



30. NOVEMBER 2023

## SACHBERICHT / SCHLUSSBERICHT

OSLO- OPEN-SOURCE-SOFTWARE FÜR LÄNDLICHEN ON-DEMAND-VERKEHR

PROF. DR.-ING. ANDRÉ NITZE

– TECHNISCHE HOCHSCHULE BRANDENBURG - FKZ: 19FS1005B

PROF. DR. RER. NAT. HABIL. PETRA HOFSTEDT / DR. RER. NAT. SVEN LÖFFLER

– BRANDENBURGISCHE TECHNISCHE UNIVERSITÄT COTTBUS-SENFTENBERG - FKZ: 19FS1005C

M.P.P. SILVIA HENNIG / M.SC. ALEXANDER KLINGE

– NEULAND21 E.V. - FKZ: 19FS1005A

ALEXANDER KLINGE

NEULAND21 E.V.

KLEIN GLIEN 25

14806 BAD BELZIG

ALEXANDER.KLINGE@NEULAND21.DE

## Inhaltsverzeichnis

I	Kurzdarstellungen .....	3
1.	Aufgabenstellung.....	3
2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
4.	Wissenschaftlich-technischer Stand .....	5
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	6
II	Eingehende Darstellung.....	7
1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	7
	AP 1: Projektkoordination & Projektmanagement .....	10
	AP 2: Öffentlichkeitsarbeit & Transfer .....	10
	AP 3: Ko-kreative Bedarfs- & Anforderungserfassung.....	11
	AP 4: Entwicklungsstand Open-Source-Vorarbeiten .....	13
	AP 5: Konzeption einer Software-Architektur .....	13
	AP 6: Konzeption des Routing-/Pooling-Algorithmus .....	17
	AP 7: Einbettung in bbnavi, Open Data .....	22
	AP 8: Betriebs- & Organisationsmodell .....	23
	AP 9: Gesamt- & Umsetzungskonzept .....	24
2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	25
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	25
4.	Voraussichtlicher Nutzen der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	26
5.	Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	26
6.	Erfolge und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	26

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Software-Architektur .....	14
Abbildung 2: Darstellung des GTFS-Flex v2 Model .....	15
Abbildung 3: Eine Visualisierung der Dreiecksungleichung (Triangle Inequality) .....	19
Abbildung 4: Existierende Algorithmen zum Lösen von Vehicle Routing-Problemen .....	20
Abbildung 5: Betriebsmodell On-Demand-Verkehr (Testbetrieb) .....	23

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gant-Projektplan .....	4
Tabelle 2: Übersicht Ergebnisses im Einzelnen und Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	7
Tabelle 3: Auflistung verwendeter Open-Source-Projekte .....	17
Tabelle 4: Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises nach Projektpartner .....	25

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



# I Kurzdarstellungen

## 1. Aufgabenstellung

On-Demand-Verkehre (ODV) können helfen, Lücken im ländlichen öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zu schließen. Hohe Lizenzgebühren für proprietäre Software halten jedoch viele Kommunen von der Einführung entsprechender Verkehre ab, insbesondere in strukturschwachen Regionen, die diese besonders benötigen würden. Hinzu kommt, dass entstehende digitale Angebote meist Software-Inseln bleiben und verfügbare Routing-Algorithmen derzeit noch weitgehend ungeeignet sind, bestehendem Linienverkehr zuzuliefern und Parallelverkehre zu vermeiden. Entsprechend wurde im Projekt "Open-Source-Software für ländlichen On-Demand-Verkehr" (OSLO) die Machbarkeit einer niedrigschwelligen Open-Source-Lösung geprüft, die perspektivisch in die Open-Data-Plattform bbnavi integriert werden kann, um die Nutzung bestehender Mobilitätsdaten zu vereinfachen, Interoperabilität herzustellen und die Übertragbarkeit in andere Regionen zu erleichtern. Das Konzept umfasst die Software-Architektur, einen auf ländlichen ÖPNV ausgerichteten intermodalen Routing-Algorithmus und ein Betriebs- und Organisationsmodell.

## 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde gemeinsam mit den Konsortialpartnern Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) und Technische Hochschule Brandenburg (THB) durchgeführt. Als Modellregion für die Machbarkeitsstudie wurde die Stadt Spremberg gewählt, welche sich an der Bedarfserfassung, der betrieblichen Anforderungserfassung und der Entwicklung eines Organisationsmodells beteiligte.

Voraussetzung zur Umsetzung eines On-Demand-Verkehrs als Teil des ÖPNV ist die Beauftragung durch den ÖPNV-Aufgabenträger im Landkreis. Dieser konnte aufgrund von Zeit- und Budgetmangel nicht für eine Beteiligung in einem Umsetzungsprojekt gewonnen werden. Aus diesem Grund wurde die Umsetzungsstrategie vorerst angepasst und mit den weiteren, im Laufe des Projektes eingebundenen Landkreisen Oder-Spree, Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming entwickelt. Die Stadt Spremberg ist dennoch weiterhin wichtiger Umsetzungspartner, denn die Modellregion benötigt dringend weitere Mobilitätslösungen für die bestehenden Mobilitätsprobleme in der Region. Dies stellte sich insbesondere in den durchgeführten Workshops heraus. In Terpe, einem Ortsteil Sprembergs, wird bereits in Eigeninitiative und analog, ein bedarfsorientiertes Bürgerbus-Angebot geschaffen. Die Priorität in Spremberg liegt jedoch aktuell in der Reommunalisierung des mit dem ÖPNV beauftragten Verkehrsbetriebs. Die Konzession des aktuellen Verkehrsunternehmens läuft bis 2025 aus. Bereits Ende 2022 wurde eine Neuvergabe beschlossen.

Des Weiteren ist im Land Brandenburg momentan ein großer Zuwachs an weiteren ODV-Angeboten zu beobachten. Während der Projektzeit kamen die Verkehrsgesellschaften Teltow-Fläming und Barnim in Eigeninitiative auf das Projektkonsortium zu, da die Initialisierung ihrer geplanten ODV mit großen Unsicherheiten verbunden schien: Es gab kaum Vergleichsdaten, da sich die jeweils verwendete Software, der Integrationsstand in überregionale Mobilitätsplattformen, Bezeichnung und Tarifmodell der bereits existierenden ODV oft stark unterschieden.

Ziel von OSLO war es, auch die Integrierbarkeit und das Weiterentwicklungspotenzial einer On-Demand-Lösung in der Open-Source-Mobilitätsplattform bbnavi zu prüfen, jedoch bestehen derzeit organisatorisch-administrative Unklarheiten in Bezug auf den Betrieb von bbnavi. Eine Übernahme von bbnavi durch den Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB) wird zwar angestrebt, jedoch ist derzeit noch unklar, wer in Zukunft das Projektmanagement übernehmen wird. Die Verhandlungen laufen seit Projektstart. Auch der Rahmenvertrag für die technische Betreuung von bbnavi wurde seitens der Digitalagentur Brandenburg (DABB) neu ausgeschrieben.

Mit Hilfe der Verantwortlichen der Wirtschafts- und Regionalförderung ASG Spremberg GmbH konnten in Spremberg trotz dieser widrigen Voraussetzungen zwei erfolgreiche Workshops durchgeführt werden. Hierbei wurden drei Anwendungsfälle für einen ODV in Spremberg sowie ein zugrundeliegendes Betriebs- und Organisationsmodell entwickelt. Ein weiterer Workshop mit Teilnehmenden aus ganz Brandenburg mit Bezug

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



zur ODV-Umsetzung und einem Interesse an bbnavi wurde als Multiplikator-Veranstaltung zu Ende der Projektlaufzeit durchgeführt und fand großen Anklang.

Trotz der Schwierigkeiten der bbnavi-Kompetenzverteilung zwischen DABB und VBB konnte die Software-Architektur erstellt, der Routing-Algorithmus konzeptioniert und mögliche sowie nötige bbnavi-Anpassungen mit einem kompetenten Entwicklerteam abgesprochen werden. Auf die Vorergebnisse der Machbarkeitsstudie kann ein erfolversprechendes Umsetzungsprojekt in den Landkreisen Oder-Spree, Teltow-Fläming und weiteren Partnerregionen folgen.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Gesamtdauer des Projekts betrug 12 Monate vom 01.11.2022 bis zum 31.10.2023.

Das Projekt ist in 9 Hauptarbeitspakete unterteilt:

- AP 1: Projektkoordination & Projektmanagement
- AP 2: Öffentlichkeitsarbeit & Transfer
- AP 3: Ko-kreative Bedarfs- & Anforderungserfassung
- AP 4: Entwicklungsstand Open-Source-Vorarbeiten
- AP 5: Konzeption einer Software-Architektur
- AP 6: Konzeption des Routing-/Pooling-Algorithmus
- AP 7: Einbettung in bbnavi, Open Data
- AP 8: Betriebs- & Organisationsmodell
- AP 9: Gesamt- & Umsetzungskonzept

In Kapitel II.1 werden diese Hauptarbeitspakete sowie die erzielten Ergebnisse näher beschrieben. In dem unten dargestellten GANTT-Diagramm ist der geplante Projektverlauf dargestellt, der bis auf minimale Verschiebungen eingehalten wurde.

Diesen minimalen Verschiebungen umfassen die kostenneutrale Veränderung der BTU in AP 6. Hier ist der wissenschaftliche Mitarbeiter zum 01.04.23 ausgeschieden. Die geplanten Aufgaben werden seit 16.5.23 und bis zum Projektende am 31.10.23 durch wissenschaftliche Hilfskräfte durchgeführt. Der Antrag auf kostenneutrale Umwidmung vom 24.3.23 wurde mit Schreiben vom 24.4.23 genehmigt.

Tabelle 1: Gant-Projektplan

Projektmonat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
APs (Personenmonate)												
1. Projektmanagement (1)	n21 (Lead)											
2. ÖÄ & Transfer (1,2)	n21 (Lead)											
3. Anforderungserfassung (2,75)	n21 (Lead)											
4. OS-Entwicklungsstand (1)	n21 (Lead)											
5. Software-Architektur (3,1)			THB (Lead)									
6. Algorithmus (1,6)					BTU (Lead)							
7. bbnavi & Open Data (2,3)					THB (Lead)							
8. Orga- & Betriebsmodell (1,8)						n21 (Lead)						
9. Umsetzungskonzept (0,9)											n21(Lead)	
Meilensteine (AP-übergreifend)				♦				♦				♦

Folgende Meilensteine wurden für das Projekt festgelegt:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



1	Initiale Bedarfsanalyse abgeschlossen	Datum: Monat 4	Abgeschlossene AP 4	AP:
Ergebnis des Meilensteins 1: Grundlegende Anforderungen und Bedarfe erfasst; Erfassung OS-Entwicklungsstand abgeschlossen (AP4); Vorarbeit für Algorithmen, Architektur und Betriebsmodell vorhanden.				
2	Softwareentwurf abgeschlossen	Datum: Monat 8	Abgeschlossene AP 4	AP:
Ergebnis des Meilensteins 2: Integrations- und Routingansatz liegen zur Evaluation vor.				
3	Machbarkeitsstudie abgeschlossen	Datum: Monat 12	Abgeschlossene Alle	AP:
Ergebnis des Meilensteins 3: Finales Umsetzungskonzept mit Machbarkeitsanalyse und Empfehlungen liegt vor.				

Alle Meilensteine wurden planmäßig erreicht. Nach Finalisierung des ersten Meilensteines wurde ein Bericht (Anlage 3) verfasst und dem Fördergeber zur Verfügung gestellt. Meilenstein 2 und 3 sind in der zweiten wissenschaftlichen Veröffentlichung, dem wissenschaftlichen Schlussbericht (Anlage 2), dokumentiert. Dieser ist auch online unter folgendem Link verfügbar: <https://neuland21.de/wp-content/uploads/2023/10/231026-anlage2-oslo-wiss-schlussbericht-final.pdf>.

#### 4. Wissenschaftlich-technischer Stand

Dass On-Demand- und insbesondere Ridepooling-Verkehre in ländlichen Regionen Angebotslücken schließen und bei deutlich höherer Angebotsqualität ähnliche Kostendeckungsgrade wie klassische Rufbusse oder Linien im Nebennetz erreichen können, war bereits vor dem Projektstart belegt (neuland21, 2020, ateneKOM, THB, BTU 2021, vgl. auch Koska et. al. 2021, Diebold et. al. 2021). Sind sie als Teil des ÖPNV sowie als Zulieferverkehr zum bestehenden Liniennetz gestaltet, können sie die Auslastung des Umweltverbundes als Gesamtsystem stärken. Jedoch existiert bisher keine nutzbare Open-Source-Anwendung für die (kommunale) Umsetzung und Integration von ODV-Angeboten beziehungsweise Ridepooling. Gleichwohl bestehen Open-Source-Vorarbeiten in der Mobilität und in verwandten Bereichen (OpenTripPlanner, OpenTransitPlanner, TAPAS, OpenLogistics; siehe dazu auch Viergutz et. al. 2020). Aus informationswissenschaftlicher Sicht stellt intermodales Routing im ländlichen Kontext jedoch ein NP-schweres algorithmisches Problem dar (Zhang et. al. 2022, Drexel 2012, Cacares et. al. 2014). Am Markt verfügbare Software umgeht das Problem des ÖPNV-Parallelverkehrs derzeit nur (etwa durch zeitliche Nichtverfügbarmachung, feste Übergabepunkte oder erhöhte Fahrpreise); ein automatisiertes Identifizieren von Übergabemöglichkeiten zum Linienverkehr ist derzeit nicht marktreif bzw. aufgrund der Ausrichtung auf Stadtumlandverkehr vieler Lösungen nicht zu erwarten.

Open-Data-Mobilitätsplattformen und entsprechende Schnittstellen entstehen derzeit vielerorts, wie das auf stadtnavi / OpenTransitplanner beruhende bbnavi. Die Integration von flexiblen ÖPNV-Angeboten wird bereits mitgedacht, ist aber nicht funktional verfügbar. Eine weitere Forschungsfrage im Rahmen von AP 8 war deshalb auch die Frage, wie und von welchen Akteuren ein Dienstleistungsangebot für Vertrieb und Support einer Open-Source-Lösung in diesem dynamischen Umfeld optimal gestaltet werden könnte, um eine möglichst große Verbreitung in ländlichen Kommunen zu finden.

OSLO baute auf die genannten Vorarbeiten der Projektpartner und den darin identifizierten verkehrlichen und kommunalen Bedarfen ländlicher, stadtferner Regionen auf. Für diese sind am Markt befindliche White-Label-Lösungen proprietärer On-Demand-Verkehrssoftware, wie sie in Berlin (Berlkönig, kürzlich eingestellt), Hamburg (Moia) oder im Umland von Hannover (Sprinti) zum Einsatz kommen, oft nicht erschwinglich. Auch sind diese bestehenden Lösungen nicht auf ländliche Bedarfe (Zubringerfunktion zum ÖPNV) optimiert. Die Entwicklung einer in bbnavi integrierten On-Demand-Lösung ist vom Kernprojekt bbnavi als kommunale Daten- und intermodale Mobilitätsplattform jedoch klar abzugrenzen. Gleichwohl war die Suche nach Synergien Projektziel.

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



An automatisierter Parallelverkehrsvermeidung und Ridepooling als Teil von intermodalem Routing wurde bspw. in den Leipziger Projekten FLEXA bzw. „Leipzig mobil“ geforscht. Dies geschah jedoch mit Blick auf urbane und suburbane Kontexte bzw. mit proprietärer Software. An der App-basierten Bedarfserfassung für ländliche Bedarfsverkehre wird im mFUND-Projekt cTRAN geforscht, an dem die BTU beteiligt ist.

