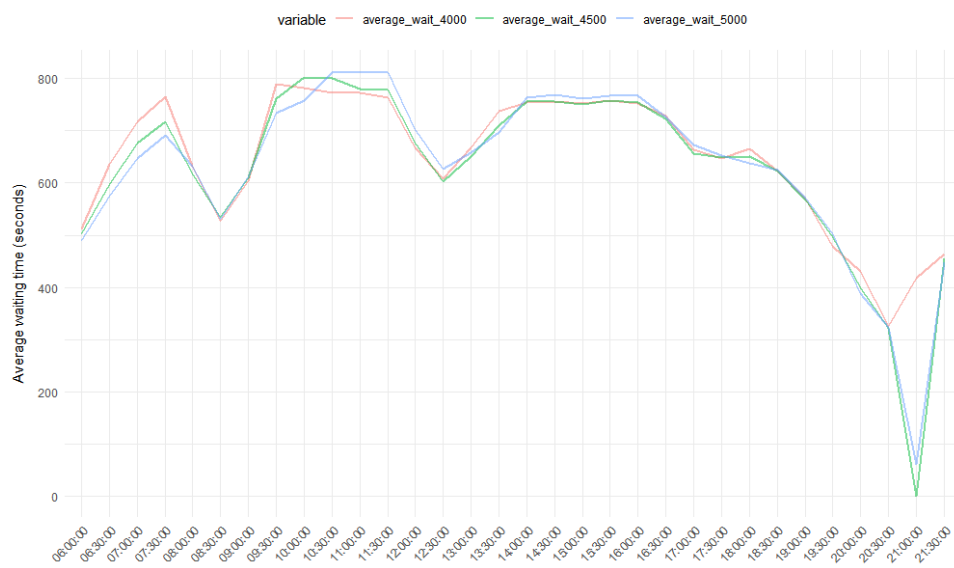


Figure 24: Average waiting times in the course of the day for the second DRT scenario.

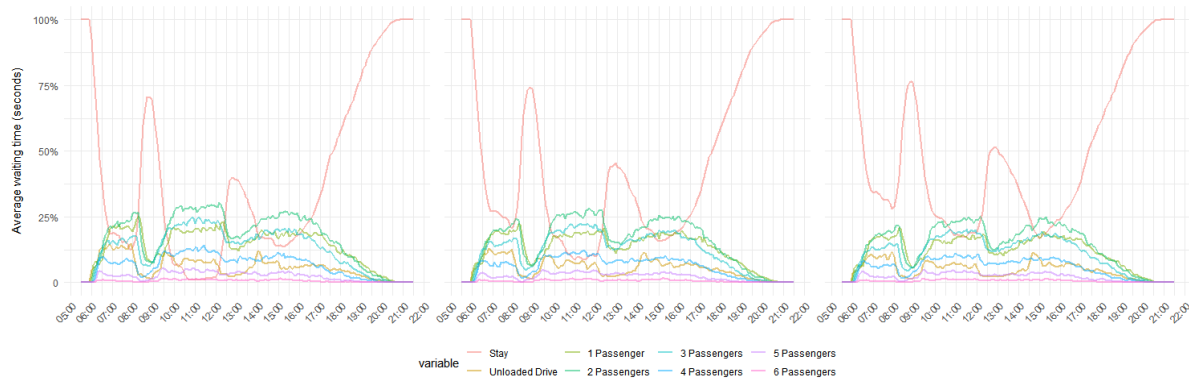


Figure 25: Relative occupancy of DRT Vehicles in first scenario.

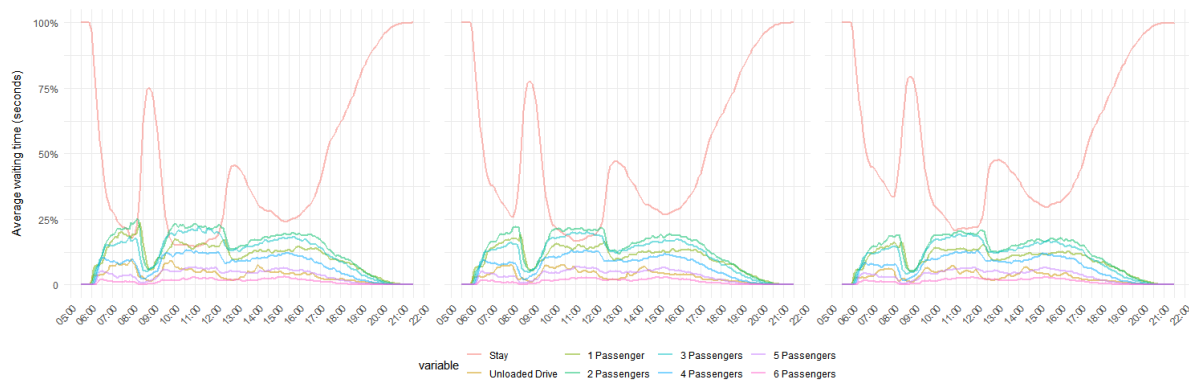


Figure 26: Relative occupancy of DRT Vehicles in second scenario.



## 6 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Analyse der Auswirkungen von verschiedenen Digitalisierungsmaßnahmen im Personenverkehr.

Wie in Kapitel 2 gezeigt wurde, können in Entwicklungs- und Schwellenländern bereits mit simplen IT-Systemen wesentliche Steigerungen der Effizienz und Auslastung für den Personentransport erreicht werden. In einer Vielzahl von Entwicklungs- und Schwellenländern stellen die Minibustaxisysteme einen nennenswerten Teil am Modalsplit dar, somit haben Entwicklungen in diesem Bereich eine globale Wirkung auf den Personentransport (Sobhani et al. 2019). Diese Informationstechnologien ermöglichen einen nachhaltigeren Personentransport in diesen Ländern und können somit einen Beitrag zu einer besseren ökologischen Bilanz der Minibustaxisysteme führen. Eine Optimierung der Minibustaxisysteme verbessert die ökonomische Situation der unteren Einkommensschichten, da diese voraussichtlich das Transportsystem verstärkt nutzen. Gleichzeitig kann die Produktivität der Einkommensschicht erhöht werden, indem die Pendlerentfernungen und -zeiten gesenkt werden können. Durch eine Optimierung der Wege und einer Maximierung des Pooling der Fahrgäste können die Kosten pro gefahrenem Personenkilometer gesenkt werden (Herminghaus 2019). Eine weitere Möglichkeit der Digitalisierung solcher informellen Minibustaxisysteme liegt in der langfristigen Formalisierung dieser Transportdienste. Damit kann eine Erhöhung der Sicherheit sowohl in Bezug auf Fahrzeugsicherheit als auch persönlicher Sicherheit einhergehen. Dementgegen stehen individuelle Interessen und Steuervermeidungsmöglichkeiten der Fahrer und Betreiber, welche auch schon Probleme bei den bisherigen Formalisierungsbestrebungen in Südafrika bereiteten (Barrett 2003).

Für die entwickelten Länder bilden diese Minibustaxisysteme, auch als Rufbussysteme bezeichnet, als intelligente nachfrageorientierte Systeme eine Möglichkeit, verschiedene Verkehrsprobleme anzugehen und zu lösen.

