



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften
Fakultät Verkehr-Sport-Tourismus-Medien



Einflussfaktoren auf die Effizienz von Linienbedarfsverkehren – Untersuchung mittels mikroskopischer Verkehrssimulation

Magnus Lasse Hamann
(Matrikelnummer: 70468024)

Eingereichte Abschlussarbeit
zur Erlangung des Grades
Bachelor of Arts

Im Studiengang
Personenverkehrsmanagement

an der
Karl-Scharfenberg-Fakultät
der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

Erster Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Marco Brey

Eingereicht am: 02. März 2023

Zweiter Prüfer: Benedikt Scheier, M. Sc., Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Betreuer: Benedikt Scheier, M. Sc.

Summary

The core of this work consisted in investigating possible factors influencing the efficiency of On-Demand traffic. For this purpose, the traffic simulation tool SUMO (Simulation of urban Mobility) was used.

After conducting research on current best practice examples for different areas of application, the demand structures to be investigated as well as the influencing factors in question were typified. Thereupon a generic transport model for rural and urban areas was created in the SUMO network editor tool (netedit). The simulations could then be carried out and the results compared with each other.

Through the shifting of the stops from streets with a speed limit of 30 km/h to main roads with a speed limit of 50 km/h, journey times are significantly reduced. At the same time, however, the footpaths of the travellers. Due to the lower demand of passenger kilometres, a possible deterioration in system efficiency must be expected. Pre-Distribution of vehicles before the start of operation can improve the system efficiency due to the lower vehicle kilometres. However, this strongly depends on the duration of operation. The effect would be increasingly relativised with increasing duration. A tubular service area could not show any improvement in efficiency, at least in the results of this work. Due to higher detours, among other things, the vehicle kilometres increased which consequently led to a drop in system efficiency. School transport is well suited for the use of On-Demand transport. The temporal structure of the demand usually leads to an efficient trip building. In the case of feeder and shuttle services, the efficiency depends strongly on the position of the relevant destination stop. A decentralised location leads to a visibly more efficient operation than a central location due to better trip bundling. The comparison of rural and urban regions shows a clear influence of the size of the service area. Further distances in larger networks have a significant effect on the key figures of the operation.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Schmölpert, 27.02.2023

Ort, Datum

Mewem

(Unterschrift)

Inhalt

| | |
|---|------|
| Abkürzungsverzeichnis | VII |
| Abbildungsverzeichnis | VIII |
| Tabellenverzeichnis..... | IX |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt | 3 |
| 3 Grundlagen | 4 |
| 3.1 Definition Linienbedarfsverkehr | 4 |
| 3.2 Kennzahlen im Personenverkehr | 4 |
| 3.3 Effizienzindikatoren | 5 |
| 3.4 Betriebsmodelle | 6 |
| 3.5 SUMO – Verkehrssimulations-Programm | 6 |
| 3.5.1 Allgemein..... | 6 |
| 3.5.2 Netedit..... | 7 |
| 3.5.3 Dispositionsalgorithmus | 7 |
| 4 Linienbedarfsverkehre in Deutschland – Status Quo | 9 |
| 4.1 Beispiele in Deutschland | 10 |
| 4.1.1 Holibri (Höxter)..... | 10 |
| 4.1.2 G-Mobil (Gronau) | 12 |
| 4.1.3 Holmich!App (Wuppertal) | 14 |
| 4.1.4 LOOPmünster (Münster) | 15 |
| 4.1.5 HeinerLiner (Darmstadt)..... | 17 |
| 4.1.6 sprinti (Hannover)..... | 19 |
| 4.1.7 MOB!shuttle (Dresden)..... | 21 |
| 4.1.8 MainzRIDER (Mainz) | 22 |
| 4.1.9 Revierflitzer (Oberhausen) | 24 |
| 4.1.10 flexo (Wahrenholz/Wesendorf; Seesen)..... | 25 |

| | |
|---|----|
| 4.1.11 KVV.MyShuttle (Karlsruhe) | 28 |
| 4.1.12 Mein SWCAR (Krefeld) | 33 |
| 4.1.13 lümo (Lübeck) | 34 |
| 4.1.14 myBUS (Duisburg) | 36 |
| 4.2 Best-Practise | 38 |
| 4.2.1 Städtisch – Pendler/Schüler | 38 |
| 4.2.2 Städtisch – Freizeit | 39 |
| 4.2.3 Städtisch – Zu-/Abbringer | 39 |
| 4.2.4 Ländlich – Pendler/Schüler | 39 |
| 4.2.5 Ländlich – Freizeit | 40 |
| 4.2.6 Ländlich – Zu-/Abbringer | 40 |
| 5 Typisierung relevanter Größen | 41 |
| 5.1 Definition der Einsatzformen | 41 |
| 5.1.1 Pendlerverkehre | 41 |
| 5.1.2 Schülerverkehre | 43 |
| 5.1.3 Freizeitverkehre | 45 |
| 5.1.4 Zu- und Abbringerverkehre | 47 |
| 5.2 Mögliche effizienzbeeinflussende Faktoren im Linienbedarfsverkehr | 48 |
| 5.2.1 Position von Zielen im Netz | 49 |
| 5.2.2 Startposition der Fahrzeuge | 49 |
| 5.2.3 Geschwindigkeiten im Netz | 50 |
| 5.2.4 Zeitliche Staffelung der Fahrtwünsche | 50 |
| 5.2.5 Natürliche Hindernisse | 51 |
| 5.2.6 Skalierung des Simulationsmodells | 51 |
| 5.2.7 Erschließungsgrad des Bediengebietes | 52 |
| 5.2.8 Unterschiede zwischen Stadt und Land | 52 |
| 5.2.9 Haltestellen im Bediengebiet | 53 |
| 5.2.10 Räumlich-Geometrische Ausdehnung des Bediengebietes | 53 |

| | |
|---|----|
| 5.2.11 Nachfragevarianz | 54 |
| 5.3 Auswahl der zu untersuchenden Faktoren | 54 |
| 6 Erstellung der Simulationsmodelle | 56 |
| 6.1 Ländlicher Raum | 56 |
| 6.2 Städtischer Raum | 57 |
| 7 Simulationsdurchführung und Auswertung | 60 |
| 7.1 Vorgehen | 60 |
| 7.2 Ländlicher Raum | 61 |
| 7.2.1 Arbeitsverkehr | 61 |
| 7.2.2 Schülerverkehr | 72 |
| 7.2.3 Freizeitverkehr | 77 |
| 7.2.4 Zu- und Abbringerverkehr | 80 |
| 7.3 Städtischer Raum | 83 |
| 7.3.1 Nachtbus | 83 |
| 7.3.2 Zu- und Abbringerverkehr | 86 |
| 7.4 Interdisziplinäre Vergleiche | 88 |
| 7.4.1 Arbeit – Zu-/Abbringer (Ländlich) | 89 |
| 7.4.2 Haltestellen im Nacht- und Zu-/Abbringerverkehr (städtisch) | 90 |
| 7.4.3 Zu- und Abbringer (ländlich/städtisch) | 91 |
| 8 Fazit | 93 |
| 9 Zusammenfassung | 95 |
| 10 Ausblick | 96 |
| Literaturverzeichnis | 98 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|--|
| AG | Aktiengesellschaft |
| App | Applikation |
| BMVI | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur |
| DLR | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt |
| DRF | Direct Route Factor |
| DRT | Demand Responsive Transport |
| GmbH | Gesellschaft mit beschränkter Haftpflicht |
| GVH | Großraum-Verkehr Hannover |
| KVV | Karlsruher Verkehrsverbund |
| km | Kilometer |
| km/h | Kilometer pro Stunde |
| m | Meter |
| Min | Minuten |
| mbH | mit beschränkter Haftung |
| OD | Origin-Destination |
| ÖPNV | Öffentliche Personennahverkehr |
| ÖV | Öffentlicher Verkehr |
| PBefG | Personenbeförderungsgesetz |
| Pkm | Personenkilometer |
| PKW | Personenkraftwagen |
| SUMO | Simulation of Urban Mobility |
| TAZ | Traffic Assignment Zone |
| ZOS | Zentrale-Orte-System |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Bediengebiet Holibri | 11 |
| Abbildung 2: Bediengebiet G-Mobil | 13 |
| Abbildung 3: Bediengebiet Holmich!App | 14 |
| Abbildung 4: Bediengebiet LOOPmünster | 16 |
| Abbildung 5: Bediengebiet MOB!shuttle | 21 |
| Abbildung 6: Bediengebiet MainzRIDER | 23 |
| Abbildung 7: „flexo“-Bediengebiet Wahrenholz/Wesendorf | 26 |
| Abbildung 8: „flexo“-Bediengebiet Seesen | 26 |
| Abbildung 9: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Hardt-West | 29 |
| Abbildung 10: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Ettlingen | 29 |
| Abbildung 11: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Waldbronn | 30 |
| Abbildung 12: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Karlsbad | 30 |
| Abbildung 13: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Marxzell-Ittersbach | 31 |
| Abbildung 14: „lümo“-Bediengebiet Lübeck | 35 |
| Abbildung 15: „lümo“-Bediengebiet Travemünde | 35 |
| Abbildung 16: Bediengebiet „myBus“ | 37 |
| Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Wege mit dem Hauptwegezweck Arbeit nach Startzeit..... | 42 |
| Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der Wege mit dem Hauptwegezweck Ausbildung..... | 44 |
| Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Wege mit dem Hauptwegezweck Freizeit | 46 |
| Abbildung 20: Prinzip eines hierarchischen Netzkonzeptes | 48 |
| Abbildung 21: Ländliches Verkehrsmodell; Rot: Unterzentren, Grün: Dörfer, Violett: Kleine Dörfer, Blau: Bahnhof | 57 |
| Abbildung 22: Städtisches Verkehrsmodell; Violett: Zentrum, Grün: Wohngegenden, Blau: Bahnhof, Rot: Gewerbegebiete..... | 59 |
| Abbildung 23: Ländliches Modell; Rot: Startorte der Fahrzeuge | 66 |
| Abbildung 24: Schlauchartiges Bediengebiet; Rot: Straßensperrungen, Grün: Verlauf der nutzbaren Straßen | 68 |
| Abbildung 25: Position der Bahnhöfe; Blau: Zentral, Rot: Westlich | 81 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Berechnung Fahrtwünsche (Ländlich-Arbeit) | 62 |
| Tabelle 2: Ergebnisse Arbeit_0 | 63 |
| Tabelle 3: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_Haltestellen | 64 |
| Tabelle 4: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_Fhz-verteilt | 66 |
| Tabelle 5: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_Schlauch | 69 |
| Tabelle 6: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_verkleinert | 71 |
| Tabelle 7: Ergebnisse Schüler_0 | 73 |
| Tabelle 8: Vergleich Arbeit_0 - Schüler_0..... | 74 |
| Tabelle 9: Vergleich Schüler_0 - Schüler_Fhz-verteilt..... | 76 |
| Tabelle 10: Berechnung Fahrtwünsche (Ländlich - Freizeit)..... | 77 |
| Tabelle 11: Ergebnisse Freizeit_0..... | 78 |
| Tabelle 12: Vergleich Freizeit_0 - Freizeit_Schlauch..... | 79 |
| Tabelle 13: Vergleich Bhf_Zentral - Bhf_Westen | 81 |
| Tabelle 14: Ergebnisse (S) Nachtbus_0..... | 84 |
| Tabelle 15: Vergleich (S) Nachtbus_0 - (S) Nachtbus_Haltestellen..... | 85 |
| Tabelle 16: Ergebnisse (S) Zu-Abbringer_0..... | 87 |
| Tabelle 17: Vergleich (S) Zu-Abbringer_0 – (S) Zu-Abbringer_Haltestellen..... | 87 |
| Tabelle 18: Vergleich Arbeit_0 - Bhf_Westen | 89 |
| Tabelle 19: Vergleich (S) Nachtbus_Haltestellen - (S) Zu- Abbringer_Haltestellen | 90 |
| Tabelle 20: Vergleich Bhf_Westen - (S) Zu-Abbringer_0..... | 91 |

1 Einleitung

Nicht erst der Wunsch nach klimafreundlicher Mobilität weckt das Interesse an alternativen Konzepten zur Bewältigung der alltäglichen Wege unserer Gesellschaft. Auch die Hoffnung auf mehr Lebensqualität beispielsweise in den Städten lässt die Forderung nach weniger Verkehr auf den Straßen aufleben. Besonders Fahrgemeinschaften sind hierfür seit langem ein gern genutztes Mittel.

Das sogenannte Ridesharing vereint dabei mehrere Reisende zu einer einzelnen Fahrt – beispielsweise im privaten Personenkraftwagen (PKW) einer der Insassen [1]. Gerade in den letzten Jahren wurde diese Form der geteilten Mobilität um weitere Aspekte ergänzt. Das daraus resultierende Ridepooling erweitert das Angebot um die Bündelung von mehreren Fahrtwünschen mit ähnlicher Route. Während Ridesharing auch privat erfolgen kann, werden Ridepoolingangebote ausschließlich professionell betrieben [2]. In der Folge wurden vielerorts in Deutschland zahlreiche Fahrdienste etabliert, welche diese Form der Mobilität anbieten und bewerben. Dies bietet die Möglichkeit, die Gestaltung der Mobilität der Zukunft hautnah mitzuerleben und zu beobachten. Eine Fahrt kann hierbei nach Bedarf meist via Smartphone gebucht werden. Ein fester Fahrplan existiert nicht. In den meisten Fällen werden die Fahrten mit Vans oder Kleinbussen erbracht [3]¹. Zumeist elektrisch betrieben wird bei der Prägung dieses neuen Images auch der Aspekt der Klimaneutralität aufgegriffen. Gepaart mit den nicht selten in (nächtlichen) Randzeiten angesiedelten Bedienungszeiträumen und dem oftmals ansprechenden Internetauftritten wird dabei gerne auf ein jugendlicheres Auftreten gesetzt.

Doch auch als Lösungsansatz für Mobilität in ländlichen Räumen, wo ein Rückgang der Schülerverkehre es den Verkehrsunternehmen zunehmend erschwert, ein solides Angebot an Mobilitätsdienstleistungen zu finanzieren und bereitzustellen, werden bedarfsgesteuerte Angebote als Lösungsansatz gehandelt [4]².

Das im August 2021 novellierte Personenbeförderungsgesetz (PBefG) greift diese Art der Bedarfsverkehre auf. Neben dem „gebündelten Bedarfsverkehr“ wurde dabei dem „Linienbedarfsverkehr“ eine konkrete rechtliche Grundlage geschaffen. Die Kerngedanken

¹ Vgl. S. 136

² Vgl. S. 12

bestanden hier unter anderem darin, die Genehmigungsverfahren dieser Angebote zu vereinfachen sowie die Etablierung eines vielseitigeren Angebots im Verkehrsmarkt zu fördern [5]³. Im Vergleich zum klassischen Linienverkehr, dem privaten PKW oder dem Taxi/Mietwagen stellt sich jedoch die Frage, inwieweit ein Herunterbrechen auf die Beförderung (weniger) einzelner Fahrgäste eine effiziente Betriebsform darstellt und vor allem, wie und wo solche Verkehre am besten einzusetzen sind. Gerade zu letzterem existiert bislang relativ wenig Literatur. Aus diesem Grund wird sich diese Arbeit mit dem Einfluss verschiedener Faktoren auf eben diese Effizienz beschäftigen. Dabei werden beispielsweise Aspekte wie unterschiedliche Nachfragestrukturen, Einsatzfelder und Raumstrukturen Einzug in die Betrachtungen nehmen.

Durchgeführt werden die Untersuchungen mit Hilfe des Open-Source-Verkehrssimulations-Programms „SUMO“, welches hauptsächlich vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt wird [6].

³ Vgl. S. 9, 18, 19

2 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Diese Arbeit wird im Nachgang einer praktischen Arbeitsphase im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt angefertigt. Wie der Name vermuten lässt, handelt es sich dabei um das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Themen in den Bereichen Luft- und Raumfahrt. Jedoch gehören auch Gebiete wie Energie, Verkehr, Sicherheit sowie Digitalisierung zu den Betätigungsfeldern des DLR. Insgesamt kann es hierfür auf 55 verschiedene Institute an 30 Standorten in Deutschland und vier Büros weltweit zurückgreifen, welche in Summe 10.000 Mitarbeitende (Stand Februar 2021) beschäftigen. Ein Hauptanliegen des Unternehmens besteht dabei in der Entwicklung von nachhaltigen Technologien für eine klimafreundliche Gesellschaft [7].

Konkret wird diese Arbeit betreut durch das Institut für Verkehrssystemtechnik. Mit knapp 250 Mitarbeitenden (Stand 2020) forscht dieses in den Bereichen Automotiv- und Bahnsysteme, Verkehrs- und Mobilitätsmanagement. Dabei stehen die Themen Sicherheit, Effizienz, Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit sowie Qualität im Fokus [8].

3 Grundlagen

3.1 Definition Linienbedarfsverkehr

Um das Konzept des Linienbedarfsverkehrs als Kern dieser Arbeit zu definieren, kann das Personenbeförderungsgesetz (PBefG) herangezogen werden. Dieses legt in §44 PBefG die Rahmenbedingungen dieser Betriebsform fest: Demnach handelt es sich beim Linienbedarfsverkehr um eine Form des Linienverkehrs. Die Beförderung der Fahrgäste erfolgt nur auf Anfrage. Feste Routen bestehen dabei nicht. Die Haltepunkte, das Bediengebiet und der Bedienzeitraum sind jedoch festgelegt [9].

Was im Gesetzestext keine Erwähnung findet, in vielen Realbeispielen jedoch angestrebt wird, ist der Aspekt des bereits erwähnten Ridepoolings. Nach Möglichkeit sollen Fahrtwünsche mit ähnlichen Routen zusammengelegt werden. Grundlage dafür ist zumeist ein computergestützter Dispositionsalgorithmus [2].

3.2 Kennzahlen im Personenverkehr

Um grundlegende Zusammenhänge im Personenverkehr verstehen und beschreiben zu können, bedarf es einiger Kennzahlen. Die wohl maßgebendsten bestehen dabei in den **Personenkilometern** (Pkm) und den **Fahrzeugkilometern**. Die Personenkilometer bezeichnen die von einer Person zurückgelegte Strecke. Hierfür wird die Anzahl der reisenden Personen mit der gereisten Strecke multipliziert. Die Erklärung der Fahrzeugkilometer ist weitgehend trivial. Diese beschreiben die von einem Fahrzeug insgesamt zurückgelegten Kilometer (km). Hinzu kommt die **Fahrzeit**. Diese beschreibt die Zeit, welche für den Transport des Fahrgastes benötigt wurde. Außerdem im späteren Verlauf dieser Arbeit angewendet wird der Begriff der **Vorbuchungszeit**. Im Kontext der hier vorgenommenen Untersuchungen meint diese die Zeit, welche zwischen der Buchung einer Fahrt und dem Eintreffen des Fahrzeuges verstreicht.

3.3 Effizienzindikatoren

Die im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher betrachteten Einsatzszenarien für Linienbedarfsverkehre sollen hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet werden. Hierfür müssen zunächst klare Indikatoren dafür definiert werden, was Effizienz tatsächlich ist und wie diese in Zahlen abgebildet werden kann. Im Rahmen der hier vorgenommenen Untersuchungen werden hierfür die Größen der **betrieblichen Effizienz** und der **Systemeffizienz** herangezogen.

Nach Liebchen et al. können Effizienzen durch die Division einer Nutzengröße durch eine Aufwandsgröße berechnet werden. Eine Steigerung der Nutzengröße erhöht somit die Effizienz. Das gleiche gilt analog für die Senkung der Aufwandsgröße [3]⁴. Im Falle der betrieblichen Effizienz kann die erbrachte Verkehrsleistung (Pkm) als Nutzen und die zurückgelegten Fahrzeugkilometer als Aufwand betrachtet werden. Somit ergibt sich die betriebliche Effizienz als Ergebnis der Teilung der erbrachten Personenkilometer durch die Fahrzeugkilometer [10]⁵.

Problematisch ist bei dieser betrieblichen Effizienzgröße jedoch, dass sie nur wenig über den Nutzen aussagt, den der Fahrgast von der Fahrt hat. Gerade durch Fahrtenbündelungen entstehen Umwege. Diese generieren zusätzliche Personenkilometer. Dem Fahrgast an sich erwächst daraus jedoch kein Mehrwert [3]⁶. Um hier eine präzisere Effizienzbeurteilung vornehmen zu können, kann die Systemeffizienz angesetzt werden. In diesem Fall werden die nachgefragten Personenkilometer als Nutzengröße betrachtet. Dies sind jene Personenkilometer, welche durch den direkten Transport des Fahrgastes ohne Umwege zustande kommen. Als Aufwandsgröße dienen erneut die generellen Fahrzeugkilometer. Somit ergibt sich die Systemeffizienz als Ergebnis der Teilung der nachgefragten Personenkilometer durch die Fahrzeugkilometer [3]⁷.

⁴ Vgl. S. 138

⁵ Vgl. Folie 21

⁶ Vgl. S. 138

⁷ Vgl. S. 138-139

3.4 Betriebsmodelle

Abseits des reinen Linienbetriebs kommen im öffentlichen Personennahverkehr zumeist drei spezielle Betriebsformen zum Einsatz, welche sich nicht unwesentlich vom herkömmlichen liniengebundenen Betrieb unterscheiden.

- Zunächst ist dabei der (Korridor-) **Richtungsbandbetrieb** zu nennen. Hierbei bestehen feste Start- und Endhaltestellen des Verkehrsangebotes. Alle Haltestellen zwischen diesen Punkten werden lediglich nach Anfrage bedient. Das Bediengebiet gleicht dabei einem bandförmigen Korridor [11].
- Im Falle des **Sektorenbetriebs** (auch Sektor-Richtungsband) wird eine Haltestelle fest bedient. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Verknüpfungsstelle zu anderen Verkehrsangeboten handeln. Die weiteren Haltestellen des Bediengebietes werden ausschließlich bei Bedarf angesteuert [11].
- Der **Flächenbetrieb** verkehrt innerhalb eines festgelegten Gebietes und zeichnet sich dadurch aus, dass es hier keine feste Start- oder Endhaltestelle gibt. Bei der Buchung einer Fahrt muss sowohl der Abholort als auch der Zielort angegeben werden [12].

3.5 SUMO – Verkehrssimulations-Programm

3.5.1 Allgemein

Bei SUMO (Simulation of Urban Mobility) [13] handelt es sich um ein kostenloses Verkehrssimulations-Programm, welches bereits seit 2001 besteht und weiterentwickelt wird. Es bietet beispielsweise die Möglichkeit, verkehrsmittelübergreifende Modelle zu untersuchen, wobei es unter anderem straßengebundenen Verkehr, öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), Schienenverkehr und Fußgänger abbilden kann [14]. Es handelt sich um eine agentenbasierte mikroskopische Simulation. Als Agenten können Fahrzeuge oder auch Reisende angenommen werden, deren intermodale Reisekette in der Simulation abgebildet werden kann. Zusätzlich ist es möglich, SUMO über eigene Programmergänzungen an spezielle Bedürfnisse anzupassen. Im Programmumfang inkludiert sind zudem zahlreiche Instrumente zur Automatisierung bestimmter Aufgaben – beispielsweise die Erstellung und Auswertung von

Verkehrsmodellen. SUMO eignet sich für die Untersuchung verschiedenster Sachverhalte: Hierzu zählen beispielsweise die Bewertung von Lichtsignalanlagen, die Analyse von Verkehrssicherheits-Aspekten sowie die Untersuchung von Parkverkehren [14]. Im Nachgang an die durchgeführten Simulationen gibt das Programm eine Vielzahl an unterschiedlichen Kennzahlen als Ergebnis aus, welche als Untersuchungsbasis verwendet werden können. Hierzu zählen beispielsweise die erbrachten Fahrzeug- und Personenkilometer.

3.5.2 Netedit

Eins der in SUMO enthaltenen Instrumente ist das Netedit-Tool. Dabei handelt es sich um ein Werkzeug zur Erstellung und Modifikation von Verkehrsmodellen [15].

Im Rahmen dieser Arbeit wird dieses eingesetzt, um die Verkehrsmodelle bzw. -netze mittels Knoten-Kanten-Graphen zu entwickeln und weiter zu bearbeiten. Des Weiteren werden darin die Verkehrszellen (hier Traffic-Assignment-Zones (TAZ)) festgelegt, welche später benötigt werden, um – außerhalb von netedit – die konkreten Quelle-Ziel-Beziehungen der Nachfragestrukturen mit Hilfe von selbsterstellten Origin-Destination-Matrizen (OD-Matrizen) zu generieren.

3.5.3 Dispositionsalgorithmus

Für die Simulation eines bedarfsgesteuerten Linienbedarfsverkehrs wird in dieser Arbeit der vom DLR entwickelte „drtOnline.py“ Algorithmus verwendet – DRT steht hierbei für „Demand Responsive Transport“ [16]⁸ und meint die Beförderungsform des Bedarfsverkehrs. Dabei handelt es sich um eine Art Dispositionsalgorithmus, welcher versucht möglichst viele der auftretenden Fahrtbuchungen zu bedienen, dabei jedoch die insgesamt aufkommenden Fahrzeugkilometer der eingesetzten Flotte zu minimieren [17]. Die Fahrtbuchungen treten dabei als simulierte Personen auf, welche anschließend vom Algorithmus mit den implementierten Fahrzeugen abgeholt und zu ihrem Ziel gebracht werden [16]⁹.

⁸ Vgl. S. 1

⁹ Vgl. S. 2-3

Für die Verwendung dieses Algorithmus müssen bestimmte Parameter hinterlegt werden. Der **max-wait** beschreibt dabei die Zeit, welche nach einer Fahrtbuchung maximal vergehen darf, bis der Fahrgast abgeholt wird. Dies meint also die maximal mögliche Vorbuchungszeit. Kann diese vom Algorithmus nicht eingehalten werden, wird der Fahrtwunsch abgelehnt [17]. Für die hier durchgeführten Simulationen liegt dieser Wert einheitlich bei 3.600 Sekunden.

Der **Direct-Route-Factor** (DRF) legt den maximal möglichen Umweg fest, welcher durch die Fahrtenbündelung entstehen darf. Gemessen wird dieser an der Fahrzeit, welche jene im Falle der direkten Beförderung maximal um den hinterlegten Faktor übersteigen darf [17]. Für die in dieser Arbeit durchgeführten Simulationsszenarien liegt dieser Wert konstant bei zehn.

Die **personCapacity** ist Teil der Fahrzeugattribute, welche für die eingesetzten Fahrzeuge hinterlegt werden. Sie legt fest, wie viele Reisende in einem Fahrzeug maximal Platz finden. Der Fahrer ist dabei exkludiert [18]. Für diese Arbeit liegt dieser Wert konstant bei acht.

Für die Untersuchungsszenarien dieser Arbeit wurden die verschiedenen Nachfragestrukturen immer auf eine Stunde angesetzt. Dies bedeutet, dass die Fahrtwünsche nur innerhalb dieses Zeitraumes auftreten. Um zu vermeiden, dass Fahrten, welche nach Ablauf dieser Zeitspanne noch nicht abgeschlossen sind, abgebrochen werden, wurde der Gesamtzeitraum der Simulationen auf drei Stunden ausgeweitet. Dieser Wert ist großzügig angesetzt und bedeutet nicht, dass für die Fahrten derart viel Zeit benötigt wird. Eine genauere Beobachtung der Simulationen zeigt, dass sich die Fahrzeuge nach folgendem Muster verhalten: Bei Beginn der Simulation werden die Fahrzeuge an der ihnen zugewiesenen Startkante eingesetzt. Daraufhin fahren sie ggf. bis zum Ende dieser Kante vor – wodurch bereits Fahrzeugkilometer zustande kommen. An dieser Stelle warten sie, bis ihnen ein Fahrtwunsch zugeordnet wird. Nachdem eine Fahrt abgeschlossen wurde, warten die Fahrzeuge an der Stelle, an der sie ihren letzten Fahrgast abgesetzt haben, bis ihnen ein neuer Fahrtwunsch zugeordnet wird. Ebenfalls in der Durchführung der Simulationen erkennbar ist, dass der drtOnline-Algorithmus aufgrund hoher Rechenintensität relativ viel Zeit für das Durchrechnen der Szenarien benötigt. Diese scheint, mit ansteigender Nachfrage (Buchungen pro Stunde) zuzunehmen.

4 Linienbedarfsverkehre in Deutschland – Status Quo

Um einen Überblick über die aktuelle Situation in Deutschland im Hinblick auf Linienbedarfsverkehre zu erhalten, wird damit begonnen, eine Auswahl an bundesweit bestehenden Angeboten zu recherchieren und bezüglich ihrer Eigenschaften zu differenzieren. Maßgeblich wird hierbei zwischen dem Bedienegebiet – in Form von städtischem bzw. ländlichem Umfeld – unterschieden sowie die jeweiligen Einsatzformen kategorisiert. Für letztere werden die gewählten Beispiele in die Modi Pendler- und Schülerverkehr, Freizeitverkehr sowie Zu- und Abbringer-Verkehr untergliedert. Die entsprechenden Begründungen sind für die Angebote individuell.

Für eine adäquate Einordnung der Rechercheergebnisse muss zunächst eine geeignete Trennung zwischen Stadt und Land herangezogen werden. Da sich das Bedienegebiet in einigen Fällen nicht an konkreten Ortsgrenzen bzw. Stadtteilen orientiert, kann die Fläche und die Bevölkerungszahl nicht immer klar bestimmt werden. Somit scheidet die Bevölkerungsdichte des Einsatzgebietes als Indikator für einen städtischen bzw. ländlichen Kontext aus. Um dennoch eine möglichst präzise Trennung zwischen diesen beiden Raumstrukturen zu ermöglichen, wird auf entsprechende Definitionen der Fachzeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ zurückgegriffen.

Diese setzen für Städte bestimmte Merkmale voraus, welche im Folgenden aufgelistet werden:

- Geschlossene menschliche Siedlung
- Hohe bauliche Dichte
- Räumliche Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten
- Innere Differenzierung in Stadtviertel
- Hohe innere und äußere Verkehrserschließung

- Überwiegend mehrgeschossige Häuser
- Überwiegend Arbeitsplätze im sekundären und tertiären Sektor
- Vorhandene Dienstleistungs-, Handels-, Verwaltungs- und kulturelle Einrichtungen übersteigen den Eigenbedarf [19]

Da die einzelnen Bedienegebiete im Anschluss mittels Satellitenaufnahmen darauf untersucht werden sollen, inwiefern sie auf diese Kriterien zutreffen, muss die vorliegende Liste auf jene Aspekte heruntergekürzt werden, welche anhand dieser Aufnahmen feststellbar sind. Die dafür geeigneten Merkmale sind in der Auflistung entsprechend mit einem Unterstrich gekennzeichnet.

Um eine trennscharfe Abgrenzung zwischen Stadt und Land vornehmen zu können, kann erneut auf „Spektrum der Wissenschaft“ verwiesen werden. Hier wird in einem entsprechenden Erklärungsansatz des ländlichen Raumes beschrieben, dass dieser von der Raumplanung nicht selten als Restgröße betrachtet werde. Es handele sich also weder um einen Verdichtungsraum noch um ein Randgebiet eines solchen, wodurch der ländliche Raum im Gegensatz zum städtischen stehe [20]. Somit werden die Raumstrukturen dahingehend differenziert, dass die Gebiete, die nicht die in der städtischen Definition angeführten Merkmale aufweisen, als ländliche Räume zu klassifizieren sind.