An der Datenmodellierung für flexible Bedienformen in Form von autonomen Kleinbussen in ländlichen Regionen arbeitete das mFund-Projekt Kombinom, wobei jedoch die Kombination von Personen- und Güterverkehr sowie die reine Datenmodellierung der Nachfrageseite für eine Potenzialanalyse im Vordergrund steht. Die intermodale Verknüpfung von Schiene und ÖPNV für touristische Zwecke wird im mFund-Projekt „Ferien fürs Klima“ untersucht, wobei jedoch ausschließlich UX-Aspekte der Verbindungsanzeige für die spezifische Zielgruppe Tourist:innen fokussiert werden; die Software- und datenseitige sowie verkehrliche Optimierung des Verkehrsangebots oder gar die Einbindung von On-Demand-Angeboten ist nicht Gegenstand des Projekts.

## 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projekts wurde mit vielerlei anderen Stellen kooperiert, darunter die Stadt Spremberg, die Digitalagentur Brandenburg, der Landkreis Ostprignitz-Ruppin der sächsisch-brandenburgische Zweckverband Industriepark Schwarze Pumpe, das Projekt MoVeToLausitz und dessen Verbundkoordinator B2MSoftwareGmbH, die Mobilitätsverantwortlichen der Landkreise Teltow-Fläming, Oder-Spree und Potsdam-Mittelmark, sowie mit den ODV-Verantwortlichen der Verkehrsgesellschaft Teltow-Fläming mbH (VTF) und der Barnimer Busgesellschaft - Eberswalde (BBG).

Die Stadt Spremberg als assoziierter Partner beteiligte sich als Modellregion aktiv an der Anforderungserfassung, der ko-kreativen Softwareentwicklung sowie der Entwicklung eines Organisations- und Betriebsmodells. So wurden zwei Workshops in Räumlichkeiten der Stadt durchgeführt, wobei einer die Bedarfserfassung und der andere die Entwicklung eines regionalen Betriebsmodells in Spremberg in den Mittelpunkt stellte. Die Stadt Spremberg lieferte alle nötigen Hintergrunddaten für die Bedarfserfassung und weitere Informationen zu Rufbuslinien und den Anbindungen der Ortsteile. Gemeinsam konnten drei explizite Anwendungsfälle entwickelt und die Anforderungen zur Umsetzung spezifiziert werden. Leider konnte die Stadt Spremberg aus budgetären und zeitlichen Gründen jedoch keine aktive Rolle im nun geplanten Umsetzungsprojekt OSLO2 übernehmen. Die Stadt bleibt aber weiterhin assoziierte Modellregion und wird in alle Projektergebnisse aktiv miteinbezogen.

Die Digitalagentur Brandenburg (DABB) unterstützt als Projektträger des bbnavi sowie als Netzwerkpartner für die Übertragung in weitere Regionen. So konnten mit Hilfe der DABB wichtige Kontakte zu den Entwicklern hinter bbnavi und zur Übersicht des Entwicklungsstandes von Open-Source-Routing-Komponenten vermittelt werden. Zudem wurde der dritte Workshop mit dem Fokus auf die Ergebnisdissertation in weitere Brandenburger Regionen und die Validierung bzw. Anpassung der Projektergebnisse in den Räumen der DABB am 07.09.2023 in Potsdam durchgeführt. Das Netzwerk der DABB war über die gesamte Projektlaufzeit hilfreich.

Die weiteren assoziierten Partner, der Landkreis Ostprignitz-Ruppin sowie der sächsisch-brandenburgische Zweckverband Industriepark Schwarze Pumpe, haben Interesse an der Lösung bekundet und an der Erstellung des Betriebsmodells mitgewirkt. Mit dem Projekt MoVeToLausitz und dessen Verbundkoordinator B2MSoftwareGmbH wurde im Rahmen des Projektes zweimal ein projektbezogener und ergebnisorientierter Austausch zu den jeweiligen Zwischenergebnissen durchgeführt. Die jeweiligen Projektmitarbeiter:innen nahmen auch an den OSLO-Workshops teil. Des Weiteren erfolgte eine enge Absprache zur Entwicklung der Umsetzungsstrategie mit den Mobilitätsverantwortlichen der Landkreise Teltow-Fläming, Oder-Spree und Potsdam-Mittelmark, sowie mit den ODV-Verantwortlichen der Verkehrsgesellschaft Teltow-Fläming mbH (VTF) und der Barnimer Busgesellschaft - Eberswalde (BBG). Gemeinsam mit den genannten Institutionen konnte auch die Umsetzungsstrategie weiterentwickelt werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## II Eingehende Darstellung

### 1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die verwendeten Mittel wurden zum größten Teil für Personalkosten, sowie zu einem kleinen Anteil für Reisekosten und Sachkosten eingesetzt. Eine genauere Aufschlüsselung ist in Abschnitt II.2 zu finden. Im Folgenden werden die geleisteten Arbeiten nach Arbeitspaketen gegliedert beschrieben. Tabelle 2 gibt eine komprimierte Übersicht zu den erzielten Ergebnissen.

*Tabelle 2: Übersicht Ergebnisse im Einzelnen und Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele*

Ergebnisse	Verantwortlich	Erläuterung
<b>AP1: Projektmanagement - n21 (1,2 PM), THB (0,1 PM), BTU (0,1 PM)</b>		
Kick-Off Intern	n21	Das Kick-Off fand am 31.01.2023 von 14:00 bis 15:00 Uhr statt.
Zwischenbericht	n21	Nicht vorgegeben, jedoch wurde AP3 Meilensteinbericht abgegeben.
Abschlussbericht	n21	Der vorliegende Bericht wurde eingereicht, ein vorläufiger Schlussbericht wurde bereits mit der OSLO2 Skizze eingereicht.
Meilenstein 1	n21	Die Bedarfsanalyse ist abgeschlossen und das Betriebsmodell erstellt.
Meilenstein 2	THB / BTU	Routingansätze sind evaluiert (ein Papier dazu wurde beim MOC-Workshop veröffentlicht).
Meilenstein 3	Alle	Umsetzungskonzept wurde fertiggestellt und als OSLO2 Projektskizze eingereicht
<b>Ergebnis des AP 1: Sicherstellung des Arbeits- und Projektablaufs, erweitertes Konsortium, Abschlussbericht</b>		
<input type="checkbox"/> Vgl. Anlage2: Wissenschaftlicher Schlussbericht (Anlage2)		
<b>AP2: Öffentlichkeitsarbeit &amp; Transfer - n21 (0,3 PM), THB (0,1 PM), BTU (0,1 PM)</b>		
Kick-Off Extern	n21	Der Kick-Off fand am 31.01.2023 von 15:00 bis 16:00 Uhr statt.
Pressemitteilung	n21	Die Pressemitteilung wurde am 04.01.2023 veröffentlicht.
Publikation 1	Alle	Eingereichte und angenommene MOC Publikation. Workshop wurde durchgeführt.
Publikation 2	Alle	Zusammenfassender wiss. Schlussbericht ist erstellt und veröffentlicht über n21 Seite. Wurde beworben auf DABB Workshop. <input type="checkbox"/> Veröffentlichung in kommunaler Zeitschrift ist angestrebt
Fachveranstaltung	n21	MOC Workshop am 29.09.2023.
MoVeToLausitz 1	n21	14.03.2023 15:00 bis 16:00 Uhr
MoVeToLausitz 2	n21	Teilnahme am Workshop DABB 07.09.2023
<b>Ergebnis des AP 2: Laufende ÖA-Beiträge, Vortrag vor der Open-Source-Community, Webinar für interessierte Kommunen (DABB), reguläre TN an Fachveranstaltungen</b>		
<b>AP3: Ko-kreative Bedarfs- &amp; Anforderungserfassung - n1 (2,2 PM), THB (0,3 PM), BTU (0,25 PM)</b>		
Expertinneninterviews	n21	Drei Interviews zum Entwicklungsbedarf und dem Status-Quo der OS-Komponenten wurden zu Projektbeginn durchgeführt.
1. Workshop Spremberg	n21	31.03.23: Ko-Kreations-Workshop zu den Mobilitätsbedarfen
2. Workshop Spremberg	n21	03.08.2023: Workshop mit Fahrdienstleistern zur Rollenmodellerstellung und Validierung des Betriebskonzepts. Outcome: Taxizentrale wäre in Spremberg eine Möglichkeit. Beteiligung an Umsetzungsprojekt ist budgetär und zeitlich nicht möglich.
3. Workshop DABB	n21	07.09.2023 von 10:00 bis 15:00 Uhr. Ergebnisdissertation mit 20 Teilnehmenden (BMDV, MIL, Verkehrsgesellschaften, ÖPNV-Aufgabenträger)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus





<b>Analyse Versorgungslücken</b>	n21	Zusammengefasst in AP3 Meilensteinbericht (Anlage)
<b>Zielgruppen</b>	n21	Zusammengefasst in AP3 Meilensteinbericht (Anlage)
<b>Letzte-Meile-Lösungen</b>	n21	Zusammengefasst in AP3 Meilensteinbericht (Anlage)
<b>Bediengebiet &amp; -konzept</b>	n21	Zusammengefasst in AP3 Meilensteinbericht (Anlage)
<b>Fahrer-App</b>	THB	Navigationsfunktion und flexible Routenplanung für die Fahrer:innen, Echtzeit-Standort teilen usw. Die API zur Fahrer-App ist in OSLO2 geplant.
<b>User-APP</b>	THB	Routenplanung mit Rufbus-Linien und Buchungssystem der Rufbusse für den User.
<b>Nicht-funktionale Anforderung</b>	THB	Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Datenschutz, Kompatibilität, Benutzerfreundlichkeit, Wartbarkeit, Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit
<b>OpenTripPlanner</b>	THB	Analyse von OpenTripPlanner: OpenTripPlanner wird verwendet für die Routenplanung mit öffentlichen Verkehrsmitteln in Kombination mit Radfahren, Gehen, Mobilitätsdiensten und Rufbus Linien. Ein intermodaler Routing-Algorithmus wird entwickelt (BTU) und wird in OTP integriert.
<b>Digitransit UI</b>	THB	Digitransit-UI ist eine mobile-freundliche Benutzeroberfläche.
<b>Datenbedarf &amp; -verarbeitung</b>	THB	GTFS-Flex v2 Datenformat für die Nahe-Echtzeit-Generierung dynamischer Fahrpläne.
<b>Schnittstellen</b>	THB	Die OTP-Transit-Index-API liefert Informationen, die aus den GTFS-Feeds abgeleitet wurden. Die GraphQL API ermöglicht den Zugriff auf das zugrunde liegende Verkehrsnetz Graph. Die Routing-API bietet eine Möglichkeit zur Planung von Routen und zur Abfrage von Informationen über Haltestellen und Fahrpläne im öffentlichen Nahverkehr mit GraphQL.
<b>Lizenz</b>	THB	Version und Lizenz der eingesetzten Software wurden zusammengefasst.
<b>Fahrzeuge</b>	n21	Zwei Fahrzeuge je Anwendungsfall
<b>Personal</b>	n21	Abhängig von der Anzahl der umzusetzenden Anwendungsfälle. Mindestens zwei Fahrer:innen je Fahrzeug (VZÄ)
<b>Zulassung</b>	n21	Linienbedarfsverkehr nach §44 PBefG
<b>Betrieb der Software</b>	n21	Beauftragung von Softwaredienstleister, Betrieb durch lokalen Dienstleister, Einrichtung durch Experten
<b>Stakeholderanalyse</b>	n21	Zusammengefasst in Organisations- und Rollenmodell im wissenschaftlichen Schlussbericht (Anlage)

#### Ergebnis des AP 3: Mindestanforderungskatalog für eine den ÖPNV ergänzende OS-On-Demand-Lösung (in Spremberg)

☐ Vgl. Anforderungsliste, AP3 Meilensteinbericht (Anlage3) und wissenschaftlicher Schlussbericht (Anlage2)

#### AP4: Entwicklungsstand Open-Source-Vorarbeiten- n21 (0,6 PM), THB (0,1 PM), BTU (0,1 PM)

<b>Existieren Anwendungen</b>	n21	Wurde in übersichtlichem Dokument an Projektpartner übergeben. Hauptsächlich OTP und Digitransit.
<b>Nutzbarkeit exi. Lösungen</b>	n21	Wurde in übersichtlichem Dokument an Projektpartner übergeben. Hauptsächlich OTP und Digitransit.
<b>Entwicklungsstand</b>	THB / BTU	Wurde in Softwarearchitektur AP5 übernommen.

#### Ergebnis des AP 4: Entwicklungsstand und Forschungsdesiderate für weitere OS-Software-Entwicklung

#### AP5: Konzeption einer Software-Architektur - THB (3,0 PM), BTU (0,1 PM)

<b>Software Architektur Diagramm</b>	THB	Das Software-Architektur-Diagramm mit wesentlichen Komponenten und Erweiterungen wurde entwickelt.
<b>Open Source Komponenten</b>	THB	Die eingesetzten Open-Source-Komponenten (OTP, Digitransit UI) sowie wesentliche APIs wurden erklärt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



<b>Erweiterungen</b>	THB	Vier wesentliche, notwendige Erweiterungen auf der Basis von bbnavi: GTFS-Flex v2 für die Nahe-Echtzeit-Generierung dynamischer Fahrpläne, die Integration des Routing-Algorithmus (BTU), Buchungssystem und Anbindung mit der Fahrer APP.
<b>Analyse der Schnittstellen</b>	THB	Analyse des benötigten Datenformat (GTFS-Flex), eingesetzt APIs (OTP-Transit-Index-API, OTP-Routing-API, GraphQL-API, usw.)
<b>Testplanung</b>	THB	Test Kriterien wurden erstellt, um die Erfüllung der Anforderungen zu überprüfen.

**Ergebnis des AP 5: Konzept einer logischen und physischen Software-Architektur, Beschreibung der Betriebsumgebung**

☐ Vgl. Softwarearchitektur im wissenschaftlichen Schlussbericht (Anlage2)

#### **AP6: Konzeption Routing-/Pooling-Algorithmus - BTU (1,5 PM), THB (0,1 PM)**

<b>Analyse der Daten</b>	BTU	Analyse der in AP 3 erfassten Datenlage in Abstimmung mit der THB
<b>Vorbereitung Benchmarking</b>	BTU	Betrachtung geeigneter offener Datensätze zum Benchmarking
<b>Analyse von Shortest Path-Algorithmen</b>	BTU	Analyse von Algorithmen zur Ermittlung des kürzesten Weges von einem Start- zu einem Zielknoten (Dijkstra, A*, Arcflag, ALT)
<b>Analyse von Vehicle Routing-Algorithmen</b>	BTU	Analyse von Algorithmen zur Ermittlung bester Touren / Flottenplanung (Constraint-Programmierung, heuristischer Zwei-Phasen-Ansatz)
<b>Analyse Kombination von Algorithmen</b>	BTU	Analyse der Kombinierbarkeit von Algorithmen zur Berechnung von kürzesten Wegen zwischen zwei Knoten und Tourenplanungs-Algorithmen (Single-SSP-VRP, Alternative-VRP)
<b>Testplanung</b>	BTU	Geeignete Testszenarien für die kombinierten Tourenplanungs-Algorithmen wurden erstellt.