Im Kapitel 3 ist die Umsetzung eines solchen DRT-Systems im ländlichen Raum analysiert worden, um im Speziellen dort das Problem des demographischen Wandels für den ÖPNV zu betrachten und Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen (Hough und Rahim Taleqani 2018). In dem

ersten Piloten des EcoBus-Projektes konnte bereits die hohe Akzeptanz eines solchen DRT-Systems im ländlichen Raum nachgewiesen werden. Der hohe Anteil an älteren Fahrgästen führte unter anderem zu einer hohen Nutzungsrate des Callcenters. Weiterhin wurde aus den Daten ersichtlich, dass dieses System sich speziell auf die Problematik *der letzten Meile* bezieht, welche sich im ländlichen Raum durch die größeren Entfernungen in einem Rahmen von bis zu 5 km darstellt. Zusätzlich kam es im ländlichen Raum zu Pooling beim EcoBus trotz weiter Entfernungen und niedriger Bevölkerungsdichte. Abschließend konnte ein erhöhter Bedarf nach geteilter Mobilität am Wochenende und zu Randzeiten festgestellt werden, was im zweiten Piloten im Harz in Kapitel 4 genauer untersucht wurde.

Bei der Einführung eines neuen Transportsystems kommt der Zufriedenheit der Kunden eine wesentliche Rolle zu und diese wurde folglich im Rahmen von Fahrgastbefragungen im Kapitel 4 ausführlich untersucht. Es konnte dahingehend ein erwarteter negativer Zusammenhang zwischen Wartezeit und Zufriedenheit mit dem Mobilitätsdienst bestätigt werden (Tyrinopoulos und Antoniou 2008, Takeuchi et al. 2003). Insgesamt ist die Einordnung dieser Ergebnisse im Kontext des ländlichen Raumes zu sehen, wo bisher der Bevölkerungsdichte entsprechend nur ein sehr ineffektiver und ausgedünnter ÖPNV vorhanden war. Dafür spricht auch, dass die bei der differenzierten Betrachtung ausgewählten zeitabhängigen und zeitunabhängigen Gruppen zwar ebenso einen negativen Effekt in Bezug auf die Wartezeit aufweisen, dieser jedoch bei der zeitunabhängigen Gruppe stärker ausgeprägt ist. Einer der möglichen Gründe dafür könnte sein, dass die zeitabhängigen Nutzer vorher auf den ausgedünnten ÖPNV angewiesen waren und nun ein effektiveres System zur Verfügung haben. Bei den zeitunabhängigen Nutzern kann es zu einer Häufung von Nutzern gekommen sein, welche vorher nicht auf den ÖPNV angewiesen waren und durch das neue und flexible DRT-System vom MIV umgestiegen sind bzw. diese neue Möglichkeit austesten. Im Rahmen dieser Studie konnte dieser Effekt nicht überprüft werden, da diese Angaben nicht abgefragt worden sind. Ebenso konnten durch den Wunsch der Projektpartner keine Studien im regulären ÖPNV durchgeführt werden. Jedoch konnte ein negativer Zusammenhang von Zufriedenheit und weiteren Fahrgästen im Fahrzeug statistisch nicht bestätigt werden, was im Bereich der Akzeptanz eines solchen DRT-Systems ein wesentlicher Punkt ist (Cantwell et al. 2009). Ein Grund dafür könnte auch die wesentliche Verbesserung der Serviceleistung durch das DRT-System im Rahmen des ÖPNV-Angebots in der Region sein.

Eine ebenso wichtige Erkenntnis aus diesen Arbeiten war die breite Akzeptanz des DRT-Dienstes in den unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen. Wesentlich dabei zu benennen, ist zum einen der hohe Bedarf von flexiblen ÖPNV-Transportangeboten von älteren Gesellschaftsgrup-

pen, welcher von den Betreibern berücksichtigt werden sollte. Zum anderen ist die Akzeptanz des DRT-Systems von Frauen zu erwähnen, was den bisherigen Studien widerspricht (Wang et al. 2014). Um die langfristige Entwicklung der Region durch einen funktionierenden und attraktiven ÖPNV positiv zu beeinflussen, muss auch die hohe Akzeptanz der Altersgruppe 45 bis 65 Jahre berücksichtigt werden, welche einen großen Teil der arbeitenden Bevölkerung darstellt und somit einen wesentlichen Teil des ökonomischen Potentials der Region abbildet (Hough und Rahim Taleqani 2018).

Aufgrund der ländlichen Strukturen dieses Forschungsprojektes wurde in Kapitel 5 eine Simulation erstellt, um eine erste Abschätzung von dem Übergang zwischen ländlichen und städtischen Strukturen für ein DRT-System zu schaffen. Im Rahmen der Simulation wurde der motorisierte Individualverkehr durch ein ÖPNV-DRT-System substituiert. Durch die Einbeziehung beider Raumtypen kommt es somit zu einer Art Mischkalkulation zwischen urbanen und ländlichen Räumen bezüglich des Einsatzes von DRT-Systemen, welche somit nur zum Teil die Schwächen des ländlichen Raums für den ÖPNV aufweisen (Viergutz und Schmidt 2019, Pucher und Renne 2005). Fokus dieser Analyse war dahingehend die Wirtschaftlichkeitsrechnung von DRT-Systemen unter verschiedenen Kostenannahmen. Die unterschiedlichen Szenarien weisen trotz steigender Fahrzeugzahl nur eine unwesentliche Veränderung der durchschnittlichen Wartezeit auf, was nach Kapitel 4 ein wesentlicher Faktor für die Fahrgäste ist. Ebenso weisen die anderen analysierten Parameter bei einer Erhöhung der Fahrzeuganzahl von bis zu 25 % des Basisszenarios für DRT-Fahrzeuge kaum relevante Veränderungen auf. In Bezug zum Basisszenario des MIV hingegen verringert sich die Anzahl der Fahrzeuge auf rund  $\frac{1}{16}$ . Die Reisezeit im Fahrzeug verdoppelt sich hingegen beim Umstieg vom MIV zum DRT-System. Zusätzlich wurde im Rahmen der Simulation eine Nutzung von autonomen DRT-Systemen berücksichtigt, um verschiedene Kostenszenarien anzunehmen. Dadurch konnten Einsparungen von ca. 90 % bei den notwendigen Fahrzeugen entsprechend der Ergebnisse bisheriger Studien nachgewiesen werden (Leich und Bischoff 2019). Abschließend wurde noch eine weitere Differenzierung zwischen elektrischen und konventionell angetriebenen Fahrzeugen mit einbezogen. Es soll daher zum einen überprüft werden, ob ein DRT-System eine nachhaltige Alternative zum MIV sein kann und sich dies zum anderen auch im Übergang zum ländlichen Raum kosteneffizient realisieren lässt. Bei der Betrachtung der operationellen Kosten konnte gezeigt werden, dass diese für autonome DRT-Fahrzeuge niedriger als für den MIV sind, was bei aktuellen DRT-Systemen mit Fahrern noch nicht der Fall ist. Bei der Einbeziehung von Kosten für die Umwelt sind die Kosten für den MIV in jedem Fall höher als für DRT-Systeme. Dahingehend ist festzustellen, dass die Kombination von DRT-Systemen und autonomen Fahrzeugen Kostenvorteile aufweist und Veränderungen im

---

Transportbereich bedeuten kann.