4.1 Beispiele in Deutschland

4.1.1 Holibri (Höxter)

| Holibri | |
|----------------|--|
| Beschreibung | Bei dem „Holibri“ handelt es sich um ein Angebot des Linienbedarfsverkehrs innerhalb der Stadt Höxter im Nord-Osten des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen [21]. |
| Fahrzeuge | Insgesamt werden fünf Fahrzeuge vom Typ Mercedes Benz e-Van eingesetzt [21]. |
| Buchung | Die Buchung einer Fahrt ist neben der Smartphone Applikation (App) zusätzlich über Internet und Telefon möglich [21]. |
| Haltestellen | Über 1.300 Haltestellen stehen dem Dienst im gesamten Stadtgebiet Höxters zur Verfügung. Diese Haltepunkte sind teilweise als sogenannte „virtuelle Haltestellen“ ausgeführt. Sie sollen das Netz aus konventionellen Bushaltestellen ergänzen und so einen schnellen Zugang zu dem Fahrdienst garantieren [21]. |

Bediengebiet Der „Holibri“ bedient das gesamte Stadtgebiet Höxters [21].



Abbildung 1: Bediengebiet Holibri [21]

Bedienzeiten Die Bedienzeiten des Dienstes unterscheiden sich je nach Ort. Die Kernstadt Höxter sowie die Ortschaften Bosseborn, Lütmarsen und Overhausen werden montags bis freitags von sechs Uhr morgens bis 22 Uhr abends bedient. Samstags startet das Angebot um acht Uhr morgens und ist anschließend bis 22 Uhr abends verfügbar. An Sonn- und Feiertagen beschränkt sich die Bedienzeit auf den Zeitraum zwischen acht Uhr morgens und 18 Uhr abends. Das restliche Stadtgebiet Höxters wird Montag bis Samstag lediglich von 18 Uhr bis 22 Uhr sowie an Sonn- und Feiertagen von acht Uhr bis 18 Uhr bedient [21].

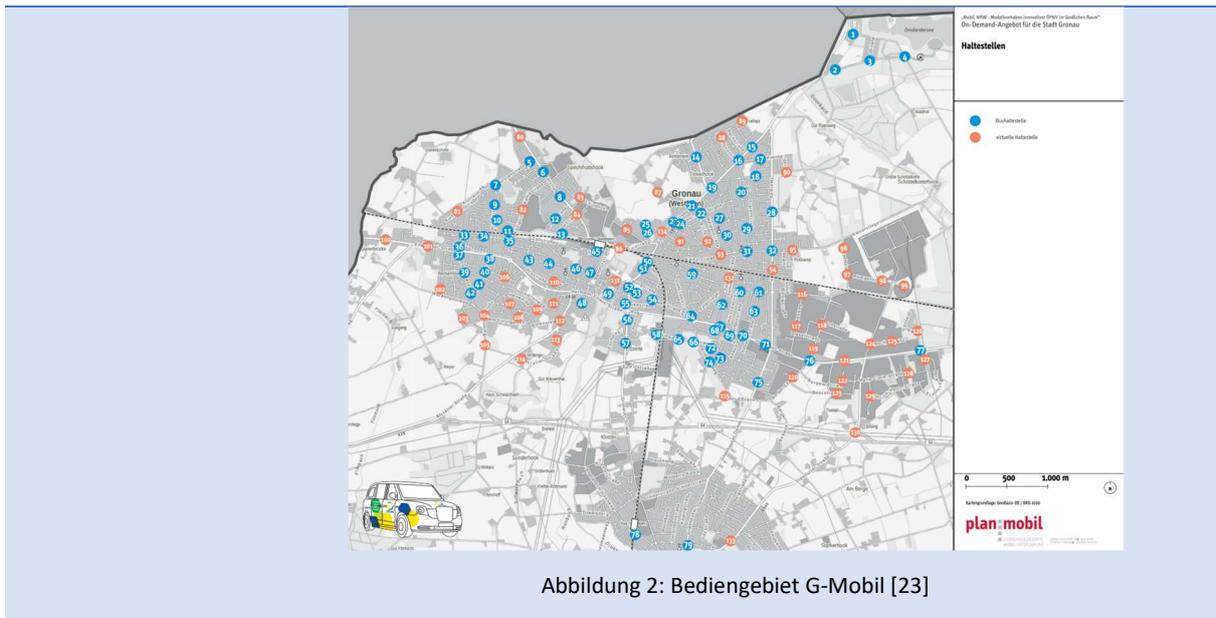
Raumstruktur Obwohl die Kernstadt Höxter alle unter Punkt 4 aufgeführten Merkmale einer Stadt aufweist, sind selbige im restlichen Bediengebiet nicht nachzuweisen. Vor allem zeigt sich dies an einer deutlich niedrigeren baulichen Dichte sowie an der weitaus geringer ausgebauten verkehrlichen Erschließung. Da dies für den Großteil des Areal der Fall ist, wird dieses Beispiel als ländlich kategorisiert.

Einsatzform Maßgeblich für die Einordnung der Einsatzform des „Holibri“ sind die Bedienzeiten. Da schon bei der Einordnung als ländliches Gebiet das Hauptaugenmerk auf die Peripherie der Kernstadt gelegt wurde, wird dieses Vorgehen in diesem Schritt weitergeführt und auch die Bedienzeiten der ländlicheren Gebiete angesetzt. Diese beschränken sich

zumeist auf die Abendstunden zwischen 18 Uhr und 22 Uhr. Die meisten Berufsverkehre sowie nahezu alle Schülerverkehre können zu diesen Zeiten in der Betrachtung vernachlässigt werden. Stattdessen ist in dieser Randzeit von einem erhöhten Aufkommen von Freizeitaktivitäten wie beispielsweise der Besuch von Bekannten oder die Teilnahme an Sportveranstaltungen – und besonders von den entsprechenden Rückwegen – auszugehen. Somit wird die Einsatzform des „Holibris“ als Freizeitverkehr eingeordnet.

4.1.2 G-Mobil (Gronau)

| G-Mobil | |
|----------------|---|
| Beschreibung | Das „G-Mobil“ in der Stadt Gronau im Nordwesten Nordrhein-Westfalens wird seit dem 01. Juni 2021 betrieben und ersetzt seitdem den dortigen Stadtbus [22]. |
| Fahrzeuge | Eingesetzt wird eine Flotte aus insgesamt fünf Fahrzeugen – bestehend aus den sogenannten „London Taxis“ (LEVC TX) mit einer Kapazität von bis zu sechs Fahrgästen und Mercedes E-Vitos mit Platz für bis zu acht Fahrgästen. Alle Fahrzeuge sind elektrisch betrieben, was sich im Falle der LEVC TX durch einen Hybridantrieb und im Falle der E-Vitos durch einen vollständigen Elektroantrieb auszeichnet [22]. |
| Buchung | Die Buchung der Fahrten erfolgt über die hierfür eingerichtete Smartphone-App oder über Telefon [22]. |
| Haltestellen | Im gesamten Gronauer Stadtgebiet sind 134 Haltestellen für den Dienst eingerichtet worden. Neben herkömmlichen Bushaltestellen sind auch hier virtuelle Haltestellen verfügbar, welche lediglich durch ein entsprechendes Schild gekennzeichnet sind [22]. |
| Bediengebiet | Der Dienst ist im gesamten Stadtgebiet Gronaus verfügbar. Der südlich gelegene Stadtteil Epe wird durch drei Haltestellen mit an den Dienst angeschlossen [23]. |



Bedienzeiten Die Bedienzeit reicht montags bis freitags von fünf Uhr morgens bis 24 Uhr Nachts. Samstags, sonntags sowie an Feiertagen nimmt der Dienst den Betrieb um sieben Uhr morgens auf und fährt ebenfalls bis 24 Uhr [22].

Raumstruktur Die Untersuchung der Satellitenaufnahmen zeigt recht deutlich auf, dass die Stadt Gronau alle genannten Merkmale eines städtischen Raums aufweist. Die hohe bauliche Dichte, die Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten, eine – wenn auch nur leichte – Differenzierung in einzelne Stadtteile sowie die gute Verkehrserschließung ermöglichen eine klare Einordnung des Bedienegebietes als urbanen Raum.

Einsatzform Die Einsatzform des „G-Mobils“ ist weniger deutlich zu benennen. Aufgrund der nahezu ganztägigen Bedienung und der flächendeckenden Erschließung des gesamten Stadtgebietes, können alle der drei gewählten Modi mit dem Dienst abgedeckt werden. Somit bietet das „G-Mobil“ keine stichhaltige Grundlage für eine klare Einordnung, weshalb eine diesbezügliche Klassifizierung ausbleiben muss.

4.1.3 Holmich!App (Wuppertal)

| Holmich!App | |
|--------------------|--|
| Beschreibung | Die „Holmich!App“ ist das Linienbedarfsverkehrsangebot der Wuppertaler Stadtwerke innerhalb des Stadtgebietes Wuppertals in Nordrhein-Westfalen [24]. |
| Fahrzeuge | Als sogenannte „WSW Cabs“ kommen Fahrzeuge mit Hybridantrieb vom Typ LEVC TX zum Einsatz [24]. |
| Buchung | Im Falle der „Holmich!App“ ist eine Buchung ausschließlich über die dazugehörige Smartphone-App möglich. Eine Buchung via Telefon bzw. Webanwendung wird nicht angeboten [24]. |
| Bediengebiet | Zum Bediengebiet zählen die Wuppertaler Stadtteile Uellendahl-Katernberg, Barmen, Elberfeld und Elberfeld-West [24]. |



Abbildung 3: Bediengebiet Holmich!App [24]

| | |
|--------------|--|
| Bedienzeiten | Der Fahrdienst steht montags bis donnerstags von sechs Uhr bis 22 Uhr, freitags und samstags von sechs Uhr morgens bis drei Uhr morgens des Folgetags sowie an Sonntagen von acht Uhr morgens bis 22 Uhr abends zur Verfügung [24]. |
| Raumstruktur | Auch Wuppertal erfüllt alle zuvor aufgelisteten Kriterien eines urbanen Raums. Deutlich zu erkennen ist neben der hohen baulichen Dichte die Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten, die Ausdifferenzierung in Stadtviertel sowie die gute innere Verkehrserschließung. Somit ist auch dieses Beispiel eindeutig in einen städtischen Kontext einzuordnen. |
| Einsatzform | Die Einsatzform des Wuppertaler Linienbedarfsverkehrs ist jedoch auch hier nicht klar bestimmbar. Die Bedienzeiten werden an |

Wochenendnächten zwar bis drei Uhr morgens des Folgetages ausgeweitet, was für eine gesonderte Berücksichtigung des Freizeitverkehrs spricht. Trotzdem deckt der Dienst mit den nahezu ganztägigen Fahrzeiten auch die Modi Pendler-/Schülerverkehr sowie Zu-/Abbringerverkehr mit ab. Somit kann auch hier keine eindeutige Kategorisierung der Einsatzart vorgenommen werden.

4.1.4 LOOPmünster (Münster)

| LOOPmünster | |
|--------------------|---|
| Beschreibung | Bei „LOOPmünster“ handelt es sich um ein Angebot des Linienbedarfsverkehrs in der nordrhein-westfälischen Stadt Münster. Dieses ist seit September 2020 zunächst als dreijähriges Pilotprojekt im Betrieb [25]. |
| Fahrzeuge | Auch im Rahmen des „LOOPmünster“-Dienstes werden Hybridfahrzeuge vom Typ LEVC TX eingesetzt [25]. |
| Buchung | Die Fahrtbuchung ist neben der Smartphone-App auch über Telefon möglich [25]. |
| Bediengebiet | Bedient werden die südlichen Stadtteile Hilstrup, Amelsbüren, Berg Fidel und Duesberg inklusive angrenzender Gebiete [25]. |

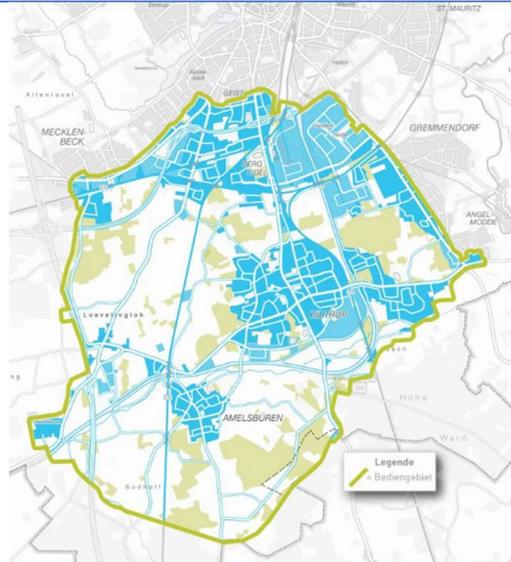


Abbildung 4: Bedienebiet LOOPmünster [25]

Bedienzeiten Generell ist der Fahrdienst montags bis donnerstags von fünf Uhr morgens bis zwei Uhr morgens des Folgetages verfügbar. An Wochenenden ist das Angebot durchgängig von Freitag fünf Uhr morgens bis Montag zwei Uhr morgens im Betrieb [25].

Sonstiges Ein Ziel des Angebotes ist es, den bestehenden Linienverkehr gerade dort zu ergänzen, wo dieser eher schwach ausgeprägt ist. Damit geht einher, dass ein möglicher Parallelverkehr zum konventionellen Bussystem vermieden werden soll. Somit werden all jene Fahrtwünsche abgelehnt, welche auch durch entsprechende Alternativangebote geleistet werden können. In diesen Fällen verweist das Distributionssystem auf die jeweiligen Busverbindungen [25].

Raumstruktur Die raumstrukturelle Einordnung des Bedienebietes ist im Falle des „LOOPmünster“ nicht eindeutig. Grundsätzlich wird hier weniger die Kernstadt betrachtet, sondern eher der schwächer besiedelte Süden der Stadt. Auch die Intention der Stadtwerke, mit dem Angebot diese weniger stark durch den herkömmlichen ÖPNV erschlossenen Gebiete besser anzubinden, impliziert eine entsprechende Abgrenzung vom klassisch urbanen Raum. Dennoch ist zu erwähnen, dass davon auszugehen ist, dass besonders Hiltrup mit dem Herz-Jesu-Krankenhaus Münster-Hiltrup und dem BASF-Standort der Region eine gewisse

überregionale Bedeutung zukommen lässt, welche zusätzlich durch das im Bediengebiet gelegene südliche Randgebiet der Kernstadt Münsters gestützt wird. Somit wird das Areal konträr zu den nicht konsequent erfüllten Stadtmerkmalen dennoch als städtisch klassifiziert.

Einsatzform Auch in diesem Fall gestaltet sich eine klare Zuordnung des Angebotes zu einer der ausgewählten Einsatzformen schwer. Durch die praktisch ganztägigen Bedienzeiten sowohl unter der Woche als auch am Wochenende werden alle drei Nutzungsformen abgedeckt. Aufgrund der Vermutung einer überregionalen Bedeutung des Gebietes, welche primär auf der örtlichen Klinik sowie auf dem lokale Gewerbestandort basieren, wird hier jedoch die Einsatzform des Pendlerverkehrs angesetzt.

4.1.5 HeinerLiner (Darmstadt)

HeinerLiner

Beschreibung Beim „HeinerLiner“ handelt es sich um ein Linienbedarfsverkehrsangebot innerhalb der hessischen Stadt Darmstadt. Betrieben wird es von dem Darmstädter Verkehrsunternehmen HEAG mobilo [26].

Fahrzeuge Zum Einsatz kommen elektrisch betriebene Fahrzeuge vom Typ Mercedes eVito Tourer [26].

Buchung Die Buchung einer Fahrt mit dem „HeinerLiner“ ist wie in den vorangegangenen Beispielen wieder mittels Smartphone-App möglich. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Buchung via Telefon vorzunehmen [26].

Bediengebiet Das Bediengebiet des „HeinerLiner“ erstreckt sich über das gesamte Stadtgebiet Darmstadts [26].

Bedienzeiten Der Fahrdienst steht täglich von fünf Uhr morgens bis zwei Uhr morgens des Folgetages zur Verfügung. In Wochenendnächten wird der

| | |
|--------------|--|
| | „HeinerLiner“ durchgängig angeboten, sodass der Dienst von Freitag ab fünf Uhr bis Montag um zwei Uhr morgens ohne Unterbrechung genutzt werden kann [26]. |
| Sonstiges | Im Rahmen des „HeinerLiner“ besteht zudem eine Kooperation mit der DB Fernverkehr AG. Diese bietet die Möglichkeit, bei Fahrten zum bzw. vom Darmstädter Hauptbahnhof von entsprechenden Rabatten zu profitieren. Die Laufzeit der Kooperation reicht zunächst bis zum 31. Mai 2023. Außerdem wurde ein Freifahrtenkontingent für die geschäftliche Nutzung des Fahrdienstes eingerichtet, welches speziell auf Geschäftskunden oder Mitarbeitende ausgelegt ist [26]. |
| Raumstruktur | Die strukturelle Einordnung des Bediengebietes fällt in diesem Beispiel eindeutig aus. Darmstadt weist mit seiner dichten Bebauung, welche sich gerade im Stadtkern durch eine deutlich blockhafte und flächendeckende verkehrliche Erschließung auszeichnet, der Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten und einer klaren Differenzierung in Stadtviertel alle maßgeblichen Aspekte eines urbanen Raumes auf und kann somit als städtisch kategorisiert werden. |
| Einsatzform | Entscheidend für die finale Klassifizierung der Einsatzform des „HeinerLiners“ ist die bestehende Kooperation mit der DB Fernverkehr AG mit dem Zweck, entsprechende Reiseketten zu verbessern. Aus diesem Grund kann die Nutzungsform des Angebotes als Zu- und Abbringerverkehr definiert werden. |

4.1.6 sprinti (Hannover)

| sprinti | |
|----------------|--|
| Beschreibung | „sprinti“ ist das Linienbedarfsverkehrsangebot der Region Hannover und Teil des Verkehrsverbundes Großraum-Verkehr Hannover (GVH). Betrieben wird der Dienst derzeit in zwei Städten und einer Gemeinde im Umkreis von Hannover [27]. |
| Fahrzeuge | Insgesamt stehen dem Fahrdienst 20 Fahrzeuge vom Typ „Mercedes-Benz Sprinter Mobility“ zur Verfügung [28]. |
| Buchung | Auch für dieses Angebot wurde eine eigene App eingerichtet, über welche Fahrten gebucht werden können. Zudem besteht die Möglichkeit, Fahrtwünsche telefonisch einzureichen [27]. |
| Haltestellen | Auch der „sprinti“ greift auf ein Netz aus bestehenden und virtuellen Haltestellen zurück, welches einen maximalen Fußweg von 150 Metern (m) in den meisten Fällen garantieren soll [27]. |
| Bediengebiet | <p>Aktuell bedient „sprinti“ drei separate Bediengebiete im Umkreis von Hannover. Zum einen ist dies die Gemeinde Wedemark im Norden der Stadt. Hier wird das Gebiet zusätzlich um den östlich gelegenen Ortsteil Fuhrberg der Stadt Burgwedel ergänzt.</p> <p>Des Weiteren wird die Stadt Sehnde im Osten Hannovers bedient. Hier werden außerdem der Stadtteil Ahlten der Stadt Lehrte sowie ein Teil Hannover Andertens mit in das Bediengebiet integriert.</p> <p>Als drittes Bediengebiet zählt die Stadt Springe im Süden Hannovers. Hier wird zusätzlich der Ortsteil Steinkrug der Gemeinde Wennigsen angebunden [27].</p> |
| Bedienzeiten | Die Bedienzeiten des „sprinti“ variieren je nach betrachtetem Gebiet. In der Wedemark ist der Dienst montags bis freitags von sechs Uhr morgens bis ein Uhr morgens des Folgetages im Betrieb. An Freitagen wird dieser Zeitraum bis vier Uhr morgens ausgeweitet. Samstags steht das Angebot ab acht Uhr morgens bis Sonntag um vier Uhr morgens zur Verfügung. Sonntags läuft der Betrieb von acht Uhr morgens bis Montag um ein Uhr morgens. |

In Sehnde startet der Dienst montags bis donnerstags bereits um fünf Uhr morgens und fährt dann bis 01:30 Uhr des Folgetages. An Freitagen sowie an Samstagen steht der „sprinti“ von fünf Uhr morgens bis vier Uhr morgens des Folgetages zur Verfügung. Sonntags ist der Fahrdienst erneut von fünf Uhr morgens bis Montagmorgen um 01:30 Uhr im Betrieb.

In Springe läuft der Betrieb montags bis donnerstags von 05:30 Uhr in der Früh bis ein Uhr morgens des Folgetages. Freitags wird dieser Zeitraum bis vier Uhr am Samstagmorgen ausgedehnt. An Sonntagen steht der Dienst von acht Uhr morgens bis Montagmorgen um ein Uhr zur Verfügung [27].

Sonstiges Zusätzlich ist zu erwähnen, dass „sprinti“ in Wochenendnächten in allen Bediengebieten Anschluss an die letzten S-Bahnen ermöglicht. Das Angebot dient als Ergänzung des bestehenden ÖPNV. Daher werden auch hier keine Fahrten parallel zu diesem angeboten [27].

Raumstruktur Die raumstrukturelle Einordnung der einzelnen Bediengebiete verhält sich in allen drei Fällen nahezu identisch. Obwohl durchaus einzelne Gewerbestandorte ausgemacht werden konnten, stellen diese auf die gesamte Fläche bezogen in keiner der Regionen eine tatsächliche Konzentration von Arbeits- und Wohnstätten dar. Auch die weiteren Kriterien eines urbanen Raumes sind in keinem der Gebiete vorzufinden. So fehlen neben der dichten Bebauung stets auch die Ausdifferenzierung in konkrete Stadtteile sowie die entsprechende verkehrliche Erschließung. Somit werden die Bediengebiete des „sprinti“ allesamt als ländlich klassifiziert.

Einsatzform Für die Kategorisierung der Einsatzform des „sprinti“ stellt die stets vorhandene Anbindung an die lokale S-Bahn eine besondere Rolle dar. Nicht zuletzt der angebotene Anschluss an dessen letzte Fahrt in Wochenendnächten gibt dem Fahrdienst einen zu- und abbringenden Charakter, weshalb der „sprinti“ in allen drei Bediengebieten als Zu- und Abbringerverkehr verortet wird.

4.1.7 MOBishuttle (Dresden)

MOBishuttle

Beschreibung Das „MOBishuttle“ ist das Linienbedarfsverkehrsangebot der Stadt Dresden. Betrieben wird es von der Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB) [29]. Der Fahrdienst wird zunächst in den Jahren 2022 bis 2024 als Pilotbetrieb geführt [30].

Fahrzeuge Zum Einsatz kommen hier elektrisch betriebene Fahrzeuge vom Typ „Nissan Evalia eNV200“ [29].

Buchung Auch für das „MOBishuttle“ wurde eine entsprechende App angelegt, welche für die Buchung genutzt werden kann. Des Weiteren besteht die Möglichkeit der telefonischen Buchung [29].

Haltestellen Das Haltestellennetz des Fahrdienstes besteht aus 2.800 Haltepunkten. Auch hier können dies bestehende ÖPNV-Haltestellen oder virtuelle Haltestellen sein [30].

Bediengebiet Während des Pilotbetriebes bedient das „MOBishuttle“ die Stadtteile Klotzsche, Pieschen sowie Neustadt [30].



Abbildung 5: Bediengebiet MOBishuttle [31]

Bedienzeiten Der Fahrdienst wird montags bis freitags von vier Uhr morgens bis ein Uhr morgens des Folgetages angeboten. Am Wochenende steht das „MOBishuttle“ ohne zeitliche Unterbrechungen zur Verfügung [29].

Raumstruktur Im Falle des Dresdner Angebots ist die Einordnung der Raumstruktur trivial. Bei dem Bediengebiet handelt es sich um eine geschlossene Siedlung mit hoher baulicher Dichte. Eine Konzentration von Wohn- und

| | |
|-------------|---|
| | Arbeitsvierteln ist ebenso vorzufinden wie die Differenzierung in einzelne Stadtviertel. Darüber hinaus verfügt die Region über eine gute verkehrliche Erschließung. Das Bediengebiet des „MOBIshuttles“ wird somit als städtisch festgesetzt. |
| Einsatzform | Die Einsatzform kann hingegen weniger deutlich festgemacht werden. Die zeitlich umfangreiche Bedienung der Region durch den Dienst ermöglicht eine Nutzung zu verschiedensten Zwecken. Das Bediengebiet an sich schließt neben einigen Gewerbebetrieben auch Schulen und den Dresdner Flughafen mit ein. Aufgrund dieser Vielzahl an Nutzungsmöglichkeiten kann hier keine primäre Einsatzform bestimmt werden. |

4.1.8 MainzRIDER (Mainz)

| | |
|-------------------|---|
| MainzRIDER | |
| Beschreibung | Bei dem sogenannten „MainzRIDER“ handelt es sich um ein Angebot des Linienbedarfsverkehrs der Stadt Mainz. Betrieben wird es von der Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH [32]. |
| Fahrzeuge | Der Fahrdienst verfügt dabei über eine Flotte aus acht Nissan e-NV 200 und zwei Fahrzeuge der Marke LEVC [32]. |
| Buchung | Die Buchung von Fahrten ist ausschließlich über die dafür vorgesehene Smartphone-App möglich [32]. |
| Haltestellen | Das Haltepunktenetz des „MainzRIDER“ setzt sich aus den bestehenden Bus- und Straßenbahn-Haltestellen sowie den über 1.000 virtuellen Haltestellen zusammen. So soll ein durchschnittlicher Weg zur bzw. von der Haltestelle von 100 bis 150 Metern ermöglicht werden [32]. |
| Bediengebiet | Das Bediengebiet erstreckt sich derzeit auf die folgenden Mainzer Stadtteile: Hauptbahnhof West, Neustadt (teilweise), Altstadt (teilweise), Bretzenheim, Drais, Ebersheim, Gonsenheim, Finthen, |

Hartenberg-Münchfeld, Hechtsheim, Laubenheim, Lerchenberg, Marienborn, Mombach, Oberstadt und Weisenau [32].

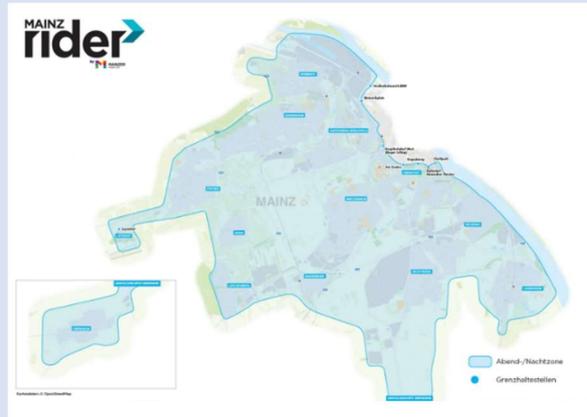


Abbildung 6: Bedienebiet MainzRIDER [33]

Bedienzeiten Der Fahrdienst steht täglich von 18 Uhr abends bis sechs Uhr morgens des Folgetages zur Verfügung [32].

Raumstruktur Bis auf den eher dörflich geprägten Stadtteil Ebersheim erfüllt das Bedienebiet des „MainzRIDERS“ alle genannten Kriterien eines urbanen Raumes. Sowohl die hohe bauliche Dichte und die Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten als auch die Differenzierung in Stadtviertel und die gute verkehrliche Erschließung sind vorzufinden.

Einsatzform Da sich der Bedienzeitraum bis sechs Uhr morgens erstreckt, ergeben sich auch für Berufspendelnde günstige morgendliche Verbindungen zum Mainzer Hauptbahnhof [33]. Aufgrund der Tatsache, dass für den Großteil der abendlichen und nächtlichen Bedienzeit jedoch mit Fahrten zu und von Freizeitaktivitäten zu rechnen ist, wird die Einsatzform des Mainzer Fahrdienstes als Freizeitverkehr gesetzt.

4.1.9 Revierflitzer (Oberhausen)

| Revierflitzer | |
|----------------------|--|
| Beschreibung | Der „Revierflitzer“ ist das Linienbedarfsverkehrsangebot der Stadt Oberhausen. Dieses wird betrieben von der Stadtwerke Oberhausen GmbH (STOAG) [34]. |
| Fahrzeuge | Planmäßig kommen im Rahmen des „Revierflitzers“ fünf vollelektrische LEVC TX zum Einsatz. Als Reservefahrzeug steht ein nicht elektrisch betriebener Kleinbus zur Verfügung. Durch Lieferengpässe in Bezug auf Ersatzteile ist es derzeit jedoch nicht möglich, mehr als zwei der fünf LEVC TX in Betrieb zu nehmen, was für den Rest der Fahrten ein Ausweichen auf Ersatzfahrzeuge notwendig macht [34]. |
| Buchung | Die Buchung einer Fahrt mit dem „Revierflitzer“ ist über die hierfür eingerichtete Smartphone-App möglich [34]. |
| Haltestellen | Der Fahrdienst greift auf ein Netz aus bestehenden ÖPNV-Haltestellen und virtuellen Haltestellen zurück [34]. |
| Bediengebiet | Das Bediengebiet des „Revierflitzers“ umfasst die gesamte Stadt Oberhausen [34]. |
| Bedienzeiten | Der Fahrdienst soll das Angebot von Bus und Straßenbahn im Nachtnetz zu Schwachverkehrszeiten aufstocken. Daraus ergeben sich die folgenden Fahrzeiten: Montags bis donnerstags sowie sonntags von 21 Uhr abends bis zwei Uhr morgens des Folgetages, freitags von 21 Uhr abends bis sechs Uhr am Samstagmorgen und samstags von 21 Uhr abends bis neun Uhr am Sonntagmorgen [34]. |
| Raumstruktur | Die Auswertung der Satellitenaufnahmen zeigt im Falle Oberhausens eine hohe bauliche Dichte, eine Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten sowie eine Differenzierung in Stadtviertel und eine gute Verkehrserschließung. Somit sind die genannten Kriterien erfüllt und das Bediengebiet kann als städtisch vermerkt werden. |
| Einsatzform | Der auf den Abend und die Nacht begrenzte und gerade am Wochenende deutlich nach hinten verlängerte Bedienzeitraum des „Revierflitzers“ gibt Anlass zur Vermutung, dass hier vor allem Fahrten im Freizeitbereich |

geleistet werden. Somit wird die Einsatzform des Angebotes als Freizeitverkehr angenommen.

4.1.10 flexo (Wahrenholz/Wesendorf; Seesen)

flexo

Beschreibung „flexo“ ist das Linienbedarfsverkehrsangebot des Regionalverbandes Großraum Braunschweig [35]. Nach seinem Start am zweiten September 2021 in der Region Wahrenholz/Wesendorf wurde das Angebot nach und nach auf bislang insgesamt acht Bediengebiete ausgeweitet [36]. In diesem Teil der Arbeit werden die Gebiete Wahrenholz/Wesendorf und Seesen näher betrachtet.