**Ergebnis des AP 6: Konzept eines intermodalen Routing-Algorithmus für ländlichen On-Demand-Verkehr**

☐ Vgl. MOC-Veröffentlichung und wissenschaftlicher Schlussbericht (Anlage2)

#### **AP7: Einbettung in bbnavi, OpenData - THB (1,2 PM), n21 (0,8 PM), BTU (0,1 PM)**

<b>Dateninventur Spremberg</b>	n21	Zusammengefasst in AP3 Meilensteinbericht (Anlage)
<b>Synergie bbnavi</b>	n21	Synergien wurden für das Umsetzungsprojekt herausgearbeitet. Ergebnisse wurden in der Softwarearchitektur (AP5) aufgegriffen.
<b>Verfügbare Datensätze</b>	THB	Die Fahrplan- und Routeninformationen (GTFS), OpenStreetMap und die Standorte von Fahrradvermietungen (GBFS) in Berlin und Brandenburg wurden als verfügbare Datensätze herangezogen.
<b>Erweiterte Datensätze</b>	THB	Rufbus Linien von DELFI-Datensatz (Berlin-Brandenburg) im Format GTFS-Flex Format
<b>Verfügbare Algorithmen</b>	BTU	OTP verwendet Algorithmen wie Dijkstra oder A* für die Berechnung der besten Routen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Entfernung, Reisezeit, Umstiege, Fußwege.

**Ergebnis des AP 7: Abschätzung der Integrierbarkeit und Weiterentwicklungspotenziale, Datenkonzept**

☐ Vgl. wissenschaftlicher Schlussbericht (Anlage2)

#### **AP8: Betriebs- & Organisationsmodell - n21 (1,8 PM)**

<b>Betriebsmodell Software</b>	OS- n21	Betriebsmodell inklusive Rollenmodell wurde entwickelt und vorgestellt.
<b>Orga. Farpersonal</b>	n21	Betriebsmodell inklusive Rollenmodell wurde entwickelt und vorgestellt.
<b>Orga. Fugrpark</b>	n21	Betriebsmodell inklusive Rollenmodell wurde entwickelt und vorgestellt.
<b>Versicherung</b>	n21	Da kein Regelbetrieb und keine Umsetzung in Spremberg möglich ist, gibt es keine belastbaren Daten zu den Kosten und den Rahmen der Versicherung.
<b>Zulassung</b>	n21	Rechtliche Rahmenbedingungen wurden zusammengefasst und vorgestellt.
<b>Tarifmodell</b>	n21	Da ODV als Teil des ÖPNV eingeführt werden soll ist der ÖPNV-Tarif plus eines möglichen Komfortzuschlags vorstellbar.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



<b>Aufwand für Kommune</b>	n21	Wirtschaftliche Betrachtung auf Anwendungsfallbasis: Wirtschaftlichster Anwendungsfall ist das „Pendeln“.
<b>Empf. Vertrieb OS-Lösung</b>	n21	VBB oder DABB. Verhandlungen laufen, daher ist keine konkrete Aussage hier möglich. Festgeschrieben zur Weiterführung im LNVP 2023 – 2027 S.207

**Ergebnis des AP 8: Kurzkonzzept eines kommunalen Betriebs- und Organisationsmodells mit Alternativen sowie Empfehlungen bzgl. der Organisation von Vertrieb und Support für die OS-Lösung.**

☐ Vgl. Wissenschaftlicher Schlussbericht (Anlage2) und Folien für DABB Workshop

#### **AP9: Gesamt- & Umsetzungskonzept**

<b>Bewertung Machbarkeit</b>	n21	Umsetzung in Spremberg nicht machbar wegen zeitlichem und budgetärem Engpass.
<b>Betriebskonzept Modellprojekt</b>	Alle	Projektskizze OSLO2 wurde eingereicht.
<b>Umsetzungsskizze</b>	Alle	Projektskizze OSLO2 wurde eingereicht.
<b>Konsolidierung Vorarbeiten</b>	n21	Wurden in DABB-Workshop vorgestellt und in Schlussbericht zusammengefasst.

**Ergebnis des AP 9: Konzept einer Open-Source-Lösung für ländlichen On-Demand-Verkehr (Software, Algorithmus, Betrieb, Organisation), Umsetzungskonzept für einen Modellprojekt.**

☐ Vgl. OSLO2 Projektskizze, Erfolgskontrollbericht (Anlage1) und wissenschaftlicher Schlussbericht (Anlage2)

#### **AP 1: Projektkoordination & Projektmanagement**

**Ziel:** Ziel des AP1 ist die Sicherstellung des Arbeits- und Projektablaufs, der Aufbau eines erweiterten Konsortiums sowie die Erstellung des Abschlussberichts.

**Ergebnisse:** In AP1 liegt der Fokus auf der Gesamtkoordination und dem Projektmanagement. Dies umfasst die Organisation von Arbeitstreffen und Veranstaltungen. Bis auf zwei Ausfälle wurde der zweiwöchentliche Jour-Fixe im Konsortium durchgeführt und protokolliert. Es wurden bisher zwei Workshops in Spremberg durchgeführt. Auch hat ein bedarfsorientierter Austausch mit dem Partnerprojekt „MoVeToLausitz“ über die Projektlaufzeit hinweg stattgefunden.

Die Steuerung des Verbunds bzw. Partnernetzwerks und die Kommunikation mit dem Förderer übernahm neuland21. Die Bildung eines erweiterten Konsortiums für die Umsetzung als Modellprojekt in Spremberg wurde gebildet, jedoch war eine Umsetzung mangels Zeit und Budget in Spremberg nicht möglich (siehe Erfolgskontrollbericht Punkt 4). Der Abschlussbericht wird fristgerecht zu Projektende eingereicht.

#### **AP 2: Öffentlichkeitsarbeit & Transfer**

**Ziel:** Ziel des AP2 ist es, laufende Beiträge der Öffentlichkeitsarbeit zu publizieren, einen Vortrag für die Open-Source-Community zu ermöglichen, ein Webinar für interessierte Kommunen (DABB) durchzuführen sowie regulär an Fachveranstaltungen teilzunehmen.

**Ergebnisse:** Neuland21 führte gemeinsam mit den Partnerinstitutionen die Öffentlichkeitsarbeit des Projektes durch. Dies umfasste bisher eine Pressemitteilung zum Projektauftritt, ein Treffen mit dem ÖPNV-Aufgabenträger im Landkreis Spree-Neiße, die zweimalige Vorstellung des Projektes bei mFUND-Infoveranstaltungen sowie die Vorstellung der Projektidee des Umsetzungsprojektes. Silvia Hennig (neuland21) nahm als Referentin an einer Paneldiskussion des mFUND Projekts SMueR teil sowie als Panelistin an der digitalen Podiumsdiskussion im Rahmen der Veranstaltung „Innovationsprozesse für zukunftsfähige Mobilität in Kommunen – und wie sie gelingen können“.

Des Weiteren wurden die Projektergebnisse dreimal in der AG-Mobilität in Spremberg vorgestellt und alle an den Projektergebnissen interessierten Stakeholder (ÖPNV-Aufgabenträger Spree-Neiße, VTF, Landkreis Oder-Spree, Landkreis Potsdam-Mittelmark, AG Mobilität, BBG) kontinuierlich über aktuelle Entwicklungen informiert. Die Skalierung der Projektergebnisse wurde zudem durch den Multiplikationsworkshop bei der DABB zu Ende des Projektes (07.09.2023) durchgeführt. Anstelle eines Webinars wurde der Termin aufgrund des

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Brandenburger Bezugs (bbnavi) in Präsenz mit 25 Teilnehmenden durchgeführt. Es wurde nochmals die Wichtigkeit der Weiterführung von bbnavi zur schnellen Integration der bereits sich im Hochlauf befindenden ODVs in Brandenburg betont. Die Rückmeldungen zum Workshop waren durchweg positiv und haben zur stärkeren Vernetzung der ODV-Stakeholder in Brandenburg geführt.

Wichtige Erkenntnisse zur Verwendung von Routing-Algorithmen für den ländlichen Raum wurden als wissenschaftlicher Beitrag beim "MOC 2023 - 15. Workshop {KI-basiertes} Management und Optimierung komplexer Systeme" eingereicht und akzeptiert. Die Präsentation der Arbeit erfolgte am 29. September 2023 auf dem Workshop als Teil der Jahrestagung Informatik 2023 der Gesellschaft für Informatik (<https://informatik2023.gi.de/>).

### AP 3: Ko-kreative Bedarfs- & Anforderungserfassung

**Ziel:** Ziel des AP3 war es, eine Bedarfs- und Anforderungserfassung zu erstellen für eine den ÖPNV ergänzende Open-Source-On-Demand-Lösung in Spremberg. Ergänzend sollten ko-kreative Workshops durchgeführt werden.

**Ergebnisse:** Mit Hilfe der Umsetzungspartner in der Modellregion Spremberg wurden alle relevanten Basisdaten zur Bedarfsanalyse in Spremberg zusammengetragen. Die zur Verfügung stehenden Daten wurden über eine ausführliche Recherche erweitert. Es wurden für die Bedarfsanalyse nötige Rahmenbedingungen in den Bereichen Allgemeines, Wirtschaft & Infrastruktur, Verkehr & ÖPNV-Angebot analysiert. Zusätzlich wurden in Spremberg am 11.03.2023 von 10:00 bis 15:00 gemeinsam mit 30 Teilnehmenden aus Politik und Zivilgesellschaft in einem ko-kreativen Bearbeitungsprozess existierende Bedarfe erarbeitet und evaluiert, welche bisher nicht durch den ÖPNV abgedeckt werden. Aus den Ergebnissen des Workshops konnten drei explizite Anwendungsfälle für einen ODV im Stadtgebiet abgeleitet werden: Dazu zählt der Anwendungsfall, „Pendeln“, „Querverbindungen“ und „Abendliche Randzeiten“.

#### Anwendungsfall Pendeln

Als repräsentative Vergleichsstrecke für einen Arbeitsweg in Spremberg wurde die Route von einer zufällig ausgewählten Adresse in einem Wohngebiet in Sellessen Haidemühl zu der Actemium BEA GmbH, einem Großarbeitgeber im Industriepark Schwarze Pumpe, ausgewählt.

Mit dem Auto beträgt die durchschnittliche Wegzeit mit einer Ankunft um 09:00 Uhr am Ziel oder für eine Rückfahrt ab 16:00 Uhr 20 Minuten, während die gleiche Strecke im ÖPNV mit einem Umstieg am Busbahnhof Spremberg in der Kernstadt durchschnittlich 49 Minuten dauert. Ziel des Anwendungsfalls ist es, eine effizientere Reisezeit unter der Prämisse einer Minimierung der Verwendung des Privatautos in der Hauptwegstrecke zu ermöglichen. Hierfür sollen emissionsarme Verkehrsträger wie Fahrrad, Fußgänger und ODV mit dem ÖPNV effizient verzahnt werden.

#### Anforderungen Anwendungsfall Pendeln

Zur effizienten Gestaltung des Anwendungsfalls 1 „Pendeln“ sind folgende spezifische Anforderungen identifiziert worden:

- Vergleichbare Reisezeit gegenüber dem Motorisierten Individualverkehr (MIV).
- Effiziente Umsteigezeiten und Anschlussgarantie.
- Kurze Fußwege.
- Ausstattung der Umstiege mit Schließanlagen und Unterstand für die Kombinationen von ÖPNV mit Fuß- Rad- und ODV.
- Geringe Umwege.
- Planbare Ankunftszeiten (Hinfahrt).

#### Anwendungsfall Querverbindungen und kurze Wege

Als zweiter Anwendungsfall wurden die kurzen Wege sowie die Querverbindungen zwischen den Ortsteilen gewählt. Dies begründet sich durch das Zeitfenster von 10:00 bis 16:00 Uhr für eine mögliche Nutzung zwischen Hin- und Rückweg im Anwendungsfall Pendeln.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Da in Spremberg einige Verbindungen zwischen den Ortsteilen mit einem Umstieg am Busbahnhof bestehen, ergibt sich auch die Chance zur effizienteren Gestaltung von gewissen Querverbindungen. Hier können Verbindungen zwischen nahegelegenen Ortsteilen durch nicht an Haltestellen gebundene Bedienformen gestellt werden und damit den MIV auf Kurzstrecken ablösen, auf welchen der ÖPNV durch einen Umstieg nicht konkurrenzfähig ist.

Als repräsentative Vergleichsstrecke für eine kurze Querverbindung in Spremberg wurde die Route von einer zufällig ausgewählten Adresse in Groß Luja, Ringweg 16, 03130 Spremberg, zu einer Gaststätte in Bülow, Hauptstraße 9, 03130 Spremberg,

Mit dem Auto beträgt die durchschnittliche Wegzeit 10 Minuten, während die gleiche Strecke mit einem Umstieg am Busbahnhof Spremberg in der Kernstadt durchschnittlich 1 Stunde und 8 Minuten dauert. Ziel des Anwendungsfalles ist es, eine effizientere Reisezeit unter der Prämisse einer Minimierung der Verwendung des Privatautos in der Hauptwegstrecke zu ermöglichen. Dazu sollen emissionsarme Verkehrsmittel wie Fahrrad, Fuß- und Bedarfsverkehr genutzt werden. Sofern verfügbar, sind auch effiziente Kombinationen aus ÖPNV und Bedarfsverkehr denkbar. Der Fokus des Anwendungsfalles liegt jedoch auf Direktverbindungen mit einem der Verkehrsmittel, um vergleichbare Reisezeiten wie mit dem MIV zu generieren.

### Anforderungen Anwendungsfall Querverbindungen

Zur effizienten Gestaltung des Anwendungsfalles 2 „Querverbindungen“ sind folgende spezifische Anforderungen identifiziert worden:

- Bedienung kurzer Strecken, für welche keine passende liniengebundene ÖPNV-Verbindung existiert.
- Spontane Buchungen, da Rückfahrt zeitlich oft nicht planbar ist.
- Optimierung der Abholpunkte für kontinuierliche Fahrtwege.
- Geringe Umwege.

### Anwendungsfall Abendliche Randzeiten

Als repräsentative Vergleichsstrecke für eine Verbindung zur abendlichen Randzeit in Spremberg wurde die Route von einem Restaurant mit Biergarten in der Kernstadt, Lange Str. 23-24, 03130 Spremberg, zu einer zufällig ausgewählten Adresse im Ortsteil Terpe, Am Südgraben 3, 03130 Spremberg, gewählt

Mit dem Auto beträgt die durchschnittliche Wegzeit 12 Minuten, während die gleiche Strecke entweder 29 Minuten als Direktverbindung (Buslinie 886) oder 1 Stunde und 24 Minuten mit einem Umstieg von der Linie 800 am Busbahnhof Schwarze Pumpe dauert. Die Haltestelle in Terpe ist eine Rufbushaltestelle und bedarf einer Anmeldung der Fahrt mit dem Bus 886 anderthalb Stunden vor Abfahrt. Die Strecke von Terpe zum Busbahnhof Schwarze Pumpe kann auch in 29 Minuten zu Fuß begangen werden. Nach 16:30 Uhr gibt es jedoch keine Möglichkeit für eine Reisekette ohne langen Fußweg. Durch flexible Verbindungen zu abendlichen Randzeiten können auch wenig nachgefragte Strecken effizient bedient werden. Zusätzlich bietet die Kombination aus den drei Anwendungsfällen eine komplett flexible Tagesgestaltung ohne die Nutzung des MIV. So können sich Personen nach der Arbeit direkt zum Abendessen treffen und gemeinsam in den gleichen Ortsteil mit dem ÖDV fahren. Darüber hinaus bieten kürzere Fußwege mobilitätseingeschränkten Personen die Möglichkeit, leichter auf den privaten Pkw zu verzichten.

Die Anwendungsfälle 2 und 3 ähneln sich in der Ausgestaltung, neben einer klaren zeitlichen Abgrenzung, stark. Die Unterschiede liegen in der möglichen längeren Strecke zu den abendlichen Randzeiten und einer vermutlichen Bündelung der Fahrtwünsche in der Kernstadt in die Außenbereiche, während Anwendungsfall 2 die kurzen Querverbindungen zwischen den Ortsteilen bedient.