Die Ergebnisse der Kapitel 2 bis 5 zeigen, dass DRT-Minibus-Systeme in Kombination mit neuen Technologien unterschiedliche Probleme des aktuellen Mobilitätsbedarfs und ÖPNVs lösen können. Zum einen können mit einfachen IT-Systemen in überlasteten Verkehrsregionen diese optimiert und dadurch entlastet werden. Für die Fahrgäste kann weiterhin die Qualität des Services wesentlich verbessert werden. In dünn besiedelten Regionen können DRT-Systeme den ÖPNV erweitern, ersetzen oder unterstützen, um ein bedarfsgerechtes Angebot zur Verfügung zu stellen. Die neuen Möglichkeiten durch IT-Systeme erlauben einen spezifischeren Einblick in die Bedürfnisse der Nutzer und ermöglichen maßgeschneiderte Mobilitätsangebote. Aktuell sind die hohen Kosten solcher Systeme noch ein Hindernis für einen flächendeckenden Einsatz. Dies könnte sich mit fortschreitender Entwicklung von autonomen Fahrzeugen ändern und durch Kombination mit DRT-Systemen zur disruptiven Technologie im Bereich Transport entwickeln.

## 7 Ausblick

Durch die in Kapitel 2 gezeigte weite Verbreitung dieses analogen Transportsystems kann sich die Kombination der beiden Technologien (DRT und autonome Fahrzeuge) weltweit in einer rasanten Geschwindigkeit ausbreiten und damit zu einer disruptiven Veränderung im Bereich des Transportmarktes führen. Dahingehend sind die hier vorgestellten Arbeiten erst der Anfang noch tiefergehender Analysen und Erfahrungen mit DRT-Systemen. Der nächste Schritt auf der Angebotsseite ist der Wandel von einem eigenständigen System hin zu einem multimodalen, vernetzten und langfristig auch autonomen System. Dahingehend führt das Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation gerade einen Piloten im urbanen Raum durch, welcher in den Linienverkehr des ÖPNV integriert ist und dadurch tiefergehende Ergebnisse erwarten lässt. Im Rahmen des Piloten in Leipzig werden diesbezüglich bereits Erfahrungen gesammelt und das dortige DRT-System als sogenanntes Feeder-System betrieben, was die Kunden aus der Fläche hin zu S-Bahn-Stationen bringt und dort intermodal weiterreisen lässt.

Ergebnisse, die den Transportmarkt wesentlich verändern, lassen sich aber erst im Rahmen von langfristig eingeführten Systemen erwarten, wenn der Nutzer das System hinreichend kennt und seine langfristige Planungen darauf einstellt.

Dahingehend bietet die Digitalisierung auch die Möglichkeit die Nachfrageseite durch Smartphones besser zu verstehen und die benötigten Wege der Individuen optimal zu bedienen. Ein tiefergehendes Verständnis der Kunden und ein individualisierteres Angebot bieten somit neue Möglichkeiten, einen nachhaltigen, effizienten und kostengünstigen ÖPNV zu betreiben und den MIV zu reduzieren.

Für den urbanen Raum werden durch eine Vielzahl von Unternehmen gerade Piloten gefahren, welche das Ziel haben, ein Geschäftsmodell aus DRT-Systemen zu entwickeln. Die dabei erreichte Poolingrate ist zum aktuellen Zeitpunkt ein wesentlicher Indikator für die Zukunftsfähigkeit eines solchen Konzepts in dicht besiedelten Räumen. Allerdings bleibt ebenso festzuhalten, dass gerade die großen Automobilkonzerne diese Testläufe auch als Möglichkeit sehen, Daten von Kunden zu erhalten und diese zu analysieren, um bei der Einführung von autonomen DRT-

Systemen eine hohe und schnelle Marktdurchdringung realisieren zu können. Für die Entscheidungsträger und Stadtplaner bleibt nur anzumerken, dass diese Systeme zu einer Parallelverkehrsvermeidung führen sollten und keine zusätzliche Belastung für die bereits vollen Straßen in urbanen Räumen darstellen sollten.

Der ländliche Raum weist dahingehend geringere Gewinnmargen auf, da die dünne Besiedlung eine niedrige Poolingrate zulässt. Wesentlich ist dort, die Integration in den ÖPNV voranzutreiben, um gleichwertige Lebensverhältnisse zwischen ländlichen und urbanen Räumen zu ermöglichen. Weiterhin bietet ein besserer und flexibler ÖPNV auf dem Land auch die Möglichkeit, mehr Kunden und damit einen höheren Kostendeckungsbeitrag zu erreichen. Wie bereits erwähnt bieten autonome DRT-Systeme im ländlichen Raum ein hohes Potential, dort einen flächendeckenden ÖPNV an 7 Tagen in der Woche zu 24 Stunden anzubieten bei relativ geringen Kosten.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass gerade DRT-Systeme dazu prädestiniert sind, die Digitalisierung im ÖPNV durchzuführen, da der Endnutzer bei nachfragegestützten Systemen mehr mit dem Dienstleister kommuniziert als bei stetigen Linienverkehren und das dabei gewonnene Wissen über den Kunden zu einer Stärkung des ÖPNV führen kann.

## Literatur

- Aapaoja, A., Eckhardt, J., Nykänen, L. & Sochor, J. (2017). Maas service combinations for different geographical areas.
- Alonso-González, M. J., Liu, T., Cats, O., Oort, N. V. & Hoogendoorn, S. (2018). The potential of demand-responsive transport as a complement to public transport: An assessment framework and an empirical evaluation. *Transportation Research Record*, 2672(8), 879–889. doi:10.1177/0361198118790842. eprint: <https://doi.org/10.1177/0361198118790842>
- Alonso-Mora, J., Samaranyake, S., Wallar, A., Frazzoli, E. & Rus, D. (2017). On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(3), 462–467. doi:10.1073/pnas.1611675114
- Arrive Alive. (2011). Taxi Recapitalization. Zugriff 10. August 2017 unter <https://www.arrivealive.co.za/Taxi-Recapitalization>
- Avermann, N. & Schlüter, J. (2020). Determinants of customer satisfaction with a true door-to-door drt service in rural germany. *Research in Transportation Business & Management*, 100420. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100420>
- Axhausen, K., Nagel, K. & Horni, A. (Hrsg.). (2016). *Multi-agent transport simulation matsim*. doi:10.5334/baw
- Bakker, P. (1999). *Public transport planning and management: Proceedings of seminar e held at the european transport conference, robinson college, cambridge, 27 - 29 september 1999*. Volume / PTRC P. London: PTRC Education and Research Services Ltd.
- Barrett, J. (2003). Organizing in the Informal Economy: A Case Study of the Minibus Taxi Industry in South Africa. *SEED Working Paper - Series on Representation and Organization Building*, (39).
- Baumeister, H. & Meier-Bebereich, J. (2018). Chancen für den öpnv im ländlichen raum durch digitalisierung: Notwendige klärungen und strategien für aufgabenträger. *V+T Verkehr und Technik*, (8).