Fahrzeuge Die Flotte des „flexo“-Angebotes besteht aus barrierefreien Kleinbussen [36].

Buchung Die Buchung einer Fahrt mit dem Fahrdienst erfolgt aktuell ausschließlich telefonisch. Angekündigt ist jedoch, dass im Frühjahr 2023 eine entsprechende Smartphone-App verfügbar sein soll, mit welcher die Buchung ebenfalls abgewickelt werden können soll [36].

Haltestellen „flexo“ nutzt für sein Angebot ein Netz aus sogenannten „flexo Stops“. Dies können bereits bestehende Bushaltestellen oder neu geschaffene Haltepunkte sein. Insgesamt wurden über 200 neue Haltestellen für den „flexo“-Dienst erstellt [36].

Bediengebiet Im nördlich von Gifhorn gelegenen Wahrenholz/Wesendorf erstreckt sich das Bediengebiet von Steinhorst im Nordwesten bis Wesendorf und Ummern im Süden. Über dieses Gebiet verteilen sich mehr als 120 der sogenannten „flexo Stops“ [37].



Abbildung 7: „flexo“-Bediengebiet Wahrenholz/Wesendorf [37]

Im westlich des Harz gelegenen Seesen umfasst das „flexo“-Bediengebiet die gesamte Kernstadt. Hier gibt es insgesamt mehr als 80 Haltepunkte [38].



Abbildung 8: „flexo“-Bediengebiet Seesen [38]

Bedienzeiten In Wahrenholz/Wesendorf steht der Fahrdienst zu folgenden Bedienzeiten bereit: Montags bis donnerstags von 05:30 Uhr bis 22:30 Uhr, freitags von 05:30 Uhr bis 23:30 Uhr, samstags von 06:30 Uhr bis 23:30 Uhr sowie an Sonn- und Feiertagen von 08:30 Uhr bis 22:30 Uhr [37].

Für Seesen ergeben sich folgende Bedienzeiten: Montags bis freitags von fünf Uhr morgens bis 23 Uhr abends, samstags von sieben Uhr morgens bis 23 Uhr abends sowie sonn- und feiertags von acht Uhr morgens bis 23 Uhr abends [38].

Sonstiges Im Gebiet Wahrenholz/Wesendorf bietet der „flexo“ zudem Anschluss an die Schienenverkehrsrelationen nach Gifhorn und Braunschweig sowie nach Wittingen und Uelzen. Außerdem besteht eine Verbindung zu den RegioBus-Linien 100 und 102 (von/nach Gifhorn) [37].

In Seesen bietet „flexo“ außerdem Anschluss an die Schienenverkehrsverbindungen nach Herzberg und Göttingen sowie nach Bad Harzburg und Braunschweig [38]. Zudem stellt „flexo“ seit dem zweiten April 2022 den gesamten Busverkehr der Kernstadt. Seit dem 20. April 2022 sind auch die Schülersammelzeitkarten für die Kleinbusse nutzbar. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den Fahrdienst auch für regelmäßige Fahrten zu buchen, was beispielsweise für Schülerverkehre genutzt werden kann [39].

Raumstruktur Betrachtet man das Bediengebiet der Region Wahrenholz/Wesendorf genauer, stellt man fest, dass hier keins der genannten Kriterien eines städtischen Raums festzustellen ist. Es ist weder eine hohe bauliche Dichte, eine Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten noch eine Differenzierung in Stadtviertel oder eine gute verkehrliche Erschließung vorzufinden. Deshalb wird dieses Gebiet als ländlich klassifiziert.

Auch auf das Bediengebiet in Seesen wurden die Kriterien eines städtischen Raums angewandt. Neben einer hohen baulichen Dichte weist das Gebiet durchaus auch eine Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten sowie eine gute verkehrliche Erschließung auf. Einzig die Ausdifferenzierung in einzelne Stadtteile ist in Seesen nicht festzustellen. Aufgrund des Vorliegens der übrigen Aspekte eines urbanen Raums wurde die betrachtete Region dennoch als städtisch gezählt.

Einsatzform Maßgeblich für die Einsatzform des „flexo“-Angebotes in Wahrenholz/Wesendorf ist die verbindende Funktion zum lokalen Schienenpersonenverkehr. Aus diesem Grund kann das dortige Angebot sowohl als Zu- und Abbringerverkehr als auch als Pendlerverkehr eingeordnet werden.

In Seesen spielt sowohl der Anschluss an die entsprechenden Schienenverkehrsrelationen als auch die gute Nutzbarkeit im Schülerverkehr eine besondere Rolle für die Einordnung der Einsatzform

des Angebotes. Hier lassen sich mit dem Zu- und Abbringerverkehr und dem Schülerverkehr ebenfalls zwei mögliche Primäreinsatzformen annehmen.

4.1.11 KVV.MyShuttle (Karlsruhe)

KVV.MyShuttle

Beschreibung Bei dem „KVV.MyShuttle“ handelt es sich um das Linienbedarfsverkehrsangebot des Landkreises Karlsruhe. Dieses wird in Kooperation mit dem Karlsruher Verkehrsverbund (KVV) in derzeit fünf unterschiedlichen Bedienegebieten betrieben. Diese sind Hardt-West, Ettlingen, Waldbronn, Karlsbad und Marxzell-Ittersbach [40].

Fahrzeuge Die gesamte Flotte des Fahrdienstes setzt sich aus Fahrzeugen der Marke LEVC sowie vom Typ Mercedes-Benz Vito zusammen [40].

Buchung Die Buchung des „KVV.MyShuttles“ ist über die „KVV.easy“-App möglich [41]. Zudem besteht die Möglichkeit, den Dienst telefonisch zu buchen [42].

Haltestellen Hardt-West: In Hardt-West bedient der Fahrdienst insgesamt mehr als 175 Haltestellen. Dies können bestehende ÖPNV-Haltestellen oder virtuelle Haltestellen sein [42].

Ettlingen: Auch in Ettlingen setzt sich das Netz der Haltestellen aus bestehenden ÖPNV-Haltestellen und virtuellen Haltestellen zusammen. So ergibt sich eine Gesamtzahl von mehr als 600 Haltestellen [43].

Waldbronn: In Waldbronn beläuft sich die Anzahl an Haltestellen auf 270 Orte [44].

Karlsbad: Karlsbad verfügt insgesamt über 222 Haltestellen, welche vom „KVV.MyShuttle“ angefahren werden können [45].

Marxzell-Ittersbach: In Marxzell-Ittersbach bestehen insgesamt etwa 240 Haltestellen. Dies können konventionelle ÖPNV-Haltestellen oder virtuelle Haltestellen sein [46].

Bediengebiet In Hardt-West erstreckt sich das Bediengebiet des „KVV.MyShuttles“ über die Ortschaften Huttenheim, Graben-Neudorf, Hochstetten, Liedolsheim und Rußheim [42].

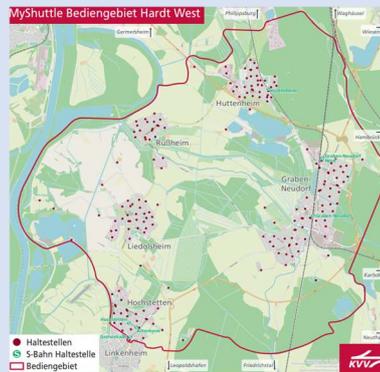


Abbildung 9: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Hardt-West [42]

In Ettlingen umfasst das bediente Areal neben Ettlingen selbst zusätzlich die Ortschaften Ettlingenweier, Spessart, Schöllbronn, Völkersbach, Schluttenbach, Oberweier und Bruchhausen [43].

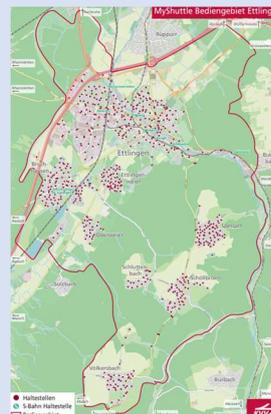


Abbildung 10: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Ettlingen [43]

In Waldbronn bedient der Fahrdienst neben dem Kernort zusätzlich das südlich gelegene Etzenrot. Außerdem sind Fahrten zum bzw. vom Bahnhalt in Kleinsteinbach möglich [44].

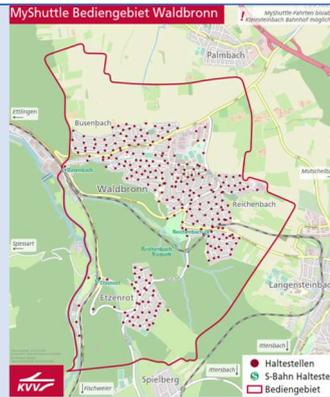


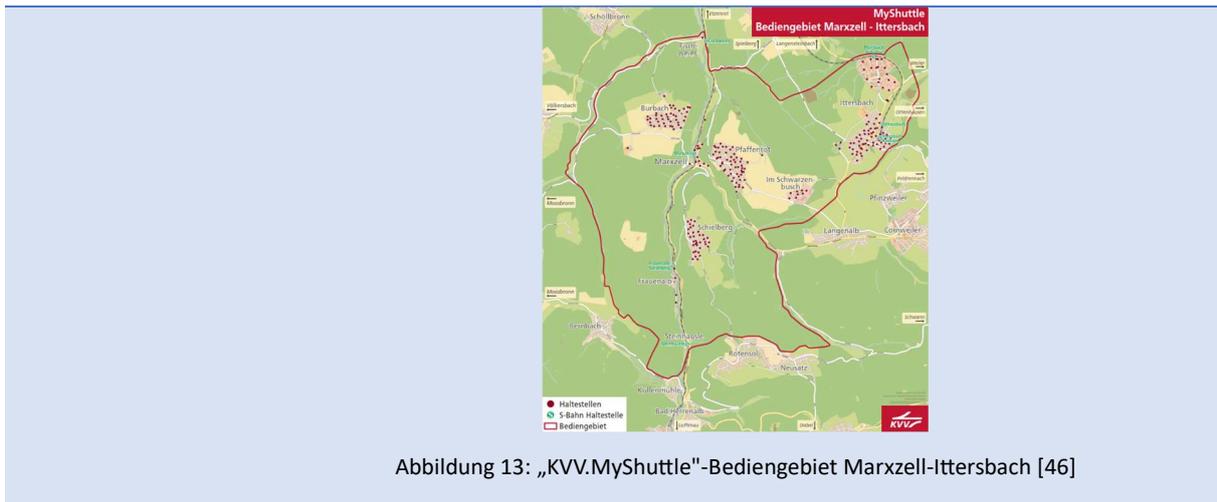
Abbildung 11: „KVV.MyShuttle“-Bediengebiet Waldbronn [44]

Im Gebiet Karlsbad werden die Orte Mutschelbach, Auerbach, Langensteinbach und Spielberg vom „KVV.MyShuttle“ bedient. Zudem ist auch hier der Bahnhof in Kleinsteinsbach an das Bediengebiet angeschlossen [45].



Abbildung 12: "KVV.MyShuttle"-Bediengebiet Karlsbad [45]

Im Gebiet Marxzell-Ittersbach werden die Ortschaften Fischweier, Burbach, Ittersbach, Pfaffenrot, Marxzell, Im Schwarzen Busch, Schielberg, Frauenalb und Steinhäusle von dem Dienst bedient [46].



Bedienzeiten Die Bedienzeiten des „KVV.MyShuttles“ variieren je nach Bediengebiet. In Hardt-West beläuft sich dieser Zeitraum auf folgende Zeiten: Montags bis donnerstags von 19 Uhr bis null Uhr, freitags von 19 Uhr bis zwei Uhr des Folgetages, samstags von 15 Uhr bis zwei Uhr des Folgetages sowie sonn- und feiertags von acht Uhr bis null Uhr [42].

In Ettlingen steht das „KVV.MyShuttle“ zu folgenden Betriebszeiten zur Verfügung: Montag bis Donnerstag von 19 Uhr bis ein Uhr des Folgetages, Freitag und Samstag von 19 Uhr bis zwei Uhr des Folgetages sowie an Sonn- und Feiertagen von acht Uhr bis null Uhr [43].

In Waldbronn belaufen sich die Bedienzeiten auf Montag bis Donnerstag 19:30 Uhr bis null Uhr, Freitag und Samstag 19:30 Uhr bis ein Uhr des Folgetages sowie an Sonn- und Feiertagen von neun Uhr bis 20 Uhr [44].

In Karlsbad steht der Fahrdienst Montag bis Donnerstag von 19:30 Uhr bis 01:30 Uhr des Folgetages, Freitag von 19:30 Uhr bis 02:30 Uhr des Folgetages, Samstag von neun Uhr bis 02:30 Uhr des Folgetages sowie sonn- und feiertags von neun Uhr bis null Uhr bereit [45].

Im Gebiet Marzell-Ittersbach ist das „KVV.MyShuttle“ montags bis freitags von 20 Uhr bis ein Uhr des Folgetages, samstags von acht Uhr bis

ein Uhr des Folgetages sowie sonn- und feiertags von acht Uhr bis 20 Uhr im Betrieb [46].

Raumstruktur

Auch für die Bewertung der Raumstruktur müssen die einzelnen Bediengebiet separat betrachtet werden. Für das Gebiet Hardt West ist dabei festzustellen, dass hier zwar vereinzelt urbane Züge im Sinne der betrachteten Kriterien – wie beispielsweise die punktuell vorliegende relativ dichte Bebauung – vorliegen. Bezogen auf die gesamte Fläche kann jedoch nicht von einer konsequenten Erfüllung der relevanten Aspekte gesprochen werden. Daher wird das Gebiet als ländlich eingeordnet.

In Ettlingen liegt die besondere Situation vor, dass der Kernort die genannten Kriterien eines städtischen Raums durchaus erfüllt, die weiteren Ortschaften des Areals selbigen jedoch nicht gerecht werden können. Aufgrund dieses Umstandes kann die raumstrukturelle Einordnung für dieses Gebiet nicht eindeutig vorgenommen werden, weshalb das Gebiet als Mischform bezeichnet wird.

Auch in Waldbronn kann hinsichtlich des Kernortes von einer teilweisen Erfüllung der angesetzten Kriterien eines städtischen Raumes gesprochen werden. Hier liegt eine relativ dichte Bebauung und eine gute verkehrliche Erschließung vor, während man eine nennenswerte Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten sowie die Ausdifferenzierung in einzelne Stadtviertel vergeblich sucht. Da jedoch auch hier der restliche Raum des Gebietes diese partielle Urbanität nicht stützen kann, wird auch in diesem Fall eine Mischform als struktureller Charakter der Region angesetzt.

Ähnlich wie im Falle Waldbronns verhält es sich auch in Karlsbad. Der Kernort weist sowohl eine dichte Bebauung als auch eine gute Verkehrserschließung auf. Da hier jedoch der nicht diesen Aspekten

entsprechende Raum aufgrund des größeren Bediengebietes in Bezug auf die Gesamtfläche deutlich stärker ins Gewicht fällt, wird dieser Raum als ländlich klassifiziert.

Eindeutiger wird es beim Beispiel des Gebietes Marxzell-Ittersbach. Hier sind im gesamten Areal keine Ortschaften zu finden, welche die genannten Kriterien erfüllen. So sind weder dichte Bebauungen, eine Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten, eine Differenzierung in Stadtteile noch eine besondere verkehrliche Erschließung vorzufinden. Dieses Gebiet wird somit ebenfalls als ländlich definiert.

Einsatzform Für die Festlegung der Einsatzform des KVV-Angebotes ist zu bemerken, dass jedes der fünf Bediengebiete von der lokalen S-Bahn durchzogen wird. Somit bietet das „KVV.MyShuttle“ stets einen Anschluss an die Stadt Karlsruhe. Gerade im relativ dünn bebauten Gebiet von Marxzell-Ittersbach besteht darin die primäre Aufgabe des Fahrdienstes [47]. Hinzu kommt die Anbindung der Gebiete Waldbronn sowie Karlsbad an den Bahnhof in Kleinsteinbach. Aus diesen Gründen wird die Einsatzform des „KVV.MyShuttles“ im Ganzen als Zu- und Abbringerverkehr eingeordnet.

4.1.12 Mein SWCAR (Krefeld)

SWCAR

| | |
|---------------------|---|
| Beschreibung | Beim „SWCAR“ handelt es sich um das Linienbedarfsverkehrsangebot der Stadt Krefeld. Betrieben wird es von der Stadtwerke Krefeld AG (SWK) [48]. |
| Fahrzeuge | Zum Einsatz kommen hier Fahrzeuge des Herstellers LEVC [49]. |
| Buchung | Der Fahrdienst ist über die „SWK App“ buchbar [48]. |
| Haltestellen | Für den Zugang zu dem Dienst werden 20.000 virtuelle Haltepunkte genutzt [48]. |

| | |
|--------------|---|
| Bediengebiet | Bediengebiet des „SWCARs“ ist das gesamte Stadtgebiet der Stadt Krefeld [48]. |
| Bedienzeiten | Sonntags bis donnerstags steht der Fahrdienst von 18 Uhr bis ein Uhr des Folgetages zur Verfügung. Freitags, samstags und vor Feiertagen läuft der Betrieb von 18 Uhr bis vier Uhr des Folgetages [48]. |
| Raumstruktur | In Bezug auf die Raumstruktur ist zu nennen, dass Krefeld alle benannten urbanen Aspekte erfüllt. Neben einer hohen baulichen Dichte ist auch eine Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten, eine Differenzierung in Stadtviertel sowie eine gute verkehrliche Erschließung vorzufinden. Das Gebiet kann daher als städtisch bezeichnet werden. |
| Einsatzform | Die präzise auf die Abend- und Nachtstunden ausgerichteten Bedienzeiten legen die Vermutung nahe, dass das Angebot vor allem auf Freizeitwege zielt. Aus diesem Grund wird die Einsatzform des „SWCAR“ als Freizeitverkehr festgehalten. |

4.1.13 lümo (Lübeck)

lümo

| | |
|--------------|--|
| Beschreibung | „lümo“ ist ein Angebot des Linienbedarfsverkehrs in Lübeck und Travemünde. Betrieben wird es von der Stadtwerke Lübeck Mobil GmbH [50]. |
| Fahrzeuge | Betrieben wird „lümo“ mit Kleinbussen, von denen zwei mit einer Rampe ausgestattet sind, um Rollstuhlfahrenden den Ein- und Ausstieg zu ermöglichen [51]. |
| Buchung | Die Buchung einer Fahrt erfolgt entweder per App oder telefonisch [52]. |
| Haltestellen | Der Fahrdienst greift auf ein Netz aus mehr als 1.200 Haltepunkten zurück. Dies können bestehende ÖPNV-Haltestellen oder virtuelle Haltestellen sein [53]. |
| Bediengebiet | In Lübeck erstreckt sich das Bediengebiet des „lümo“ über die gesamte Kernstadt [52]. |

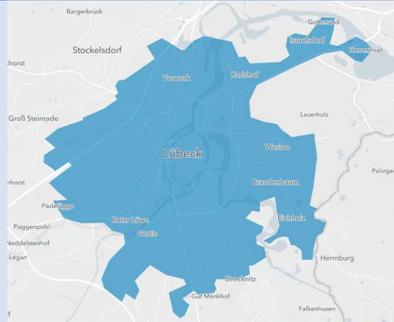


Abbildung 14: „lumo“-Bediengebiet Lübeck [54]

In Travemünde umfasst das Bedienegebiet einen Teil der Stadt nördlich der Trave [55].

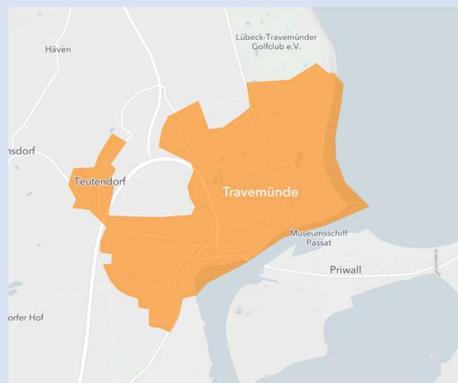


Abbildung 15: "lumo"-Bedienegebiet Travemünde [55]

Bedienzeiten Die Bedienzeiten des „lumo“ unterscheiden sich je nach Bedienegebiet. In Lübeck steht der Dienst sonntags bis donnerstags von 20 Uhr bis ein Uhr des Folgetages sowie freitags, samstags und vor Feiertagen von 20 Uhr bis vier Uhr des Folgetages zur Verfügung [56].

In Travemünde läuft der Betrieb montags bis samstags von neun Uhr bis 19 Uhr [56].

Raumstruktur In Lübeck gestaltet sich die raumstrukturelle Einordnung des Bedienegebietes recht simpel. Sowohl die dichte Bebauung und die Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten sowie die Differenzierung in Stadtviertel und die gute verkehrliche Erschließung lassen eine Einordnung des Areals als städtisch zu.

In Travemünde fällt dies weniger deutlich aus. Vorzufinden ist eine relativ dichte Bebauung und eine durchaus wahrnehmbare Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten. Eine Differenzierung des Gebietes in einzelne Stadtviertel ist jedoch kaum zu erkennen. Die verkehrliche Situation ist zwar mit jener in Lübeck nicht zu vergleichen, bietet jedoch trotzdem eine relativ engmaschige Erschließung des Gebietes. Aufgrund der zwar schwächer ausgeprägten, aber dennoch vorhandenen Kriterien eines urbanen Raumes kann das Bediengebiet in Travemünde ebenfalls als städtisch benannt werden.

Einsatzform In Lübeck geben die auf die späten Randzeiten ausgelegten Bedienzeiten gute Anhaltspunkte für eine primär freizeitliche Nutzung des „lümo“. Hier wird das Angebot als Freizeitverkehr verbucht.

In Travemünde zielt das Angebot auch darauf ab, den ÖPNV gezielt zu ergänzen [57]. Dies und der große Bedienzeitraum in dem Gebiet macht eine konkrete Zuordnung zu einem bestimmten Einsatzmodus schwer. Deshalb wird in diesem Beispiel von einer genauen Einordnung der Einsatzform abgesehen.

4.1.14 myBUS (Duisburg)

myBUS

Beschreibung „myBUS“ ist das Linienbedarfsverkehrsangebot in der Stadt Duisburg. Betrieben wird es von der Duisburger Verkehrsgesellschaft (DVG) [58].

Fahrzeuge Eingesetzt wird eine Flotte aus fünf Kleinbussen [59].

Buchung Die Buchung einer Fahrt mit dem „myBUS“ ist ausschließlich über die „myDVG-App“ möglich [58].

Haltestellen In Duisburg besteht für den „myBUS“ ein Netz aus mehr als 5.600 virtuellen Haltestellen. Diese sind jeweils etwa 200 Meter voneinander entfernt [60].

Bediengebiet Das Bediengebiet des „myBUS“ beläuft sich auf das gesamte Stadtgebiet Duisburgs [58].



Abbildung 16: Bediengebiet „myBUS“ [61]

Bedienzeiten Sonntags bis donnerstags steht der „myBUS“ von 22 Uhr bis 02:30 Uhr des Folgetages zur Verfügung. In der Nacht von Freitag auf Samstag startet der Betrieb um 20 Uhr und läuft anschließend bis 03:30 Uhr. Von Samstag auf Sonntag steht der Fahrdienst von 23:30 Uhr bis 07:30 Uhr bereit [61].

Raumstruktur Im Falle Duisburgs liegen alle genannten Kriterien eines städtischen Raums vor. Nicht zu verkennen ist neben der hohen baulichen Dichte außerdem die Konzentration von Wohn- und Arbeitsstätten, die Differenzierung in Stadtviertel sowie die gute verkehrliche Erschließung. Somit wird das Bediengebiet des „myBUS“ als städtisch definiert.

Einsatzform Noch stärker als bei den vorangegangenen Beispielen für Linienbedarfsverkehre zeigt sich beim „myBUS“ eine besondere Ausrichtung auf nächtliche Verkehre. Lediglich freitags nimmt der Dienst seinen Betrieb vor 22 Uhr auf. An allen übrigen Tagen ist eine klare Fokussierung auf die Nachtstunden deutlich zu erkennen. Dies gibt Anlass zur Vermutung, dass der Großteil der gebuchten Fahrten als Freizeitwege bestritten wird. Daher wird auch für dieses Beispiel der Freizeitverkehr als primäre Einsatzform festgesetzt.

4.2 Best-Practise

Nachdem unter Punkt 4.1 eine umfassende Liste an aktuellen Beispielen für Linienbedarfsverkehre in Deutschland zusammengetragen und die einzelnen Ergebnisse jeweils in ihren raumstrukturellen Kontext sowie ihre primäre Einsatzform eingeordnet wurden, können die folgenden Merkmalskombinationen extrahiert werden:

- Städtisch – Pendler/Schüler
- Städtisch – Freizeit
- Städtisch – Zu-/Abbringer
- Ländlich – Pendler/Schüler
- Ländlich – Freizeit
- Ländlich – Zu-/Abbringer

Anschließend wird für jede dieser Kombinationen jeweils ein Best-Practise-Beispiel ernannt. Hierfür wird eine weitere Recherche vorgenommen, welche zum Ziel hat, genauere Eindrücke bezüglich der Annahme durch die Bevölkerung und ggf. daraus resultierender Maßnahmen zu erhalten.

4.2.1 Städtisch – Pendler/Schüler

Als bestes Beispiel für die Merkmalskombination Städtisch – Pendler/Schüler wird der „flexo“ im Bediengebiet Seesen aus der Liste ausgewählt. Maßgeblich hierfür ist nicht zuletzt die bereits unter Punkt 4.1.10 erwähnte Tatsache, dass hier mittlerweile der gesamte Busverkehr der Kernstadt Seesen von „flexo“ erbracht wird. Zudem wurde das Angebot durch die Integration der Schülersammelzeitkarte und die regelmäßige Buchbarkeit speziell für den Schülerverkehr immens attraktiviert. Gute Nutzungszahlen bestätigen den Erfolg des Fahrdienstes: Nach weniger als einem halben Jahr Laufzeit erreichte „flexo“ bereits durchschnittlich 140 Fahrgäste pro Woche [62]. Diese Zahl kann bezogen auf den eher kleinräumigen Hintergrund der Stadt als durchaus hoch gewertet werden.

4.2.2 Städtisch – Freizeit

Für die Verknüpfung der Merkmale Städtisch und Freizeit wird der „myBUS“ in Duisburg als Best-Practise-Beispiel gewählt. Innerhalb der ersten zwei Betriebsjahre des Fahrdienstes wurde dessen Bediengebiet zweimal erweitert, bis es schließlich die gesamte Stadt Duisburg umfasste [61]. Mit dieser Angebotsausweitung ging zusätzlich eine Nachfragesteigerung einher [59]. Nach Beendigung des Pilotprojektes wurde das Angebot dann Mitte September 2021 in den Regelbetrieb übernommen [63].

4.2.3 Städtisch – Zu-/Abbringer

Als bestes Realbeispiel in der Kombination Städtisch – Zu-/Abbringer wird sich für den „HeinerLiner“ in Darmstadt entschieden. Maßgebend ist dabei die bereits unter Punkt 4.1.5 erwähnte Kooperation mit der DB Fernverkehr AG, welche Fahrten vom bzw. zum Duisburger Hauptbahnhof für Kunden attraktiver gestaltet sowie das für die geschäftliche Nutzung eingerichtete Freifahrtenkontingent. Bereits nach drei Monaten Laufzeit wurde die Flotte des „HeinerLiners“ auf 35 Fahrzeuge aufgestockt sowie das Bediengebiet auf das gesamte Stadtgebiet ausgeweitet [64]. Hinzu kommt ein Pilotprojekt, welches am ersten Oktober 2022 gestartet wurde und Menschen mit Schwerbehindertenausweis eine besondere Vergünstigung des „HeinerLiners“ ermöglicht [65].

4.2.4 Ländlich – Pendler/Schüler

Für die Merkmalskombination ländlich – Pendler/Schüler wird das Beispiel des „flexo“ aus dem Bediengebiet Wahrenholz/Wesendorf als beste Umsetzung herangezogen. Hier ist vor allem die gute Annahme durch die Bürgerinnen und Bürger von Bedeutung. Mit Stand vom 29. November 2022 wurde der Fahrdienst in diesem Gebiet bereits von über 14.000 Menschen genutzt. Besonders die Haltepunkte Wahrenholz Bahnhof sowie Wesendorf Kirche, welche Umsteigepunkte zu Bus und Bahn sind, zählen dabei die meisten Fahrgäste [66].

4.2.5 Ländlich – Freizeit

Für den Freizeitverkehr im ländlichen Raum wird der „Holibri“ aus Höxter als Best-Practise-Beispiel ausgewählt. Der Fahrdienst wurde von Beginn an gut von der Bevölkerung im Bediengebiet angenommen. Deutlich zeigt sich dies an den Fahrgastzahlen: Bereits nach zehn Tagen Betrieb erreichte der „Holibri“ die 1.000er Marke [67]. Nach insgesamt zwölf Wochen wurde dann der 10.000 Fahrgast transportiert [68].

4.2.6 Ländlich – Zu-/Abbringer

Für die Kombination Ländlich – Zu-/Abbringer wird sich als Best-Practise-Beispiel für das Angebot des „sprinti“ im Umkreis von Hannover entschieden. Bereits nach einem halben Jahr stieg die monatliche Gesamtnutzerzahl von etwa 10.000 (Juni 2021) auf etwa 21.000 (Dezember 2021) [69]. Nach knapp einem Jahr Betrieb beliefen sich die Fahrgastzahlen im Mai 2022 auf 13.272 (Springe), 12.084 (Wedemark) und 6.355 (Sehnde). Jeden Tag erzielt der Fahrdienst mehr als 1.000 Fahrgäste in den drei Kommunen. Für weitere Bürgernähe wurden zudem Erklär-Seminare sowie Informationsveranstaltungen angeboten [70]. Planungen zufolge soll der Dienst ab dem ersten Juli 2023 östlich von Hannover zusätzlich auf Burgwedel, Burgdorf, Lehrte und Uetze ausgeweitet werden. Ab dem Fahrplanwechsel am 10. Dezember 2023 sollen dann außerdem die Gebiete Barsinghausen, Neustadt, Pattensen, Wennigsen sowie Wunstorf mit in den „sprinti“ integriert werden [71]. Des Weiteren soll die Flotte bis Ende 2023 auf 100 Fahrzeuge erweitert werden [70].

5 Typisierung relevanter Größen

Um im Anschluss an die Recherche der aktuellen bundesweiten Situation im Bezug auf Linienbedarfsverkehre sowie der Ernennung der hier maßgebenden Beispiele zielgenaue Simulationen durchführen zu können, müssen zunächst elementare Eigenschaften der betrachteten Verkehrsarten definiert werden. Im Anschluss daran können Überlegungen hinsichtlich möglicher die Effizienz des Verkehrssystems beeinflussender Faktoren angestellt werden.

5.1 Definition der Einsatzformen

Um die Rahmenbedingungen der für diese Arbeit relevanten Einsatzformen von Linienbedarfsverkehren zu konkretisieren, wird sich mit der Beschaffenheit der Nachfragestruktur von Pendlerverkehren, Schülerverkehren, Freizeitverkehren sowie von Zu- und Abbringer-Verkehren beschäftigt.