### Anforderungen Anwendungsfall Abendliche Randzeiten

Zur effizienten Gestaltung des Anwendungsfalles 2 „Querverbindungen“ sind folgende spezifische Anforderungen identifiziert worden:

- Bedienung der abendlichen Randzeiten, für welche keine passende liniengebundene ÖPNV-Verbindung existiert.
- Spontane Buchungen, da Rückfahrt zeitlich oft nicht planbar ist.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



- Optimierung der Mitnahme entlang der Strecke, da Streckenführung meist von der Kernstadt in die äußeren Ortsteile führt und damit lange leere Rückfahrten bedeutet.
- Umwege können zur Erhöhung der Pooling-Quote in Kauf genommen werden.

## Zusammenfassung

Aus der Zusammenfassung der drei entwickelten Anwendungsfälle, „Pendeln“, „Querverbindungen“ und „Abendliche Randzeiten“ lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen: Zum einen sind die betrieblichen, technischen und rechtlichen Anforderungen an die Umsetzung sehr ähnlich. Die größten Unterschiede bestehen in der Verzahnung mit dem existierenden Linienverkehr gegenüber der Bedienung von bisher nicht in Linien abgebildeten kurzen Querverbindungen oder bisher zeitlich nicht abgebildeten Verbindungen zu Randzeiten.

Daraus lässt sich ableiten, dass bei der Umsetzung des ersten Anwendungsfalls ein starker Fokus auf effizienten Umsteigevorgängen zwischen verschiedenen Verkehrsträgern und einer fixen Ankunftszeit liegt, während die beiden anderen Anwendungsfälle bisher nichtexistierende Verbindungen darstellen und daher einen stärkeren Fokus auf effiziente Abholpunkte und flexible Buchbarkeit legen.

Durch die Routine des Arbeitsweges sind die Abholungen im ersten Anwendungsfall gut planbar und über einen längeren Zeitraum konstant, während es in den beiden anderen Anwendungsfällen auch zu spontanen Buchungen und nicht planbaren Verbindungen kommt, da der zeitliche Umfang eines Restaurantbesuches oder eines Treffens mit sozialen Kontakten nicht im Voraus planbar ist. Dabei ist zu beachten, dass in der abendlichen Schwachverkehrszeit bei Verbindungen vor allem von der Kernstadt in die peripheren Ortsteile längere Warte- bzw. Vorbuchungszeiten sowie längere Umwege auf der Strecke in Kauf genommen werden müssen, um möglichst viele Fahrgäste auf einer Fahrt zu befördern.

In Bezug auf die Flottengröße ist für eine Stadt im Umfang von Spremberg davon auszugehen, dass für die Bedienung der Anwendungsfälle zunächst ein bis zwei Fahrzeuge ausreichend sind (Mehlert, Christian, and Martin Weißhand 2023). Dies ist mit der Ausdehnung des Betriebsgebietes oder eines spezifischen Anwendungsfalls skalierbar und kann dadurch in Zukunft auch zu einem höheren Bedarf an verfügbaren Fahrzeugen führen.

Während der Betrieb bzw. die organisatorische Hoheit über das Angebot entweder beim ÖPNV-Aufgabenträger oder bei einer Gebietskörperschaft zu sehen ist, sind die Teilbereiche des Betriebs auf viele verschiedene Akteure verteilt. Das zugrundeliegende Rollenmodell wird im weiteren Projektverlauf weiter ausgearbeitet. So können z.B. Fahrzeuge und Personal auch von lokalen Verkehrsunternehmen gestellt werden und die Wartung und der Betrieb der Software durch einen lokalen Softwaredienstleister erfolgen. Hier sind viele Konstellationen vorstellbar, welche durch die Integration ansässiger Stakeholder im weiteren Verlauf geschärft wird.

### AP 4: Entwicklungsstand Open-Source-Vorarbeiten

Ziel: Ziel von AP 4 war es, den Entwicklungsstand und die Forschungsdesiderate für weitere Open-Source-Software-Entwicklungen zu erfassen. Als Grundlage für die Anforderungserfassung an Software-Architektur und Algorithmus einer Open-Source-Lösung sollte zunächst erfasst werden, welche bestehenden Anwendungen und Vorarbeiten nutzbar sind. Die Erfassung des Entwicklungsstands mit Blick auf ländliche Räume erfolgt durch neuland21, die Bewertung des technischen Reifegrades durch THB und BTU. Dies umfasst auch einen Abgleich mit bestehenden proprietären Lösungen.

Ergebnisse: Existierende Open-Source Vorarbeiten im Bereich des Routings und für die Umsetzung relevante Open-Data-Sätze wurden in einem strukturierten Kurzbericht zusammengefasst. Die Arbeitsergebnisse wurden nach Sichtung und Anpassung an die THB übergeben und bilden die Vorarbeit für die aufbauende Software-Architektur.

### AP 5: Konzeption einer Software-Architektur

Ziel: Ziel von AP 5 war es, dass die THB auf Grundlage des ko-kreativen Prozesses die technischen Anforderungen an eine Software-Architektur entwickelt. Dies sollte als Grundlage für die Entwicklung und Erprobung in einem Modellprojekt dienen. Das AP umfasste die Ableitung zentraler nicht-funktionaler Anforderungen (insb. Zuverlässigkeit, Erweiterbarkeit, Sicherheit und Datenschutz), die Definition zentraler Schnittstellen, die Festlegung der Kriterien für die Betriebsumgebung, die Festlegung von Daten(austausch)formaten, die Auswahl

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus





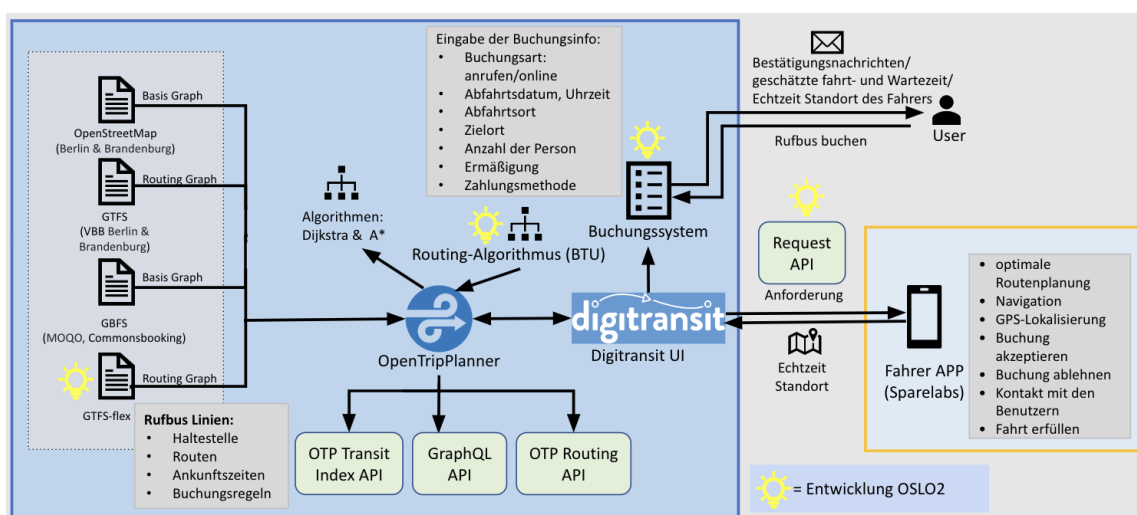
konkreter Open-Source-Komponenten anhand der Anforderungen, Standards für Wartung und Weiterentwicklung im Open-Source-Modell sowie einen Integrationsansatz für alle internen und externen Architektur-Komponenten, insbesondere des Routing/Pooling-Algorithmus (vgl. AP 6).

Ergebnisse: Die Analyse ergab vier wesentliche, notwendige Erweiterungen zur Umsetzung von On-Demand-Verkehr auf der Basis von bbnavi:

1. Die Nutzung von GTFS-Flex-V2 für die Nahe-Echtzeit-Generierung dynamischer Fahrpläne,
2. die Integration des angepassten Routing-Algorithmus (BTU) in die OTP-Architektur,
3. die Entwicklung einer Schnittstelle für die Anbindung von Buchungssystemen und
4. die Anbindung von bbnavi über eine Schnittstelle mit der Fahr-App.

Im Fazit bedeutet das, dass eine Erweiterung der bestehenden Software-Projekte für die Umsetzung des geschilderten ODV grundsätzlich möglich ist. Zentral ist die Nutzung von GTFS-Flex-V2 für die dynamische Generierung. In Abbildung 1 wird die Software-Architektur dargestellt, bei der die vier wesentlichen Erweiterungen gelb (Glühbirne) markiert sind.

Abbildung 1: Darstellung der Software-Architektur



### Datenquellen:

OTP greift auf verschiedene Datenquellen zu, wie zum Beispiel *General Transit Feed Specification (GTFS)* Daten, die den Fahrplan- und Routeninformationen der Verkehrsbetriebe in Berlin und Brandenburg entsprechen. Weitere Datenquellen sind OpenStreetMap (Berlin-Brandenburg) für Straßennetze und Echtzeitdaten über die Standorte von mehreren hundert Fahrradvermietungen in Berlin und Brandenburg (GBFS). Darüber hinaus gibt es GTFS-Flex-Daten, die den Routeninformationen der Rufbus-Linien entsprechen. Da GTFS-Flex eine Erweiterung des GTFS-Formats ist, enthalten GTFS-Flex-Daten in der Regel die gleichen Grundelemente wie GTFS-Daten (Agentur, Haltestellen, Routen usw.), aber auch zusätzliche Informationen, die speziell für die Darstellung von flexiblen Verkehrsdiensten relevant sind, z. B. Buchungsregeln, vgl. Abbildung 2.

Gefördert durch:



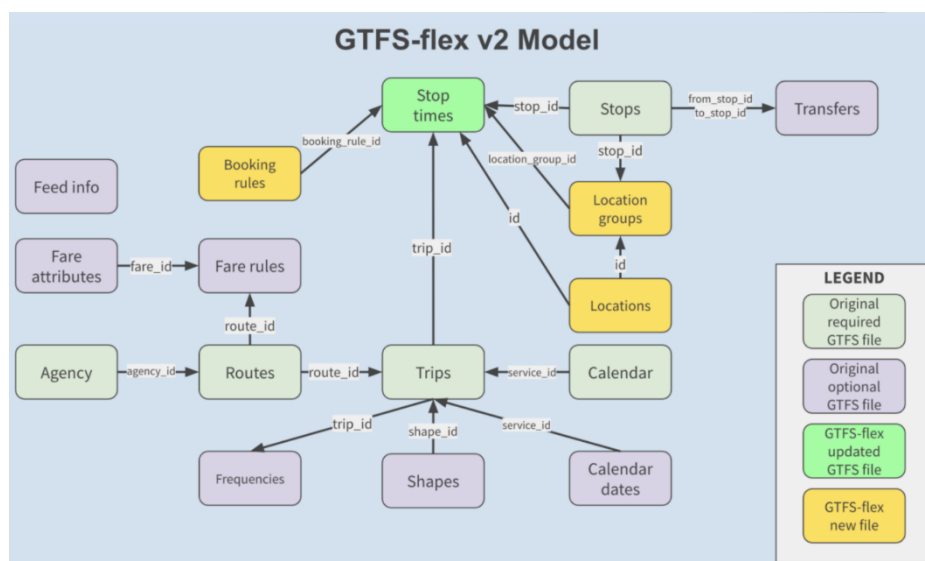
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Abbildung 2: Darstellung des GTFS-Flex v2 Model



Die neueste Version, GTFS-Flex v2, besteht aus zwei Erweiterungen, die darauf abzielen, die Vielfalt der nachfrageabhängigen Dienste zu modellieren, die nicht immer denselben festen Haltestellen folgen. Die folgenden beiden Erweiterungen tragen diesem Bedarf Rechnung:

- **GTFS-FlexibleTrip:** Flexible Dienste, die nach einem bestimmten Fahrplan verkehren, aber auf die Nachfrage einzelner Fahrgäste reagieren.
- **GTFS-BookingRules:** Buchungsinformationen für von Fahrgästen angeforderte Dienste, die GTFS-FlexibleTrips verwenden, z. B., wie weit im Voraus die Buchung erfolgen soll oder welche Telefonnummer für Nachfragen oder Buchungen angerufen werden kann.

Mit der Generierung von Dateien innerhalb dieser Spezifikation ist es möglich, einen mit der bestehenden Architektur kompatiblen Transit Feed für On-Demand-Verkehre zu erzeugen.

### OpenTripPlanner

OpenTripPlanner (OTP) bietet verschiedene APIs und Endpunkte, die es Entwickler:innen ermöglichen, auf verschiedene Funktionalitäten im Zusammenhang mit dem öffentlichen Nahverkehr und der multimodalen Reiseplanung zuzugreifen. Die OTP-Transit-Index-API liefert Informationen, die aus den GTFS-Feeds abgeleitet wurden. OTP erstellt einen transitiven Graphen aus den Datenquellen, um die öffentlichen Verkehrsrouten berechnen zu können. Dieser Graph enthält Informationen über Haltestellen, Routen, Fahrpläne, Umsteigeverbindungen usw. Die GraphQL API ermöglicht den Zugriff auf den zugrundeliegenden Verkehrsnetzgraph, den OTP für die Routenberechnung verwendet. Die Berechnung des Graphen ermöglicht effiziente Routenplanungen. OTP verwendet Algorithmen wie Dijkstra oder A\* für die Berechnung der besten Routen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Entfernung, Reisezeit, Umstiege, Fußwege usw. Der günstigste Routing-Algorithmus (vgl. AP 6) muss in die Routing-Komponente (OTP-Routing-API) integriert werden, um die besten Routen für kommunal betriebene On-Demand-Verkehre (ODV) zu ermitteln. Die Routing-API bietet eine Möglichkeit zur Planung von Routen und zur Abfrage von Informationen über Haltestellen und Fahrpläne im öffentlichen Nahverkehr mit GraphQL. Über diese Komponente können also auch Zusatzinformationen eingespeist werden, die für das Routing relevant sind.

### Digitransit UI

Digitransit-ui ist eine mobilfreundliche Benutzeroberfläche. Digitransit UI ermöglicht den Nutzer:innen die Eingabe von Start- und Zielorten sowie Reisepräferenzen. Es verarbeitet Eingaben (Mobilitätsanfragen) und sendet entsprechende Anfragen an OTP, um die Routenplanung anzustoßen und mögliche Verbindungen als Reiseplanungsdaten abzurufen.

### Buchungssystem

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus





Für den Betrieb von On-Demand-Verkehr ist es notwendig, ein Buchungssystem zu entwickeln, an das der Fahrtwunsch weitergegeben werden kann. Die Nutzer:innen können den Rufbus telefonisch oder online buchen und die Buchungsinformationen (Zeit, Abfahrtsort, Zielort usw.) eingeben. Die Unterstützung diverser Zahlungsmöglichkeiten ist ebenfalls erforderlich. Wenn Nutzer:innen eine Zahlungsmethode auswählen, werden sie auf die entsprechende Zahlungsseite weitergeleitet. Darüber hinaus sollten die Buchungsinformationen rechtzeitig bearbeitet und durch die Request-API an die Fahr-App übermittelt werden.