- BBSR. (2017). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Raumordnungsbericht 2017 - Daseinsvorsorge sichern.
- BBSR. (o.D.). Siedlungsstrukturelle kreistypen: Raumabgrenzungen. Zugriff unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/kreise/Kreistypen4/kreistypen\\_node.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/kreise/Kreistypen4/kreistypen_node.html)
- Behrens, R. & Schalekamp, H. (2010). Engaging paratransit on public transport reform initiatives in South Africa: A critique of policy and an investigation of appropriate engagement approaches. *Research in Transportation Economics*, 29(1), S. 371–378.
- Beirão, G. & Cabral, J. A. S. (2007). Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport Policy*, 14(6), 478–489. doi:10.1016/j.tranpol.2007.04.009
- Berg, J. & Ihlström, J. (2019). The importance of public transport for mobility and everyday activities among rural residents. *Social Sciences*, 8(2), 1–13. Zugriff unter <https://ideas.repec.org/a/gam/jscscx/v8y2019i2p58-d206541.html>
- Bertelsmann Stiftung. (2019). Demografiebericht bad gandersheim. Zugriff 15. April 2019 unter <https://www.wegweiser-kommune.de/kommunen/bad-gandersheim>
- Bischoff, J., Führer, K. & Maciejewski, M. (2018). Impact assessment of autonomous drt systems. *Transportation Research Procedia*, 1–8.
- Bischoff, J. & Maciejewski, M. [Michał]. (2016). Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in berlin. *Procedia Computer Science*, 83, 237–244. The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016) / The 6th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2016) / Affiliated Workshops. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.121>
- Bischoff, J., Maciejewski, M. [Michał] & Nagel, K. (2017). City-wide shared taxis: A simulation study in berlin. (S. 275–280). Available Open Access acceptedVersion at <https://depositonce.tu-berlin.de//handle/11303/8600>. doi:10.1109/ITSC.2017.8317926
- BLS, Bayerisches Landesamt für Statistik. (2019). Zensus 2011 der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder. Available under: <https://ergebnisse.zensus2011.de>, (retrieved on 19.09.2019).
- Böhler, S., Jansen, U., Koska, T., Schäfer-Sparenberg, C. & Arens, C. (2009a). *Handbuch zur planung flexibler bedienungsformen im öpnv - ein beitrag zur sicherung der daseinsvorsorge in nachfrageschwachen räumen* (B. u. S. ( Bundesministerium für Verkehr & S.- u. R. ( i. B. f. B. u. R. ( Bundesinstitut für Bau-, Hrsg.). Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.



- Böhler, S., Jansen, U., Koska, T., Schäfer-Sparenberg, C., Arens, C., Hillebrand, P., . . . Klinger, D. (2009b). *Handbuch zur planung flexibler bedienungsformen im öpnbv: Ein beitrag zur sicherung der daseinsvorsorge in nachfrageschwachen räumen.*
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H. & Axhausen, K. W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy*, 64, 76–91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005>
- Bösch, P. M. & Ciari, K. W., Francesco & Axhausen. (2016). Autonomous Vehicle Fleet Sizes Required to Serve Different Levels of Demand. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, (2542), 111–119. doi:10.3141/2542-13
- Bossert, A. (2018). *Einführung eines nachfrageorientierten transportsystems in ländlichen räumen in deutschland – eine empirische studie auf basis von umfrage und realdaten.* (Magisterarb., Universität Göttingen).
- Boudreaux, K. (2006). Taxing alternatives: Poverty allevation and the South African taxi/minibus industry. *Mercato Policy Series - Policy Comment*, 3.
- Brake, J., Mulley, C., Nelson, J. D. & Wright, S. (2007). Key lessons learned from recent experience with Flexible Transport Services. *Transport Policy*, 14(6), 458–466. Zugriff unter <https://ideas.repec.org/a/eee/tranpol/v14y2007i6p458-466.html>
- Braumann, A., Haferburg, C. & Steinbrink, M. (2010). Fußball-WM 2010 in Südafrika - Platzverweis für die Minitaxis. In C. Haferburg & M. Steinbrink (Hrsg.), *Megaevent und Stadtentwicklung im globalen Süden. Die WM 2010 und ihre Impulse für Südafrika* (S. 166–181). Frankfurt a.M.: Brandes & Apsel.
- Browning, P. (2006). The Paradox of the Minibus-Taxi. *Paper presented to the Chartered Institute of Logistics and Transport in South Africa, Pretoria.*
- Bundesamt, S. (2011). *Herausforderungen des demografischen wandels* (S. zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Hrsg.).
- Bundesinstitut für Bau-, S. R. (2018). Stadt und gemeindetypen in deutschland. Zugriff 15. April 2019 unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raubeobachtung/Raumabgrenzungen/Stadt-Gemeindetyp/StadtGemeindetyp%5C\\_node.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raubeobachtung/Raumabgrenzungen/Stadt-Gemeindetyp/StadtGemeindetyp%5C_node.html)
- Bürger- und Ordnungsamt Abteilung Statistik und Wahlen Bremerhaven. (2018). Magistratsbericht Bremerhaven - Bericht 2018 über die Verwaltung und den Stand der Stadtangelegenheiten.
- Business Tech. (2016). How much money taxi drivers really make in South Africa. Zugriff 21. September 2017 unter <https://businesstech.co.za/news/business/110689/how-much-money-taxi-drivers-really-make-in-south-africa/>.

- Business Tech. (2017). It's official: National minimum wage set at R3500 per month. Zugriff 11. Januar 2018 unter <https://businesstech.co.za/news/finance/156159/its-official-national-minimum-wage-set-at-r3500-per-month/>.
- BVG. (2017). BerlKönig. Available under: <https://www.berlkoenig.de/>, (retrieved on 31.10.2019).
- Cantwell, M., Caulfield, B. & O'Mahony, M. (2009). Examining the factors that impact public transport commuting satisfaction. *Journal of Public Transportation*, 12(2), 1–21. doi:10.5038/2375-0901.12.2.1
- Chakamba, R. (2017). Tackling Rape and Assault in South Africa's Taxi Industry. Zugriff 26. November 2017 unter <https://www.newsdeeply.com/womenandgirls/articles/2017/04/06/tackling-rape-and-assault-in-south-africas-taxi-industry>.
- Chan, N. D. & Shaheen, S. A. (2012). Ridesharing in north america: Past, present, and future. *Transport Reviews*, 32(1), 93–112. doi:10.1080/01441647.2011.621557. eprint: <https://doi.org/10.1080/01441647.2011.621557>
- Chiloane-Tsoka, G. E. (2016). Factors affecting the implementation of the Taxi Recapitalization. *Problems and Perspectives in Management*, 14(4), S. 25–32.
- Clewlow, R. R. & Mishra, G. S. (2017). Disruptive transportation: The adoption, utilization, and impacts of ride-hailing in the united states.
- Coetzee, J., Krogscheepers, C. & Spotten, J. (2018). Mapping minibus-taxi operations at a metropolitan scale—methodologies for unprecedented data collection using a smartphone application and data management techniques.
- Coetzee, J., Zhubwaki, N. & Blagus, D. (2019). Demand-responsive transit design methods and applications for minibus-taxi hybrid models in south africa. Southern African Transport Conference 2019.
- Cokayne, R. (2017). Toyota and other 30 entities targeted by Taxi industry. Zugriff 5. September 2017 unter <https://www.iol.co.za/business-report/toyota-and-other-30-entities-targeted-by-taxi-industry-9492504>.
- Davison, L., Enoch, M., Ryley, T., Quddus, M. & Wang, C. (2012). Identifying potential market niches for demand responsive transport. *Research in Transportation Business & Management*, 3, 50–61. Flexible Transport Services. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2012.04.007>
- Davison, L., Enoch, Ryley, Quddus & Wang. (2014). A survey of demand responsive transport in great britain. *Transport Policy*, 31, 47–54. doi:10.1016/j.tranpol.2013.11.004