5.1.1 Pendlerverkehre

Um die Pendlerverkehre im weiteren Verlauf der Arbeit greifbarer zu machen, werden diese auf jegliche Verkehre mit dem Hauptwegezweck „Arbeit“ heruntergebrochen. Als Arbeitsverkehre werden ausschließlich solche Wege bezeichnet, die als Hin- oder Rückwege zur Arbeitsstelle dienen. Wege für die Zwischen- oder Mittagsverpflegung zählen nicht zu diesem Wegezweck [72]. Somit lässt sich in den Simulationen eine relevante im alltäglichen Verkehr auftretende Größe untersuchen.

Trivial erscheint, dass im Bezug auf Arbeitsverkehre die tageszeitliche Einordnung eine tragende Rolle spielt. Die Daten aus der Studie „Mobilität in Deutschland 2017“ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zeigen deutlich, dass hier keine Gleichverteilung über den Tag besteht (s. Abbildung 17).

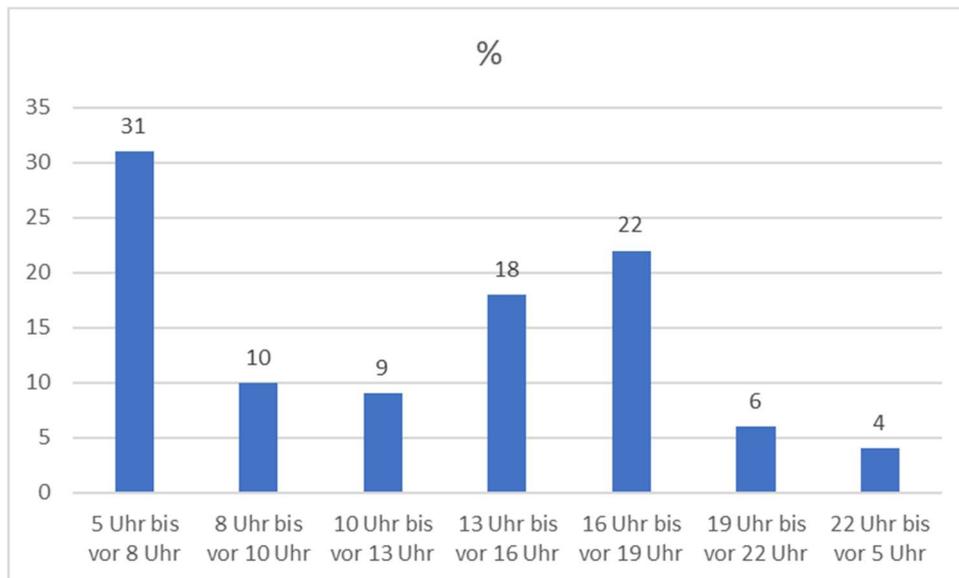


Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Wege mit dem Hauptwegezweck Arbeit nach Startzeit [73]¹⁰

Die Grafik zeigt die prozentuale Verteilung der Arbeitswege über den Tagesablauf. Maßgebend für die Einordnung der einzelnen Wege ist hierbei die Startzeit. Deutlich zu erkennen ist, dass sich über den Tag bestimmte Peaks ergeben. Diese befinden sich zum einen im Zeitraum von fünf Uhr bis vor acht Uhr am Morgen (31 %) sowie in den Zeiträumen von 13 Uhr bis vor 16 Uhr (18 %) und von 16 Uhr bis vor 19 Uhr (22 %). Mit seinen 31 % der am Tag anfallenden Arbeitswege ist der morgendliche Peak signifikant stärker ausgeprägt als die beiden Nachmittagspeaks. Dies lässt sich vermutlich damit begründen, dass die meisten Arbeitstätigen in diesem Zeitraum ihre Arbeit aufnehmen und so eine starke Konzentration von (Arbeits-) Hinwegen zustande kommt. In der Folge unterscheiden sich dann jedoch die möglichen Arbeitszeitkonzepte, was eine plausible Erklärung für die schwächere Ausprägung der am Nachmittag folgenden Peaks liefern könnte. Gerade Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer in Teilzeit könnten ihren Rückweg bereits im Zeitraum von 13 Uhr bis vor 16 Uhr antreten, während Vollzeitbeschäftigte wohl eher im darauf folgenden Zeitintervall den Arbeitsplatz verlassen.

Grundsätzlich ist jedoch zu erwähnen, dass die in der Grafik aufgeführten Daten nicht nach Hin- und Rückweg unterscheiden, sondern jegliche angetretenen Wege mit dem

¹⁰ Vgl. S. 21 (Tabelle A W7 Startzeit)

Hauptwegezweck Arbeit berücksichtigen. Dennoch machen die Zahlen deutlich, dass der Schwerpunkt der Arbeitsverkehre in den Morgenstunden zwischen fünf Uhr und acht Uhr liegt.

Betrachtet man neben der zeitlichen nun die räumliche Komponente der Arbeitsverkehre, ist zu sagen, dass der Facettenreichtum des Arbeitsmarktes keine genaue Eingrenzung der Ziele dieser Wege vornehmen lässt. Je nach Beruf und Branche können sich Arbeitsstätten stark voneinander unterscheiden und somit auch an diversen Örtlichkeiten lokalisiert sein. Während große Industriestandorte sich auch abseits besiedelter Gebiete befinden können, finden kleine Geschäfte selbst in innerstädtischen Wohngebieten Platz. Um hier trotzdem auf stichhaltige Annahmen kommen zu können, wurden erneut die Bediengebiete der unter Punkt 4.2 genannten Best-Practise-Beispiele bestehender Linienbedarfsverkehre betrachtet. Trotz der bereits erwähnten Vielseitigkeit möglicher Arbeitsorte lassen sich im Falle dieser Gebiete bestimmte Gewerbe- bzw. Industrieschwerpunkte ausmachen, denen bezüglich der Arbeitsverkehre eine gewisse Gravitationskraft beigemessen werden kann. Im städtischen Kontext fällt hier besonders die Stadt Duisburg auf, wo sich besonders häufig entsprechende Areale hervorheben. Dies mag neben der Größe der Stadt auch mit ihrer Lage im Ruhrgebiet und der damit zusammenhängenden Bedeutung für den Abbau von Bodenschätzen zu erklären sein. Doch auch die übrigen Städte Darmstadt und Seesen beherbergen – entsprechend der Stadtgröße dimensionierte – Gewerbegebiete. Sogar im ländlichen Raum lassen einige der Realbeispiele bestimmte Orte mit einer Konzentration von Arbeitsstätten erkennen. Gerade die Gebiete des „sprinti“ im Umkreis von Hannover können hier angeführt werden. Üblicherweise befinden sich diese Gewerbebestandorte im Umkreis größerer Siedlungen.

5.1.2 Schülerverkehre

Im Folgenden werden nun auch die genaueren Umstände des Schülerverkehrs näher betrachtet. Hier spielen ähnlich wie bei den Arbeitsverkehren vor allem die räumliche sowie die zeitliche Komponente entscheidende Rollen. Um erstere näher zu konkretisieren, muss zunächst ein Blick auf die Lokalisierung von Schulen innerhalb der Verkehrsnetze geworfen werden. Grundsätzlich unterscheiden sich Schulen prinzipiell nach ihrer Schulform. So gliedern sie sich beispielsweise in Grundschulen und weiterführende Schulen wie Haupt- und

Realschulen sowie Gymnasien. Darüber hinaus bilden Sonderformen wie Berufsschulen eine weitere Gruppe. Gerade im ländlichen Raum können die Standorte dieser Schulformen mithilfe des Zentralen-Orte-Systems (ZOS) treffend beschrieben werden. So sind beispielsweise Grundschulen zumeist in Grundzentren vorzufinden, während sich weiterführende Schulen nicht selten in höherrangigen Zentren befinden [74]¹¹.

Auch in Bezug auf die zeitliche Komponente bedarf der Schülerverkehr einer genaueren Betrachtung. Abbildung 18 zeigt hierzu erneut die Daten der MiD 2017 Studie. Aufgeführt wird die prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Startzeiten jeglicher Wege mit dem Hauptwegezweck Ausbildung über den Tagesablauf hinweg.

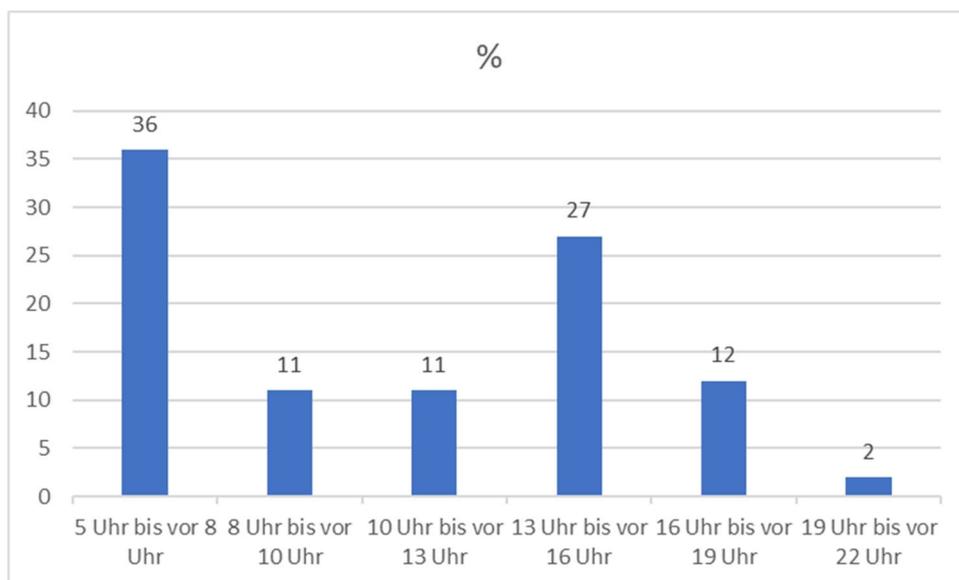


Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der Wege mit dem Hauptwegezweck Ausbildung [73]¹²

Zu erkennen ist auch hier, dass sich die zurückgelegten Wege auf bestimmte Peaks konzentrieren. Ähnlich dem Arbeitsszenario befindet sich der größte von ihnen im Zeitintervall zwischen fünf und acht Uhr morgens. Es ist davon auszugehen, dass es sich bei all diesen Wegen um die Hinwege zu den Schulen handelt. Darauf folgend finden in der Vormittagsphase deutlich weniger Wege mit diesem Hauptzweck statt. Dies könnte beispielsweise mit divergierenden Unterrichtszeiten zusammenhängen, von denen vereinzelte Fälle erst zu

¹¹ Vgl. S. 12-13

¹² Vgl. S. 21 (Tabelle A W7 Startzeit)

späteren Zeitpunkten starten. Der zweite Peak bildet sich dann am Nachmittag zwischen 13 und 16 Uhr aus, welcher mit den Rückwegen der Schülerinnen und Schüler zu erklären sein wird. Wie schon am Beispiel der Arbeitsverkehre deutlich erkennbar war, ist auch hier der morgendliche Peak sichtlich stärker ausgeprägt als der am Nachmittag, weshalb auch hier von einer weitgehenden Konzentration der Hinwege sowie von einer stärkeren zeitlichen Differenzierung der Rückwege auszugehen ist.

Im Falle der Schülerverkehre muss jedoch ein signifikanter Unterschied zu den Arbeitsverkehren berücksichtigt werden. Während Berufstätige nicht selten den Zeitpunkt ihrer Arbeitsaufnahme in gewisser Weise frei wählen können, wie beispielsweise Gleitzeitmodelle zeigen, unterliegen Schülerinnen und Schüler hinsichtlich ihrer Hinwege den Unterrichtszeiten. Somit muss davon ausgegangen werden, dass die Zeiten, zu denen diese Wege angetreten werden, über den Verlauf der Zeit nicht gleich verteilt sind, sondern sich am jeweiligen Unterrichtsbeginn orientieren. Bezieht man nun den oben beschriebenen Umstand der Standpunkte der Schulen mit in die Betrachtung ein, so erschließt sich, dass der Startzeitpunkt der Schulwege mit der zurückzulegenden Distanz zusammenhängt. Zusammenfassend kann gesagt werden: Wollen alle Schülerinnen und Schüler zur gleichen Zeit am jeweiligen Ziel ankommen, so müssen diese, die weiter von der Schule entfernt wohnen, ihren Weg früher antreten als jene, deren Wohnort näher an der Schule liegt.

5.1.3 Freizeitverkehre

Möchte man den Freizeitverkehr genauer verstehen, so muss zunächst beachtet werden, dass sich dieser in zwei Unterkategorien unterteilt. Der nicht alltägliche Freizeitverkehr bezieht sich dabei auf größer angelegte Freizeitaktivitäten. Dies sind in erster Linie Reisen, welche sich wiederum hinsichtlich ihrer Dauer voneinander abgrenzen. Neben Kurzurlaubsreisen können dies längere Urlaubsreisen, Tagesausflüge oder aber auch sogenannte „sonstige Reisen“ sein, welche mindestens eine Übernachtung aufweisen, vom Reisenden selbst jedoch nicht als Urlaubsreise angesehen werden – Beispiele hierfür können Hochzeiten, Familienfeiern etc. darstellen [75]¹³.

¹³ Vgl. S. 9

In Abgrenzung zum nicht alltäglichen Freizeitverkehr steht der alltägliche Freizeitverkehr. Dieser basiert auf regelmäßigen Wegen zu Freizeitzielen, welche sich üblicherweise im näheren Umkreis des Wohnortes befinden. Dies können zum Beispiel Freizeitstätten wie Stadien oder Sportstätten wie Schwimmbäder und Fitnessstudios sein. Des Weiteren können Restaurants, Kneipen, Cafés oder Discos Ziel solcher Wege sein. Nicht zuletzt zählen auch die Wohnungen von Freunden zu möglichen Zielorten im alltäglichen Freizeitverkehr. Der zeitliche Schwerpunkt dieser Freizeitwege liegt zumeist am Nachmittag bzw. am Abend. Gerade an Freitagen und Samstagen reichen die Verkehre auch bis in die Nachtstunden [75]¹⁴.

Die Vielseitigkeit der möglichen Ziele im Bereich des Freizeitverkehrs zeigt deutlich, dass es sich hierbei um eine Reinform des Flächenverkehrs handelt. Die genannten Beispiele können in nahezu jedem strukturellen Kontext auftreten. Gerade die Vernetzung einzelner Wohnungen vor dem Hintergrund freundschaftlicher Besuche führt zu einer Masse an möglichen Verkehrsrelationen. Somit erscheint der Versuch, konkrete örtliche Schwerpunkte hinsichtlich einer Konzentration von Verkehrsströmen auszumachen, aussichtslos. Auch für den Freizeitverkehr werden die Daten der MiD-Studie herangezogen, um den zeitlichen Verlauf der Verkehrsnachfrage über den Tag hinweg abzubilden (s. Abbildung 19).

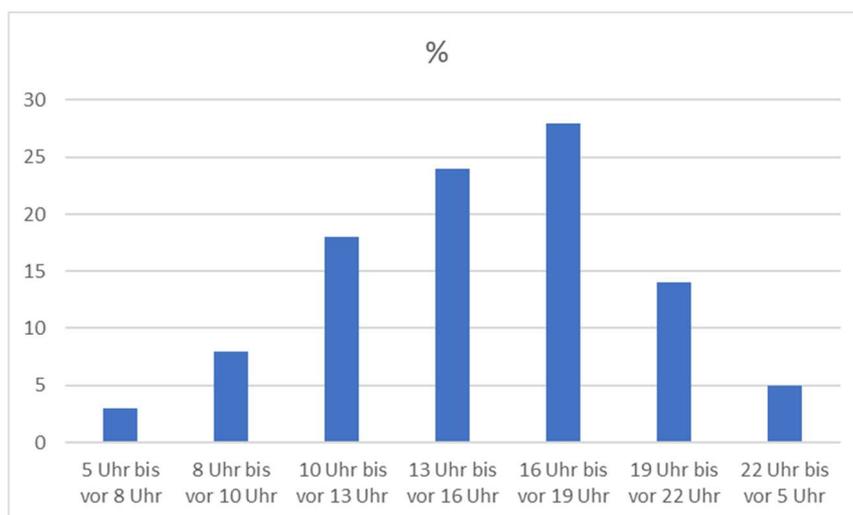


Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Wege mit dem Hauptwegezweck Freizeit [73]¹⁵

¹⁴ Vgl. S. 9 und 11

¹⁵ Vgl. S. 21 (Tabelle A W7 Startzeit)

Anders als beim Arbeits- und Schülerverkehr bilden sich hier keine eindeutigen Peaks heraus. Deutlich erkennbar ist stattdessen, dass die Anzahl der Freizeitwege im Verlauf des Tages immer mehr zunimmt, bis sie im Zeitraum zwischen 16 und 19 Uhr ihren Maximalwert annimmt. Daraufhin bricht der Wert ein. Diese Entwicklung könnte damit zu erklären sein, dass mit der zeitlichen Annäherung an den Höchstwert immer mehr Menschen ihre tägliche Arbeits- bzw. Ausbildungszeit abgeschlossen haben und ihren Freizeitaktivitäten nachkommen können.

5.1.4 Zu- und Abbringerverkehre

Als vierte Einsatzform wird der Modus des Zu- und Abbringerverkehrs näher definiert. In dieser Arbeit werden darunter Verkehre verstanden, welche als Teil eines sogenannten hierarchischen Netzkonzeptes eine flächenhafte Erschließungsfunktion übernehmen und an bestimmten Verknüpfungsstellen Anschluss an bzw. von höherrangigen und leistungsstärkeren Verkehrssystemen bieten. Als Beispiel für ein solches übergeordnetes System kann der Schienenverkehr genannt werden, welcher in diesem Fall eine primäre Verbindungsfunktion übernimmt. Da solche Verkehrssysteme zumeist eine höhere Beförderungsgeschwindigkeit aufweisen als das untergeordnete flächenerschließende Fahrzeug, können so auch die durch den Umstieg entstandenen Zeitverluste ausgeglichen werden. Der Einsatz solcher Reiseketten kann in großen Netzen somit sogar zu Zeiteinsparungen führen [76]¹⁶. Abbildung 20 zeigt deutlich die Funktionsweise eines hierarchischen Netzkonzeptes.

¹⁶ Vgl. S. 41

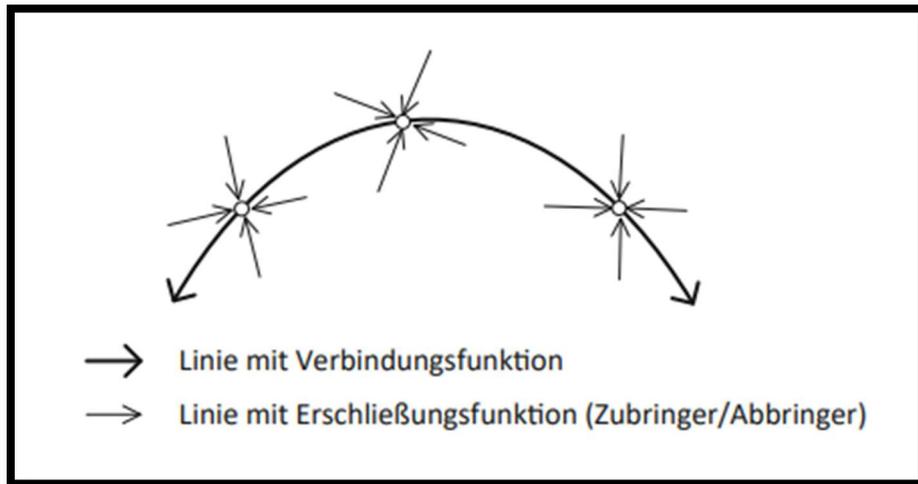


Abbildung 20: Prinzip eines hierarchischen Netzkonzeptes [76]¹⁷

Neben dem Schienenverkehr stellen jedoch auch andere Verkehrsmittel eine Möglichkeit dar, die Verbindungsfunktion hierarchischer Netze zu übernehmen. Gerade im ländlichen Umfeld bieten sich hier besonders überregionale Busverkehre an. Dies zeigt nicht zuletzt das Beispiel des „flexo“-Verkehrs in Wahrenholz/Wesendorf. Hier wird unter anderem Anschluss an lokale RegioBus-Linien gewährt. Vor dem Hintergrund der Anbindung der Fläche an die einzelnen Verknüpfungsstationen zeigt sich im Falle des Zu- und Abbringerverkehrs ein anschauliches Beispiel für einen Sektorenverkehr. Sämtliche Wege in der Umgebung laufen hierbei auf diese Umsteigepunkte zu bzw. gehen davon aus. Je nachdem, wie viele Verknüpfungsstationen innerhalb eines abgegrenzten Verkehrsgebietes liegen, variiert die Intensität dieses Effekts. Je weniger Stationen sich in der Region befinden, desto größer wird deren Einzugsbereich. Das Extrembeispiel stellt hier eine einzige Verknüpfungsstelle innerhalb des Verkehrsgebietes dar.

5.2 Mögliche effizienzbeeinflussende Faktoren im Linienbedarfsverkehr

Nachdem die betrachteten Einsatzformen von Linienbedarfsverkehren konkret definiert wurden, können erste Überlegungen bezüglich möglicher Einflussfaktoren auf deren Effizienz angestellt werden. Hierfür wird ein Brainstorming durchgeführt.

¹⁷ Vgl. S. 42

5.2.1 Position von Zielen im Netz

Eine erste Überlegung gilt hierbei der Position einzelner Ziele innerhalb des betrachteten Bediengebietes. Je nach Einsatzform kann sich die Struktur dieser Orte stark unterscheiden. Während im Freizeitverkehr die Verkehrsnachfrage – durch das mögliche Auftreten von Fahrtwünschen zu Wohnungen einzelner Privatpersonen – in nahezu alle Richtungen ausstrahlen kann, bietet gerade der Arbeits- und Schülerverkehr Grund zur Annahme, dass hier bestimmte Gewerbegebiete bzw. Schulen einen großen Teil der Nachfrage auf sich konzentrieren können. Dadurch würde eine Art Sektorenverkehr entstehen, welcher wiederum eine bessere Bündelung von Fahrten ermöglichen könnte. Konkret formuliert trifft hier eine Vielzahl möglicher Startpunkte auf eine (gegebenenfalls stark) limitierte Anzahl an Zielorten.

Ähnlich verhält es sich mit dem Zu- und Abbringerverkehr zu Verknüpfungsstellen übergeordneter Verkehrssysteme, welche ebenfalls als relativ einheitliche Ziele zu verstehen sind. Auch die Ergebnisse des Forschungsprojektes LEA (Klein-)Bus, welches vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert wurde und sich unter anderem mit dem Einsatz von nachfragegesteuerten Verkehrsangeboten beschäftigt hat, verdeutlichen einen positiven Einfluss derart gerichteter Verkehre auf die Fahrtenbündelung [77]. Zu klären bliebe noch, welchen Einfluss die Position dieser Verknüpfungsstellen innerhalb des Verkehrsnetzes auf die Effizienz nehmen könnte. Stellt man eine zentrale Position einer dezentralen gegenüber, so ergibt sich eine Vielzahl von möglichen Größen, welche davon betroffen sein könnten. Die Fahrzeugkilometer und Fahrzeiten dienen hierfür als treffende Beispiele.

5.2.2 Startposition der Fahrzeuge

Neben der Lage der Ziele könnte auch die Startposition der Fahrzeuge zu Betriebsbeginn bezüglich der Effizienz ins Gewicht fallen. Konkret meint dies die Lage des jeweiligen Depots. Starten die Fahrzeuge von einem zentral gelegenen Betriebshof aus, so liegt nahe, dass das „Ausschwärmen“ zu den ersten Fahrgästen des Tages im klassischen Flächenverkehr zu einem Ansammeln von Leerkilometern führt. Zu erwähnen ist, dass hierbei der Bedienzeitraum eine

erhebliche Rolle spielt. Je länger dieser ist, desto mehr Personenkilometer werden im Anschluss an die zu Beginn gesammelten Leerkilometer erbracht. Dadurch werden letztere zunehmend relativiert.

Als Gegenentwurf zu einheitlichen Startpunkten könnte eine Vorverteilung der Fahrzeuge im Netz eine Auswirkung auf diesen Umstand haben. Gerade, wenn eine gewisse Kenntnis der Nachfragestruktur hinsichtlich der Orte vorliegt, an denen zumeist die Fahrtwünsche auftreten, könnten so unnötige Leerfahrten vermieden oder zumindest in ihrer Distanz verkürzt werden.

5.2.3 Geschwindigkeiten im Netz

Des Weiteren stellen die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf den Verkehrswegen des Netzes einen möglichen Einflussfaktor auf die Effizienz von Linienbedarfsverkehren dar. Zwar bleiben die erbrachten Fahrzeug- und Personenkilometer davon unberührt. Jedoch könnte die Fahrdauer gegebenenfalls variieren. Dies hätte neben der Zeit, welche der Fahrgast im Fahrzeug verbringt, auch eine Auswirkung auf die Zeit, welche er auf das Eintreffen des Shuttles am vereinbarten Abholpunkt wartet.

Interessant erscheinen hierbei auch Autobahnen. Mit den hier zu realisierenden Reisegeschwindigkeiten, welche im Normalfall deutlich über denen der Landstraßen liegen, stellen sie wohl den Extremfall in Bezug auf Fahrzeitverkürzungen dar. Fraglich bleibt jedoch, ob die stringente Straßenführung sowie die Gebundenheit an die (ggf. wenigen) Ausfahrten einer effektiven Fahrtenbündelung im Wege stehen und ob automatisierte Distributionsalgorithmen solche Verkehrswege für die Zusammenlegung von Fahrten überhaupt in Betracht ziehen würden.

5.2.4 Zeitliche Staffelung der Fahrtwünsche

Wie bereits unter Punkt 4.1.2 näher erläutert, muss besonders im Falle der Schülerverkehre von einer zeitlichen Varianz der Fahrtwünsche ausgegangen werden, welche maßgeblich von der zurückzulegenden Distanz zur jeweiligen Schule abhängt. Möglich wäre, dass dieser

zeitliche Versatz ebenfalls einen Einfluss auf die Effizienz der Bedarfsverkehre ausübt. Da die Fahrtwünsche nicht nur auf dasselbe Ziel zulaufen, sondern zusätzlich zeitlich so auftreten, dass die Fahrzeuge die einzelnen Fahrgäste nacheinander aufsammeln können, sollten daraus für die jeweiligen Fahrten gute Bündelungs- und Besetzungsgrade resultieren.

5.2.5 Natürliche Hindernisse

Auch natürliche Hindernisse könnten für die Effizienz eine Bedeutung haben. Betrachtet man beispielsweise das unter Punkt 4.2.2 genannte Best-Practise-Beispiel myBUS in Duisburg, so stellt man fest, dass das Betriebsgebiet von zwei Flüssen (Rhein und Ruhr) durchzogen wird. Da Flüsse zumeist nur an vergleichsweise wenigen Querungen überwunden werden können und somit nicht selten eine erhebliche Trennwirkung auf ein Areal ausüben, stellt sich hier die Frage, ob dies durch den damit einhergehenden Mangel an möglichen Routenführungen einen negativen Einfluss auf die Fahrtenbündelung haben könnte. Zudem könnten eventuelle Umwege – beispielsweise zu Brücken oder Tunneln – zu einer Steigerung der Fahrzeug- und Leerkilometer sowie zu längeren Reisezeiten führen. Ähnliche Effekte könnten analog hierzu auch beispielsweise Gebirge, Seen oder Naturschutzgebiete haben.

5.2.6 Skalierung des Simulationsmodells

Eine mögliche Untersuchung, welche weniger für die Realität als für die Theorie Bedeutung haben könnte, bezieht sich auf eine mögliche Veränderung der Dimensionierung des Bedienegebietes, ohne dabei andere Parameter zu verändern. Konkret bedeutet dies, dass das Simulationsmodell in seiner Gänze um einen bestimmten Faktor verkleinert bzw. vergrößert wird. Setzt man dabei beispielsweise den Faktor 0,5 an, so führt dies zu einer Halbierung jeglicher Kantenlängen.

Interessant hierbei erscheint besonders die Fragestellung, ob sich die Effizienzen dabei verändern oder gleichbleiben. Durch die Verkürzung der Strecken im Netz sollten theoretisch alle darauf bezogenen Kenngrößen gleichermaßen sinken. Die Fahrzeug- und Personenkilometer sowie die nachgefragten Personenkilometer spielen hierbei eine

besondere Rolle. Da diese am Ende miteinander verrechnet werden, um die entsprechenden Effizienzen zu erhalten, sollten letztere sich im Falle des halbierten Netzes nicht von denen des Ausgangsszenarios unterscheiden. Dividiert man einen verkleinerten Wert durch einen gleichermaßen verkleinerten Wert, erhält man das gleiche Ergebnis. Dies gilt analog auch für eine Vergrößerung des Modells.

5.2.7 Erschließungsgrad des Bediengebietes

Ebenfalls möglich erscheint eine Auswirkung des verkehrlichen Erschließungsgrades des Bediengebietes auf die Effizienzen im Linienbedarfsverkehr. Eine möglichst engmaschige Erschließung einer Region durch beispielsweise Nebenstraßen würde einem Dispositionsalgorithmus wohl mehr Möglichkeiten geben, Abholorte bzw. Ziele ohne große Umwege zu erreichen, als ein Areal, welches lediglich von wenigen Straßen durchzogen wird. Dies hätte nicht zuletzt auch eine Auswirkung auf die Fahrzeiten.

5.2.8 Unterschiede zwischen Stadt und Land

Zudem wäre es möglich, dass städtische und ländliche Strukturen mit ihren jeweiligen Eigenheiten die Effizienz von Linienbedarfsverkehren auf unterschiedliche Weise beeinflussen. Hier kann erneut auf das Forschungsprojekt LEA (Klein-)Bus verwiesen werden, in dessen Ergebnissen es heißt, dass gerade in ländlichen Räumen die verkehrliche Nachfrage besonders auf die Versorgungszentren zielt, was einer effektiven Fahrtenbündelung entgegenkommt [78].

Als weiterer Betrachtungsaspekt bietet sich hier wieder der unter Punkt 5.2.7 erwähnte Erschließungsgrad an. Besonders in dicht besiedelten Innenstädten fällt dieser zumeist recht hoch aus, während ländlicher geprägte Regionen oft nur durch wenige (Haupt-)Straßen erschlossen sind.

5.2.9 Haltestellen im Bediengebiet

Auch die genaue Bedienform eines solchen Bedarfsverkehres kommt als möglicher Einflussfaktor auf die Effizienzen infrage. Dies meint besonders die Unterscheidung zwischen einem taxiähnlichen Tür-zu-Tür Fahrdienst und einer Bindung der Bedienung an Haltestellen. Vorgegangene Untersuchungen haben sich bereits mit der Thematik von vorgegebenen Haltepunkten befasst. Dabei hat sich ergeben, dass diese gerade dann, wenn sie sich in Bereichen mit niedrigeren zugelassenen Geschwindigkeiten (hier 30 Kilometer pro Stunde (km/h)) befinden, eine erhebliche Steigerung der Fahrzeiten bewirken [79]¹⁸. Sollte sich diese These bestätigen, wäre eine weitere Untersuchung hinsichtlich des Unterschiedes zwischen städtischen und ländlichen Region sinnvoll. Während Wohngebiete in ländlich geprägten Arealen flächenmäßig oftmals nicht besonders groß sind, weisen Städte verstärkt umfassende Wohnviertel aus. Dies sollte sich verstärkend auf einen solchen durch Tempo-30-Zonen ausgelösten Effekt auswirken.