### Fahr-App

Für den Betrieb von On-Demand-Verkehr ist es notwendig, dass Fahrzeuge zu jeder Zeit neue Routen-Informationen erhalten und die Route bedarfsgerecht verändert werden kann. Navigationsanwendungen für mobile Endgeräte sind in der Praxis etabliert und es existiert die Erwartungshaltung von Echtzeit-Geo-Informationen in allen Anwendungen. Daneben ist auch für die Routenplanung ein genauer Standort der Fahrzeuge unerlässlich. Die Standorte im Netzgraph sollten annähernd in Echtzeit und möglichst feingranular, also auf Knotenebene des Straßennetzes, zur Verfügung stehen, um eine praxistaugliche Routenplanung in angemessener Zeit zu ermöglichen. Die Datenbeschaffung dafür kann über separate GPS-Sensoren innerhalb der Fahrzeuge oder über eine Schnittstelle der Fahr-App realisiert werden. Dabei wird die übliche GPS-Lokalisierung der mobilen Endgeräte genutzt. Bei der Realisierung über die Fahr-App müssen diese Koordinaten jedoch explizit an bbnavi zurückgegeben werden, um für die Routenplanung genutzt werden zu können. Für Fahrer:innen ist darüber hinaus eine Funktion zur Bearbeitung von Mobilitätsanfragen notwendig. Nach Erhalt der Buchungsinformation, kann die Buchung angenommen oder aufgrund unvermeidbarer Faktoren abgelehnt werden. Damit ist eine direkte, digitale Rückmeldung an die Nutzer:innen innerhalb der verschiedenen Apps möglich. Auch voraussichtliche Wartezeiten und sonstige Veränderungen können so kurzfristig strukturiert kommuniziert werden.

Die Analyse der Anforderungen hat ergeben, dass von der Realisierung einer eigenen mobilen Fahr-App abzusehen ist. Die Erwartungen von Nutzer:innen in Bezug auf Komfort (Geschwindigkeit, Sprachausgabe), Visualisierung (2D/3D, Karten, Verkehrsdichte) oder Funktionsumfang (Offline-Modus, Stauumfahrung) sind zu hoch für eine eigene Entwicklung im Rahmen eines Umsetzungsprojekts. Es wird daher empfohlen, mit Dritten zusammenzuarbeiten, um diese Funktionalität zufriedenstellend umzusetzen. Im Projekt hat sich der Partner "SpareLabs" offen für eine Zusammenarbeit gezeigt, weshalb für Folgeprojekte eine Kooperation angestrebt wird. Auf technischer Ebene muss hier lediglich eine offene Referenzimplementierung einer Schnittstelle entwickelt werden, sodass auch verschiedene Dienstleister diese Lücke füllen und ggf. mit eigenen Mehrwertdiensten für die Fahr-Dienstleister, z. B., die Integration mit offenen oder proprietären Software-Lösungen für Fuhrparkverwaltung oder Vermietung, anreichern können.

### Nicht-funktionale Anforderung

Aus der Architektur-Analyse und den abgeleiteten Anforderungen von Nutzer:innen und Fahr-Dienstleistern ergeben sich mehrere nicht-funktionale Anforderungen, die im Folgenden wiedergegeben werden:

- **Leistungsfähigkeit:** Durch die zusätzlichen Routenoptionen des neuen Verkehrsmodus "Rufbus" und der Einbeziehung von Echtzeitdaten ist von erhöhter Komplexität in der Berechnung möglicher Routen auszugehen. Daher ist darauf zu achten, dass entsprechende Geschwindigkeitstests durchgeführt werden, um wesentliche Abweichungen von den üblichen Latenzen für die Routenplanung (aktuell ca. 450 Millisekunden) zu ermitteln und ggf. mit dem vermehrten Einsatz von Heuristiken gegenzusteuern.
- **Sicherheit und Datenschutz:** Personenbezogene Daten wie beispielsweise Buchungsinformationen werden außerhalb des Systems verarbeitet und werden gemäß den geltenden Datenschutzbestimmungen sicher behandelt.
- **Kompatibilität:** Die Benutzungsoberflächen müssen auf verschiedenen Betriebssystemen und Geräten (z. B. Windows, macOS, Android, iOS) ordnungsgemäß funktionieren.
- **Benutzungsfreundlichkeit:** Die Benutzungsoberfläche (Routenplanung mit Rufbus/Buchungssystem) sollte intuitiv und leicht verständlich sein, um die Einarbeitungszeit für neue Nutzer:innen und fehlerhafte Eingaben zu reduzieren.
- **Wartbarkeit:** Der Code muss gut strukturiert und dokumentiert sein, um eine einfache Wartung und Erweiterung des Systems zu ermöglichen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



- **Skalierbarkeit:** Das System sollte in der Lage sein, die aktuelle und die zu erwartende gestiegene Last durch den ODV zu bewältigen und muss bei Bedarf erweitert werden können. Das trifft insbesondere auf den Routing-Algorithmus und die Generierung des GTFS-Feeds zu.
- **Zuverlässigkeit:** Das System sollte eine Verfügbarkeit von mindestens 99,9 % aufweisen.

### Liste der eingesetzten Komponenten

Tabelle 3: Auflistung verwendeter Open-Source-Projekte

Komponente	Version	Lizenz
digitransit-ui <a href="https://digitransit.fi/en/developers/services/5-digitransit-ui/">https://digitransit.fi/en/developers/services/5-digitransit-ui/</a>	V 3	EUPL v1.2 and AGPL v3
GTFS Flex <a href="https://github.com/bbnavi/gtfs-flex">https://github.com/bbnavi/gtfs-flex</a>	V 2	Creative Commons Zero v1.0 Universal
OpenTripPlanner <a href="https://docs.opentripplanner.org/en/v2.3.0/">https://docs.opentripplanner.org/en/v2.3.0/</a>	V 2.3.0	Apache 2.0

### AP 6: Konzeption des Routing-/Pooling-Algorithmus

**Ziel:** Ziel des AP 6 war es, ein Konzept für einen intermodalen Routing-Algorithmus für ländlichen On-Demand-Verkehr zu erarbeiten.

**Ergebnisse:** Die BTU Cottbus - Senftenberg hat die Analyse und Konzeption des intermodalen Routing-Algorithmus als Grundlage für eine spätere Entwicklung im Modellprojekt durchgeführt. In Abstimmung mit der THB wurde die Analyse der in AP 3 erfassten Datenlage hinsichtlich der Struktur und des Umfangs der verfügbaren statischen (Schienennetz, Straßennetz, Fahrpläne, etc.) und dynamischen Datenmengen (Verkehrsaufkommen, Mobilitätswünsche, Optimierungsziele) durchgeführt. Es lässt sich zusammenfassen, dass die gegebenen Daten sowohl in ihrer Struktur als auch im Umfang für das Umsetzungsprojekt geeignet sind. Für das spätere Benchmarking wurden geeignete offene Datensätze unter anderem bei Open Street Maps gefunden. Es wurden verschiedene Algorithmen für Routen- und Tourenplanung hinsichtlich ihrer Kombinierbarkeit und Anwendbarkeit auf die gegebene Problemstellung analysiert. Die Ergebnisse der Analyse werden bei der diesjährigen Jahrestagung INFORMATIK der Gesellschaft für Informatik e.V. beim MOC Workshop "KI-basiertes Management und Optimierung komplexer Systeme" vorgestellt und veröffentlicht. Abschließend wurde die Testung des Verfahrens mit Daten der Partner und generierten Benchmarking-Daten geplant. Die Ergebnisse von AP 6 sind im Detail folgende:

Straßen- und Verkehrsnetze, wie die der Stadt Spremberg und Umgebung, können durch gewichtete Graphen repräsentiert werden. Ein gewichteter Graph  $G = (V, E)$  besteht aus einer Menge  $V$  von Knoten (engl. vertices) und einer Menge  $E \in V \times V$  von Kanten (engl. edges) sowie einer Gewichtsfunktion  $d : E \rightarrow \mathbb{R}$ , die die Kanten mit Gewichten oder Kosten bewertet. Für die Problemdomäne "Routing-Algorithmen" in unserem Projekt sind zwei wesentliche mathematische Problemstellungen relevant: A) die Berechnung kürzester Pfade (engl. shortest-path) und B) die Tourenplanung. Wir ordnen zunächst beide ein und gehen dann auf die algorithmische Behandlung beider Problemstellungen detaillierter in Unterabschnitten gezielt ein. Am Ende des Abschnitts betrachten wir C) Kombinationsmöglichkeiten.

Ein *Shortest Path-Algorithmus* findet den kürzesten Weg zwischen einem Start ( $s \in V$ ) und einem Zielknoten ( $z \in V$ ) in einem gewichteten Graphen. Mit Hilfe eines solchen Algorithmus kann sowohl für den privaten Straßenverkehr als auch für den ÖPNV ein kürzester Weg ermittelt werden. Für den Straßenverkehr sind die Knoten Kreuzungen, Haltepunkte und Orte, die durch Straßen (Kanten) miteinander verbunden sind. Die Gewichtsfunktion ordnet dabei jeder Straße eine geschätzte Fahrtdauer zu. Analog kann für den ÖPNV ein Graph verwendet werden, bei dem die Busstationen und Bahnhöfe die Knoten darstellen und die Schienen bzw. Buslinien durch Kanten repräsentiert werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Bei einem On-Demand-Service soll ein Fahrzeug oder eine Flotte von Fahrzeugen dazu genutzt werden, die Transportwünsche möglichst vieler Teilnehmer zu erfüllen und dabei die geringsten Kosten verursachen. Die beschriebene Problemstellung wird in der Literatur als *Tourenplanung* (englisch Vehicle Routing Problem, VRP) bezeichnet. Ziel ist dabei die Gruppierung und optimale Aneinanderreihung verschiedener Transportaufträge. Aus den Gegebenheiten in Spremberg leiten sich weitere Einordnungen unseres Problems in Unterklassen des VRP ab. So handelt es sich um ein Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), d.h. es müssen die verschiedenen Kapazitäten der Fahrzeuge (Auto, Kleinbus, Bus) berücksichtigt werden. Es genügt auch nicht, die Transporte einfach nur durchzuführen, sondern dies muss auch innerhalb zulässiger Zeitfenster geschehen (Vehicle Routing Problem with Time Window, VRPTW). Diese Zeitfenster steuern auf der einen Seite, dass die Fahrgäste ihren Anschlusszug rechtzeitig erreichen können und auf der anderen Seite, dass die Gesamtdauer des Transports für den jeweiligen Gast nicht zu groß wird (denn dann könnte auch der bisherige ÖPNV genutzt werden). Um eine kurzfristige Buchung des On-Demand-Services zu ermöglichen, müssen im späteren Verlauf dynamisch weitere Fahrgäste und Transporte zu bestehenden Routen hinzugefügt werden können (Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP).

Für die Unterstützung des bestehenden ÖPNV mittels eines On-Demand-Services ist es nicht nur notwendig, geeignete einzelne Verfahren zum Finden kürzester Wege und optimierte Routen zu finden, sondern auch diese geeignet zu kombinieren. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit von Spremberg nach Bautzen mittels Bussen (Linie 800 und 500) oder Zügen (RB 65 und RB 60) zu gelangen. Dem Fahrgast ist dabei die Art der Verbindung egal, was bedeutet, dass er entweder zu einer der Bushaltestellen oder zum Bahnhof gebracht werden muss, ehe er mit dem ÖPNV weiterfahren kann. Die Tourenplanung (im Folgenden auch "Routing") soll dabei gewährleisten, dass der Fahrgast so schnell wie möglich und rechtzeitig zu einem der Haltepunkte gebracht wird, wohingegen ein Shortest Path-Algorithmus zunächst die infrage kommenden Haltepunkte ermitteln muss.

Im Folgenden soll nun detaillierter auf die beiden Teilproblemstellungen "Shortest-Path-Algorithmen" und "Vehicle Routing" eingegangen werden.

### Shortest Path-Algorithmen

Das Shortest Path-Problem ist ein sehr gut erforschtes und in verschiedene Unterkategorien differenzierbares Problem. In Madkour et al. 2017 sind diverse Unterkategorien des Shortest Path-Problems aufgeführt. Die Problemstellung des statischen Ermitteln der schnellsten Bus- oder Bahnverbindung fällt in die Kategorie (static) Single Source Shortest Path (SSSP). In diesem Abschnitt werden verschiedene Shortest Path-Algorithmen zur Lösung des SSSP-Problems vorgestellt und miteinander verglichen.

### Der Dijkstra-Algorithmus

Der Dijkstra-Algorithmus Cormen et al. 2001 ist ein bekannter Algorithmus zur Berechnung des kürzesten Pfades in einem gewichteten Graphen mit nicht-negativen Kantengewichten. Der Algorithmus arbeitet inkrementell und wählt iterativ den Knoten mit dem geringsten Abstand vom Startknoten aus. Wurde der Knoten mit dem geringsten Abstand ausgewählt, so werden die Abstände aller Knoten, die noch nicht besucht wurden und mit dem aktuellen Knoten verbunden sind, angepasst und der aktuelle Knoten als besucht markiert. Der Abstand eines markierten Knotens kann sich nicht mehr verringern und ist somit der kürzeste Abstand vom Startknoten zu diesem Knoten. Wird der Abstand zu einem bestimmten Knoten gesucht, so bricht der Algorithmus ab, sobald der gewünschte Knoten besucht wurde.

Der Dijkstra-Algorithmus ist exakt und hat eine Zeitkomplexität von  $O(n^2)$ , wobei  $n$  die Anzahl der Knoten ist. Ein Vorteil des Algorithmus ist, dass er nicht alle Kanten untersuchen muss. Dies ist besonders nützlich, wenn die Gewichte an einigen Kanten teuer sind. Ein Nachteil besteht darin, dass der Algorithmus nur mit nicht-negativ gewichteten Kanten umgehen kann und er nur für statische Graphen anwendbar ist. Fredman und Willard (1990, 1993, 1994) konnten eine Erweiterung des Dijkstra-Algorithmus unter Verwendung von AF-Heaps (allocation free Heaps) entwickeln, die lediglich einen Aufwand von  $O(m + n \cdot \log(n) / \log(\log(n)))$  hat.

### Der A\*-Algorithmus

Der A\*-Algorithmus Hart et al. 1968 ist eine Verallgemeinerung des Dijkstra-Algorithmus, der diesen um eine Kostenschätzfunktion erweitert. Eine gute Kostenschätzfunktion kann die Menge der Knoten, die untersucht werden müssen, bevor die Lösung gefunden wird und somit den Suchraum, signifikant verkleinern. Es wird dabei in jedem Schritt der Knoten als nächster ausgewählt, dessen geschätzte Kosten zum Zielknoten zusammen mit

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



den bisherigen Kosten am geringsten sind. Wenn die verwendete Kostenschätzfunktion die tatsächlichen Kosten nie überschätzt, so ist der A\*-Algorithmus optimal, das heißt, er findet immer eine Lösung mit niedrigsten Kosten.

### Der Arcflag-Algorithmus

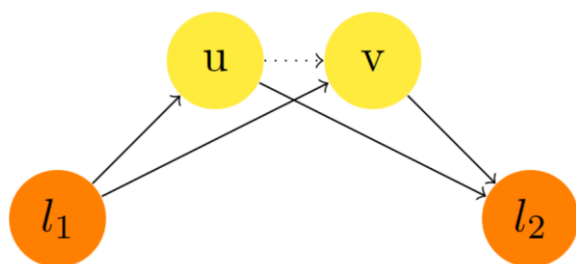
Der Arcflag-Algorithmus Hilger et al. 2006 ist eine zielgerichtete Beschleunigungstechnik für den Dijkstra-Algorithmus zur Suche des kürzesten Pfades zwischen zwei Knoten in einem gewichteten Graphen. Die Grundidee besteht darin, die Menge der zu betrachtenden Kanten geschickt auf einen Bruchteil im Vergleich derer zu verringern, welche bei Ausführung des Dijkstra-Algorithmus betrachtet werden müssten. Dabei wird zunächst jede Kante des Graphen um Flaggeninformationen angereichert, welche schließlich bei der Pfadsuche entscheiden, ob diese Kante für die Suche in Betracht gezogen werden muss. Die Vorberechnungsphase des Arcflags-Algorithmus verläuft in zwei Schritten. Zuerst wird das Straßennetz in Regionen eingeteilt. Anschließend wird für jede Region bestimmt, über welche Kanten kürzeste Wege in diese Region führen. Die Information, ob eine Kante Teil eines kürzesten Pfades ist, wird Arcflag genannt.