- Del Mistro, R. F. & Aucamp, C. A. (2000). Development of a public transport cost model. *South African Transport Conference 'Action in Transport for the New Millennium' Conference Papers*.
- Demissie, M. G., Phithakkitnukoon, S., Sukhvibul, T., Antunes, F., Gomes, R. & Bento, C. (2016). Inferring passenger travel demand to improve urban mobility in developing countries using cell phone data: A case study of senegal. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(9), 2466–2478.
- Department of Energy. (2013). *Draft 2012 Integrated Energy Planning Report - Annexure B Model Input and Assumptions*. South Africa.
- Department of GCIS. (2016). *South Africa Yearbook 2015/16*. Republic of South Africa: Department of Government Communication and Information System (GCIS).
- Department of Transport. (2005). *Key Results of the National Household Travel Survey*. South Africa.
- destatis, S. B. (2018). Verkehr – personenverkehr mit bussen und bahnen. Zugriff unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/PersonenverkehrSchienenverkehr/PersonenverkehrBusseBahnenJ2080310167004.pdf>
- Enoch, M., Potter, S., Parkhurst, G. & Smith, M. (2006). Why do demand responsive transport systems fail? In *Transportation research board 85th annual meeting*. Zugriff unter <http://oro.open.ac.uk/19345/>
- Fachinger, U. & Künemund, H. (Hrsg.). (2015). *Gerontologie und ländlicher raum: Lebensbedingungen, veränderungsprozesse und gestaltungsmöglichkeiten*. Research. doi:10.1007/978-3-658-09005-0
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1–13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M. & Bansal, P. (2016). Operations of shared autonomous vehicle fleet for austin, texas, market. *Transportation Research Record*, 2563(1), 98–106. doi:10.3141/2536-12. eprint: <https://doi.org/10.3141/2536-12>
- Farrington, J. & Farrington, C. (2005). Rural accessibility, social inclusion and social justice: Towards conceptualisation. *Journal of Transport Geography*, 13, 1–12. doi:10.1016/j.jtrangeo.2004.10.002
- Ferguson, E. (1997). The rise and fall of the american carpool: 1970–1990. *Transportation*, 24, 349–376. doi:10.1023/A:1004928012320

- finanzen.net. (2018). Euro in Südafrikanischer Rand Währungsrechner. Zugriff 19. Januar 2018 unter [https://www.finanzen.net/waehrungsrechner/euro\\_suedafrikanischer-rand](https://www.finanzen.net/waehrungsrechner/euro_suedafrikanischer-rand).
- Forbes. (2017). In Depth: Europe's Most Congested Cities. Zugriff 25. November 2017 unter [https://www.forbes.com/2008/04/21/europe-commute-congestion-forbeslife-cx-po-0421congestion\\_slide](https://www.forbes.com/2008/04/21/europe-commute-congestion-forbeslife-cx-po-0421congestion_slide).
- Fourie, J. (2008). Improved payment process supports Taxi Recapitalisation Programme. Durban: Engineering News. nicht zugänglich, Sekundärquelle: Sebola und Baloyi (2012).
- Fransen, K., Neutens, T., Farber, S., Maeyer, P. D., Deruyter, G. & Witlox, F. (2015). Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels. *Journal of Transport Geography*, 48, 176–187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.09.008>
- Gans, P. (2005). Tendenzen der räumlich-demographischen entwicklung. in demographischer wandel im raum: Was tun wir? In *Gemeinsamer kongress von arl und bbr* (Bd. 225, S. 42–53).
- Gebauer, A., Fingerhut, J., Lahner, J. & Schlüter, J. (2019). Verkehrsanbindung von Berufsschülern. *Standort*, 43(1), 9–19. doi:[10.1007/s00548-019-00567-4](https://doi.org/10.1007/s00548-019-00567-4)
- Gemeinde Loxstedt. (2019). Gemeinde Loxstedt. Available under: <http://www.loxstedt.de/leben-in-loxstedt/portrait-der-gemeinde/>, (retrieved on 01.09.2019).
- Gemeinde Schiffdorf. (2019). Gemeinde Schiffdorf. Available under: <https://www.schiffdorf.de/rathaus-politik/>, (retrieved on 01.09.2019).
- Gemeindeverwaltung Kalefeld. (2018). Bevölkerungszahlen kalefeld. Zugriff 15. April 2019 unter <https://www.kalefeld.de/ortschaften/ortsteile-der-gemeinde-kalefeld/>
- GlobalPetrolPrices. (2017). South Africa Diesel prices. Zugriff 28. August 2017 unter [http://www.globalpetrolprices.com/South-Africa/diesel\\_prices/](http://www.globalpetrolprices.com/South-Africa/diesel_prices/)
- Goba, N. (2017). Santaco taxi owners say offer of 3% cut in interest on Quantum too little. Zugriff 3. September 2017 unter <https://www.timeslive.co.za/news/south-africa/2017-06-15-santaco-taxi-owners-say-offer-of-3-cut-in-interest-on-quantums-too-little/>.
- GoMetro. (2017). Aufgezeichnete Minibustaxifahrten in den Städten Rustenburg und Kapstadt in den Jahren 2016 und 2017.
- Govender, R. & Allopi, D. (2006). Towards a safer minibus taxi industry in South Africa. *Proceedings of the 25th Southern African Transport Conference*.
- Grundgesetz. (2019). *Grundgesetz - mit menschenrechtskonvention, verfahrensordnung des europäischen gerichtshofs für menschenrechte, bundesverfassungsgerichtsgesetz, parteiengesetz, untersuchungsausschussgesetz, gesetz über den petitionsausschuss, vertrag über die europäische union, vertrag über die arbeitsweise der europäischen union, charta der grund-*

- rechte der europäischen union ; textausgabe mit ausführlichem sachverzeichnis* (50. Aufl.). Stuttgart: Dt. Taschenbuch-Verlag.
- Guenther, K. W. (1970). Incremental implementation of dial-a-ride systems. *Demand-Actuated Transportation Systems Conference and published in this Special Report*.
- Gustafson, R. L. & Navin, F. P. (1973). User preference for dial-a-bus'. *Highways Research Board Special Report, 136*, 85–93.
- Hahne, U. (2005). Zukunftskonzepte für schrumpfende ländliche räume. von dezentralen und eigenständigen lösungen zur aufrechterhaltung der lebensqualität und zur stabilisierung der erwerbsgesellschaft. *Neues Archiv für Niedersachsen, 1*, 2–25.
- Helmert, C., Henninger, K. & Ruhrberg, F. (2015). *Mobilitätsbefragung 2014 zum werktäglichen Verkehrsverhalten der Bevölkerung in Bremerhaven*.
- Herminghaus, S. (2019). Mean field theory of demand responsive ride pooling systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 119*, 15–28. doi:10.1016/j.tra.2018.10.028
- Hidalgo, D. & Gutiérrez, L. (2013). BRT and BHLS around the world: Explosive growth, large positive impacts and many issues outstanding. *Research in Transportation Economics, 39*, S. 8–13.
- Hough, J. & Rahim Taleqani, A. (2018). Future of rural transit. *Journal of Public Transportation, 21*, 31–42. doi:10.5038/2375-0901.21.1.4
- International Monetary Fund. (2017). World Economic Outlook Database. Zugriff 21. September 2017 unter <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/01/weodata/index.aspx>.
- Jiang, T., Wu, Z., Song, Y., Liu, X., Liu, H. & Zhang, H. (2013). Sustainable transport data collection and application: China urban transport database. *Mathematical Problems in Engineering, 2013*.
- Jin, S. T., Kong, H., Wu, R. & Sui, D. Z. (2018). Ridesourcing, the sharing economy, and the future of cities. *Cities, 76*, 96–104. doi:https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.01.012
- Jokinen, J.-P. (2016). Economic perspectives on automated demand responsive transportation and shared taxi services - analytical models and simulations for policy analysis.
- Jokinen, J.-P., Sihvola, T. & Mladenovic, M. N. (2019). Policy lessons from the flexible transport service pilot kutsuplus in the helsinki capital region. *Transport Policy, 76*, 123–133. doi:https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.12.004
- Kerr, A. (2015). Tax (i) ing the poor? Commuting costs in South Africa. *Southern Africa Labour and Development Research Unit Working Paper, (156)*.
- Khosa, M. M. (1998). The travail of travelling: urban transport in South Africa, 1930 - 1996. *Transport Reviews, 18*(1), S. 17–33.