Einer Untersuchung würdig ist zudem die Auswirkung von Haltestellen auf die Systemeffizienz. Die Annahme, dass die Vorgabe von festen Haltepunkten ein Ausufernd der Umwege – wenn diese sonst theoretisch bis in jede Verästelung des Verkehrsnetzes führen könnten – vermeidet und somit die Routenbildung vereinfacht, erscheint zunächst plausibel. Wenn dies eine Verringerung der Fahrzeugkilometer zur Folge hätte, wäre eine Verbesserung der Systemeffizienz denkbar.

5.2.10 Räumlich-Geometrische Ausdehnung des Bediengebietes

Neben einer möglichen Effizienzbeeinflussung durch Haltestellen ergaben die dieser Arbeit vorangegangenen Untersuchungen zudem die Vermutung, dass die räumliche Ausdehnung und Form des Bediengebietes einen Einfluss auf die Systemeffizienz eines Linienbedarfsverkehres haben könnte. Hier heißt es, dass schlauchartig geformte Bediengebiete aufgrund der linear angeordneten Siedlungen eine gerichtete

¹⁸ Vgl. S. 53

Verkehrsnachfrage ergeben. Dies könnte einer effektiven Bündelung ohne große Umwege zuträglich sein [79]¹⁹.

5.2.11 Nachfragevarianz

Ein weiteres Ergebnis der vorherigen Untersuchungen [79]²⁰ ist, dass unterschiedliche Nachfragen – in Form von Buchungen pro Stunde – die Systemeffizienz beeinflussen. Es wurde deutlich, dass diese bei zunehmender Nachfrage ebenfalls steigt. Der Maximalwert im ländlichen Raum lag hier bei 1,96 und wurde unter Annahme einer Nachfrage von 100 Buchungen pro Stunde erreicht. Für den städtischen Raum ergab sich ein Maximalwert von 1,43. Dieser wurde mit einer Nachfrage von 120 Buchungen pro Stunde erreicht.

5.3 Auswahl der zu untersuchenden Faktoren

Hinsichtlich des zeitlichen Rahmens dieser Arbeit kann lediglich eine Auswahl der unter Punkt 5.2 gelisteten möglichen Einflussfaktoren näher untersucht werden. Im Folgenden werden diese unter Nennung der entsprechenden Begründungen aufgezeigt.

Der Aspekt der **Konzentration von Zielen** im Netz findet sich abgesehen vom Modus des Freizeitverkehrs in allen übrigen Einsatzformen wieder. Deshalb bietet es sich an, einen entsprechenden Vergleich zwischen diesen sektorenverkehrsähnlichen Varianten und dem flächenartigen Freizeitverkehr vorzunehmen.

Die **Verteilung der Fahrzeuge im Netz** im Gegensatz zu einer Fokussierung auf ein einzelnes Depot stellt eine reale Fragestellung dar, welche Betreiber eines solchen Verkehrsangebotes zu klären haben. Sollte sich hier ein signifikanter Unterschied ergeben, wäre es eine vergleichbar einfache Aufgabe, diese Ergebnisse in die tatsächliche Umsetzung zu integrieren und ggf. Kosten zu sparen. Aus diesem Grund wird auch dieser Faktor als Untersuchungsgegenstand aufgenommen.

¹⁹ Vgl. S. 68

²⁰ Vgl. S. 55, 67

Die **zeitliche Staffelung der Fahrtwünsche** stellt einen maßgeblichen Umstand bezüglich der Schülerverkehre dar. Da sich dadurch ein grundsätzlicher Unterschied zu den anderen Einsatzformen ergibt, ist ein Vergleich hier sinnvoll. Auch könnte dieser aufgrund der möglicherweise richtungsvorgebenden Nachfragestruktur Ansatzpunkte für Mischformen aus Bedarfs- und Linienverkehr geben.

Die **Skalierung des Simulationsmodells** stellt einen theoretischen Ansatz dar. Dieser könnte potenziell Erkenntnisse über grundlegende verkehrstheoretische Prinzipien geben sowie neue Hinweise für die auf die Größe und genauen verkehrlichen Parameter eines Bediengebiets bezogene Erfolgsprognose hinsichtlich Planungen eines Linienbedarfsverkehrs liefern.

Auch die **Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Regionen** werden im Rahmen dieser Arbeit näher betrachtet. Dieses ist das wohl maßgebendste Kriterium bei der Differenzierung von geografischen Räumen. Nicht zuletzt, weil hiermit zumeist eine Reihe von weiteren Merkmalen wie beispielsweise Bevölkerungszahl und Bebauungsdichte einhergeht. Eine genauere Untersuchung dieses Umstandes erscheint für eine ganzheitliche Bewertung von Linienbedarfsverkehren unerlässlich.

Haltestellen sind seit je her fester Bestandteil des ÖPNV. Die Loslösung hiervon inklusive der Fahrtenbündelung wäre ein gänzlich neuer Ansatz des öffentlichen Verkehrs. Vor diesem Hintergrund erscheint eine simulationsbasierte Untersuchung der „freien“ Bedienung in Abgrenzung zur konventionellen Haltestellenbindung zielführend, um einen möglichen Mehrwert einer solchen Maßnahme zu bewerten.

Auch die **räumliche Ausdehnung des Bediengebietes** wird in die Liste der zu untersuchenden Faktoren aufgenommen. Ergebnisse hierzu könnten in Zukunft ebenfalls dabei helfen, eine Region im Vorfeld der Implementierung eines Linienbedarfsverkehrs auf ihre diesbezügliche Tauglichkeit zu untersuchen bzw. Anpassungen bestehender Bediengebiete vorzunehmen.

6 Erstellung der Simulationsmodelle

Im Folgenden wird nun die Erstellung der Simulationsmodelle im netedit-Tool von SUMO beschrieben. Für einen späteren Vergleich von ländlichen und städtischen Räumen wurden zwei unterschiedliche generische Modelle erstellt, welche jeweils eine dieser charakteristischen Strukturen abbilden.

6.1 Ländlicher Raum

Für den ländlichen Raum wurde ein Modell geschaffen, welches in seiner Nord-Süd-Ausdehnung in etwa 21 Kilometer beträgt. Die West-Ost-Ausdehnung umfasst ebenfalls circa 21 Kilometer. Insgesamt befinden sich 16 Ortschaften in dem Gebiet. Davon sind zehn als Dörfer, zwei als kleine Dörfer und vier als Unterzentren ausgewiesen. Während die Dörfer und kleinen Dörfer ausschließlich als Wohnstandort dienen, wurden in den Unterzentren neben einem Wohnschwerpunkt zusätzlich jeweils ein Gewerbegebiet, eine Sportstätte sowie ein Zentrumsbereich angelegt. Letzterer dient der Abbildung eines lokalen Einkaufsgebietes. In möglichst zentraler Lage wurde zudem ein gesonderter Bahnhof eingefügt. Teilweise dienten die Gebiete des unter Punkt 4.2.6 genannten Best-Practise-Beispiels des sprinti in Hannover dem Modell als Vorlage. Die Kantengeschwindigkeiten betragen außerhalb der Ortschaften einheitlich 100 km/h. Innerhalb der Ortschaften ist die maximale Geschwindigkeit auf Hauptstraßen sowie in den Gewerbegebieten, Zentren und an den Sportstätten auf 50 km/h herabgesetzt. Die Kanten innerhalb der Wohngebiete haben jeweils eine maximale Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h.

Abbildung 21 zeigt das Modell und macht über farbliche Hervorhebungen die genauen Funktionen der darin enthaltenen Orte deutlich.

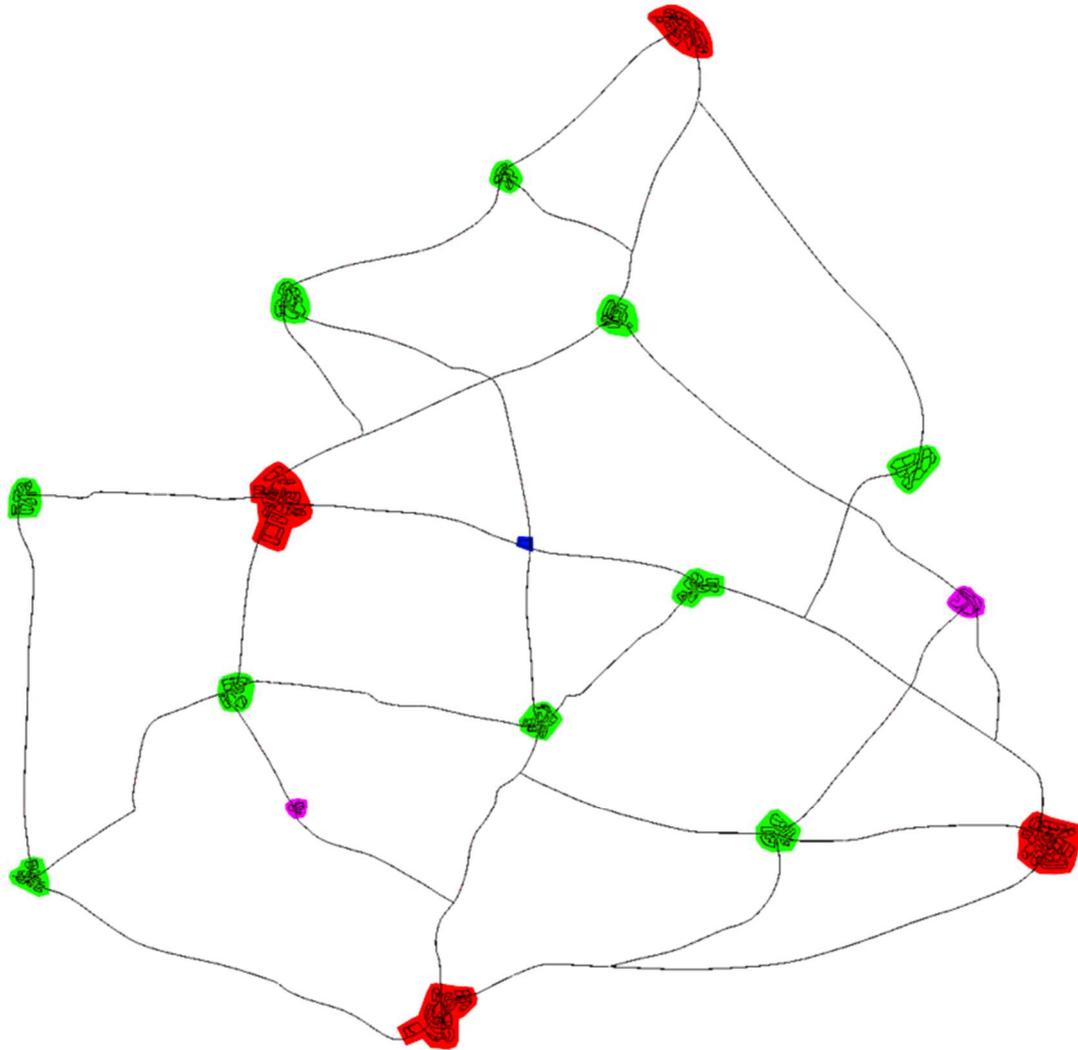


Abbildung 21: Ländliches Verkehrsmodell in SUMO; Rot: Unterzentren, Grün: Dörfer, Violett: Kleine Dörfer, Blau: Bahnhof (Quelle: Autor)

6.2 Städtischer Raum

Das städtische Simulationsmodell beläuft sich in seiner Nord-Süd-Ausdehnung auf ungefähr 4,3 Kilometer und in seiner West-Ost-Ausdehnung auf etwa fünf Kilometer. Diesbezüglich diente das unter Punkt 4.2.3 erwähnte Best-Practise-Beispiel der Stadt Darmstadt als Vorlage.

In seinem grundlegenden Aufbau wurde das Modell in einen Stadtkern, einen inneren Stadtring sowie einen Randbereich unterteilt. Getrennt werden diese Gebiete von zwei Ringstraßen – eine zwischen Stadtkern und innerem Stadtring und eine zwischen innerem Stadtring und Randbereich. Das Stadtgebiet wird von insgesamt sechs Haupteinfallstraßen

durchzogen. Diese beginnen jeweils an der äußeren Grenze des Modells und laufen dann stadteinwärts, bis sie auf die innere Ringstraße treffen.

Innerhalb des Stadtkerns befindet sich ein Zentrumsbereich sowie ein Wohnviertel. Letzteres ist durch eine relativ dichte blockartige verkehrliche Erschließung gekennzeichnet. Der innere Stadtring besteht zum Großteil aus verschiedenen Wohnvierteln. Diese zeichnen sich ähnlich wie im Stadtkern durch eine dichte blockartig ausgeprägte Erschließung aus. Des Weiteren wurden hier zwei Gewerbegebiete – ein kleines und ein mittelgroßes – sowie der städtische Hauptbahnhof angelegt. Der Randbereich der Stadt ist weniger dicht bebaut. Hier finden sich ebenfalls einige Wohngebiete, welche im Vergleich zu den zentraler gelegenen Wohnvierteln jedoch weniger dicht erschlossen sind. Darüber hinaus sind in diesem Bereich der Stadt noch ein mittelgroßes und ein großes Gewerbegebiet angesiedelt. Das gesamte Stadtgebiet wird außerdem von einer Stadtautobahn durchzogen. Diese erstreckt sich von Nord-Westen nach Süd-Osten und passiert dabei zentral alle Bereiche der Stadt. Die äußere Ringstraße bietet eine Auf- bzw. Abfahrt. Auf der inneren Ringstraße befinden sich zwei Auf- und Abfahrten. Die letzte Auf- und Abfahrt befindet sich im süd-östlichen Gewerbegebiet. Auf Hauptstraßen, im Zentrum, am Bahnhof sowie in den Gewerbegebieten betragen die Kantengeschwindigkeiten einheitlich 50 km/h. Bis auf einzelne Hauptstraßen, auf denen ebenfalls 50 km/h zugelassen sind, sind die Kanten innerhalb der Wohngegenden auf 30 km/h begrenzt. Die Stadtautobahn inklusive dessen Auf- und Abfahrten sind durch eine maximale Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h gekennzeichnet.

Abbildung 22 zeigt das städtische Verkehrsmodell und verdeutlicht durch die farblichen Hervorhebungen die Position der einzelnen funktionalen Bereiche.

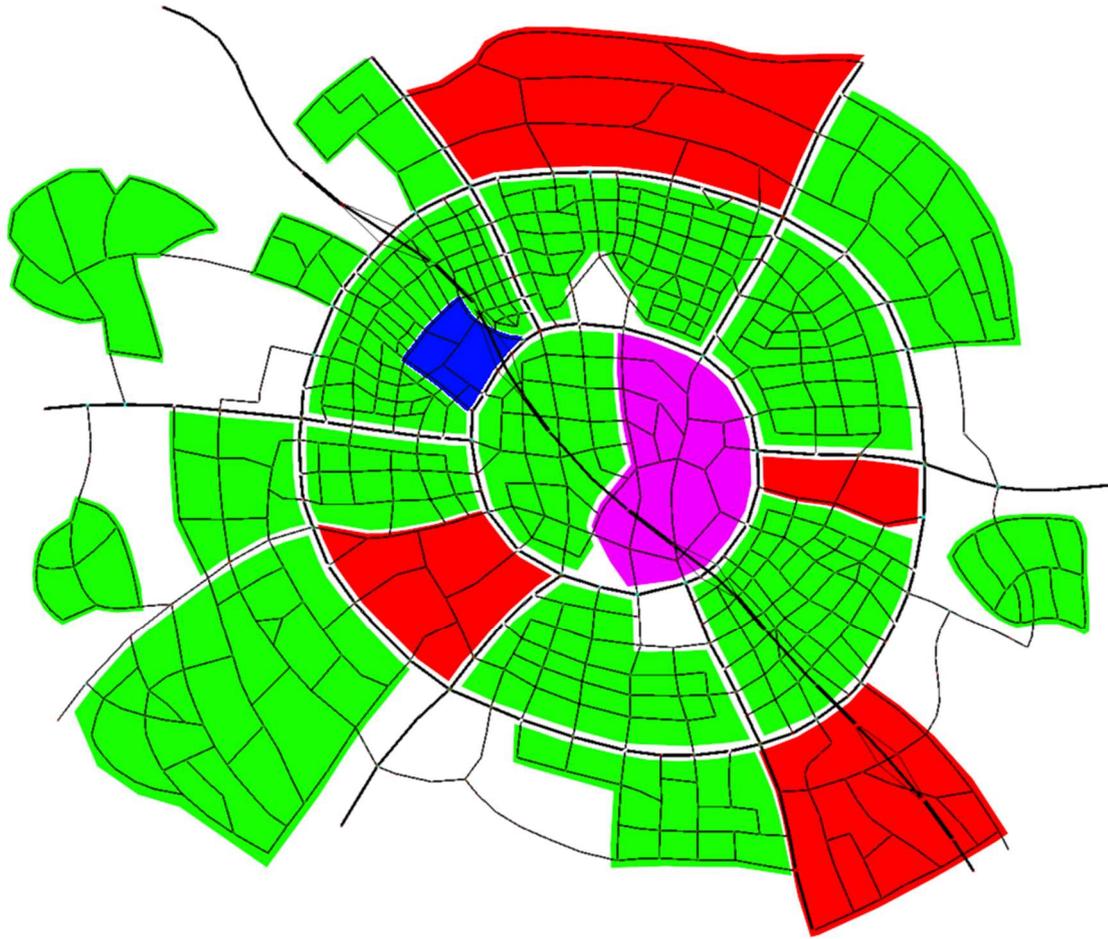


Abbildung 22: Städtisches Verkehrsmodell in SUMO; Violett: Zentrum, Grün: Wohngegenden, Blau: Bahnhof, Rot: Gewerbegebiete (Quelle: Autor)

7 Simulationsdurchführung und Auswertung

Im Anschluss an die Erstellung der Simulationsmodelle können nun die Simulationen durchgeführt werden. Folgend wird dies näher beschrieben. Das Vorgehen wird dabei anhand der verschiedenen Raumstrukturen und der unter Punkt 5.1 definierten Einsatzformen untergliedert. Zwecks besserer Verständlichkeit und Vermeidung eventueller Redundanzen werden die entsprechenden Erkenntnisse mit in die Dokumentation eingebettet.

7.1 Vorgehen

Bei der Durchführung der Simulationen wird auf folgendes Vorgehen zurückgegriffen: Zunächst wird das Szenario unter Anwendung des drtOnline-Algorithmus drei Mal simuliert. Aus den Ergebnissen der drei Durchläufe wird anschließend der Mittelwert gebildet, um eventuelle Abweichungen durch die Zufallskomponente des Algorithmus zu kompensieren.

Darauffolgend wird das Szenario erneut mit dem Greedy-Algorithmus simuliert. Dieser agiert dabei wie ein herkömmliches Taxi. Die Fahrzeuge transportieren in diesem Fall maximal eine Person. Dadurch entstehen keine Umwege durch Fahrtenbündelungen. So ist es möglich, die für die Systemeffizienz relevanten nachgefragten Personenkilometer zu ermitteln.

Zum besseren Verständnis der Untersuchungen ist beizufügen, dass der Straßenverkehr der Simulationsszenarien ausschließlich aus den Fahrzeugen des Linienbedarfsverkehrs besteht. Weitere Verkehrsteilnehmer sind hier nicht berücksichtigt.

Anschließend können die Ergebnisse der unterschiedlichen Simulationsszenarien einander gegenübergestellt und verglichen werden. Hierbei ist anzumerken, dass die im weiteren Verlauf dargestellten Ergebnistabellen lediglich die ersten drei bzw. vier Dezimalstellen anzeigen. Da die Formel für die Veränderung der Werte jedoch mit der gesamten Zahl rechnet, kann es hier gerade bei entsprechend kleinen Werten ggf. zu Rundungsdifferenzen kommen.

7.2 Ländlicher Raum

Für den ländlichen Raum gilt – solange nicht anders beschrieben – grundsätzlich die Regel, dass zehn Fahrzeuge in das Modell eingesetzt sind, welche alle von derselben Kante im westlich gelegenen Unterzentrum starten und ihre Fahrgäste an jeder Straßenkreuzung aufnehmen und absetzen können.

7.2.1 Arbeitsverkehr

Zu Beginn wird sich näher mit der Einsatzform der Arbeitsverkehre befasst. Dafür wird zunächst das Referenzszenario „Arbeit_0“ angesetzt, welches insgesamt eine Stunde abbilden und simulieren soll. Um hierbei eine möglichst realistische Verkehrsnachfrage zu ermitteln, müssen zuvor konkrete Einwohnerzahlen für die einzelnen Orte festgesetzt werden.

Für die Unterzentren wird sich dabei an der Ortschaft Meine im Süden Gifhorns orientiert. Diese hat eine Einwohnerzahl von mehr als 4.000 Einwohnern (Stand 2012) [80]. Für die einzelnen Dörfer dient der Ort Rothemühle – ebenfalls im Süden Gifhorns – als Orientierung. Hier leben in etwa 1.200 Menschen (Stand 2021) [81]. Um diese Werte miteinander in eine logische Relation zu bringen, wird für die Unterzentren eine Einwohnerzahl von 4.000 und für die Dörfer eine Einwohnerzahl von 1.000 festgeschrieben. Die kleinen Dörfer werden darüber hinaus mit einer Bevölkerungszahl von 300 belegt.

Anschließend kann sich erneut der Daten der MiD 2017 bedient werden. Hier wird für die täglichen Wege pro Person ein Wert von 3,1 angegeben [73]²¹. Des Weiteren wird dem Arbeitsverkehr ein Anteil von 14% an den täglichen Wegen beigemessen [73]²². Dem öffentlichen Verkehr (ÖV) wird darüber hinaus ein Anteil am Modal Split von 5% zugerechnet [82]²³. Für eine vollständige Modellierung muss nun noch ein auf den simulierten Zeitraum ausgerichteter Wert für den Anteil am täglichen Verkehrsaufkommen mit in die Berechnung eingehen. Unter Berücksichtigung der unter Punkt 5.1.1 aufgeführten Mobilitätsdaten wird

²¹ Vgl. S. 141 (Tabelle A P32.1 Anzahl Wege am Stichtag (alle Personen))

²² Vgl. S. 1 (Tabelle A W1 Hauptwegezweck)

²³ Vgl. S. 47

hier eine Spitzenstunde zwischen sieben und acht Uhr morgens angesetzt. Anschließend kann sich an einer entsprechenden Tagesganglinie von SUMO (TGw2_PKW) orientiert werden. Diese gibt einen Wert von 7,4% an [83], welcher zur Vereinfachung auf 8% aufgerundet wird. Nun werden die genannten Werte mit den angesetzten Einwohnerzahlen der verschiedenen Ortskategorien multipliziert. So können die folgenden Zahlen für die Fahrtwünsche pro Ortschaft ermittelt werden (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Berechnung Fahrtwünsche (Ländlich-Arbeit)

| | Kleines Dorf | Dorf | Unterzentrum |
|-----------------------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Einwohner | 300 | 1.000 | 4.000 |
| Wege pro Tag und Person | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| Anteil Arbeit | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| ÖV-Anteil | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Anteil aus Tagesganglinie | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| Fahrtwünsche pro Ort | 0,5208 | 1,736 | 6,944 |

In der Folge werden diese Ergebnisse auf in der Simulation anwendbare Zahlen gerundet. Somit ergibt sich für die kleinen Dörfer jeweils ein Fahrtwunsch, für die übrigen Dörfer zwei und für die Unterzentren sieben Fahrtwünsche. Hochgerechnet auf die Gesamtzahl an Ortschaften beträgt die Nachfrage insgesamt 50 Fahrtwünsche, welche innerhalb einer Stunde auftreten. Für die einzelnen Quelle-Ziel-Relationen wird angenommen, dass jeder Fahrtwunsch in eines der vier Gewerbegebiete führt. Somit werden die vier Unterzentren als einzige Ziele festgelegt. Aus den Wohngebieten jeder Ortschaft gehen Fahrten in die jeweils am nächsten gelegenen Unterzentren aus. Die Fahrtwünsche aus den Unterzentren selbst gehen ebenfalls in die zwei am nächsten gelegenen anderen Unterzentren. Wege innerhalb der Unterzentren – aus dem Wohngebiet in das Gewerbegebiet – werden vernachlässigt, da davon ausgegangen wird, dass diese derart kurze Strecken umfassen, dass hierfür kein Angebot des Linienbedarfsverkehrs in Anspruch genommen werden würde. Darüber hinaus wurden diese Wege durch den Einbezug des ÖV-Anteils in die Rechnung ohnehin herausgerechnet.

Die folgende Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse des Basisszenarios Arbeit_0:

Tabelle 2: Ergebnisse Arbeit_0

| | Arbeit_0 |
|--------------------------------|-----------------|
| Vorbuchungszeit (Min) Ø | 32,708 |
| Fußweg (km) Ø | 0,019 |
| Fahrzeit (Min) Ø | 25,097 |
| Personenkilometer | 1251,908 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 632,721 |
| Fahrzeugkilometer | 662,023 |
| Leerkilometer | 72,537 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8910 |
| Systemeffizienz | 0,9557 |

Diese Daten dienen im weiteren Verlauf der Simulationen der Einsatzform Arbeitsverkehr als Referenz. Ergänzend ist anzufügen, dass der relativ niedrige Wert der Systemeffizienz mit der geringen Nachfrage von 50 Fahrtwünschen pro Stunde zu erklären ist. Dieser Umstand wird auch durch die Tatsache bestätigt, dass die Systemeffizienz im Falle eines Vergleichsszenarios mit verdoppelter Nachfrage um vier Prozent steigt. Da es in dieser Arbeit jedoch nicht um die absolute Höhe dieses Wertes, sondern um dessen Veränderung unter Einfluss unterschiedlicher Faktoren geht, kann dieser Umstand vernachlässigt werden.

Einfügen von Haltestellen

Als erster Ansatz wird ein Vergleichsszenario mit hinzugefügten Haltestellen erstellt und simuliert. Der Unterschied zum Referenzszenario besteht darin, dass die Fahrzeuge die Reisenden nun nicht mehr an jeder Straßenkreuzung aufnehmen und absetzen können, sondern nur noch an diesen Haltestellen. Ansonsten bleiben alle Parameter unverändert. Um die Effekte auf die Ergebnisse möglichst deutlich zu machen, wird pro Ortschaft eine einzige Haltestelle in zentraler Lage auf Straßen mit Tempo 50 km/h in das Modell eingefügt. In der folgenden Tabelle 3 sind die Ergebnisse dieses Szenarios im Vergleich zum Basisszenario aufgeführt.

Tabelle 3: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_Haltestellen²⁴ (Quelle: Autor)

| | Arbeit_0 | Arbeit_Haltestellen | Veränderung (%) |
|--------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) Ø | 32,708 | 28,762 | - 12 |
| Fußweg (km) Ø | 0,019 | 0,516 | + 2588 |
| Fahrzeit (Min) Ø | 25,097 | 21,979 | - 12 |
| Personenkilometer | 1251,908 | 1251,287 | - 0 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 632,721 | 601,319 | - 5 |
| Fahrzeugkilometer | 662,023 | 640,348 | - 3 |
| Leerkilometer | 72,537 | 121,378 | + 67 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8910 | 1,9541 | + 3 |
| Systemeffizienz | 0,9557 | 0,9391 | - 2 |

Deutlich zu erkennen ist, dass durch das Hinzufügen von konkreten Haltestellen die durchschnittliche Länge der zurückgelegten Fußwege erheblich ansteigt. Dies ist damit zu erklären, dass die Wege zu den Haltestellen deutlich länger sind als die Wege zu den jeweils nächsten Straßenkreuzungen, an denen die Fahrgäste zuvor aufgenommen werden konnten. Hinzu kommt der Fußweg, der nach der Fahrt vom Fahrgast zurückgelegt werden muss, um von der Haltestelle zu seinem eigentlichen Ziel zu gelangen. Hier könnte auch die Position der Haltestellen eine Rolle spielen. In dem vorliegenden Szenario befinden sich diese in zentraler Lage im Ort. Würden sie jedoch innerhalb der Gewerbegebiete liegen, welche in diesem Fall als Ziele festgelegt sind, könnte sich dies gerade auf den an die Fahrt anschließenden Fußweg von der Haltestelle zum endgültigen Ziel auswirken.

Im Hinblick auf die in vorangegangenen Untersuchungen aufgestellte These, dass das Durchfahren von Tempo-30-Zonen die Fahrzeiten erhöht (s. Punkt 5.2.9) kann gesagt werden, dass dies in der durchgeführten Simulation zutrifft. Da sich die Haltestellen ausschließlich auf Straßen mit einer zugelassenen Geschwindigkeit von 50 km/h befinden, kann dieser Aspekt klar herausgearbeitet werden. Die Fahrzeiten verringern sich im Vergleich zum Referenzszenario um zwölf Prozent. Die Fahrzeugkilometer verringern sich um drei Prozent.

Auch bezüglich der Effizienzen ergeben sich signifikante Unterschiede. Während sich die Werte der erbrachten Personenkilometer in beiden Szenarien kaum unterscheiden, sinken die Fahrzeugkilometer im Szenario Arbeit_Haltestellen um 3%. Dies führt zu einer Steigerung der betrieblichen Effizienz um ebenfalls 3% (von ca. 1,89 auf ca. 1,95). Die Systemeffizienz hingegen sinkt unter der Anwendung der Haltestellen. Dies geht darauf zurück, dass die

²⁴ Die vollständigen Werte für Fußweg (km) lauten: 0,0192104 (Arbeit_0); 0,51636 (Arbeit_Haltestellen)

nachgefragten Personenkilometer um 5% sinken, während die Fahrzeugkilometer nur um 3% abnehmen. Somit nimmt der Zählerwert stärker ab als der Nennerwert, wodurch der Quotient abnimmt. So kann auch die Diskrepanz in der Entwicklung dieser beiden Werte erklärt werden, da im Falle der betrieblichen Effizienz der Zählerwert nahezu gleich bleibt und lediglich der Nennerwert abnimmt.

In beiden Szenarien kommen sieben der zehn eingesetzten Fahrzeuge zum Einsatz, weshalb sich keine Vor- oder Nachteile bezüglich des Fahrzeugeinsatzes feststellen lassen. Weitere nennenswerte Ergebnisse sind die Veränderung der Vorbuchungszeit (-12%) und die Veränderung der Leerkilometer. Letztere nehmen hierbei um 67% zu.