In der Anfragephase bestimmt der Algorithmus zunächst die Region des Zielknotens. Anschließend wendet er den Dijkstra-Algorithmus an, folgt dabei aber nur den Kanten, die laut Zusatzinformationen in die Zielregion führen. Er lässt also gezielt Kanten aus, die nichts mit der Zielanfrage zu tun haben. Die Komplexität des Dijkstra-Algorithmus kann durch das Verwenden von Arcflags nicht reduziert werden, nichtsdestotrotz verringert sich in der Praxis der Suchraum durch das Weglassen von Kanten, die keine kürzesten Wege zur Zielregion darstellen, signifikant.

### Der ALT-Algorithmus

ALT steht für A\* Search, Landmarks und Triangle Inequality, da dies die Hauptbestandteile des Algorithmus sind. Der ALT-Algorithmus verwendet als Kostenschätzfunktion für den A\*-Algorithmus, sogenannte Landmarken (Goldber/Harrelson 2005). Landmarken sind eine Teilmenge der Knoten des Graphen, für die die Distanzen aller anderen Knoten zu diesen Landmarken aus der Vorverarbeitungsphase bekannt sind. In der Folge können Entfernungsschätzungen innerhalb des Graphen mittels der Dreiecksungleichung durchgeführt werden. Die Dreiecksungleichung besagt, dass sich für beliebige drei Knoten  $u$ ,  $v$ ,  $l$  im Graphen der minimale Abstand von  $u$  und  $v$  kleiner oder gleich dem Abstand von  $u$  zu  $l$  plus dem Abstand von  $l$  zu  $v$  sein muss:  $d(u, v) \leq d(u, l) + d(l, v)$ . Aus dieser Ungleichung lassen sich Grenzen ableiten: Wie in Abbildung 3 dargestellt, ist der Abstand von  $u$  nach  $v$  kleiner als  $dist(l_1, v) - dist(l_1, u)$  sowie  $dist(u, l_2) - dist(v, l_2)$ . Eine Frage die verbleibt ist: Wie müssen geeignete Orientierungspunkte aus dem Eingabegraphen ausgewählt werden?

Abbildung 3: Eine Visualisierung der Dreiecksungleichung (Triangle Inequality)



Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich das Shortest Path-Problem für den statischen ÖPNV mittels Dijkstra-Algorithmus bzw. Weiterentwicklungen davon lösen lässt. Die Eingangsbedingung, dass keine negativen Kantengewichte vorliegen, ist sowohl für das Berechnen kürzester Wege als auch für das Berechnen preisgünstigster Wege erfüllt. Nach einer Studie von Bayer et al. ist bereits der Dijkstra-Algorithmus in seiner Grundform in der Lage europaweite SSSP-Anfragen in ca. 6s zu beantworten. Die vorgestellten weiterentwickelten Formen benötigten dafür teilweise sogar nur wenige Millisekunden. Eine Anfrage für ländliche Regionen mit deren abgehenden und eingehenden ÖPNV-Verbindungen sollte somit mit allen vorgestellten Algorithmen realisierbar sein.

### Vehicle Routing-Algorithmen

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus



Ebenso wie das Shortest Path-Problem, ist auch das Vehicle Routing-Problem prinzipiell zunächst gut erforscht. Es existiert eine Vielzahl an Algorithmen, die das Problem entweder zeitaufwändig und exakt oder aber schnell heuristisch lösen. Abbildung 4 klassifiziert existierende Lösungsverfahren für Vehicle Routing-Probleme nach Korrektheit und heuristischem Vorgehen. An dieser Stelle soll aufgrund der großen Vielfalt an existierenden Algorithmen nur auf je ein vielversprechendes exaktes und ein heuristisches Verfahren eingegangen werden, die verwendet werden können, um das VRP für den On-Demand-Service zu lösen.

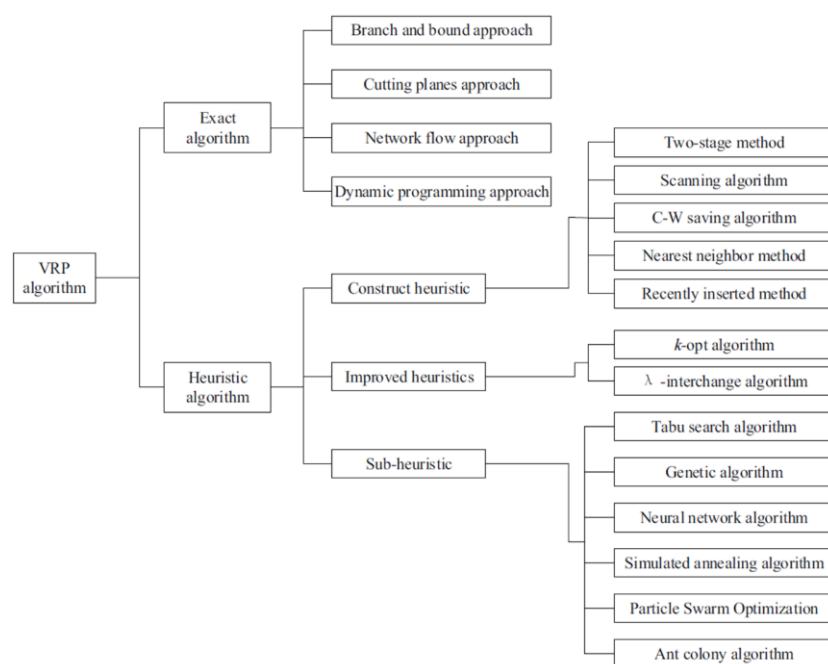
### Ein Constraint-Ansatz (Branch and bound) - ein exaktes Verfahren

Die Constraint-Programmierung ist ein mächtiges Werkzeug zum Modellieren und Lösen komplexer Probleme (Marriott/Stuckey 1998). Das generelle Vorgehen bei der Constraint-Programmierung unterteilt sich in zwei Teile: 1. die deklarative Modellierung des Problems als Constraint-Modell, 2. das selbständige Lösen des Constraint-Modells durch einen Constraint-Solver. Der Constraint-Anwender ist dabei nur dafür verantwortlich, das Constraint-Modell zu erzeugen und den Solver zu konfigurieren. Der Solver selbst fungiert als Blackbox und reduziert schrittweise durch Propagation (Branch and Bound) und einer Backtracking-basierten Tiefensuche den Lösungsraum solange, bis eine (optimale) Lösung gefunden wurde (falls eine solche existiert).

Für das sich aus unserer Anwendung ergebende VRP inklusive der spezifizierten Subklassen Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) und Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) sind in Zhang et al. 2022 bereits mathematische Beschreibungen angegeben, die sich prinzipiell direkt in Constraints überführen lassen. Einziger aber wesentlicher und potentiell kritischer Stolperstein, der bei der Verwendung der Constraint-Programmierung wie bei jedem anderen exakten Verfahren auch auftreten kann ist, dass das Problem und damit verbunden dessen Suchraum zu groß wird, als dass in akzeptabler Zeit eine gute oder sogar eine optimale Lösung gefunden werden kann. Da hier allerdings Graphen betrachtet werden, die den ländlichen Raum widerspiegeln (und keine Großstädte), sollten deren Ausmaße handhabbar sein. Sollte die Problemstellung wider Erwarten trotzdem zu groß sein, um einen Constraint-Solver anzuwenden, so wird auf ein heuristisches Verfahren umgestellt.

Bisher wurden im Rahmen dieses Projekts mit Hilfe des Constraint Solvers "Google OR Tools" erste kleinere Instanzen mit einer Teilmenge der Anforderungen an die gegebene Problemstellung zufriedenstellend prototypisch gelöst, so dass von einer Umsetzbarkeit der gesamten Tourenplanung mittels eines Constraint Solvers ausgegangen werden kann.

Abbildung 4: Existierende Algorithmen zum Lösen von Vehicle Routing-Problemen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus





### Ein heuristischer Zwei-Phasen-Ansatz (Two-stage method) - ein heuristisches Verfahren

Der Zwei-Phasen-Ansatz probiert in Phase 1 eine initiale Lösung für das Routing-Problem zu finden und in Phase 2 die bestehende Lösung sukzessive zu verbessern Wang et al. 2014. Die erste Phase wird dabei oftmals erneut in zwei Phasen unterteilt. In Phase 1.1 wird dabei zunächst ein Clustering  $C_1, \dots, C_n$  der abzufahrenden Knotenpunkte angelegt. In Phase 1.2 wird dann eine initiale Tour innerhalb jedes Clusters von einem Startknoten (Depot) hin über alle Knoten und wieder zum Startknoten zurück angelegt. Mittels verschiedener lokaler Optimierungen wird in Phase 2 dann versucht, die initiale Lösung zu verbessern.

Im Gegensatz zu den exakten Verfahren handelt es sich bei diesem Vorgehen um eine lokale Suche, die ein lokales Optimum findet. Ob das gefundene lokale Optimum nah am globalen Optimum ist oder dieses sogar erreicht, kann nicht garantiert werden. Aufgrund der lokalen Suche kann allerdings i.d.R. schnell eine gute Lösung gefunden werden, sodass sichergestellt werden kann, dass eine zufriedenstellende Lösung gefunden werden kann auch wenn der Constraint-Ansatz mittels des beschriebenen heuristischen Verfahren keine Lösung findet.

### Kombinationsmöglichkeiten

Weil der On-Demand-Service als Zubringer für den weiteren ÖPNV dienen soll, müssen die beiden vorgestellten Problemstellungen SSSP und VRP kombiniert werden. Ein Fahrgast möchte zum Beispiel von Spremberg nach Schwarze Pumpe fahren. Ihm ist es dabei egal, ob er mit dem On-Demand-Service direkt von Zuhause zum Zielort gebracht wird, oder ob er mit dem On-Demand-Service zu einer der regulären Haltestellen der entsprechenden Verbindung innerhalb von Spremberg gebracht wird und von dort aus mit dem ÖPNV weiterfahren kann. Für den Fahrgast ist dabei in der Regel nur die benötigte Zeit von Start bis Ziel interessant. Für die Routenberechnung macht es allerdings einen erheblichen Unterschied, zu welchem Bahnhof der Passagier gebracht werden muss. Befinden sich mehrere solcher Fahrgäste, mit flexiblen Zielen, gleichzeitig in einer Tour, so erschwert das die Tourenplanung zusätzlich erheblich. Nachfolgend werden zwei, im Projekt herausgearbeitete, Vorgehen erläutert, mit solchen Alternativen umzugehen.

- Single-SSP-VRP: Es wird zunächst der statische ÖPNV (SSSP) geplant und im Anschluss daran der On-Demand-Service (VRP).
- Alternative-VRP: Das VRP wird um Alternativen in der Routenplanung erweitert. Es ergeben sich somit für jeden Fahrgast verschiedene mögliche Start- und Zielorte und -zeiten.

### Single-SSP-VRP

In diesem Fall würden zunächst die ÖPNV-Verbindungen der einzelnen Fahrgäste ermittelt. Diese würden mit den vorgestellten Algorithmen berechnet. Dabei würde als Start und Ziel jeweils die für den einzelnen Reisenden passende Haltestelle mit zugehöriger Start- und Ankunftszeit gewählt. Dieses Vorgehen würde für alle Reisenden analog erfolgen, sodass alle eine minimale ÖPNV-Reisedauer haben. Im Anschluss daran wird der On-Demand-Service für die zuvor ermittelten Start- und Ankunftsorte und -zeiten ermittelt. Bei diesem Vorgehen handelt es sich um einen greedy-Algorithmus, bei dem versucht wird, die lokalen Optima (die ÖPNV-Verbindungen für die einzelnen Fahrgäste) zu einer Gesamtlösung (durch den On-Demand-Service) zu vereinen. Positiv daran ist, dass das VRP dabei so klein wie möglich gehalten wird und auch die einzelnen ÖPNV-Verbindungen nur einmal für jeden Fahrgast mittels SSSP-Algorithmen gelöst werden müssen. Dieses Vorgehen kann sehr schnell eine erste, gute Lösung ermitteln, allerdings kann nicht sichergestellt werden, dass ein globales Optimum gefunden wird. Denkbar ist z.B., dass durch das Ändern des Zielortes einer oder mehrerer ÖPNV-Anbindungen (Wahl einer früheren oder späteren Haltestelle) die Tourenplanung ggf. deutlich bessere Ergebnisse erlaubt.

Eine Erweiterungsmöglichkeit besteht darin, zunächst alle ÖPNV-Anbindungen, die für die einzelnen Fahrgäste infrage kommen, zu berechnen. Das beinhaltet also nicht nur die Haltestelle, die am nächsten am Start- bzw. Zielort ist, sondern auch die, die sich in einer akzeptablen Umgebung für den On-Demand-Service befinden. Anschließend wird für jeden Fahrgast eine Verbindung ausgewählt und das Routing durchgeführt. Nachfolgend wird eine andere Kombination an Fahrgastverbindungen ausgesucht und dafür ein Routing durchgeführt. Sobald ersichtlich ist, dass ein VRP keine bessere Lösung finden kann, kann die Berechnung abgebrochen und die nächste Kombination ausprobiert werden. Mit diesem Vorgehen können globale Optima ermittelt werden, allerdings steigt der Rechenaufwand exponentiell an.

### Alternative-VRP

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Für jeden Fahrgast werden zunächst alle infrage kommenden ÖPNV-Anbindungen ermittelt (SSSP). Anders als zuvor wird das VRP nicht auf einer möglichen Kombination dieser ÖPNV-Anbindungen aufgerufen, sondern um die möglichen Alternativen erweitert. Das VRP muss dann entweder dafür sorgen, dass Fahrgast *F1* rechtzeitig von Ort *A* zu Ort *B* oder zu Ort *C* gebracht wird. Es ergeben sich also Alternativen für die Start- bzw. Zielorte und -zeiten. Bei der Constraint-Programmierung können solche Alternativen durch logische Meta-Constraints (*and*, *or* oder *not*, die jeweils wieder Constraints als Eingaben erhalten) problemlos eingebaut werden. Auch hier wächst das Problem mit zunehmender Anzahl an Alternativen exponentiell, allerdings können durch den branch-and-bound-Ansatz deutlich eher solche ÖPNV-Anbindungen ermittelt und ausgeschlossen werden, die in keiner guten Lösung vorkommen können. Im Vergleich zum zuerst vorgestellten Vorgehen Single-SSP-VRP besteht hierbei die Gefahr, dass das Finden einer ersten Lösung länger dauert. Da es sich im vorliegenden Fall aber um den ländlichen Raum mit wenigen Alternativen im ÖPNV handelt, scheint eine Umsetzung mittels Constraint-Programmierung realistisch.

#### AP 7: Einbettung in bbnavi, Open Data

**Ziel:** Das Ziel von AP 7 umfasste die Abschätzung der Integrierbarkeit und des Weiterentwicklungspotenzials der Open-Source-On-Demand-Lösung in bbnavi. Außerdem sollte ein Datenkonzept erstellt werden.

**Ergebnisse:** Um dieses Ziel zu erreichen, prüfte die TH Brandenburg, welche Entwicklungsschritte notwendig sind, um eine Open-Source-On-Demand-Lösung zur einfachen Übertragbarkeit in bbnavi zu ermöglichen. Dabei wurde erfasst, welche hierin verfügbaren (offenen) Datensätze zur Entwicklung und Optimierung der Software (bzw. des Algorithmus, BTU) genutzt werden können und welche zusätzlich erhoben, verfügbar gemacht bzw. veredelt werden müssen.