- Le-Klähn & Diem-Trinh. (2014). Le-klähn, d-t., hall, c.m. “tourist use of public transport at destinations - a review”. *current issues in tourism*, in press. doi: 10.1080/13683500.2014.948812. *Current Issues in Tourism*. doi:10.1080/13683500.2014.948812
- Kloth, H. & Mehler, S. (2018). Nachfragegesteuerte verkehre oder on-demand-ridepooling? *NAHVERKEHR*, 36(6).
- Knierim, L. (2018). *Standortuntersuchung zur implementierung eines flexiblen ride-pooling-konzepts im ländlichen raum - eine demografische und ökonomische analyse der kommunen bad gandersheim und kalefeld*. (Magisterarb., Universität Göttingen).
- Koffman, D. (2004). *Operational experiences with flexible transit services*. Transportation Research Board.
- König, A. & Gripenkoven, J. (2017). From public mobility on demand to autonomous public mobility on demand—learning from dial-a-ride services in germany. *Logistik und Supply Chain Management; University of Bamberg Press: Bamberg, Germany*, 295–305.
- Kyrer, A. (2017). *Wirtschaftslexikon*. Oldenbourg Verlag. München.
- Lahner, J., Schlüter, J. & Sörensen, L. (2019). Digitalisierung im öpnv: Vom rufbus zu einem intelligenten nachfrageorientierten system im ländlichen raum. *Neues Archiv für Niedersachsen*, 2.
- Landesamt für Statistik Niedersachsen. (2018). Lsn-online datenbank. Zugriff 15. April 2019 unter <https://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/default.asp>
- Leal, M. T. & Bertini, R. L. (2003). Bus rapid transit: an alternative for developing countries. *Institute of Transportation Engineers, Annual Meeting*.
- Lehuen, A. & Suen, L. (1978). *An overview of paratransit activities in canada*.
- Leich, G. & Bischoff, J. (2019). Should autonomous shared taxis replace buses? a simulation study. *Transportation Research Procedia*, 41, 450–460. Urban Mobility – Shaping the Future Together mobil.TUM 2018 – International Scientific Conference on Mobility and Transport Conference Proceedings. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.076>
- Lenz, B., Nobis, C., Köhler, K., Mehlin, M., Follmer, R., Gruschwitz, D., . . . Quandt, S. (2010). *Mobilität in Deutschland 2008*. infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Verkehrsforschung.
- Letebele, M. O., Masemola, R. C. & Mokonyama, M. (2009). Niche public transport operational and capital investment strategies to minimize fares in the light of increased energy costs. *Council for Scientific and Industrial Research Pretoria*.
- Li, X. & Quadrifoglio, L. (2010). Feeder transit services: Choosing between fixed and demand responsive policy. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(5), 770–



780. Applications of Advanced Technologies in Transportation: Selected papers from the 10th AATT Conference. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.05.015>
- Limbourg, M. (2015). Mobilität im höheren lebensalter in ländlichen gebieten: Probleme und lösungsansätze. In U. Fachinger & H. Künemund (Hrsg.), *Gerontologie und ländlicher raum* (S. 77–98). Research. doi:10.1007/978-3-658-09005-0
- Limbourg, M. & Matern, S. (2009). *Erleben, verhalten und sicherheit älterer menschen im straßenverkehr: Eine qualitative und quantitative untersuchung (mobial)*. Mobilität und Alter. Köln: TÜV Media.
- Litman, T. (2002). Transportation cost and benefit analysis: Techniques, estimates and implications.
- Litman, T. (2017). *Autonomous vehicle implementation predictions*. Victoria Transport Policy Institute Victoria, Canada.
- Lomme, R. (2008). Should South African minibus taxis be scrapped? Formalizing informal urban transport in a developing country. *Proceedings of the CODATU XIII Conference. Ho Chi Minh City*.
- Lopez Iglesias, E., Peon, D. & Rodríguez-Alvarez, J. (2018). Mobility innovations for sustainability and cohesion of rural areas: A transport model and public investment analysis for valdeorras (galicia, spain). *Journal of Cleaner Production*, 172, 3520–3534. doi:10.1016/j.jclepro.2017.05.149
- LSN, Landesamt für Statistik Niedersachsen. (2019). Landesamt für Statistik Niedersachsen. Available under: <https://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/html/default.asp>, (retrieved on 19.05.2019).
- Machado, C. A. S., De Salles Hue, N. P. M., Berssaneti, F. T. & Quintanilha, J. A. (2018). An overview of shared mobility. *Sustainability*, 10(12). doi:10.3390/su10124342
- Maciejewski, M. [Michal], Horni, A., Nagel, K. & Axhausen, K. W. (2016). Dynamic transport services. In *The multi-agent transport simulation matsim* (S. 145–152). Ubiquity.
- Mageean, J. & Nelson, J. D. (2003). The evaluation of demand responsive transport services in europe. *Journal of Transport Geography*, 11(4), 255–270. doi:[https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(03\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(03)00026-7)
- Matthey, D. A. & Bünger, D. B. (2019). Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze. Available under: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-11\\_methodenkonvention-3-0\\_kostensaetze\\_korr.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-11_methodenkonvention-3-0_kostensaetze_korr.pdf), (retrieved on 25.01.2020).