Zusammenfassend:

- Zunahme der Fußwege aufgrund größerer Distanz zu Haltestellen (von 19 auf 516 m)
- Abnahme der Fahrzeiten (-12%)
- Abnahme der Systemeffizienz (-2%)

Verteilung der Fahrzeuge im Netz

Als weiterer Untersuchungsgegenstand wird die Verteilung der Fahrzeuge im Netz betrachtet. Im Referenzszenario Arbeit_0 nehmen die Fahrzeuge ihren Betrieb allesamt von der gleichen Kante aus auf. Für das nun angesetzte Szenario werden die Fahrzeuge vorzugsweise in Ortschaften an den Außenrändern des Gebietes positioniert. Die Fahrgäste können, wie im Szenario Arbeit_0, an jeder Straßenkreuzung aufgenommen werden. Abbildung 23 zeigt die Ortschaften, auf welche die Fahrzeuge verteilt werden.

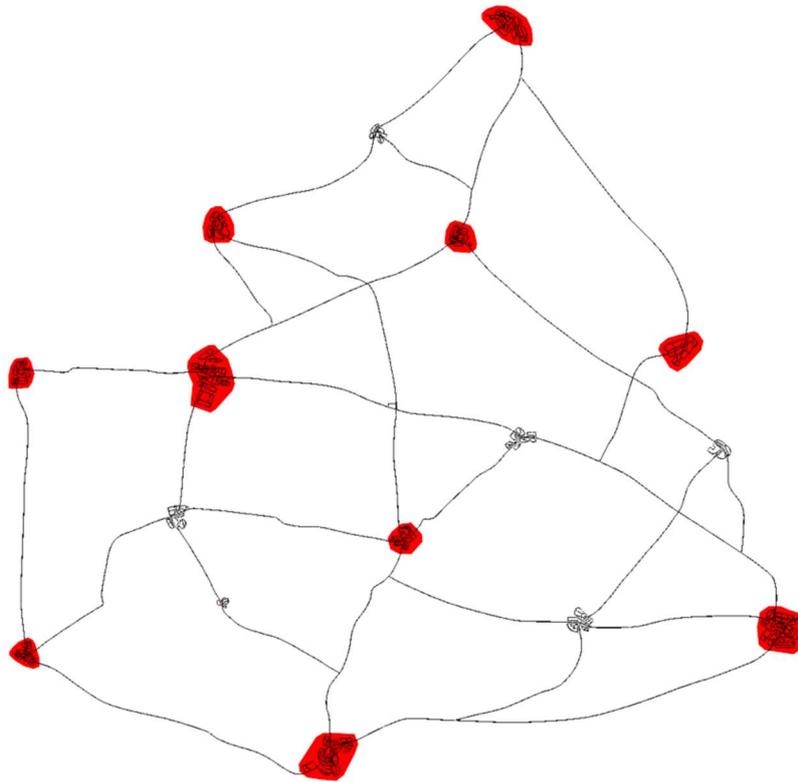


Abbildung 23: Ländliches Modell; Rot: Startorte der Fahrzeuge

Auch hier bleiben die übrigen Parameter der Referenzsimulation unverändert. Die folgende Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Simulation im Vergleich zur Ausgangssituation Arbeit_0.

Tabelle 4: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_Fhz-verteilt (Quelle: Autor)

| | Arbeit_0 | Arbeit_Fhz-verteilt | Veränderung (%) |
|-----------------------------------|----------|---------------------|-----------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 32,708 | 29,209 | - 11 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,019 | 0,032 | + 66 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 25,097 | 23,671 | - 6 |
| Personenkilometer | 1251,908 | 1190,948 | - 5 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 632,721 | 632,713 | - 0 |
| Fahrzeugkilometer | 662,023 | 624,379 | - 6 |
| Leerkilometer | 72,537 | 84,811 | + 17 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8910 | 1,9074 | + 1 |
| Systemeffizienz | 0,9557 | 1,0133 | + 6 |

Ein erwartbares Ergebnis zeigt sich in der Abnahme der Fahrzeugkilometer um 6%. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Fahrzeuge durch die bessere Verteilung im Netz weniger Strecke zurücklegen müssen, um ihre ersten Fahrgäste nach Betriebsbeginn zu erreichen. Ebenfalls damit einher geht die geringere Vorbuchungszeit. Diese ist gleichermaßen auf diese

geringere Distanz zurückzuführen, welche in kürzerer Zeit zurückzulegen ist. Somit ist auch dieses Ergebnis plausibel.

Auffällig erscheint jedoch der immense Anstieg der Leerkilometer. Mit zwölf Kilometern kann hier nicht mehr von einem Zufall ausgegangen werden. Um den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit nicht zu überreizen, kann eine nähere Untersuchung dieses Umstandes nicht mehr durchgeführt werden.

Auch der Anstieg der Fußwege fällt mit 66% relativ hoch aus. Dies macht in diesem Fall jedoch nur eine Steigerung von 19 auf etwa 32 Meter aus, was vor dem Hintergrund von 50 angetretenen Wegen vernachlässigt werden kann.

Eine positive Entwicklung zeigen zudem die Effizienzen. Da die Personenkilometer um fünf Prozent und die Fahrzeugkilometer um sechs Prozent fallen, kann für die betriebliche Effizienz ein Anstieg von einem Prozent verzeichnet werden (von ca. 1,89 auf ca. 1,91). Deutlicher wird diese Veränderung bei der Systemeffizienz. Im Gegensatz zur betrieblichen Effizienz, bei der beide für die Berechnung relevante Werte ähnlich stark sinken, bleiben die nachgefragten Personenkilometer nahezu gleich. Wie bereits erwähnt sinken jedoch die Fahrzeugkilometer mit sechs Prozent relativ deutlich. Durch diese sich stark ungleich verändernde Berechnungskomponenten ergibt sich hier eine Verbesserung von sechs Prozent (von ca. 0,956 auf 1,013).

Auch hier kommen in beiden Szenarien sieben von zehn eingesetzten Fahrzeugen zum Einsatz.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die Verteilung der Fahrzeuge nur dann die von den Fahrzeugen zurückgelegte Strecke verkürzt, wenn die ersten Fahrten in der Nähe der neuen Standorte starten. Sollten die Fahrzeuge zu Fahrgästen gerufen werden, welche dennoch weit von ihrer neuen Position entfernt sind, relativiert sich dieser Effekt. Dieser Umstand könnte ggf. auch als Erklärung für die stark gestiegenen Leerkilometer dienen. Des Weiteren spielt hier – wie schon unter Punkt 5.2.2 erwähnt – der Betriebszeitraum eine erhebliche Rolle. Über den simulierten Zeitraum von einer Stunde lässt sich der Effekt gut erkennen. Setzt man jedoch einen ganzen Betriebstag an, würde eine anfängliche Verteilung der Fahrzeuge im Netz vermutlich kaum ins Gewicht fallen und wahrscheinlich durch negative Aspekte wie höhere Aufwände in der Koordination dominiert werden.

Zusammenfassend:

- Abnahme der Fahrzeugkilometer (-6%)
- Zunahme der Leerkilometer (17%)
- Zunahme der Systemeffizienz (+6%)

Räumlich-Geometrische Ausdehnung des Bedienegebietes

Als zusätzlicher Aspekt wird der unter Punkt 5.2.10 erläuterte Umstand der räumlich-geometrischen Ausdehnung des Bedienegebietes untersucht. Besonders das ländliche Modell bietet sich hierfür an. Die grundsätzlich kreisförmige Struktur des Verkehrsnetzes kann durch das gezielte Sperren von zwei Straßen zu einem schlauchartigen Gefüge umfunktioniert werden. Abbildung 24 zeigt die gesperrten Straßen sowie die so zustande gekommene Verkehrswegestruktur.

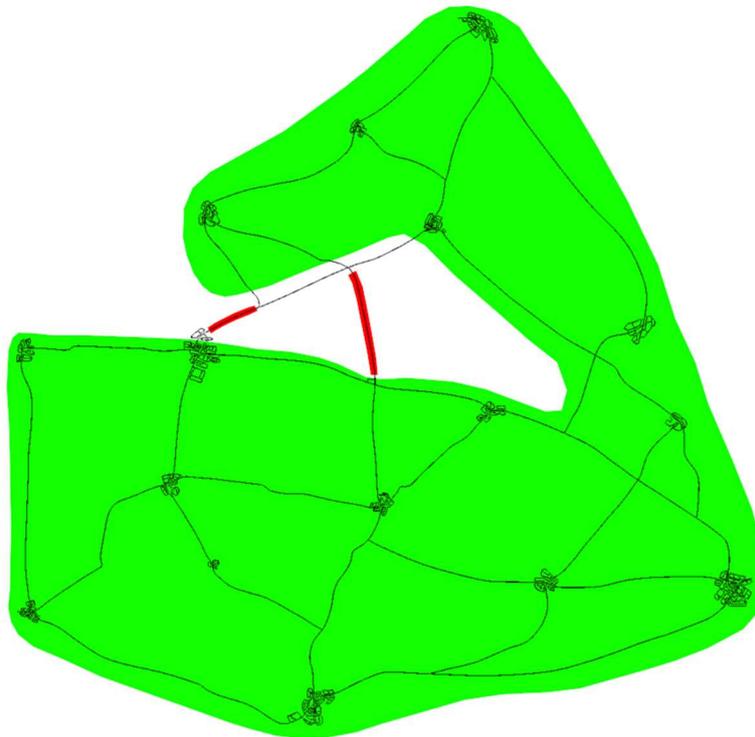


Abbildung 24: Schlauchartiges Bedienegebiet; Rot: Straßensperrungen, Grün: Verlauf der nutzbaren Straßen

Im Anschluss an diese Anpassungen kann das Szenario simuliert und mit dem Referenzszenario verglichen werden. Hierfür bleiben alle übrigen Parameter der Ausgangssituation Arbeit_0 unverändert. Folgende Ergebnisse können erhoben werden:

Tabelle 5: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_Schlauch (Quelle: Autor)

| | Arbeit_0 | Arbeit_Schlauch | Veränderung (%) |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 32,708 | 35,195 | + 8 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,019 | 0,021 | + 11 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 25,097 | 33,179 | + 32 |
| Personenkilometer | 1251,908 | 1675,260 | + 34 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 632,721 | 766,279 | + 21 |
| Fahrzeugkilometer | 662,023 | 814,300 | + 23 |
| Leerkilometer | 72,537 | 159,387 | + 120 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8910 | 2,0573 | + 9 |
| Systemeffizienz | 0,9557 | 0,9410 | - 2 |

Der Effekt der Umgestaltung des Netzes zeigt sich deutlich. Nahezu alle aufgeführten Kennwerte steigen sichtlich an. Unverkennbar schlägt sich diese Änderung auf die distanzbezogenen Werte nieder. Durch das Sperren der Straßen werden erhebliche Umwege für die Fahrzeuge unvermeidbar. Dies zeigt sich nicht zuletzt in der Steigerung der Fahrzeugkilometer (+23%). Da sich nun auch die mit Fahrgästen zurückgelegten Distanzen erhöhen, steigen auch die erbrachten Personenkilometer um 34%. Durch die längeren Wege, welche nun im Netz zurückzulegen sind, erklärt sich auch der Anstieg der nachgefragten Personenkilometer um 21%. Den stärksten Zuwachs verzeichnen jedoch die Leerkilometer. Mit 120% haben sich diese mehr als verdoppelt. Diese Entwicklung fußt ebenfalls auf den erheblichen Umwegen, welche die Fahrzeuge nicht nur zu Betriebsbeginn, sondern auch zu neuen Fahrgästen zurücklegen müssen.

Diese Entwicklungen haben sichtliche Einflüsse auf die Effizienzen. Dadurch, dass sich im Falle der betrieblichen Effizienz der Zählerwert (Personenkilometer) stärker erhöht als der Nennerwert (Fahrzeugkilometer), ist hier eine Steigerung zu verzeichnen. Da sich diese Steigerungen um elf Prozent voneinander unterscheiden, fällt der Anstieg der betrieblichen Effizienz mit neun Prozent recht stark aus. Bezüglich der Systemeffizienz zeichnet sich jedoch ein anderes Bild. Da die nachgefragten Personenkilometer, welche hier im Zähler stehen, weniger stark steigen als die Fahrzeugkilometer, zeigt sich eine Abnahme dieses Kennwertes. Die vergleichsweise geringe Abweichung dieser Anstiege (21% zu 23%) bewirken ein

geringeres Abfallen der Systemeffizienz um lediglich zwei Prozent – im Vergleich zu den neun Prozent der betrieblichen Effizienz.

Auch die zeitbezogenen Kennzahlen werden durch die massiven Umwege deutlich erhöht. Neben der Vorbuchungszeit (+8%) zeigt sich dies besonders in der signifikanten Steigerung der Fahrzeiten, welche um 32% ansteigen.

Da der Anstieg der durchschnittlichen Fußwege um elf Prozent in absoluten Zahlen ein Mehr von ca. zwei Metern ausmacht, fällt dieser Umstand für die Betrachtung nicht ins Gewicht.

Ein nennenswerter Unterschied kommt beim Fahrzeugeinsatz auf. Während im Basisszenario Arbeit_0 sieben von zehn implementierten Fahrzeugen zum Einsatz kommen, sind es im Falle des schlauchartigen Bedienungsgebietes acht. Somit ergibt sich für den Betreiber ein weiterer Nachteil, da er in diesem Szenario ein Fahrzeug mehr anschaffen, betreiben und warten sowie einen weiteren Fahrer bezahlen müsste.

Die aus der vorangegangenen Untersuchung hervorgegangene Überlegung, dass ein schlauchförmiges Bedienegebiet dem Betrieb eines Linienbedarfsverkehres aufgrund besserer Fahrtenbündelungen zugutekommen könnte, kann in dieser Simulation nicht bestätigt werden. Die deutlich höheren Umwege haben einen stark negativen Einfluss auf nahezu alle betrachteten Kennzahlen.

Zusammenfassend

- Zunahme der Fahrzeugkilometer aufgrund großer Umwege (+23%)
- Zunahme der Fahrzeiten aufgrund großer Umwege (+32%)
- Abnahme der Systemeffizienz (-2%)
- Zunahme beim Fahrzeugeinsatz von sieben auf acht Fahrzeuge

Skalierung des Simulationsmodells

Im nächsten Schritt wird die These der gleichbleibenden Effizienzen in einheitlich vergrößerten bzw. verkleinerten Simulationsmodellen näher untersucht (s. Punkt 5.2.6). Hierfür wird das ländliche Modell mit dem Faktor 0,25 multipliziert. Somit ergibt sich eine Verkleinerung des

gesamten Netzes (der Kantenlängen) um 75%. Laut der aufgestellten These sollte dies im Vergleich zu dem Ausgangsszenario Arbeit_0 eine konstante Abnahme aller Werte um ebenfalls 75% zur Folge haben. Daraus sollten gleichbleibende Effizienzen resultieren.

Bis auf die Verkleinerung des Netzes bleiben alle Parameter des Ausgangsszenarios unverändert. Die folgende Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse im Vergleich zum Szenario Arbeit_0 auf.

Tabelle 6: Vergleich Arbeit_0 - Arbeit_verkleinert (Quelle: Autor)

| | Arbeit_0 | Arbeit_verkleinert | Veränderung (%) |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 32,708 | 10,772 | - 67 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,019 | 0,005 | - 74 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 25,097 | 8,757 | - 65 |
| Personenkilometer | 1251,908 | 315,466 | - 75 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 632,721 | 156,818 | - 75 |
| Fahrzeugkilometer | 662,023 | 207,419 | - 69 |
| Leerkilometer | 72,537 | 41,428 | - 43 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8910 | 1,5209 | - 20 |
| Systemeffizienz | 0,9557 | 0,7560 | - 21 |

Wie erwartet sinken die strecken- sowie zeitbezogenen Werte im Vergleich zum Referenzszenario, was mit den weitaus geringen Distanzen im Netz zu erklären ist. Die generellen sowie die nachgefragten Personenkilometer und die durchschnittlichen Fußwege zeigen zudem eine (nahezu) punktgenaue Verringerung um die erwarteten 75%. Die Fahrzeugkilometer hingegen sinken nur um 69%. Hier spielen auch die Leerkilometer eine Rolle, welche lediglich um 43% abnehmen.

Diese ungleich sinkenden distanzbezogenen Kennzahlen führen in ihrer Konsequenz zu einer Veränderung der Effizienzen (betriebliche Effizienz: -20%; Systemeffizienz -21%). Damit diese unverändert bleiben können, müssten die zuvor erwähnten Werte gleichmäßig abnehmen.

Dennoch erscheint die Theorie in ihrem Ansatz plausibel. Eine Erklärung für die Abweichungen könnte zum einen der Umstand bieten, dass SUMO bei der Verkleinerung des Netzes die Kantengeschwindigkeiten partiell heruntersetzen musste, um die kleineren Kurvenradien zu realisieren. Dies könnte sich eventuell auf die Vorbuchungs- und Fahrzeiten auswirken, welche statt der erwarteten 75% lediglich um 67% und 65% fallen. Geringere Geschwindigkeiten könnten die Fahrzeit verlängern und den zeitlichen Effekt des kleineren Netzes abschwächen.

Hinzu kommt, dass nur das Netz verkleinert wurde, nicht jedoch die Nachfrage. Hier werden nach wie vor 50 Fahrtwünsche pro Stunde angesetzt. Einen weiteren Erklärungsansatz könnte der Blick auf den Fahrzeugeinsatz liefern. Statt der sieben Fahrzeuge in Szenario Arbeit_0 kommen im Szenario Arbeit_verkleinert im Durchschnitt nur etwa fünf zum Einsatz. Dies könnte damit zusammenhängen, dass es dem Algorithmus aufgrund der geringeren Distanzen wahrscheinlich möglich ist, mehr Fahrten auf einem einzelnen Fahrzeug zu vereinen, ohne dabei den maximalen Umweg (DRF 10) zu überschreiten.

Auf der Suche nach den Gründen für diese andersartige Entwicklung der Kennzahlen eröffnet sich eine gänzlich neue Fragestellung, welche aufgrund des begrenzten zeitlichen Rahmens dieser Arbeit nicht näher untersucht wird. Dennoch bietet sie sich als Gegenstand weiterführender Untersuchungen an.

Zusammenfassend:

- Abnahme aller strecken- und zeitbezogenen Kennzahlen aufgrund geringerer Kantenlängen
- Veränderung der Effizienzen
- Abnahme beim Fahrzeugeinsatz von sieben auf durchschnittlich fünf Fahrzeuge

7.2.2 Schülerverkehr

Als nächste Einsatzform werden die unter Punkt 5.1.2 erläuterten Schülerverkehre näher betrachtet. Um hier eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Einsatzmodi zu schaffen, wird die Nachfragestruktur der bereits simulierten Arbeitsverkehre angenommen. Diese wird um den Umstand der zeitlich gestaffelten Fahrtwünsche ergänzt. Wie bereits unter Punkt 5.1.2 aufgeführt, wird angenommen, dass die Dörfer maximal Standorte von Grundschulen sind, während weiterführende Schulen vornehmlich in Unterzentren zu finden sind. Wie bereits im Falle der Arbeitsverkehre werden auch hier Wege innerhalb einer Ortschaft vernachlässigt. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Schüler- und Arbeitsverkehren nicht zu verzerren, dienen die Gewerbegebiete in diesem Beispiel als Schulstandorte.

Für eine realistische Staffe­lung der Fahrtwünsche wird damit begonnen, die ungefähren Wegstrecken der einzelnen Fahrtanfragen zu ermitteln. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse des Szenarios Arbeit_0 herangezogen. Mit Hilfe der zurückgelegten Fahrzeugkilometer sowie dem Wert der Zeit, welche die Fahrzeuge tatsächlich gefahren (in Bewegung) sind, wird nun die Durchschnittsgeschwindigkeit errechnet. Diese wird auf die zuvor ermittelten Distanzen der einzelnen Wege angewendet, um deren Dauer zu erhalten. Nun werden alle Fahrtwünsche auf die gleiche Ankunftszeit ausgerichtet. Für die Simulation wird die gleiche Spitzenstunde angesetzt wie im Falle des Arbeitsverkehr – 07:00 Uhr bis 08:00 Uhr morgens. Der Schulbeginn wird dabei auf acht Uhr angesetzt. Um dem Algorithmus einen gewissen zeitlichen Puffer zu gewähren, wird die geplante Ankunftszeit auf 07:40 Uhr vorverlegt. Dies entspricht Sekunde 2.400 der Simulation. Von diesem Wert werden nun die jeweiligen Fahrzeiten (in Sekunden) abgezogen, um auf die konkrete Startzeit zu kommen. Als Ergebnis erhält man somit eine von der Distanz des jeweiligen Weges abhängige Verschiebung der Buchungszeiten untereinander.

Bis auf die abgeänderten Buchungszeiten bleiben die Parameter des Szenarios Arbeit_0 erhalten. So wird auch für den Schülerverkehr ein Referenzszenario Schüler_0 geschaffen, welches darüber hinaus auch für einen späteren Vergleich dieser Einsatzformen geeignet ist. In der folgenden Tabelle 7 sind dessen Ergebnisse aufgeführt:

Tabelle 7: Ergebnisse Schüler_0

| | Schüler_0 |
|--------------------------------|------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) Ø | 22,318 |
| Fußweg (km) Ø | 0,021 |
| Fahrzeit (Min) Ø | 21,515 |
| Personenkilometer | 1069,221 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 634,190 |
| Fahrzeugkilometer | 574,045 |
| Leerkilometer | 109,541 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8626 |
| Systemeffizienz | 1,1048 |

Stellt man diese Ergebnisse nun denen des Szenarios Arbeit_0 gegenüber, so wird die Auswirkung, welche die zeitliche Staffe­lung der Fahrtwünsche auf die Kennwerte der Simulationen hat, deutlich:

Tabelle 8: Vergleich Arbeit_0 - Schüler_0 (Quelle: Autor)

| | Arbeit_0 | Schüler_0 | Veränderung (%) |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 32,708 | 22,318 | - 32 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,019 | 0,021 | + 11 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 25,097 | 21,515 | - 14 |
| Personenkilometer | 1251,908 | 1069,221 | - 15 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 632,721 | 634,190 | + 0 |
| Fahrzeugkilometer | 662,023 | 574,045 | - 13 |
| Leerkilometer | 72,537 | 109,541 | + 51 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8910 | 1,8626 | - 2 |
| Systemeffizienz | 0,9557 | 1,1048 | + 16 |

Der Vergleich zeigt einen recht deutlichen Effekt der gestaffelten Buchungen. Durch die Ausrichtung der Fahrtbuchungen auf ein bestimmtes Ziel unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrzeiten dorthin wird dem einzelnen Fahrzeug eine ungefähre Route vorgezeichnet, welche einer effektiven Bündelung zuträglich ist. Die Bedienung ähnelt einem Richtungsbandbetrieb. Umfangreiche Umwege zwischen den Fahrgästen bleiben aus, da diese zumeist auf einem Weg liegen. Dies spiegelt sich sichtlich in den Fahrzeugkilometern wider, welche durch diesen Ansatz um 13% sinken. Während die nachgefragten Personenkilometer konstant bleiben, sinken die tatsächlich realisierten Personenkilometer um 15%. Lediglich die Leerkilometer steigen mit 51% erheblich an. Dies ist damit zu erklären, dass die Fahrzeuge nach wie vor von derselben Kante aus starten wie im Szenario Arbeit_0. Die Fahrtwünsche zielen auch hier wieder auf die jeweils am nächsten liegenden Unterzentren, jedoch treten die davon am weitesten entfernten Buchungen zuerst auf. Somit müssen die Fahrzeuge, welche selbst in einem Unterzentrum starten, zu Beginn der Simulation bereits weite Strecken zurücklegen, um zu ihren ersten Fahrgästen zu gelangen.

Die sinkenden Fahrleistungen bewirken zudem eine signifikante Veränderung der Effizienzen. Da die erbrachten Personenkilometer leicht stärker sinken als die Fahrzeugkilometer, sinkt auch die betriebliche Effizienz um zwei Prozent. Die konstant bleibenden nachgefragten Personenkilometer im Zusammenspiel mit den relativ stark sinkenden Fahrzeugkilometern bewirken jedoch eine nennenswerte Steigerung der Systemeffizienz von 16%.

Auch die zeitlichen Komponenten verringern sich durch die Staffelung der Fahrtwünsche. Besonders deutlich wird das im Falle der Vorbuchungszeit. Diese nimmt um 32% ab. Dies ist ebenfalls damit zu erklären, dass die Fahrtwünsche nun mehr oder weniger auf einer Route

liegen. Die Fahrzeuge erreichen die Fahrgäste also wesentlich schneller als im Szenario Arbeit_0. Die Fahrzeiten verringern sich ebenfalls. Hier beträgt die Abnahme 14%. Diese Entwicklung geht auf bessere Bündelungsmöglichkeiten durch den zeitlichen Versatz der Fahrtwünsche zurück, durch welche keine umfangreichen Umwege gefahren werden müssen.

Beim Fahrzeugeinsatz kommt es jedoch im Vergleich zum Szenario Arbeit_0 zu einer Steigerung. Statt sieben Fahrzeugen kommen nun im Durchschnitt alle zehn implementierten Fahrzeuge zum Einsatz. Diesbezüglich kommt es für den Betreiber zu einem Nachteil.

Erneut können die geringfügig steigenden Fußwege vernachlässigt werden.

Abschließend kann hier hinzugefügt werden, dass der Umstand der zeitlichen Staffelung der Fahrtbuchungen eine Situation schafft, welche einem klassischen Linienverkehr nahekommt. Eine genaue Betrachtung der Vor- und Nachteile dieser konventionellen Verkehrsart im Vergleich zum hier untersuchten Linienbedarfsverkehr wird dieser Arbeit nicht mehr angefügt, könnte jedoch durchaus Gegenstand künftiger Untersuchungen werden.

Zusammenfassend

- Abnahme der Vorbuchungszeit (-32%)
- Abnahme der Fahrzeugkilometer (-13%)
- Zunahme der Systemeffizienz (+16%)
- Zunahme beim Fahrzeugeinsatz von sieben auf durchschnittlich zehn Fahrzeuge

Verteilung der Fahrzeuge im Netz

Im nächsten Schritt wird auch hier eine Verteilung der Fahrzeuge im Netz vorgenommen. Dabei werden die einzelnen Fahrzeuge an denselben Orten positioniert, wie dies im Szenario Arbeit_Fhz-verteilt der Fall ist. Ansonsten bleiben die Parameter der Simulation unverändert. In der folgenden Tabelle 9 sind die entsprechenden Ergebnisse im Vergleich zum Szenario Schüler_0 aufgezeigt.

Tabelle 9: Vergleich Schüler_0 - Schüler_Fhz-verteilt (Quelle: Autor)

| | Schüler_0 | Schüler_Fhz-verteilt | Veränderung (%) |
|-----------------------------------|-----------|----------------------|-----------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 22,318 | 19,651 | - 12 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,021 | 0,026 | + 23 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 21,515 | 20,435 | - 5 |
| Personenkilometer | 1069,221 | 997,102 | - 7 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 634,190 | 634,190 | + 0 |
| Fahrzeugkilometer | 574,045 | 511,052 | - 11 |
| Leerkilometer | 109,541 | 75,171 | - 31 |
| Betriebliche Effizienz | 1,8626 | 1,9511 | + 5 |
| Systemeffizienz | 1,1048 | 1,2409 | + 12 |

Auch hier zeigt sich der gleiche Effekt wie zuvor im Szenario Arbeit_Fhz-verteilt. Besonders die Leerkilometer nehmen erheblich ab (-31%), was mit den kürzeren Wegen zu Beginn des Betriebes zu erklären ist. Hieraus ergibt sich auch das Absinken der Vorbuchungszeit um zwölf Prozent. Ein weiterer positiver Effekt dieser Fahrzeugverteilung ist das Absinken der Fahrzeugkilometer um elf Prozent. Die erbrachten Personenkilometer sinken um sieben Prozent, während die nachgefragten Personenkilometer erneut konstant bleiben. Diese Entwicklung der erbrachten Personenkilometer könnte dadurch zustande kommen, dass im Szenario Schüler_0 die Fahrzeuge aufgrund der langen Fahrzeit zu ihren ersten Zielen bereits Reisende aufnehmen, welche ihre Fahrt erst zu einem späteren Zeitpunkt buchen, jedoch immer noch früher als die Fahrzeuge ihren Wohnort passieren. Somit könnten sie bereits aufgenommen und ein Stück in die falsche Richtung mitfahren. Dies würde auch die höhere Fahrzeit in diesem Ausgangsszenario erklären.

Auch die Effizienzen verändern sich. Während die betriebliche Effizienz um fünf Prozent steigt, kann die Systemeffizienz hier einen Anstieg von zwölf Prozent verzeichnen. Die Diskrepanz ergibt sich wieder aus den unterschiedlich stark fallenden Kilometerwerten. Es wird deutlich, dass hier die geringeren Fahrzeugkilometer einen erheblichen Einfluss auf die Effizienzen haben.

Hier muss erneut hinzugefügt werden, dass diese Effekte unter Annahme eines längeren Betriebszeitraumes weniger stark ausgeprägt wären. Da jedoch der Schülerverkehr aufgrund von größtenteils einheitlichen Unterrichtszeiten relativ punktuell zu ungefähr bestimmbaren Zeiten aufkommt, könnte eine Vorverteilung der Fahrzeuge – gerade bei entsprechender Kenntnis der Verkehrsströme – dennoch einen signifikanten Effekt auf die Effizienzen nehmen.

Dies bestätigt auch der Fahrzeugeinsatz. Statt der zuvor eingesetzten zehn Fahrzeuge waren es nun nur noch neun.

Zusammenfassend

- Abnahme der Leerkilometer (-31%)
- Abnahme der Fahrzeugkilometer generell (-11%)
- Zunahme der Systemeffizienz (+12%)
- Abnahme beim Fahrzeugeinsatz von zehn auf neun Fahrzeuge

7.2.3 Freizeitverkehr

Als nächstes wird sich genauer mit der Einsatzform der Freizeitverkehre befasst. Hierfür wird eine gesonderte Nachfragestruktur entwickelt. Erneut werden die Daten der MiD 2017 herangezogen. Wie bereits unter Punkt 7.2.1 wird auch im Falle der Freizeitverkehre eine realistische Verkehrsnachfrage berechnet. Für diesen Wegezweck gibt die MiD-Studie einen Wert von 29% an [73]²⁵. Als Simulationszeitraum wird eine der Spitzenstunde im unter Punkt 5.1.3 erwähnten Schwerpunktzeitraum zwischen 16 und 19 Uhr angesetzt. Erneut kann sich hierfür an der Tagesganglinie von SUMO orientiert werden (TGw2_PKW). Diese gibt für den entsprechenden Zeitraum Werte zwischen 6,7 und 8,6 Prozent an [83]. Erneut wird ein Wert von acht Prozent festgelegt. Die folgende Tabelle 10 zeigt die Berechnungen der Fahrtwünsche pro Ortschaft:

Tabelle 10: Berechnung Fahrtwünsche (Ländlich - Freizeit)

| | Kleines Dorf | Dorf | Unterzentrum |
|-----------------------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Einwohner | 300 | 1.000 | 4.000 |
| Wege pro Tag und Person | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| Anteil Freizeit | 0,29 | 0,29 | 0,29 |
| ÖV-Anteil | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Anteil aus Tagesganglinie | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| Fahrtwünsche pro Ort | 1,0788 | 3,596 | 14,384 |

Auf Grundlage dieser Berechnungen kann schließlich für ein kleines Dorf ein Fahrtwunsch, für die übrigen Dörfer vier Fahrtwünsche und für die Unterzentren 14 Fahrtwünsche

²⁵ Vgl. S. 1 (Tabelle A W1 Hauptwegezweck)

angenommen werden. Hochgerechnet auf die Gesamtzahl der Ortschaften innerhalb des Netzes fallen somit in der simulierten Stunde 98 Fahrtwünsche an. Anschließend kann konkretisiert werden, welche Ziele welche Anziehungskraft ausüben. Dabei wird angenommen, dass die Sportzentren und die Einkaufszentren der Unterzentren insgesamt jeweils 20% der Gesamtnachfrage auf sich ziehen. Somit ergeben sich fünf Fahrten pro Sport- und Einkaufszentrum. Die restlichen 60% der Verkehrsnachfrage (59 Fahrten) finden zwischen den einzelnen Orten statt.