Bbnavi ist ein gemeinsames Projekt der Digitalagentur Brandenburg (DABB) mit ihren Projektpartner:innen. bbnavi beruht auf der Mobilitätsplattform stadtnavi.de, die von der Stadt Herrenberg (Baden-Württemberg) auf Grundlage der Open-Source-Software-Projekte OpenTripPlanner (OTP) und DigiTransit entwickelt wurde. Bei bbnavi greift OTP auf verschiedene Datenquellen zu, wie zum Beispiel GTFS-Daten Dateien (General Transit Feed Specification), die den Fahrplan- und Routeninformationen der Verkehrsbetriebe in Berlin und Brandenburg entsprechen. Weitere Datenquellen sind OpenStreetMap für Straßennetze und die Echtzeitdaten von mehreren hundert Fahrradvermietungen in Berlin und Brandenburg (GBFS). Darüber hinaus wird der DELFI-Datensatz (Berlin-Brandenburg) erfasst, der bereits existierende Rufbus-Linien enthält. Dieser muss erweitert werden, um neue ODV zu realisieren und damit Lücken im ländlichen öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) zu schließen. Für die Umsetzung des ODV ist aber eine Integration des Routing-Mechanismus und eine darauf aufbauende Generierung dieser Datendateien im Format GTFS Flex notwendig. Dies erfordert die Erweiterung der OTP-Routing-Komponente. Diese verwendet Algorithmen wie Dijkstra oder A\* für die Berechnung der besten Routen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Entfernung, Reisezeit, Umstiege, Fußwege usw.. Hier können entsprechende Erweiterungen in die Routenberechnung einbezogen werden, beispielsweise die Präferenzen der Nutzer:innen (bevorzugte Fahrzeugklasse, Barrierefreiheit, Wartezeiten, Kosten etc.) und vor allem ihre bevorzugten Abholstandorte (virtuelle Haltestellen).

Für den ODV-Betrieb ist es zudem notwendig, Buchungssysteme anzubinden, um Fahrtwünsche eingeben zu können. bbnavi muss weiterhin mit der Fahrer:innen-App verbunden werden, um aktualisierte Routeninformationen auf Basis der gebuchten Fahrten an die Fahrer:innen zu senden, sowie die Bestätigung der Buchung und den Echtzeit-Standort des Fahrzeugs zu erhalten. Über die Einbettung in die Open-Data-Mobilitätsplattform bbnavi kann die dafür notwendige Vernetzung und Interoperabilität sichergestellt werden. Die Einbettung in bbnavi trägt zudem zu den Zielen der Open-Data-Strategie der Bundesregierung bei (Datennutzung, Datenöffnung, kommunale Datenkompetenz). Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der bisherigen Ergebnisse und der in den Projekten genutzten Lizenzen keine rechtlichen oder technischen Probleme in Bezug auf die Datennutzung im Sinne von Open Data bestehen und einem Umsetzungsprojekt keine wesentlichen Hindernisse im Weg stehen.

Die geplante Verwendung von Open Data im Kontext von bbnavi für zukünftige Projekte hat das Potenzial, Transparenz, Interoperabilität und den Wissensaustausch zwischen Entwickler:innen, Planer:innen und den Endnutzer:innen maßgeblich zu stärken. Wenn Daten in zukünftigen Projekten als Open Data bereitgestellt werden, eröffnen sich nicht nur Möglichkeiten für die interne Entwicklung, sondern auch für externe Analysen,

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



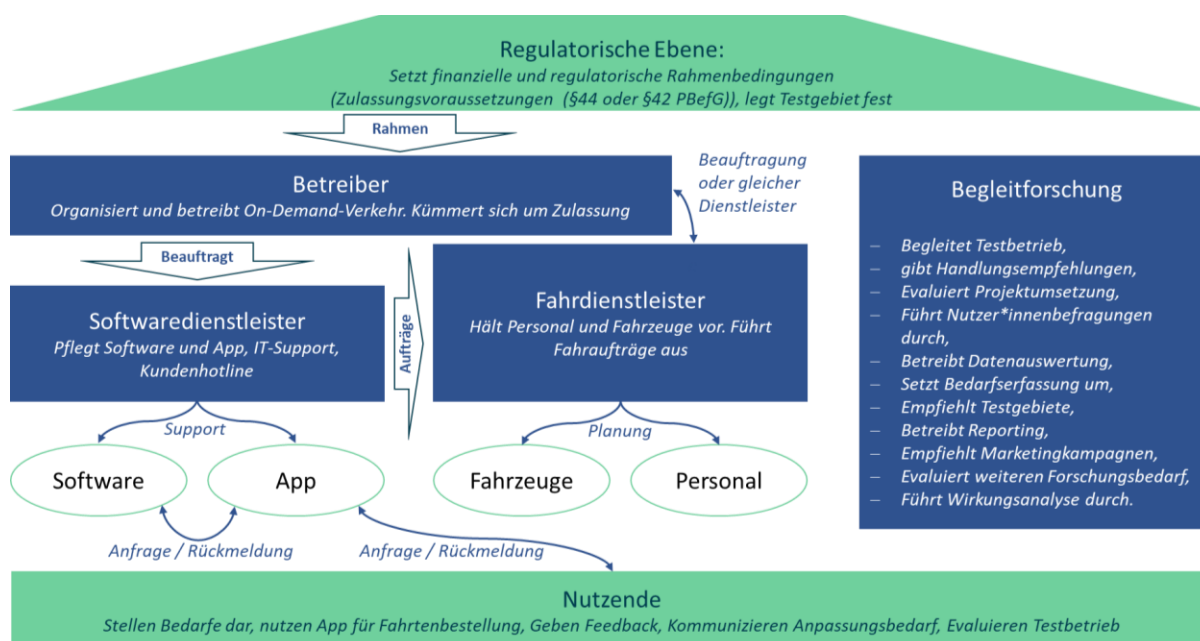
Forschung und die Entstehung innovativer Anwendungen. Ein zukünftiges Umsetzungsprojekt könnte darauf abzielen, Daten in einem standardisierten, offenen Format bereitzustellen, um die Nutzung und Kombination durch verschiedene Akteure zu erleichtern. Dadurch würde nicht nur die Vielseitigkeit von bbnavi gestärkt, sondern auch die Entwicklung eines dynamischen, datengetriebenen Ökosystems rund um die Mobilität in Berlin und Brandenburg gefördert werden. Ein solches Projekt sollte sicherstellen, dass die Datenaktualität, -qualität und -integrität stets im Vordergrund stehen, um das Vertrauen der Öffentlichkeit in Open-Data-Initiativen aufrechtzuerhalten. Die nach der in diesem Projekt geplanten Anpassung von bbnavi und OTP können Mobilitätsbedarfe automatisiert als Open Data veröffentlicht und standardisiert ausgetauscht werden. Das könnte zu einer weiter steigenden Nutzung der ODV-Angebote führen, zumindest stellt es aber eine wesentliche objektivierende Grundlage für politische Entscheidungen zur Mobilität im ländlichen Raum dar.

#### AP 8: Betriebs- & Organisationsmodell

**Ziel:** Ziel von AP 8 war der Entwurf eines möglichen kommunalen Organisationsmodells mit Alternativen sowie die Erstellung von Empfehlungen in Bezug auf die Organisation von Vertrieb und Support der Open-Source-Lösung.

**Ergebnisse:** Auf Basis der in AP3 identifizierten Anwendungsfälle für ODV in Spremberg wurde in weiteren Schritten ein mögliches Organisations- und Betriebsmodell erstellt. Hierzu wurden in engem Austausch mit dem ÖPNV-Aufgabenträger und der Stadt Spremberg zunächst die Anwendungsfälle schematisch aufgearbeitet und die Anforderungen der Umsetzung definiert. Aufbauend darauf konnte das Betriebsmodell für einen ODV abgeleitet werden.

Abbildung 5: Betriebsmodell On-Demand-Verkehr (Testbetrieb)



Das Betriebsmodell umfasst einen konzeptionellen Entwurf zur strukturellen Aufgaben- beziehungsweise Rollenverteilung in einem prototypischen Betrieb eines On-Demand-Pooling-Verkehrs. Es wird insbesondere auf die Open-Source-Routing-Software, die Fahrtenplanungs- beziehungsweise Navigations-Software, Organisation des Fahrpersonals sowie des Fuhrparks, mögliche Tarifmodelle und die Abschätzung des finanziellen Aufwands auf Basis des Anwendungsfalls eingegangen.

Generell lassen sich zwei wesentliche Organisationsformen eines bedarfsgesteuerten Verkehrs unterscheiden. Zum einen kann der gesamte Verkehrsbetrieb komplett an ein Unternehmen vergeben werden und somit aus einer Hand kommen. Das bedeutet, dass Software, Buchungssaplikation und Fahrdienst vom gleichen Dienstleister betrieben werden. Zum anderen können getrennte Dienstleister für Plattform, Fahrzeugflotte und Betrieb beauftragt werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus





In der ersten Alternative wird der Gesamtbetrieb durch einen Dienstleister gestellt und ist damit mit einem kleineren Monitoring- und Abspracheaufwand für den ÖPNV-Aufgabenträger verbunden. Falls bereits Vorerfahrungen existieren, wurde das Gesamtkonzept bereits in anderen Kommunen erprobt, wodurch bereits Kompetenzen in der Abschätzung des wirtschaftlichen und organisatorischen Aufwandes existieren. Ist der beauftragte Dienstleister das lokale Verkehrsunternehmen, wird der Betrieb und der Fahrdienst von dieser Institution übernommen und voraussichtlich die Softwaredienstleistung von dieser zusätzlich ausgeschrieben, da eigene Kompetenzen zur Softwareentwicklung vermutlich nicht existieren. Dies würde eine Zwischenstufe der separaten und gesamtheitlichen Beauftragung bedeuten, da zwar nur ein Dienstleister durch den ÖPNV-Aufgabenträger beauftragt wird, jedoch die IT-Dienstleistung im Unterauftrag vergeben wird.

Das entstandene Betriebsmodell wurde in einem Workshop am 07.06.2023 im Rathaus Spremberg um ein Rollenmodell erweitert. Gemeinsam mit Teilnehmenden aus den Bereichen regulatorischer Ebene, IT, Fahrdienstleister und der Begleitforschung, als auch weiteren Teilnehmenden aus den Bereichen Seniorenmobilität sowie Immobilienwirtschaft wurden spezifische Rollenbeschreibungen für die einzelnen Teile des Betriebsmodells spezifiziert. Hieraus ergaben sich Pflichten und Rechte für die einzelnen Rollen im Betriebsmodell, welche in der Umsetzung hohe Relevanz haben. Der Workshopbericht wurde allen Teilnehmenden zur Verfügung gestellt.

Als weiterer Teil des Organisationsmodells wurde eine Kostenschätzung der Umsetzung durchgeführt. Es wurde auf Basis der Anwendungsfälle und bestehender Kostengrößen in der wissenschaftlichen Literatur ein Modell zur Kostenschätzung entwickelt. Alle Ergebnisse finden sich detailliert im wissenschaftlichen Schlussbericht (Anlage 2).

#### AP 9: Gesamt- & Umsetzungskonzept

**Ziel:** Auf den vorherigen Ergebnissen aufbauend soll ein Konzept für ein sich der Machbarkeitsstudie anschließendes Umsetzungsprojekt abgeleitet werden.

**Ergebnisse:** Zum einen wird es als umsetzbar bewertet bbnavi um ein Informations- und Buchungstool für ODV zu erweitern. Durch die Rücksprache mit verschiedenen Entwicklern konnte auch die Anbindung bereits existierender Fahrer-Navigations-Apps als sinnvoll erarbeitet werden. Des Weiteren ist eine Optimierung des Routingalgorithmus in Zusammenhang mit einem ODV, speziell auch als Zubringer zum existierenden liniengebundenen ÖPNV, ein wichtiger Teil eines sich an die Machbarkeitsstudie anschließenden Modellprojektes.

Da die Aufgabenträgerschaft und somit auch die Beauftragung eines ODVs beim Landkreis liegt hat sich im Zuge der Machbarkeitsstudie in Spremberg herausgestellt, dass das Potential zwar erkannt wird eine Umsetzung gegeben durch Haushaltsverteilungen in anderen Berichten und einem akuten Zeitmangel vorerst nicht als sinnvoll betrachtet wird. Eine zukünftige Zusammenarbeit wurde jedoch verabredet. Aus dem vertieften Austausch im Land Brandenburg, durch die OSLO-Workshops und -Interviews konnte jedoch der bereits in Betrieb genommene ODV, DALLI- dein Brandenburg, im Landkreis Oder-Spree für ein Modellprojekt gewonnen werden. Die Projektskizze OSLO2 wurde erarbeitet und eingereicht.

Ziel des geplanten Modellprojektes ist es, Routing und Echtzeitlokalisierung für den DALLI-Verkehr auf der Open-Source-Mobilitätsplattform bbnavi zu entwickeln und modellhaft umzusetzen. Zur Verbesserung der Planbarkeit und Sicherstellung der Übertragbarkeit von Open-Source-basierten ODV wird im Austausch mit vier Regionen eine szenarienbasierte Kosten-Nutzen-Analyse erarbeitet und ein Leitfaden erstellt. Neben dem Landkreis Oder-Spree als Umsetzungspartner, beteiligen sich auch Teltow-Fläming als Datenlieferant aus 13 Jahren Erfahrung im Rufbussystem, sowie Barnim und Spremberg als interessierte zukünftige Umsetzungsregionen am Vorhaben.

Wie die Machbarkeitsstudie zeigt, sind On-Demand-Verkehre in ländlichen Räumen eine bedarfsorientierte Ergänzung des ÖPNV. Voraussetzung für hohe Nutzungs- und Poolingquoten sind Umstiegsmöglichkeiten in den ÖPNV und dafür optimiertes Routing. Doch geschlossene Schnittstellen proprietärer Plattformen verhindern diese Integration. Für Nutzende leidet die Angebotsqualität, Betreiber zahlen hohe Lizenzgebühren, ohne Bedarfsdaten zu erhalten (Drittanbieter-Data-Governance), was zu einem ineffizienten Betrieb und hohen Kosten führt.

Zur Schaffung einer lizenzfrei verfügbaren Alternative soll im Modellprojekt bbnavi um eine ODV-Routen- und Tourenplanung erweitert und Schnittstellen zu einer Navigations-App entwickelt werden. Der ODV-Rollout im

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Landkreis Oder-Spree soll als Reallabor begleitet und modellhaft in bbnavi integriert werden. Geplant ist die Veröffentlichung der Buchungsdaten als Open Data sowie Kosten und Nutzen anhand der Betriebsdaten von den vier partizipierenden Regionen zu evaluieren und in einem Leitfaden für andere Regionen aufzubereiten.

Das Umsetzungsprojekt gliedert sich in mehrere Arbeitspakete. Geplant ist die Erweiterung der Softwarearchitektur um eine ODV-Steuerung sowie die Einbindung des DALLI ODVs in bbnavi samt Datenauswertung (AP2). Hierzu wird ein Routing-Algorithmus entwickelt und integriert (AP3). Der Rollout und eine Nutzerbefragung in Oder-Spree (AP4/5) sowie die Betriebsdaten der Partnerregionen sind die Basis für eine szenarienbasierte Kosten-Nutzen-Analyse. Darauf aufbauend werden Handlungsempfehlungen und Übertragbarkeitskriterien für weitere Regionen abgeleitet (AP6/7).