- Matthies, E., Preuß, S., Lahner, J. & Schlüter, J. (2019). Alternative Bedienformen im ÖPNV – Implikationen für den Planungsprozess. *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, (1), 21–48.
- McCormick, D., Schalekamp, H. & Mfinanga, D. (2016). The nature of paratransit operations. In R. Behrens, D. McCormick & D. Mfinanga (Hrsg.), *Paratransit in African Cities - Operations, Regulation and Reform* (S. 59–78). London: Routledge.
- Merven, B., Stone, A., Hughes, A. & Cohen, B. (2012). Quantifying the energy needs of the transport sector for South Africa: A bottom-up model. *University of Cape Town Energy Research Centre*.
- Ministry of Transport Great Britain. (1965). *Rural bus services: Report of local enquiries*. H.M. Stationery Office. Zugriff unter <https://books.google.de/books?id=%5CLWOvQEACAAJ>
- Molefi, N. (2013). Taxi recapitalization misses target. Zugriff 10. August 2017 unter <http://www.sabc.co.za/news/a/5c915480405fac53b6bbb7abf44ebaa3/%20%5C%5C%20Taxiundefinedrecapitalizationundefinedmissesundefinedtarget-20131607>.
- Moreno, A. T., Michalski, A., Llorca, C. & Moeckel, R. (2018). Shared autonomous vehicles effect on vehicle-km traveled and average trip duration. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
- Morton, C., Caulfield, B. & Anable, J. (2016). Customer perceptions of quality of service in public transport: Evidence for bus transit in scotland. *Case Studies on Transport Policy*, 4(3), 199–207.
- Mounce, R., Wright, S., Emele, C. D., Zeng, C. & Nelson, J. D. (2018). A tool to aid redesign of flexible transport services to increase efficiency in rural transport service provision. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22(2), 175–185. doi:10.1080/15472450.2017.1410062. eprint: <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1410062>
- Mulley, C. & Nelson, J. D. (2009). Flexible transport services: A new market opportunity for public transport. *Research in Transportation Economics*, 25(1), 39–45. Symposium on Transport and Particular Populations. doi:<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.08.008>
- Nelson, J. D. & Phonphitakchai, T. (2012). An evaluation of the user characteristics of an open access drt service. *Research in transportation economics*, 34(1), 54–65.
- Nelson, J. D., Wright, S., Masson, B., Ambrosino, G. & Naniopoulos, A. (2010). Recent developments in flexible transport services. *Research in Transportation Economics*, 29(1), 243–248. Reforming Public Transport throughout the World. doi:<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2010.07.030>
- Neumann, A., Röder, D. & Joubert, J. W. (2015). Towards a simulation of minibuses in South Africa. *The Journal of Transport and Land Use*, 8(1), S. 147–154.



- Nyga, A., Minnich, A. & Schlüter, J. (2020). The effects of susceptibility, eco-friendliness and dependence on the Consumers' Willingness to Pay for a door-to-door DRT system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 540–558. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.030>
- OpenStreetMap. (2017). Contributors. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>.
- OpenStreetMap contributors. (2019). Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>.
- Pakusch, C. & Bossauer, P. (2017). User acceptance of fully autonomous public transport. In *Proceedings of the 14th international joint conference on e-business and telecommunications - volume 2: Ice-b, (icete 2017)* (S. 52–60). INSTICC. doi:10.5220/0006472900520060
- Pucher, J. & Renne, J. (2005). Rural mobility and mode choice: Evidence from the 2001 national household travel survey. *Transportation*, 32, 165–186. doi:10.1007/s11116-004-5508-3
- QGIS Development Team. (2019). *Qgis geographic information system*. Open Source Geospatial Foundation. Zugriff unter <http://qgis.osgeo.org>
- Quddus, M. A., Wang, C. & Ison, S. G. (2009). Road traffic congestion and crash severity: Econometric analysis using ordered response models. *Journal of Transportation Engineering*, 136(5), 424–435.
- Rayle, L., Dai, D., Chan, N., Cervero, R. & Shaheen, S. (2016). Just a better taxi? a survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in san francisco. *Transport Policy*, 45, 168–178. doi:10.1016/j.tranpol.2015.10.004
- Research on women's issues in transportation: Report of a conference. (2004).
- Rosenbloom, S. (2004). Understanding women's and men's travel patterns. In *Research on women's issues in transportation: Report of a conference*.
- Rustenburg Rapid Transport. (2016). *Yarona - Newsletter July 2016*.
- Rustenburg Rapid Transport. (2017). *Yarona Route Maps Phase 1A and 1C*.
- Salazar Ferro, P. (2015). *Paratransit: A key element in a dual system*. Agence Française de Développement/Codatu, Paris.
- Schmitt, V. & Sommer, C. (2013). *Mobilfalt "–ein mitnahmesystem als ergänzung des öpnv in ländlichen räumen. in schritte in die künftige mobilität*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Schnabel, W. & Lohse, D. (2011). *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Verkehrsplanung - Band 2: Verkehrsplanung* (3. Aufl.). DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Kirschbaum/Beuth.

- Sebola, M. & Baloyi, M. (2012). The Implementation of the Taxi Recapitalization Programme in South Africa: Evaluating the future prospects of taxi operators and policy choices. In N. Delener, L. Fuxman, F. V. Lu & S. Rodrigues (Hrsg.), *Mapping the global future: Evolution through innovation and excellence* (S. 925–931). New York City: Global Business and Technology Association.
- SLB, Statistisches Landesamt Bremen. (2019). Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort. Available under: <https://www.statistik.bremen.de/themen/erwerbstaetigkeit>, (retrieved on 01.10.2019).
- Sobhani, M. G., Imtiyaz, M. N., Azam, M. S. & Hossain, M. (2019). A framework for analyzing the competitiveness of unconventional modes of transportation in developing cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.02.001>
- Soder, M. & Peer, S. (2018). The potential role of employers in promoting sustainable mobility in rural areas: Evidence from eastern austria. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(7), 541–551. doi:10.1080/15568318.2017.1402974. eprint: <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1402974>
- Sommer, C., Schäfer, F., Löcker, G., Hattop, T. & Saighani, A. (2016). Mobilitäts- und angebotsstrategien in ländlichen räumen. Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur. Zugriff 15. April 2019 unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/mobilitaets-und-angebotsstrategien-in-laendlichen-raeumen-neu.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/mobilitaets-und-angebotsstrategien-in-laendlichen-raeumen-neu.pdf?__blob=publicationFile)
- South African Cities Network. (2016). State of South African Cities Report.
- Spieser, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D. & Pavone, M. (2014). Toward a systematic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in singapore. In G. Meyer & S. Beiker (Hrsg.), *Road vehicle automation* (S. 229–245). doi:10.1007/978-3-319-05990-7\_20
- Statista. (2017a). Ranking der 20 Länder mit der größten Gleichheit bei der Einkommensverteilung im Zeitraum von 2010 bis 2015 auf Basis des Gini-Index. Zugriff 19. Januar 2018 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/166444/umfrage/ranking-der-20-laender-mit-der-groessten-gleichheit-bei-der-einkommensverteilung/>.
- Statista. (2017b). Ranking der 20 Länder mit der größten Ungleichheit bei der Einkommensverteilung im Zeitraum von 2010 bis 2015 auf Basis des Gini-Index. Zugriff 13. September 2017 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37024/umfrage/ranking-der-20-laender-mit-der-groessten-ungleichheit-bei-der-einkommensverteilung/>.
- Statistics South Africa. (2012). *Census 2011 - Census in brief*.