Somit ergibt sich eine realistische Nachfragestruktur, welche auf das Modell angewendet werden kann. In der Folge wird das Referenzszenario Freizeit_0 simuliert. Um den Rechenaufwand zu verringern, werden hier nicht mehr zehn, sondern 30 Fahrzeuge in das Modell integriert. Die folgende Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Simulation:

Tabelle 11: Ergebnisse Freizeit_0

| | Freizeit_0 |
|-----------------------------------|-------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 26,422 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,020 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 27,161 |
| Personenkilometer | 2628,183 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 1211,601 |
| Fahrzeugkilometer | 1146,359 |
| Leerkilometer | 132,247 |
| Betriebliche Effizienz | 2,2926 |
| Systemeffizienz | 1,0569 |

Räumlich-Geometrische Ausdehnung des Bedienegebietes

Gerade die Einsatzform des Freizeitverkehrs ist für die Untersuchung der räumlich-geometrischen Ausdehnung des Bedienegebietes interessant. Während in den Arbeitsverkehrsszenarien lediglich einige wenige Ziele gesetzt sind, treten hier vielseitige Quelle-Ziel-Beziehungen auf. Aus diesem Grund wird ein Vergleichsszenario mit einem schlauchartigen Netz – wie bereits unter Punkt 7.2.1 erklärt – simuliert. Alle übrigen Parameter bleiben unverändert. In der nachfolgenden Tabelle 12 sind die Ergebnisse im Vergleich mit den Werten des Szenarios Freizeit_0 aufgeführt:

Tabelle 12: Vergleich Freizeit_0 - Freizeit_Schlauch (Quelle: Autor)

| | Freizeit_0 | Freizeit_Schlauch | Veränderung (%) |
|-----------------------------------|------------|-------------------|-----------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 26,422 | 32,045 | + 21 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,020 | 0,020 | - 2 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 27,161 | 33,142 | + 22 |
| Personenkilometer | 2628,183 | 3415,467 | + 30 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 1211,601 | 1424,902 | + 18 |
| Fahrzeugkilometer | 1146,359 | 1485,665 | + 30 |
| Leerkilometer | 132,247 | 247,669 | + 87 |
| Betriebliche Effizienz | 2,2926 | 2,2989 | + 0 |
| Systemeffizienz | 1,0569 | 0,9591 | - 9 |

Erneut zeigen sich deutliche Effekte. Auch in diesem Szenario sind die massiven Umwege in den Ergebnissen gut zu erkennen. So steigen alle streckenbezogenen Kennwerte stark an. Die Fahrzeugkilometer steigen hierbei um 30%. Gerade die Leerkilometer steigen sprunghaft um 87%. Des Weiteren ist ein starker Anstieg der Personenkilometer zu verzeichnen (30%). Aufgrund der unvermeidbaren Umwege vergrößert sich auch der Wert der nachgefragten Personenkilometer um 18%.

Gut erkennbar ist, dass die betriebliche Effizienz in beiden Fällen gleich ist. Dies ist damit zu erklären, dass sowohl die erbrachten Personenkilometer als auch die Fahrzeugkilometer um denselben Wert anwachsen. Der Quotient aus beiden bleibt damit gleich. Da die nachgefragten Personenkilometer jedoch deutlich weniger stark ansteigen, fällt die Systemeffizienz um neun Prozent.

Auch die zeitlichen Aspekte verschlechtern sich. So steigt die Vorbuchungszeit aufgrund der längeren Wege, welche die Fahrzeuge zu den Fahrgästen zurücklegen müssen, um 21% an. Auch die Fahrzeiten generell verlängern sich aufgrund großer Umwege um 22%.

Im Hinblick auf den Fahrzeugeinsatz zeigt sich, dass im Szenario Freizeit_0 zwölf Fahrzeuge genutzt werden. Für das Szenario Freizeit_Schlauch kommen hingegen durchschnittlich 13 Fahrzeuge zum Einsatz. Dies könnte ebenfalls mit den längeren Umwegen zu erklären sein, durch welche der gesetzte DRF nicht mehr wie im vorigen Szenario eingehalten werden kann.

Auch in diesem Fall kann die These der vorangegangenen Untersuchung, welche von einer besseren Fahrtenbündelung aufgrund einer schlauchartigen Form des Bediengebietes ausgeht, nicht bestätigt werden. Mehr noch als im Szenario Arbeit_Schlauch nimmt die

Systemeffizienz durch die Umformung zum schlauchartigen Netz ab. Dieser stärkere Effekt könnte jedoch auch mit der größeren Nachfrage zusammenhängen, welche im Vergleich zu dem Arbeits-Szenario fast verdoppelt wurde.

Zusammenfassend

- Zunahme der Fahrzeit aufgrund großer Umwege (+22%)
- Zunahme der Fahrzeugkilometer aufgrund großer Umwege (+30%)
- Abnahme der Systemeffizienz (-9%)
- Zunahme beim Fahrzeugeinsatz von zwölf auf durchschnittlich 13 Fahrzeuge

7.2.4 Zu- und Abbringerverkehr

Als vierte Einsatzform wird nun der Zu- und Abbringerverkehr näher betrachtet. Erneut wird zwecks besserer Vergleichbarkeit die gleiche Nachfragestruktur angesetzt wie beim Arbeitsverkehr (50 Buchungen über eine Stunde). Der Unterschied besteht jedoch darin, dass hier nicht die Gewerbegebiete als Ziele ausgewiesen sind, sondern lediglich ein Bahnhof. Somit läuft die gesamte Nachfrage auf ein einheitliches Ziel zu, woraus ein klarer Sektorenverkehr resultiert. Interessant erscheint hierbei vor allem die Fragestellung, inwieweit sich die Position dieses Bahnhofes auf die Kennzahlen der Simulationen auswirkt. Zu diesem Zweck wird für das erste Szenario angenommen, dass der Bahnhof an dem dafür vorgesehenen zentral im Netz gelegenen Punkt positioniert ist. Das zweite Szenario wird unter der Annahme durchgeführt, dass sich der Bahnhof in dem westlich gelegenen Dorf befindet. Abbildung 25 zeigt die genaue Position der Bahnhöfe für die unterschiedlichen Szenarien.

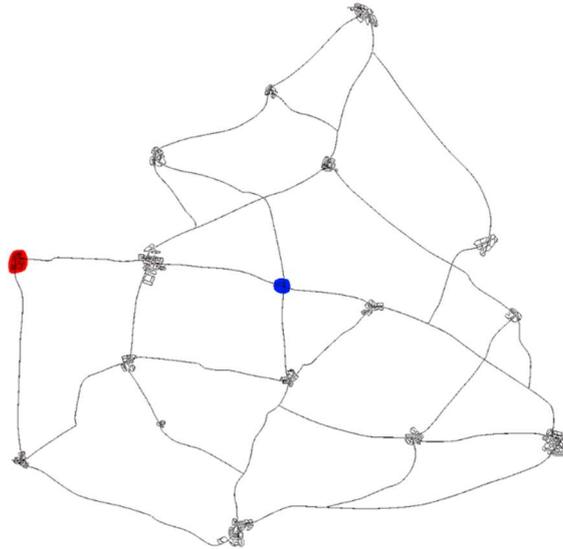


Abbildung 25: Position der Bahnhöfe; Blau: Zentral, Rot: Westlich

Die folgende Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse beider Szenarien im Vergleich:

Tabelle 13: Vergleich Bhf_Zentral - Bhf_Westen (Quelle: Autor)

| | Bhf_Zentral | Bhf_Westen | Veränderung (%) |
|-----------------------------------|-------------|------------|-----------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 26,867 | 27,600 | + 3 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,023 | 0,011 | - 53 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 24,925 | 29,653 | + 19 |
| Personenkilometer | 1231,171 | 1483,082 | + 20 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 504,411 | 747,378 | + 48 |
| Fahrzeugkilometer | 498,834 | 549,022 | + 10 |
| Leerkilometer | 105,963 | 104,486 | - 1 |
| Betriebliche Effizienz | 2,4681 | 2,7013 | + 9 |
| Systemeffizienz | 1,0112 | 1,3613 | + 35 |

Tatsächlich zeigt der Vergleich beider Szenarien deutliche Unterschiede auf. Der Bahnhof liegt im zweiten Szenario am westlichen Rand des Bedienegebietes. Dies führt im Vergleich zum ersten Szenario, in dem der Bahnhof zentral im Netz positioniert ist, zu einer signifikanten Verlängerung sämtlicher Wege. Die Fahrzeugkilometer nehmen insgesamt um zehn Prozent zu. Auch die nachgefragten Personenkilometer nehmen aufgrund der Verlegung des Bahnhofes Richtung Westen mit einer Steigerung von 48% deutlich zu, während sich die tatsächlich erbrachten Personenkilometer jedoch nur um 20% steigern. Die Veränderung der Leerkilometer kann mit einem Prozent vernachlässigt werden.

Die erhebliche Steigerung der Personenkilometer bewirkt zusammen mit dem weniger starken Anstieg der Fahrzeugkilometer eine immense Erhöhung der Systemeffizienz um 35%. Auch die betriebliche Effizienz steigt. Aufgrund des geringeren Unterschiedes der Steigerungen der erbrachten Personenkilometer und der Fahrzeugkilometer fällt dieser Anstieg mit neun Prozent im Vergleich zur Systemeffizienz gering aus.

Die längeren Wege zum dezentraleren Bahnhof schlagen sich auch in den zeitlichen Komponenten nieder. Die Vorbuchungszeit steigt im Durchschnitt um drei Prozent, während es bei der Fahrzeit eine Steigerung um 19% ist.

Interessant ist hier besonders die Betrachtung der Veränderung der nachgefragten Personenkilometer im Vergleich mit jener der tatsächlich erbrachten Personenkilometer. Zwar steigen erstere aufgrund des verlegten Zieles deutlich an. Die daraufhin erbrachten Personenkilometer verzeichnen jedoch einen geringeren Zuwachs. Dies deutet darauf hin, dass im Falle des westlichen Bahnhofes besser gebündelt werden konnte. Der zentrale Bahnhof scheint eine Nachfragestruktur zu erzeugen, welche aus allen Richtungen kommend auf den Mittelpunkt des Netzes ausgerichtet ist. Somit ergeben sich Fahrten aus nahezu allen Himmelsrichtungen. Wird der Bahnhof jedoch an den Rand des Netzes verlegt, so zentriert sich die Nachfrage in ihren Richtungen. Nahezu alle Fahrten sind nach Westen ausgerichtet. Dies ermöglicht eine spürbar bessere Fahrtenbündelung.

Die Verlegung des Bahnhofes wirkt sich auch auf den Fahrzeugeinsatz aus. Während im Falle des zentral gelegenen Bahnhofes sechs Fahrzeuge ausreichen, benötigt das Vergleichsszenario mit dem Bahnhof im Westen sieben.

Zusammenfassend

- Zunahme der Fahrzeit aufgrund von dezentralem Ziel (+19%)
- Zunahme der Fahrzeugkilometer aufgrund von dezentralem Ziel (+10%)
- Zunahme der Systemeffizienz (+35%)
- Zunahme beim Fahrzeugeinsatz von sechs auf sieben Fahrzeuge

7.3 Städtischer Raum

Wie bereits unter Punkt 5.3 erwähnt, erscheint der Vergleich zwischen ländlichen und städtischen Strukturen für eine stichhaltige Analyse der Wirkungsgrade von Linienbedarfsverkehren essentiell. Aus diesem Grund werden die Untersuchungen auf das städtische Modell ausgeweitet. Hierfür wurde ursprünglich eine Einwohnerzahl von 100.000 Menschen als realistisch eingestuft. In den weiterführenden Berechnungen der Nachfragestruktur führte diese jedoch im Falle der Arbeitsverkehre zu einer Zahl von 414 Fahrtwünschen pro Stunde. Bezüglich des Freizeitverkehrs belief sich dieser Wert auf 863. Diese Nachfragestrukturen waren vom drtOnline-Algorithmus in adäquater Zeit nicht zu verarbeiten. Deshalb liegt der Fokus dieser Arbeit weniger auf dem städtischen Modell. Um dennoch ausgewählte Einsatzformen im urbanen Raum näher untersuchen zu können, wird einheitlich eine fiktive Nachfrage von 50 Fahrtbuchungen pro Stunde angenommen.

In den Simulationsszenarien des städtischen Raums sind jeweils 20 bzw. 30 Fahrzeuge implementiert (s. Punkt 7.3.1 bzw. Punkt 7.3.2), welche – solange nicht anders beschrieben – ihre Fahrgäste an jeder Kreuzung aufnehmen und absetzen können. Alle Fahrzeuge starten in allen Szenarien von derselben Kante im Zentrum der Stadt aus.

7.3.1 Nachtbus

Als erstes Szenario wird eine Unterart des Freizeitverkehrs angesetzt. Gerade der Blick in das Best-Practise-Beispiel MyBUS in Duisburg zeigt eine klare Angebotsausrichtung auf die nächtlichen Freizeitverkehre. Für diese Einsatzart wird angenommen, dass sämtliche Fahrtwünsche von dem Zentrumsbereich der Stadt ausgehen. Hier werden fiktiv die Nachtclubs der Stadt angesetzt. Bereits in der vorangegangenen Untersuchung wurde festgestellt, dass es durchaus wichtig ist, manuell sicherzustellen, dass die einzelnen Fahrten eine realistische Länge aufweisen [79]²⁶. Um diesem gerecht zu werden, werden Buchungen aus dem Zentrum in direkt daran angrenzende Wohngebiete vermieden. Die konkrete Anzahl der Fahrtbuchungen in die einzelnen Wohngebiete variiert jeweils zwischen vier und fünf.

²⁶ Vgl. S. 36

Nun wird das Basisszenario (S) Nachtbus_0 simuliert. Um die Nachfrage von 50 Buchungen pro Stunde ohne Fahrtenablehnungen aufnehmen zu können, müssen 30 Fahrzeuge angesetzt werden. Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse des Referenzszenarios (S) Nachtbus_0:

Tabelle 14: Ergebnisse (S) Nachtbus_0

| | (S) Nachtbus_0 |
|-----------------------------------|----------------|
| Vorbuchungszeit (Min) \emptyset | 9,629 |
| Fußweg (km) \emptyset | 0,036 |
| Fahrzeit (Min) \emptyset | 24,869 |
| Personenkilometer | 470,386 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 144,299 |
| Fahrzeugkilometer | 152,790 |
| Leerkilometer | 15,074 |
| Betriebliche Effizienz | 3,0786 |
| Systemeffizienz | 0,9444 |

Einfügen von Haltestellen

Zunächst wird der Aspekt der Haltestellen näher betrachtet. Dies scheint gerade im städtischen Umfeld besonders interessant, da die Wohnviertel hier deutlich größer sind, als die Wohngegenden im ländlichen Modell. Somit sind auch die Tempo-30-Zonen größer. Im Folgenden wird nun ein Vergleichsszenario gestaltet, in dem pro funktionaler Einheit (Wohnviertel, Gewerbegebiet etc.) jeweils eine Haltestelle an einer Hauptstraße mit Tempo 50 km/h eingefügt wird. Die Fahrzeuge können ihre Fahrgäste ausschließlich an diesen Punkten aufnehmen und absetzen. Alle übrigen Parameter bleiben im Vergleich zum Referenzszenario (S) Nachtbus_0 unverändert.

Die folgende Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse dieser Simulation im Vergleich zu den Ergebnissen des Szenarios (S) Nachtbus_0:

Tabelle 15: Vergleich (S) Nachtbus_0 - (S) Nachtbus_Haltestellen²⁷ (Quelle: Autor)

| | (S) Nachtbus_0 | (S) Nachtbus_Haltestellen | Veränderung (%) |
|--------------------------------|----------------|---------------------------|-----------------|
| Vorbuchungszeit (Min) Ø | 9,629 | 9,604 | - 0 |
| Fußweg (km) Ø | 0,036 | 0,395 | + 995 |
| Fahrzeit (Min) Ø | 24,869 | 19,060 | - 23 |
| Personenkilometer | 470,386 | 349,605 | - 26 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 144,299 | 116,289 | - 19 |
| Fahrzeugkilometer | 152,790 | 130,617 | - 15 |
| Leerkilometer | 15,074 | 14,258 | - 5 |
| Betriebliche Effizienz | 3,0786 | 2,6766 | - 13 |
| Systemeffizienz | 0,9444 | 0,8903 | - 6 |

Der Vergleich zeigt einen deutlichen Einfluss der Haltestellen. Alle streckenbezogenen Kennzahlen verzeichnen im zweiten Szenario durch die zentraler gelegenen Haltestellen einen nennenswerten Rückgang. Vor allem die erbrachten Personenkilometer stechen hierbei mit - 26% hervor. Die generellen Fahrzeugkilometer verringern sich um 15%. Auch die Leerkilometer verringern sich um fünf Prozent. Da die Fahrten nun nicht mehr kurz vor den Haustüren der Reisenden beginnen, sondern erst ab den Haltestellen starten, verringern sich auch die nachgefragten Personenkilometer um 19%. Da sich die Verhältnisse der Kilometerleistungen durch die Verschiebungen verändern, sinkt die betriebliche Effizienz um 13%, die Systemeffizienz um sechs Prozent.

Gut erkennbar ist zudem der zeitliche Einfluss der Haltestellen. Zwar bleiben die Vorbuchungszeiten im Durchschnitt konstant. Die generellen Fahrzeiten nehmen jedoch mit einem Rückgang von 23% erheblich ab. Damit lässt sich die These der vorangegangenen Untersuchungen, dass die geringeren Geschwindigkeiten innerhalb der Wohngebiete die Fahrzeiten verlängern, erneut bestätigen.

Wie erwartet werden konnte, erhöhen sich nun jedoch die Fußwege. Dies liegt daran, dass die Wege zu den Haltestellen erheblich länger sind, als jene zur nächsten Straßenkreuzung.

Grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, dass das Hinzufügen von Haltestellen im Hinblick auf die Systemeffizienz keinen Mehrwert, sondern eine Verschlechterung mit sich bringt. Dadurch, dass die nachgefragten Personenkilometer durch die Begrenzung der möglichen

²⁷ Die vollständigen Werte für Fußweg (km) lauten: 0,0360603333333333 ((S) Nachtbus_0); 0,395005612595554 ((S) Nachtbus_Haltestellen)

Fahrten auf die Strecken zwischen den Haltestellen stärker abnehmen als die Fahrzeugkilometer, sinkt dieser Quotient aus beiden Werten.

Bezüglich des Fahrzeugeinsatzes tritt im Vergleich der Szenarien ein Unterschied auf. Das Basisszenario (S) Nachtbus_0 benötigt im Durchschnitt sechs Fahrzeuge. Durch Einsetzen der Haltestellen verringert sich diese Zahl auf fünf. Dies könnte erneut mit der Verringerung der Umwege zu erklären sein, welche es ermöglicht, weniger Fahrzeuge einzusetzen, ohne den DRF zu überschreiten.

Zusammenfassend:

- Zunahme der Fußwege aufgrund von größeren Distanzen zu Haltestellen (von 36 m auf 395 m)
- Abnahme der Fahrzeit (-23%)
- Abnahme der Systemeffizienz (-6%)
- Abnahme beim Fahrzeugeinsatz von durchschnittlich sechs auf fünf Fahrzeuge

7.3.2 Zu- und Abbringerverkehr

Als weitere Einsatzform wird nun der Zu- und Abbringerverkehr näher betrachtet. Für dieses Simulationsszenario wird eine neue Nachfragestruktur geschaffen, welche ausschließlich Fahrten aus den Wohnvierteln zum Bahnhof abbildet. Erneut werden dabei jene Wohngebiete ausgespart, welche (nahezu) direkt an diesen angrenzen. Diese Nachfragestruktur ergibt einen reinen Sektorenverkehr.

In diesem Basisszenario (S) Zu-Abbringer_0 werden 20 Fahrzeuge eingesetzt. Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse der Simulation:

Tabelle 16: Ergebnisse (S) Zu-Abbringer_0

| | (S) Zu-Abbringer_0 |
|--------------------------------|---------------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) Ø | 20,031 |
| Fußweg (km) Ø | 0,035 |
| Fahrzeit (Min) Ø | 16,171 |
| Personenkilometer | 317,944 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 128,870 |
| Fahrzeugkilometer | 181,206 |
| Leerkilometer | 38,609 |
| Betriebliche Effizienz | 1,7546 |
| Systemeffizienz | 0,7112 |

Einfügen von Haltestellen

Auch in diesem Fall wird das Einfügen von konkreten Haltepunkten untersucht. Hierfür werden die gleichen Haltestellen in das Modell integriert, wie zuvor bei der Einsatzform des Nachtbusses. Alle übrigen Parameter bleiben unverändert. Die folgende Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse der Simulation im Vergleich zum Referenzszenario (S) Zu-Abbringer_0:

Tabelle 17: Vergleich (S) Zu-Abbringer_0 – (S) Zu-Abbringer_Haltestellen²⁸ (Quelle: Autor)

| | (S) Zu-Abbringer_0 | (S) Zu-Abbringer_Haltestellen | Veränderung (%) |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) Ø | 20,031 | 15,910 | - 21 |
| Fußweg (km) Ø | 0,035 | 0,444 | + 1164 |
| Fahrzeit (Min) Ø | 16,171 | 13,345 | - 17 |
| Personenkilometer | 317,944 | 242,427 | - 24 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 128,870 | 106,610 | - 17 |
| Fahrzeugkilometer | 181,206 | 135,485 | - 25 |
| Leerkilometer | 38,609 | 32,316 | - 16 |
| Betriebliche Effizienz | 1,7546 | 1,7893 | + 2 |
| Systemeffizienz | 0,7112 | 0,7869 | + 11 |

Auch in diesem Vergleich sinken die streckenbezogenen Werte erheblich. Besonders die Fahrzeugkilometer gehen hier um 25% zurück. Auch die erbrachten Personenkilometer verringern sich um 24%. Ebenfalls signifikant ist der Rückgang der Leerkilometer um 16%. Die durch das Einfügen der Haltestellen verkürzten Wege der Fahrzeuge, welche nun nicht mehr bis in die Wohnviertel fahren, haben auch eine Verringerung der nachgefragten Personenkilometer um 17% zur Folge.

²⁸ Die vollständigen Werte für Fußweg (km) lauten: 0,0350801587301587 ((S) Zu-Abbringer_0); 0,44350597826087 ((S) Zu-Abbringer_Haltestellen)

Anders als im Falle des Nachtbusverkehrs nehmen die Fahrzeugkilometer hier stärker ab als die Personenkilometer (erbrachte wie nachgefragte). Dadurch ergeben sich Steigerungen, sowohl bei der betrieblichen Effizienz (zwei Prozent) als auch bei der Systemeffizienz (elf Prozent). Da die nachgefragten Personenkilometer jedoch sichtlich stärker fallen als die erbrachten Personenkilometer, fällt die Steigerung der Systemeffizienz deutlich stärker aus.

Erneut kann die These der abnehmenden Fahrzeiten bestätigt werden. Diese verringern sich um 17%. Im Falle der Vorbuchungszeit ist es eine Abnahme von 21%.

Logisch erscheint zudem die erhebliche Zunahme der durchschnittlichen Fußwege. Diese steigen von 35 auf fast 450 Meter an. Dies ist mit den weiten Distanzen zu erklären, welche aus den großen Wohnvierteln heraus zu den Haltestellen zurückgelegt werden müssen.

Auch in diesem Fall zeigt sich eine Veränderung des Fahrzeugeinsatzes. Wieder verringert sich die Zahl der genutzten Fahrzeuge durch das Einfügen der Haltestellen auf (im Durchschnitt) fünf, während es im Szenario ohne Haltestellen sechs sind.

Zusammenfassend

- Zunahme der durchschnittlichen Fußwege (von 35 m auf 444 m)
- Abnahme der Fahrzeit (-17%)
- Abnahme der Fahrzeugkilometer (-25%)
- Zunahme der Systemeffizienz (+11%)
- Abnahme beim Fahrzeugeinsatz von sechs auf durchschnittlich fünf Fahrzeuge

7.4 Interdisziplinäre Vergleiche

Nachdem die Simulationen durchgeführt und die ersten Vergleiche vorgenommen wurden, können nun auch situationsübergreifende Vergleiche unternommen werden. Hierbei werden bestimmte Aspekte zwischen Szenarien verschiedener Einsatzformen gegenübergestellt.

7.4.1 Arbeit – Zu-/Abbringer (Ländlich)

Für die Untersuchung des unter Punkt 5.2.1 erwähnten Umstandes der Positionierung der Ziele im Netz eignet sich ein Vergleich der Szenarien Arbeit_0 und Bhf_Westen – letzteres als optimierter Fall der Zu- und Abbringerverkehre mit einheitlichem Ziel am Rande des Bediengebietes. Die folgende Tabelle 18 stellt die hierfür relevanten Aspekte einander gegenüber:

Tabelle 18: Vergleich Arbeit_0 - Bhf_Westen (Quelle: Autor)

| | Arbeit_0 | Bhf_Westen | Veränderung (%) |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| Personenkilometer | 1251,908 | 1483,082 | + 18 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 632,721 | 747,378 | + 18 |
| Fahrzeugkilometer | 662,023 | 549,022 | - 17 |
| Systemeffizienz | 0,9557 | 1,3613 | + 42 |

Der entscheidende Unterschied zwischen diesen beiden Szenarien ist, dass der Zu- und Abbringerverkehr lediglich ein Ziel hat. Die Verkehrsströme verlaufen somit alle in die gleiche Richtung, während das Szenario Arbeit_0 durch vier im Netz verteilte Ziele geprägt wird.

Tatsächlich zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen diesen zwei Einsatzformen. Durch das dezentral gelegene Ziel im Szenario Bhf_Westen verlängern sich die Wege generell. Dies zeigt sich sowohl in den nachgefragten als auch in den erbrachten Personenkilometern. Die gerichtete Nachfrage in Bhf_Westen führt jedoch zu weniger Umwegen im Netz, weshalb die Fahrzeugkilometer trotz dem Mehr an Personenkilometern sinken.

Damit entfernen sich die Fahrzeug- und Personenkilometer (nachgefragt und erbracht) stark voneinander, was in der Folge einen erheblichen Zuwachs der Systemeffizienz von 42% mit sich bringt.

Hier zeigt sich, dass eine gerichtete Nachfrage, welche bei vereinheitlichten Zielen zustande kommt, einen signifikant positiven Einfluss auf die Systemeffizienz eines Linienbedarfsverkehrs hat.

Im Bezug auf den Fahrzeugeinsatz zeigt sich kein Unterschied. In beiden Szenarien werden sieben Fahrzeuge vom Algorithmus eingesetzt.

Zusammenfassend:

- Gerichtete Nachfrage fördert die Systemeffizienz (+42%)
- Zunahme der nachgefragten Personenkilometer (+18%)
- Abnahme der Fahrzeugkilometer (-17%)

7.4.2 Haltestellen im Nacht- und Zu-/Abbringerverkehr (städtisch)

Ebenfalls interessant erscheint ein direkter Vergleich der Szenarien (S) Nachtbus_Haltestellen und (S) Zu-Abbringer_Haltestellen. Grundsätzlich wirken diese Szenarien einander entgegen: Während der Nachtbusverkehr die Fahrgäste von einem relativ kleinräumigen Startpunkt in die Fläche transportiert, bringt der Zu- und Abbringerverkehr die Reisenden aus der Fläche zu einem einzelnen Ziel. Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt den Vergleich der Werte:

Tabelle 19: Vergleich (S) Nachtbus_Haltestellen - (S) Zu- Abbringer_Haltestellen (Quelle: Autor)

| | (S) Nachtbus_Haltestellen | (S) Zu-Abbringer_Haltestellen | Veränderung (%) |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Personenkilometer | 349,605 | 242,427 | - 31 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 116,289 | 106,610 | - 8 |
| Fahrzeugkilometer | 130,617 | 135,485 | + 4 |
| Leerkilometer | 14,258 | 32,316 | + 127 |
| Systemeffizienz | 0,8903 | 0,7869 | - 12 |

Sofort ins Auge fällt hierbei der immense Anstieg der Leerkilometer im Falle des Zu- und Abbringerverkehrs (+127%). Dieser ist damit zu begründen, dass die Fahrzeuge in beiden Szenarien im Zentrum starten. Im Nachtbusverkehr starten auch alle Fahrtwünsche von diesem Ort aus. Somit ist der Weg der Fahrzeuge zur ersten Haltestelle nicht weit. Der Zu- und Abbringerverkehr berücksichtigt jedoch Fahrten aus dem nahezu ganzen Stadtgebiet, weshalb sich zu Beginn der Simulation deutlich längere Distanzen zu den ersten Haltestellen ergeben können. Dies führt auch zu einem leichten Anstieg der Fahrzeugkilometer. Außerdem werden im Zu- und Abbringerszenario etwas weniger Personenkilometer nachgefragt, was mit den unterschiedlichen Nachfragestrukturen zu begründen ist. Das Zusammenspiel dieser Entwicklungen, ergibt eine Verringerung der Systemeffizienz um zwölf Prozent.

Der Fahrzeugeinsatz zeigt in dem Vergleich keinen Unterschied. Beide Szenarien benötigen (im Durchschnitt) fünf Fahrzeuge.

Zusammenfassend:

- Dezentrale Startpunkte erhöhen Leerkilometer (+127%)
- Zunahme der Fahrzeugkilometer generell (+4%)
- Abnahme der Systemeffizienz (-12%)

7.4.3 Zu- und Abbringer (ländlich/städtisch)

Um auch die Untersuchung der Auswirkungen der Unterschiede zwischen ländlichen und städtischen Räumen auf die Effizienz von Linienbedarfsverkehren anschaulich durchführen zu können, wird erneut der Zu- und Abbringerverkehr herangezogen. Die Szenarien Bhf_Westen und (S) Zu-Abbringer_0 bieten aufgrund der gleichen Nachfrage pro Stunde und der ähnlichen Quelle-Ziel-Struktur (aus der Fläche auf einen Punkt) eine gute Vergleichbarkeit. Die folgende Tabelle 20 zeigt den Vergleich:

Tabelle 20: Vergleich Bhf_Westen - (S) Zu-Abbringer_0 (Quelle: Autor)

| | Bhf_Westen | (S) Zu-Abbringer_0 | Veränderung (%) |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------|
| Vorbuchungszeit (Min) Ø | 27,600 | 20,031 | - 27 |
| Fahrzeit (Min) Ø | 29,653 | 16,171 | - 45 |
| Personenkilometer | 1483,082 | 317,944 | - 79 |
| Nachgefragte Personenkilometer | 747,378 | 128,870 | - 83 |
| Fahrzeugkilometer | 549,022 | 181,206 | - 67 |
| Systemeffizienz | 1,3613 | 0,7112 | - 48 |

Zu erkennen ist ein deutliches Absinken der streckenbezogenen Kennzahlen. Dies liegt an den geringeren Entfernungen im städtischen Modell, welches in seiner Fläche sehr viel kleiner ist als das ländliche. Die nachgefragten Personenkilometer verringern sich dabei um 83%. Diesem Trend folgen auch die Fahrzeugkilometer, welche sich jedoch nur um 67% verringern. Dieser Unterschied führt zu einem Absinken der Systemeffizienz um 48%. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass der Zielpunkt im städtischen Modell zentraler liegt als im Falle des westlichen Bahnhofs im ländlichen Modell. Dadurch wird das städtische Szenario zusätzlich ineffizienter.

Auch die zeitlichen Kennzahlen sinken in der Stadt im Gegensatz zum ländlichen Modell. Auch dies ist mit den geringeren Distanzen zu erklären. Die Fahrzeit beispielsweise nimmt hier um 45% ab.

Im Falle des Szenarios Bhf_Westen werden insgesamt sieben Fahrzeuge benötigt. Das Szenario (S) Zu-Abbringer_0 muss dagegen nur auf sechs Fahrzeuge zurückgreifen.

Diese Daten geben zwar noch keinen Anlass zur Aussage, dass Linienbedarfsverkehre auf dem Land besser einzusetzen wären, da die Systemeffizienz lediglich aufgrund der deutlich geringeren nachgefragten Personenkilometer absinkt. Sie zeigen dennoch deutlich, dass die stark unterschiedlichen Entfernungen bzw. die Größe des Bediengebietes einen signifikanten Einfluss auf die Effizienz in diesen beiden Raumstrukturen ausüben.

Zusammenfassend:

- Unterschiedliche Entfernungen in den beiden Bediengebieten haben großen Einfluss
- Abnahme der nachgefragten Personenkilometer im städtischen Raum (-83%)
- Damit begründete Abnahme der Systemeffizienz (-48%)
- Abnahme beim Fahrzeugeinsatz von sieben auf sechs Fahrzeuge

8 Fazit

Als Fazit lassen sich die prägnantesten Ergebnisse der Simulationen wie folgt zusammenfassen:

Hinsichtlich der Haltestellen außerhalb von Tempo-30-Zonen konnte die These aus der vorangegangenen Untersuchung bestätigt werden: Die Fahrzeiten nahmen in jedem der entsprechenden Beispiele ab. Ebenfalls konnten die Fahrzeugkilometer stets gesenkt werden. Durch die Abnahme der bedienten Strecken verringerten sich jedoch auch die nachgefragten Personenkilometer, was in zwei von drei Fällen zu einer Verschlechterung der Systemeffizienz führte. Ob hier eine Handlungsempfehlung hin zu einer Verlegung der Haltestellen aus den Tempo-30-Zonen heraus ausgesprochen werden kann, hängt von den Prioritäten des Betreibers ab.

Im Bezug auf eine Verteilung der einzelnen Fahrzeuge vor Betriebsbeginn kann gesagt werden, dass sich die Fahrzeugkilometer durch diese Maßnahme verringern. Dies führt durch das Gleichbleiben der nachgefragten Personenkilometer zu einer Steigerung der Systemeffizienz. Es muss jedoch erwähnt werden, dass in den Szenarien ein Zeitraum von lediglich einer Stunde simuliert wurde. Längere Betriebszeiten würden diesen Effekt zunehmend relativieren. Da zudem ein höherer Aufwand in der Koordination der Fahrzeuge die Folge wäre, kann hier keine Empfehlung für die Betreiber ausgesprochen werden.

Die Veränderung der räumlich-geometrischen Ausdehnung des Betriebsgebietes hatte in den in dieser Arbeit dokumentierten Simulationen keinen positiven Einfluss. Die Umfunktionierung zum schlauchartigen Verkehrsnetz hatte die Fahrzeugkilometer aufgrund großer Umwege signifikant erhöht, sodass die Systemeffizienzen der entsprechenden Beispiele zurückgingen.

Die zeitliche Staffelung der Fahrtbuchungen hingegen hatte einen signifikant positiven Effekt auf die Effizienz. Sie ermöglichte eine gute Fahrtenbündelung und führte zu einer nennenswerten Erhöhung der Systemeffizienz, welche durch die Vorverteilung der Fahrzeuge an die Außenpunkte der entstehenden Routen zusätzlich optimiert werden konnte. Bei der Anwendung auf den Schülerverkehr kann der Effekt dieser Fahrzeugverteilung aufgrund des zeitlich relativ punktuellen Bedarfs durchaus zum Tragen kommen. Hier gilt jedoch die Frage zu beantworten, inwieweit ein solcher Betrieb nicht durch einen konventionellen Linienbetrieb

– ggf. besser – übernommen werden könnte. Dennoch erscheint der Schülerverkehr unter diesen Gegebenheiten als sinnvolles Einsatzgebiet eines Linienbedarfsverkehrs.

Auch der Zu- und Abbringerverkehr stellt eine geeignete Einsatzform für Linienbedarfsverkehre dar. Der Zulauf auf ein einheitliches Ziel verbesserte in der Simulation die Systemeffizienz. Besonders dezentral gelegene Ziele am Rand des Betriebsgebietes erzeugen dabei eine gerichtete Nachfrage, welche zu einer guten Fahrtenbündelung führen. Hinzu kommt, dass gerade im Falle von Verknüpfungsstationen feste Fahrpläne übergeordneter Verkehrsmittel eine ähnliche zeitliche Staffelung der Buchungen erzeugen könnten, wie dies bei Schülerverkehren der Fall ist. Somit könnte die Effizienz zusätzlich steigen. Daher kann für Bedienegebiete, welche eine solche Situation hinsichtlich bedeutender Ziele aufweisen, eine Empfehlung eines Linienbedarfsverkehrs ausgesprochen werden. Alternativ kann empfohlen werden, das Bedienegebiet in entsprechende Korridore einzuteilen, um eine solche Situation im Betrieb zu erzeugen.

Für den Unterschied zwischen ländlichen und städtischen Regionen kann nach Durchführung der Simulationen noch keine genaue Aussage getroffen werden. Deutlich wurde jedoch, dass hier die unterschiedlichen Größen der Betriebsgebiete sowie die starken Differenzen in den Distanzen innerhalb dieser Regionen einen sichtlichen Einfluss auf die Kennzahlen des Betriebs haben.

9 Zusammenfassung

Der Kern dieser Arbeit bestand darin, mögliche Einflussfaktoren auf die Effizienz von Linienbedarfsverkehren zu untersuchen. Hierfür wurde das Verkehrssimulations-Programm SUMO (Simulation of urban Mobility) genutzt. Nach Durchführung der Recherche aktueller deutschlandweiter Angebote in diesem Bereich und der Ernennung von Best-Practise-Beispielen für verschiedene Einsatzgebiete wurden die zu untersuchenden Nachfragestrukturen sowie die infrage kommenden Einflussfaktoren typisiert. Daraufhin wurden im Netzeditor-Tool von SUMO (netedit) jeweils ein generisches Verkehrsmodell für den ländlichen und den städtischen Raum erstellt. Hier wurde sich zum Beispiel an den Bediengebieten der Best-Practise-Beispiele orientiert.

Darauffolgend konnten die Simulationen durchgeführt und deren Ergebnisse miteinander verglichen werden. Dabei kamen unter anderem folgende Erkenntnisse zustande: Durch die Verlagerung der Haltepunkte aus den Straßen mit Tempo 30 km/h heraus auf Hauptstraßen mit Tempo 50 km/h verringern sich die Fahrzeiten signifikant. Gleichzeitig steigen jedoch die Fußwege der Reisenden. Durch geringere nachgefragte Personenkilometer muss mit einer möglichen Verschlechterung der Systemeffizienz gerechnet werden. Eine Vorverteilung der Fahrzeuge vor Betriebsbeginn kann die Systemeffizienz aufgrund der geringeren Fahrzeugkilometer zwar verbessern. Dies hängt jedoch stark von der Dauer des Betriebs ab. Der Effekt würde mit steigender Dauer zunehmend relativiert werden. Eine schlauchartige Form des Bediengebietes konnte zumindest in den Ergebnissen dieser Arbeit keine Verbesserung der Effizienz aufzeigen. Durch höhere Umwege erhöhten sich unter anderem die Fahrzeugkilometer erheblich, was in der Konsequenz zu einem Absinken der Systemeffizienz führte. Der Schülerverkehr ist für den Einsatz von Linienbedarfsverkehren gut geeignet. Hier ergibt sich in der Regel eine gerichtete Nachfrage, welche in ihrem zeitlichen Aufkommen so beschaffen ist, dass sie einer effizienten Fahrtenbündelung zugutekommt. Im Falle von Zu- und Abbringerverkehren hängt die Effizienz stark von der Position der relevanten Zielhaltestelle ab. Eine dezentrale Lage führt dabei aufgrund von besserer Fahrtenbündelung zu einem sichtlich effizienteren Betrieb als eine zentrale Lage. Der Vergleich von ländlichen und städtischen Regionen zeigt zudem einen deutlichen Einfluss der Größe des Bediengebietes. Weitere Entfernungen in größeren Netzen wirken sich dabei signifikant auf die Kennzahlen des Betriebs aus.

10 Ausblick

Im Nachgang an die durchgeführten Untersuchungen können einige aufgetretene Schwierigkeiten benannt werden. Die wohl maßgebendste Komplikation war hierbei eindeutig der durch den drtOnline-Algorithmus zustande gekommene Rechenaufwand in den einzelnen Simulationen. Dieser stieg mit der Zunahme der angesetzten Buchungen pro Zeiteinheit deutlich an. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Nachfrage zumeist auf 50 Fahrplanfragen pro Stunde festgesetzt, was für den Algorithmus in adäquater Zeit zu stemmen war. Bei der Erhöhung der Nachfrage auf ca. 100 Buchungen pro Stunde konnte durch das Einsetzen weiterer Fahrzeuge der Steigerung des Rechenaufwandes insofern entgegengewirkt werden, dass das zeitliche Ausmaß zwar sichtlich anstieg, jedoch im Rahmen blieb.

Gerade im Falle des städtischen Modells hätte die zuvor angewendete Berechnung des Verkehrsaufkommens aufgrund der angesetzten Einwohnerzahl u.a. zu Nachfragen von über 400 Fahrtwünschen geführt. Vor dem Hintergrund der beschriebenen Komplikationen wurde von derartigen Szenarien abgesehen und eine in dieser Hinsicht bewährte Nachfragestruktur mit weiterhin 50 Buchungen pro Stunde angesetzt. Besonders bei Untersuchungen mit einer Vielzahl verschiedener Szenarien führt diese Schwäche des drtOnline-Algorithmus zu Einschränkungen des realisierbaren Rahmens, weshalb eine diesbezügliche Überarbeitung des Programms einen deutlichen Zugewinn für SUMO bieten würde.

Blickt man zudem auf den Simulationsansatz der Verkleinerung des Netzes (s. Punkt 7.2.1) so zeigt sich eine weitere Problematik, welche im Rahmen der Arbeit aufgetreten ist. Hierbei führte die Skalierung des Netzes mit dem Faktor 0,25 zu automatischen Anpassungen, welche sich ggf. auf die Kennzahlen der Simulation ausgewirkt haben. Dieser Umstand bietet Anlass für eventuelle weiterführende Untersuchungen, welche zum Ziel haben könnten, diese Modifikationen besser zu verstehen und die These der gleichbleibenden Effizienzen in gleichmäßig verkleinerten bzw. vergrößerten Modellen weiter zu verfolgen.

Des Weiteren bietet die aus der zeitlichen Staffelung der Fahrtwünsche (s. Punkt 7.2.2) resultierende Annäherung des Linienbedarfsverkehrs an den konventionellen Linienverkehr Anlass für weitere nähere Betrachtungen. Gerade, wenn dies auf den Schülerverkehr

Magnus Lasse Hamann, Bachelorarbeit: Einflussfaktoren auf die Effizienz von Linienbedarfsverkehren
angewendet wird, stellt sich die Frage, ob hier eine bedarfsgesteuerte Bedienung einen Mehrwert bietet.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde sich primär mit den Einsatzformen Arbeits-, Schüler-, Freizeit- sowie Zu- und Abbringerverkehr beschäftigt. Nicht betrachtet wurde der Tourismusverkehr. Auch hier ist ein Einsatz von Linienbedarfsverkehren grundsätzlich vorstellbar. Eine nähere Untersuchung dieser speziellen Nachfragestruktur vor dem Hintergrund von dessen besonderen Eigenschaften erscheint somit ebenfalls sinnvoll und würde sich für weiterführende Arbeiten anbieten.

Literaturverzeichnis

- [1] CleverShuttle, „Was ist eigentlich: RideSharing? RideSharing oder die gute alte Fahrgemeinschaft,“ 19 November 2019. [Online]. Available: <https://www.clevershuttle.de/blog/was-ist-eigentlich-ridesharing>. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [2] CleverShuttle, „Was ist eigentlich: RidePooling? Routen kombinieren - Fahrten reduzieren,“ 18 April 2019. [Online]. Available: <https://www.clevershuttle.de/blog/was-ist-eigentlich-ridepooling#:~:text=Beim%20Ridepooling%20handelt%20es%20sich,Fahrten%20mit%20%C3%A4hnlichen%20Routen%20zusammengelegt>. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [3] C. Liebchen, M. Lehnert, C. Mehler und M. Schiefelbusch, „Betriebliche Effizienzgrößen für Ridepooling-Systeme,“ in *Making Connected Mobility Work - Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*, H. Proff, Hrsg., Wiesbaden, Springer Gabler, 2021, pp. 136, 138, 139.
- [4] C. Sommer, F. Schäfer, G. Löcker, T. Hattop und A. Saighani, *Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen, B. f. V. u. d. Infrastruktur*, Hrsg., Berlin, 2016, p. 12.
- [5] K. Bürger-Faigle, „PBefG-Novelle - Überblick und Relevanz für den ÖPNV,“ 2022.
- [6] Github, „eclipse/sumo,“ [Online]. Available: <https://github.com/eclipse/sumo>. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [7] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., „Das DLR,“ [Online]. Available: <https://www.dlr.de/content/de/artikel/das-dlr.html>. [Zugriff am 25 Februar 2023].
- [8] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., „Institut für Verkehrssystemtechnik,“ [Online]. Available: <https://www.dlr.de/content/de/institutspraesentation/institut-fuer-verkehrssystemtechnik.html>. [Zugriff am 25 Februar 2023].
- [9] Bundesamt der Justiz, „Personenbeförderungsgesetz (PBefG) - § 44 Linienbedarfsverkehr,“ [Online]. Available: https://www.gesetze-im-internet.de/pbefg/_44.html. [Zugriff am 21 Februar 2023].

- [10] C. Liebchen, M. Lehnert, C. Mehlert, M. Schiefelbusch, J. Schlaich und T. Schulze, „Ridepooling messbar machen,“ Wildau, 2021.
- [11] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), „Richtungsbandbetrieb im Regionalverkehr auf dem Lande,“ 26 September 2002. [Online]. Available: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/13501/>. [Zugriff am 21 Februar 2023].
- [12] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), „Flächenbetrieb im Regionalverkehr auf dem Lande,“ 26 September 2002. [Online]. Available: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/13523/>. [Zugriff am 21 Februar 2023].
- [13] Eclipse, „Simulation of Urban Mobility,“ [Online]. Available: <https://www.eclipse.org/sumo/>. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [14] Eclipse, „About Eclipse SUMO,“ [Online]. Available: <https://www.eclipse.org/sumo/about/>. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [15] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, „netedit,“ 28 August 2022. [Online]. Available: <https://sumo.dlr.de/docs/Netedit/index.html>. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [16] M. G. Armellini, „Simulation of Demand Responsive Transport using a dynamic scheduling tool with SUMO,“ Berlin, 2021.
- [17] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, „DRT,“ 25 August 2022. [Online]. Available: <https://sumo.dlr.de/docs/Tools/Drt.html>. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [18] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., „Definition of Vehicles, Vehicle Types, and Routes,“ 22 Februar 2023. [Online]. Available: https://sumo.dlr.de/docs/Definition_of_Vehicles%2C_Vehicle_Types%2C_and_Routes.html#available_vtype_attributes. [Zugriff am 22 Februar 2023].
- [19] Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, „Stadt,“ 2000. [Online]. Available: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/stadt/15465>. [Zugriff am 08 Februar 2023].

- [20] Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, „Ländlicher Raum,“ 2001. [Online]. Available: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/laendlicher-raum/4553>. [Zugriff am 08 Februar 2023].
- [21] Zweckverband Nahverkehrsverbund Paderborn/Höxter, „Holibri-Shuttles: dein ÖPNV auf Abruf,“ [Online]. Available: <https://www.holibri.info/holibri/#Was-ist-Holibri>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [22] Stadt Gronau, „G-Mobil,“ [Online]. Available: <https://www.gronau.de/leben-in-gronau/verkehr/mein-g-mobil/#accordion-1-2>. [Zugriff am 09 Februar 2023].
- [23] Stadt Gronau, „Haltestellenplan-nummeriert,“ [Online]. Available: <https://www.gronau.de/leben-in-gronau/verkehr/mein-g-mobil/haltestellenplan-nummeriert-01-08-22.pdf?cid=1qna>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [24] WSW Wuppertaler Stadtwerke GmbH, „Hol mich! App,“ 11 Februar 2023. [Online]. Available: <https://www.holmich-app.de/>. [Zugriff am 09 Februar 2023].
- [25] Stadtwerke Münster GmbH, „LOOPmünster. Die Idee,“ [Online]. Available: <https://www.stadtwerke-muenster.de/loop-muenster/>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [26] HEAG mobilo GmbH, „HeinerLiner,“ [Online]. Available: <https://www.heinerliner.de/>. [Zugriff am 09 Februar 2023].
- [27] Großraum-Verkehr Hannover GmbH, „Nimm's persönlich: sprinti bringt dich wann du willst,“ 2023. [Online]. Available: <https://sprinti.gvh.de/>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [28] Hannover.de Internet Gesellschaft mit beschränkter Haftung, „sprinti - On-Demand-Angebot des GVH,“ 25 Mai 2022. [Online]. Available: <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Mobilit%C3%A4t/Bus-Bahn/Angebot-Infrastruktur/sprinti-On-Demand-Angebot-des-GVH>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [29] Dresdner Verkehrsbetriebe AG, „MOBishuttle,“ [Online]. Available: <https://www.mobi-dresden.de/de-de/mobishuttle>. [Zugriff am 11 Februar 2023].

- [30] Dresdner Verkehrsbetriebe AG, „MOBishuttle - klimafreundlich und flexibel in Dresden unterwegs,“ [Online]. Available: <https://www.dvb.de/de-de/die-dvb/mobi/mobishuttle>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [31] Dresdner Verkehrsbetriebe AG, „mobishuttle-bediengebiet-karte,“ [Online]. Available: <https://www.dvb.de/-/media/files/die-dvb/mobishuttle-bediengebiet-karte.jpg?la=de-de&hash=6A98F7F479A8A33D013315C22220E732>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [32] Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH, „MainzRIDER - Ihre Ergänzung zu Bus und Bahn,“ [Online]. Available: <https://www.mainzer-mobilitaet.de/mehr-mobilitaet/mainzrider#>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [33] Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH, „Änderungen beim MainzRIDER - Anpassung des Bediengebiets und der Servicezeit,“ 16 November 2022. [Online]. Available: <https://www.mainzer-mobilitaet.de/news/2022/11/mainzrider-aenderungen>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [34] STOAG Stadtwerke Oberhausen GmbH, „Dein Chauffeur-Service in Oberhausen,“ [Online]. Available: <https://www.stoag.de/service/revierflitzer/faq.html>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [35] Regionalverband Großraum Braunschweig, „Innovative Mobilitätslösungen,“ [Online]. Available: <https://www.regionalverband-braunschweig.de/flexo/>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [36] Regionalverband Großraum Braunschweig, „Das ist flexo,“ Oker11 media house by Ideal Werbeagentur und Verlag GmbH, [Online]. Available: <https://www.flexo-bus.de/>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [37] Regionalverband Großraum Braunschweig, „flexo in Wahrenholz/Wesendorf,“ Oker11 media house by Ideal Werbeagentur und Verlag GmbH, [Online]. Available: <https://www.flexo-bus.de/wahrenholz-wesendorf/>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [38] Regionalverband Großraum Braunschweig, „flexo in Seesen,“ Oker11 media house by Ideal Werbeagentur und Verlag GmbH, [Online]. Available: <https://www.flexo-bus.de/seesen/>. [Zugriff am 11 Februar 2023].

- [39] Stadt Seesen, „Einstellung der Lila Linie,“ 01 April 2022. [Online]. Available: <https://www.stadtverwaltung-seesen.de/Quickmenu/Startseite/Einstellung-der-Lila-Linie.php?object=tx,3000.5&ModID=7&FID=3000.889.1>. [Zugriff am 11 Februar 2023].
- [40] Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, „KVV.MyShuttle,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.kvv.de/mobilitaet/kvvmshuttle.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [41] Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, „MyShuttle FAQs,“ Februar 2023. [Online]. Available: https://www.kvv.de/fileadmin/user_upload/kvv/Dateien/Mobilitaet/MyShuttle_FAQs_Deutsch_Englisch_aktueller_Stand_02.02.2023.pdf. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [42] Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, „Hardt West,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.kvv.de/mobilitaet/kvvmshuttle/hardt-west.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [43] Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, „Ettlingen und Völkersbach,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.kvv.de/mobilitaet/kvvmshuttle/ettlingen-und-voelkersbach.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [44] Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, „Waldbronn,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.kvv.de/mobilitaet/kvvmshuttle/waldbronn.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [45] Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, „Karlsbad,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.kvv.de/mobilitaet/kvvmshuttle/karlsbad.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [46] Karlsruher Verkehrsverbund GmbH, „Marxzell-Ittersbach,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.kvv.de/mobilitaet/kvvmshuttle/marxzell-ittersbach.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [47] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), „On-Demand-Verkehr: MyShuttle Marxzell,“ [Online]. Available: <https://www.mobilikan.de/praxisbeispiel/demand-verkehr-myshuttle-marxzell>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [48] SWK Stadtwerke Krefeld AG, „mein SWCAR,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.swk.de/privatkunden/mobilitaet/sharing-und-emobility/mein-swcar>. [Zugriff am 12 Februar 2023].

- [49] ioki GmbH, „Abends sicher durch Krefeld - SWK startet On-Demand-Nachtverkehr mit ioki,“ 27 August 2019. [Online]. Available: <https://ioki.com/abends-sicher-durch-krefeld-swk-startet-on-demand-nachtverkehr-mit-ioki/>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [50] Stadtwerke Lübeck Mobil GmbH, „Was ist Lümo?,“ [Online]. Available: <https://www.sv-luebeck.de/de/service/luemo/12-service/2049-l%C3%BCmo-faq-antworten.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [51] Lübeck Live Internet GmbH, „Das Lümo-Angebot wird deutlich ausgeweitet,“ 09 Januar 2023. [Online]. Available: <https://www.hl-live.de/text.php?id=156016>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [52] Stadtwerke Lübeck Mobil GmbH, „Der On-Demand-Bus in Lübeck und Travemünde,“ [Online]. Available: <https://www.sv-luebeck.de/de/service/luemo.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [53] Stadtwerke Lübeck Mobil GmbH, „Was sind virtuelle Haltestellen und wie finde ich sie?,“ [Online]. Available: <https://www.sv-luebeck.de/de/service/luemo/12-service/2079-was-sind-virtuelle-haltestellen-und-wie-finde-ich-sie.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [54] Stadtwerke Lübeck Mobil GmbH, „lümo_kerngebiet_grau,“ [Online]. Available: https://www.sv-luebeck.de/images/l%C3%BCmo_Kerngebiet_grau.png. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [55] Stadtwerke Lübeck Mobil GmbH, „lümo_Travemünde_5_grau,“ [Online]. Available: https://www.sv-luebeck.de/images/l%C3%BCmo_Travem%C3%BCnde_5_grau.png. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [56] Stadtwerke Lübeck Mobil GmbH, „Wann kann ich mit Lümo fahren?,“ [Online]. Available: <https://www.sv-luebeck.de/de/service/luemo/12-service/2052-wann-f%C3%A4hrt-l%C3%BCmo.html>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [57] Lübeck Live Internet GmbH, „LÜMO startet mit 300 Haltepunkten in Travemünde,“ 01 April 2022. [Online]. Available: <https://www.hl-live.de/text.php?id=150895>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [58] Duisburger Verkehrsgesellschaft AG, „myBUS: Holt dich App, bringt dich hin - JEDE Nacht!,“ [Online]. Available: <https://www.dvg-duisburg.de/mybus/was-ist-mybus>. [Zugriff am 12 Februar 2023].

- [59] Duisburger Verkehrsgesellschaft AG, „myBUS fährt dauerhaft durch die Nacht,“ 10 September 2021. [Online]. Available: <https://www.dvg-duisburg.de/die-dvg/news/pressemitteilungen/detailseite/mybus-faehrt-dauerhaft-durch-die-nacht>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [60] Duisburger Verkehrsgesellschaft AG, „Fragen & Antworten rund um myBUS,“ [Online]. Available: <https://www.dvg-duisburg.de/mybus/faq>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [61] Duisburger Verkehrsgesellschaft AG, „So funktioniert myBUS,“ [Online]. Available: <https://www.dvg-duisburg.de/mybus/so-gehts>. [Zugriff am 12 Februar 2023].
- [62] Verkehrsverbund Region Braunschweig GmbH, „Sammel-Schülerzeitkarten gelten auch im flexo-Bus in Seesen,“ 19 April 2022. [Online]. Available: <https://www.vrb-online.de/de/ueberuns/news/sammel-sch%C3%BClerzeitkarten-gelten-auch-im-flexo-bus-in-seesen>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [63] Duisburger Verkehrsgesellschaft AG, „Warum hat die DVG das Projekt myBUS gestartet?,“ [Online]. Available: <https://www.dvg-duisburg.de/mybus/hintergrund>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [64] VORHANG AUF Verlags GmbH, „Fünf Monate HeinerLiner,“ [Online]. Available: <https://vorhang-auf.com/fuenf-monate-heinerliner/>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [65] Rhein Main Verlags GmbH, „Darmstadt: Mit Schwerbehindertenausweis günstiger HeinerLiner fahren,“ 29 September 2022. [Online]. Available: <https://www.rheinmainverlag.de/2022/09/29/darmstadt-mit-schwerbehindertenausweis-guenstiger-heinerliner-fahren/>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [66] Landkreis Gifhorn - Der Landrat, „Barrierefreie Kleinbusse für flexo-Verkehr im Landkreis Gifhorn übergeben,“ 29 November 2022. [Online]. Available: <https://www.gifhorn.de/start/nachricht-startseite/news/barrierefreie-kleinbusse-fuer-flexo-verkehr-im-landkreis-gifhorn-uebergeben/>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [67] Verkehrsverbund Rhein-Sieg GmbH, „Holibri in Höxter: Neue Flexibilität im gewohnten Tarif,“ 27 Januar 2022. [Online]. Available: <https://www.mobil.nrw/flexible-mobilitaet/blog/holibri-in-hoexter-neue-flexibilitaet-im-gewohnten-tarif.html>. [Zugriff am 13 Februar 2023].

- [68] WESTFALEN-BLATT Vereinigte Zeitungsverlage GmbH & Co. KG, „Neue Haltepunkte für Holibri,“ 26 Februar 2022. [Online]. Available: <https://www.westfalen-blatt.de/owl/neue-haltepunkte-fur-holibri-2535502?&npg>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [69] G. Gosewisch, „17 Millionen für den Sprinti-Ausbau,“ 01 Februar 2022. [Online]. Available: https://www.marktspiegel-verlag.de/sehnde/c-lokales/17-millionen-fuer-den-sprinti-ausbau_a159732. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [70] K4 Media GmbH, „Ein Jahr sprinti in der Region Hannover,“ 28 Juni 2022. [Online]. Available: <https://www.altkreisblitz.de/aktuelles/datum/2022/06/28/ein-jahr-sprinti-in-der-region-hannover/>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [71] Großraum-Verkehr Hannover GmbH, „sprinti: Modellprojekt für den Nahverkehr wird ausgeweitet,“ 31 Mai 2022. [Online]. Available: <https://www.gvh.de/der-gvh/aktuelles/aktuelle-meldungen/sprinti-modellprojekt-fuer-den-nahverkehr-wird-ausgeweitet/>. [Zugriff am 13 Februar 2023].
- [72] LUSTAT Statistik Luzern, „Definitionen,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.lustat.ch/services/lexikon/definitionen?id=1285>. [Zugriff am 23 Februar 2023].
- [73] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Mobilität in Deutschland - Tabellarische Grundausswertung,“ Bonn, 2018.
- [74] P. Kirchhoff und A. Tsakarestos, Planung des ÖPNV in ländlichen Räumen: Ziele - Entwurf - Realisierung, Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag, 2007, pp. 12-13.
- [75] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Hinweise zur Berücksichtigung des Freizeitverkehrs bei der Gestaltung des ÖPNV, Bd. 2021, Köln: FGSV Verlag GmbH, 2021, pp. 9, 11.
- [76] L. Schnieder, Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr: Ziele, Methoden, Konzepte, Berlin: Springer Vieweg, 2018, pp. 41-42.
- [77] I. Luchmann und C. Reuter, „Geeignete Einsatzfelder für autonome Kleinbusse im öffentlichen Personennahverkehr (Teil 1),“ *V+T Verkehr und Technik: Organ für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)*, Nr. 04.2020, April 2020.

- [78] I. Luchmann und C. Reuter, „Geeignete Einsatzfelder für autonome Kleinbusse im öffentlichen Personennahverkehr (Teil 2),“ *V+T Verkehr und Technik: Organ für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)*, Nr. 05.2020, Mai 2020.
- [79] M. Wolf, „Simulationsbasierte Sensitivitätsanalyse anhand von Key-Performance-Indikatoren im On-Demand Verkehr,“ Braunschweig, 2022.
- [80] Gemeinde Meine, „Die Geschichte der Ortsteile der Gemeinde Meine,“ Webkonzepte GIT mbH Wolfsburg, 2012. [Online]. Available: <https://www.gemeinde-meine.de/index.php/unsere-gemeinde2/ortsteile-geschichte>. [Zugriff am 18 Februar 2023].
- [81] Gemeinde Schwülper, „Ortsteil Rothemühle,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.gemeinde-schwuelper.de/schwuelper/rothemuehle>. [Zugriff am 18 Februar 2023].
- [82] C. Nobis und T. Kuhnimhof, „Mobilität in Deutschland - MiD: Ergebnisbericht,“ Bonn, 2018.
- [83] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., „Importing O/D Matrices,“ 25 November 2022. [Online]. Available: https://sumo.dlr.de/docs/Demand/Importing_O/D_Matrices.html. [Zugriff am 18 Februar 2023].