- Statistics South Africa. (2014). *National Household Travel Survey 2013 - Statistical Release*.
- Statistics South Africa. (2017a). *Living Conditions of Households on South Africa - Statistical Release*.
- Statistics South Africa. (2017b). *Poverty Trends in South Africa - An examination of absolute poverty between 2006 and 2015*.
- Statistisches Landesamt Bremen. (2014). *Statistisches Jahrbuch 2014 Bremen*.
- Stats SA. (2014). National household travel survey – western cape profile report. Report No. 03-20-02.
- Steinbrück, B. & Küpper, P. (2010). *Mobilität in ländlichen räumen unter besonderer berücksichtigung bedarfsgesteuerter bedienformen des öpnv* (Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie Nr. 02). Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- Stephens, T. S., Gonder, J., Chen, Y., Lin, Z., Liu, C. & Gohlke, D. (2016). Estimated bounds and important factors for fuel use and consumer costs of connected and automated vehicles. doi:10.2172/1334242
- Takeuchi, R., Student, G., Nakamura, F., Professor, A., Okura, I. & Hiraishi, H. (2003). Feasibility study on demand responsive transport systems (drts).
- Thomas, D. P. (2016). Public Transportation in South Africa: Challenges and Opportunities. *World Journal of Social Science Research*, 3(3), S. 352–366.
- Tomej, K. & Liburd, J. J. (2020). Sustainable accessibility in rural destinations: A public transport network approach. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(2), 222–239. doi:10.1080/09669582.2019.1607359. eprint: <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1607359>
- Transaction Capital. (2017). Integrated Annual Report 2016.
- Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., ... Phleps, P. (2016). *Autonomous driving - the impact of vehicle automation on mobility behaviour*. Zugriff unter <https://elib.dlr.de/110337/>
- Tyrinopoulos, Y. & Antoniou, C. (2008). Public transit user satisfaction: Variability and policy implications. *Transport Policy*, 15, 260–272. doi:10.1016/j.tranpol.2008.06.002
- Van Der Westhuizen, J. (2007). Glitz, glamour and the Gautrain: Mega-projects as political symbols. *Politikon*, 34(3), S. 333–351.
- Velaga, N., Nelson, J., Wright, S. & Farrington, J. (2012). The potential role of flexible transport services in enhancing rural public transport provision. *Journal of Public Transportation*, 15. doi:10.5038/2375-0901.15.1.7
- Venter, C. (2013). The lurch towards formalisation: Lessons from the implementation of BRT in Johannesburg, South Africa. *Research in Transportation Economics*, 39, S. 114–120.

- Verband Deutscher Verkehrsbetriebe. (2017). Jahresbericht 2017. Zugriff 18. April 2019 unter <https://www.vdv.de/jahresbericht---statistik.aspx>.
- Viergutz, K. & Schmidt, C. (2019). Demand responsive - vs. conventional public transportation: A matsim study about the rural town of colditz, germany. *Procedia Computer Science*, 151, 69–76. The 10th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2019) / The 2nd International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40 2019) / Affiliated Workshops. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.013>
- Visser, A. (2017). Charging VAT on fuel will hit the taxi industry. Zugriff 20. September 2017 unter <http://www.thesait.org.za/news/333894/Charging-VAT-on-fuel-will-hit-the-taxi-industry-.htm>.
- Wallin Andreassen, T. (1995). Exploring the propensity to travel by demand responsive transport in the rural area of lincolnshire in england. *Journal of Services Marketing*, 9(5).
- Wang, C., Quddus, M., Enoch, M., Ryley, T. & Davison, L. (2014). Multilevel modelling of demand responsive transport (drt) trips in greater manchester based on area-wide socio-economic data. *Transportation*, 41(3), 589–610. doi:10.1007/s11116-013-9506-1
- Wang, C., Quddus, M., Enoch, M., Ryley, T. & Davison, L. (2015). Exploring the propensity to travel by demand responsive transport in the rural area of lincolnshire in england. *Case Studies on Transport Policy*, 3(2), 129–136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.12.006>
- Weiß, W. (2006). Zur entwicklung einer residualbevölkerung infolge lang anhaltender selektiver abwanderung in mecklenburg-vorpommern. *Zeitschrift Für Bevölkerungswissenschaft*, 31, 469–506.
- WhereIsMyTransport. (2017). Integrating the Informal: Collecting Data from Cape Town’s Minibus Taxi Network. Zugriff 1. Oktober 2017 unter <https://www.whereismytransport.com/case-study/integrating-the-informal-mapping-cape-towns-minibus-taxi-network/>.
- Woldeamanuel, M. & Cyganski, R. (2012). Factors affecting travellers’ satisfaction with accessibility to public transportation.
- Woll, A. (2014). *Wirtschaftslexikon. Jubiläumsausgabe*. (10. Aufl.). Oldenbourg Wissenschaftsverlag. Berlin.
- Woolf, S. & Joubert, J. (2013). A people-centred view on paratransit in South Africa. *Cities*, (35), S. 284–293.
- Wosiyana, M. (2013). An investigation of the impact of the taxi recapitalization project - A case study of Durban and Pietermaritzburg. *Abstracts of the 32nd Southern African Transport Conference*.

- Wright, L. & Hook, W. (2007). Bus Rapid Transit Planning Guide. *Institute For Transportation & Development Policy*, 3.
- Yamamoto, T., Hashiji, J. & Shankar, V. N. (2008). Underreporting in traffic accident data, bias in parameters and the structure of injury severity models. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1320–1329.
- Zuchhini, W., Schlegel, A., Nenadic, O. & Sperlich, S. (2009). *Statistik für Bachelor- und Masterstudenten - Eine Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*. Springer.

---

**Promotionsstudiengang „Wirtschaftswissenschaften“  
Versicherung bei Zulassung zur Promotionsprüfung**

**Ich versichere,**

1. dass ich die eingereichte Dissertation

**Digitalisierung im Personenverkehr**

selbstständig angefertigt habe und nicht die Hilfe Dritter in einer dem Prüfungsrecht und wissenschaftlicher Redlichkeit widersprechenden Weise in Anspruch genommen habe.

2. dass ich das Prüfungsrecht einschließlich der wissenschaftlichen Redlichkeit - hierzu gehört die strikte Beachtung des Zitiergebots, so dass die Übernahme fremden Gedankenguts in der Dissertation deutlich gekennzeichnet ist - beachtet habe,
3. dass beim vorliegenden Promotionsverfahren kein Vermittler gegen Entgelt eingeschaltet worden ist sowie im Zusammenhang mit dem Promotionsverfahren und seiner Vorbereitung
  - ▷ kein Entgelt gezahlt oder entgeltgleiche Leistungen erbracht worden sind
  - ▷ keine Dienste unentgeltlich in Anspruch genommen wurden, die dem Sinn und Zweck eines Prüfungsverfahrens widersprechen,
4. dass ich eine entsprechende Promotion nicht anderweitig beantragt und hierbei die eingereichte Dissertation oder Teile daraus vorgelegt habe.

Mir ist bekannt, dass Unwahrheiten hinsichtlich der vorstehenden Versicherung die Zulassung zur Promotionsprüfung ausschließen und im Falle eines späteren Bekanntwerdens die Promotionsprüfung für ungültig erklärt werden oder der Doktorgrad aberkannt werden kann.

---

Datum, Unterschrift

## Weitere Publikationen im Bereich Transport

- Gebauer, A., Fingerhut, J., Lahner, J. & Schlüter, J. (2019). Verkehrsanbindung von Berufsschülern. *Standort*, 43(1), 9–19. doi:10.1007/s00548-019-00567-4
- Matthies, E., Preuß, S., Lahner, J. & Schlüter, J. (2019). Alternative Bedienformen im ÖPNV – Implikationen für den Planungsprozess. *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, (1), 21–48.
- Nyga, A., Minnich, A. & Schlüter, J. (2020). The effects of susceptibility, eco-friendliness and dependence on the Consumers' Willingness to Pay for a door-to-door DRT system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 540–558. doi:https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.030