Nach Projektabschluss soll ein bbnavi-Zusatzmodul für die Buchung von On-Demand-Verkehren existieren. Die Integration des DALLI-ODV in bbnavi und dessen Gebietsausweitung in LOS ist dann abgeschlossen. Die Unabhängigkeit von proprietärer Software erleichtert kommunalen Akteuren den Zugang zu Mobilitätsdaten und nutzerzentrierte Anpassungen. Tragfähige Einführungsszenarien für ländliche ODV auf Basis der Vergleichsdaten der assoziierten Partner sind in einem Leitfaden für andere Regionen zusammengefasst.

Zur Möglichkeit der Umsetzung des beschriebenen Modellprojekts bedarf es einer Förderung, da die Weiterentwicklung einer Open-Source-Plattform zur vereinfachten Integration ländlicher ODV eigenwirtschaftlich nicht umsetzbar ist.

## 2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Folgenden sind die einzelnen Positionen des zahlenmäßigen Nachweises aufgelistet:

Tabelle 4: Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises nach Projektpartner

Partner	Position	Ausgaben geplant bis 31.10.2023 (€)	Ausgaben tatsächlich am 31.10.2023 (€)
n21	Personalkosten	47.208,24	47.945,98
n21	Reisekosten	605,04	418,20
n21	Sonst. Verwaltungsausgaben	1000,00	431,21
BTU	Personalkosten	15.405,00	14.614,66*
BTU	Reisekosten	250,00	0,00*
THB	Personalkosten	29.706,00	20.500,40
THB	Reisekosten	285,00	0,00

\* Es können sich bis zum finalen Verwendungsnachweis noch minimale Abweichungen ergeben.

## 3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Vorhaben sollte es Kommunen auch in strukturschwachen Regionen leichter machen, das Mobilitätsangebot für ihre Bürger:innen zu verbessern. Jeder Ort, der für Alltag und Sozialleben wichtig ist, soll selbstbestimmt erreichbar werden – unabhängig von Auto, Führerschein, familiären Unterstützungsstrukturen, Einkommen oder körperlichen Fähigkeiten. Das Projekt OSLO hat dazu beigetragen dieses Ziel zu erreichen. Aus Sicht des Projektkonsortiums wurden im Ergebnis eine verbesserte Datengrundlage zur Einführung von ODV erarbeitet.

Ohne die finanzielle Zuwendung seitens des mFUND wäre die Durchführung des Projektes für die beteiligten Institutionen mit zu hohen Risiken verbunden gewesen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



#### 4. Voraussichtlicher Nutzen der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die im Projekt erzielten Ergebnisse, Meilensteinbericht zur Bedarfsanalyse, Anforderungen der drei Anwendungsfälle, Softwarearchitekturkonzept und Routingalgorithmus sollen in direkte Umsetzung in dem anschließenden Projekt OSLO2 einfließen. Die in den Workshops vermittelten Ergebnisse werden in Spremberg dazu verwendet, die zukünftige Mobilität zu gestalten. Möglich direkte Nutzen entfallen auf eine Bündelung von Taxifahrten, der Umsetzung eines On-Demand-Bürgerbusses im Ortsteil Terpe und der Möglichkeit Spremberg als bbnavi-Modellregion zu etablieren. Erste Schritte in diese Richtung ergeben sich bereits durch die Förderung einer Mobilstation in Spremberg.

Der veröffentlichte wissenschaftliche Bericht als Zusammenfassung der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie soll als übersichtliche Zusammenfassung anderen Kommunen bei der Erstentscheidung über eine Einführung von bbnavi, eines ODV oder beidem dienen. Der weitere Forschungsbedarf, welcher im Anschlussprojekt OSLO2 herausgearbeitet werden soll, bezieht sich auf die Wahl des Einführungsszenarios des passenden Betriebs- und Organisationsmodells, die Abschätzung des Aufwandes, die Wahl der zu verwendenden Fahrer:innen-App als auch das Vorwissen über Hürden und Treiber der Umsetzung.

Durch die mit der Einführung von bbnavi und eines ODV verknüpften Nahverkehrs führt die Umsetzung der Projektergebnisse im weiteren Zeitverlauf zu zusätzlichen Arbeitsplätzen im Bereich IT und ÖPNV.

#### 5. Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Vernetzung über die Projektlaufzeit hat zu tieferen Einblicken in die Integrationshürden regionaler ODV in überregionale Mobilitätsplattformen geführt. Es wurde herausgearbeitet, dass eine Integration in überregionale Mobilitätsplattformen von profitorientierten Drittanbietern lange Zeithorizonte und hohe Kosten verursacht. Dies führt zu einer geringeren Annahme des ODV-Angebots, was wiederum die Nutzungsquote und damit die Poolingquote verringert und dadurch die Wirtschaftlichkeit des neuen Angebots hemmt. Eine schnelle und kostengünstige Integration in eine überregionale und bereits von den Bürger:innen verwendete Mobilitätsplattform konnte als Schlüsseltreiber identifiziert werden. Die hohen Kosten einer ODV-Einführung konnten als Schlüsselhürde herausgestellt werden. Des Weiteren wurde im Interview mit OTP-Entwicklern bekannt, dass eine Fahrten-Konzessionierung, also die Fahrer:innenführung nach Buchung einer Nutzer:in, nicht sinnvoll mit bbnavi umgesetzt werden kann. Auf dem Markt existieren bereits zahlreiche Fahrer:innen-Apps mit geringen Lizenzgebühren. Ein Nachbau dieser Apps als Open-Source-Lösung ist nach Aussage der Entwickler nicht erfolgversprechend, da das Interface und die User-Experience für Jahre hinter den bereits existierenden Apps liegen und eine Annahme der neuen App daher als ungewiss gilt. Dies führt zum Entwicklungsbedarf sogenannter API-Schnittstellen, zwischen den meist verwendeten Fahrer:innen-Apps und einer Buchungsfunktion für ODV in bbnavi. Diese sollen im Anschlussprojekt OSLO2 entwickelt werden.

#### 6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Die Projektergebnisse zum Thema Routing wurden auf dem 15. MOC Workshop - “KI-basiertes Management und Optimierung komplexer Systeme” am 29.09.2023 vorgestellt. Die Publikation erfolgt als Workshop-Beitrag zur 49. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik (GI). Die GI hat mit der „GI-Edition: Lecture Notes in Informatics“ (LNI) eine eigene Veröffentlichungsreihe. Diese ist unterteilt in die Stränge: Proceedings (Tagungs- und Workshopbände), Dissertations (Abstracts der für den GI-Dissertationspreis vorgeschlagenen Arbeiten), Seminars (Einreichungen zu den GI-Informatiktagen und zur SKILL) und Thematics (Monografien zu einzelnen Themen, die von allgemeinem Interesse für die Informatik sind). Der eingereichte Beitrag wird im Strang Proceedings veröffentlicht und kann durch die Veröffentlichungsreihe einer großen Leserschaft präsentiert werden.

Der wissenschaftliche Schlussbericht dient als Orientierungshilfe zur ODV-Einführung mit bbnavi wird nach Möglichkeit in einem kommunalen Magazin bzw. der Projektwebsite veröffentlicht. Alle Ergebnisse wurde auch durch den Multiplikator-Workshop, als Substitution des Webinars, bei der Digitalagentur Brandenburg (DABB)

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



am 07.09.2023 den wichtigsten Stakeholdern im Raum Brandenburg vorgestellt. Neben Vertreter:innen des BMDV und des MIL waren verschiedene Brandenburger Verkehrsgesellschaften und politische Entscheidungsträger anwesend. Die Weiterführung von bbnavi wurde zusätzlich im Beschluss des neuen Landesverkehrsplan (LNVP) des Landes Brandenburg am 05.09.2023 festgeschrieben (vgl. Brandenburg LNVP 2023 – 2027; S.207). Diese Weiterführung ist im Projektkontext als zentraler Erfolg zu verbuchen, da OSLO2 als auch viele weitere Mobilitätsprojekte in Brandenburg auf eine Weiterführung der Plattform aufbauen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus





# WISSENSCHAFTLICHER SCHLUSSBERICHT

OPEN-SOURCE-SOFTWARE FÜR LÄNDLICHEN ON-DEMAND-VERKEHR  
OSLO MACHBARKEISSTUDIE

PROF. DR.-ING. ANDRÉ NITZE / M.SC TINGTING WANG  
– TECHNISCHE HOCHSCHULE BRANDENBURG

PROF. DR. RER. NAT. HABIL. PETRA HOFSTEDT / DR. RER. NAT. SVEN  
LÖFFLER  
– BRANDENBURGISCHE TECHNISCHE UNIVERSITÄT COTTBUS-SENFTENBERG

M.P.P. SILVIA HENNIG / M.SC. ALEXANDER KLINGE  
– NEULAND21 E.V.

ALEXANDER KLINGE  
NEULAND21 E.V.  
KLEIN GLIEN 25  
14806 BAD BELZIG

ALEXANDER.KLINGE@NEULAND21.DE

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	2
Tabellenverzeichnis .....	3
Einleitung .....	4
1 Implementierungsszenarien .....	5
2 Anwendungsfälle im Raum Spremberg .....	6
2.1 Pendeln .....	6
2.1.1 Vergleichsstrecke .....	6
2.1.2 Prozessdiagramme .....	7
2.1.3 Anforderungen .....	8
2.1.4 Zusammenfassung .....	9
2.2 Querverbindungen und kurze Wege .....	10
2.2.1 Vergleichsstrecke .....	10
2.2.2 Prozessdiagramm .....	11
2.2.3 Anforderungen .....	11
2.2.4 Zusammenfassung .....	13
2.3 Abendliche Randzeiten .....	13
2.3.1 Vergleichsstrecke .....	13
2.3.2 Prozessdiagramme .....	14
2.3.3 Anforderungen .....	14
2.3.4 Zusammenfassung .....	15
2.4 Zwischenfazit .....	16
3 Rahmenbedingungen .....	16
3.1 Rechtlich .....	16
3.2 Technisch .....	18
3.2.1 Softwarearchitektur .....	18
3.2.2 Routing-Algorithmen .....	22
3.3 Organisatorisch .....	27
4 Betriebsmodell .....	28
5 Umsetzungskonzept Modellprojekt .....	29
5.1 Betriebsstruktur .....	30
5.2 Rollenmodell .....	31
5.3 Wirtschaftlichkeit .....	32
6 Fazit .....	35
7 Literaturverzeichnis .....	37

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hochlauf von ÖV-integrierten digitale On-Demand-Verkehrsprojekte.....	4
Abbildung 2: Verteilung der On-Demand-Verkehr-Projekte nach Raumtyp .....	5
Abbildung 3: Vergleichsstrecke Anwendungsfall 1.....	6
Abbildung 4: Prozessdiagramm Anwendungsfall 1 - Hinfahrt .....	7
Abbildung 5: Prozessdiagramm Anwendungsfall 1 - Rückfahrt.....	8
Abbildung 6: Vergleichsstrecke Anwendungsfall 2.....	10
Abbildung 7: Prozessdiagramm Anwendungsfall 2 - Hinfahrt .....	11
Abbildung 8: Prozessdiagramm Anwendungsfall 2 – Rückfahrt .....	11
Abbildung 9: Vergleichsstrecke Anwendungsfall 3.....	13
Abbildung 10: Prozessdiagramm Anwendungsfall 3 .....	14
Abbildung 11: Anforderungen zur Zuordnung § 44 als Linienverkehr des ÖPNV .....	18
Abbildung 12: Darstellung der Software-Architektur .....	20
Abbildung 13: Darstellung des GTFS-Flex v2 Models .....	20
Abbildung 14: Visualisierung der Dreiecksungleichung (Triangle Inequality) .....	25
Abbildung 15: Existierende Algorithmen zum Lösen von Vehicle Routing-Problemen .....	26
Abbildung 16: Betriebsmodell On-Demand-Verkehr (Testbetrieb).....	29
Abbildung 17: Rollenmodell On-Demand-Verkehr. Von der Planung zum Regelbetrieb .....	32
Abbildung 18: Finanzierung des ÖPNV in Deutschland (Überblick).....	33

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus





## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen Anwendungsfall 1 .....	8
Tabelle 2: Anforderungen Anwendungsfall 2 .....	11
Tabelle 3: Anforderungen Anwendungsfall 3 .....	14
Tabelle 4: Rechtsgrundlagen Bedarfsverkehre im Personenbeförderungsgesetz (PBefG).....	17
Tabelle 5: Liste eingesetzter Open-Source-Komponenten .....	19
Tabelle 6: Kostenaufschlüsselung je Anwendungsfall .....	35

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



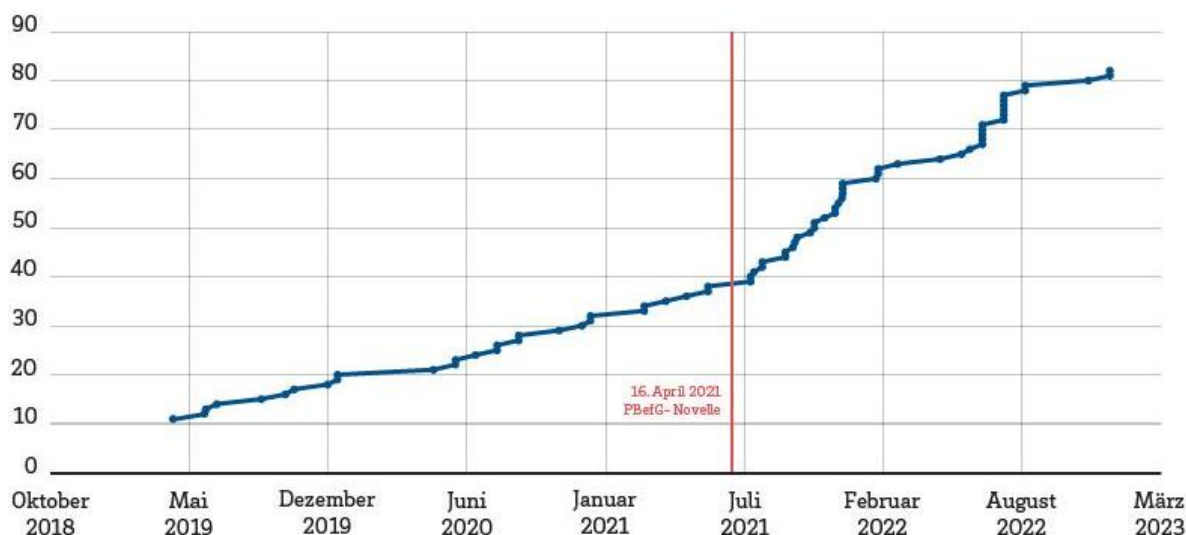
Ein Verbund aus



## Einleitung

Im Projekt OSLO wurde die Machbarkeit einer lizenzfrei verfügbaren Softwarelösung für die Integration ländlicher On-Demand-Verkehre (ODVe) in das bestehende ÖPNV-Netz erforscht. Bedarfsverkehre in ländlichen Räumen erfahren einen Aufschwung. Die Branchenumfrage 2022 des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) [VD22] stellt fest, dass deutschlandweit mehr als 400 Fahrzeuge im Linienbedarfsverkehr unterwegs sind und bis Ende 2022 mehr als 80 Projekte mit dem Schwerpunkt ÖPNV-integrierter Bedarfsverkehr in der Umsetzung erwartet wurden (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Hochlauf von ÖV-integrierten digitale On-Demand-Verkehrsprojekte



© VDV | Repräsentative Umfrage | Anzahl gemeldeter On-Demand/LEV - Verkehre, Zeitraum 01.01.2019 - 01.01.2023.

Quelle: "Hochlauf der On-Demand-Verkehre im ÖPNV | VDV - Die Verkehrsunternehmen" n.d.

Nahezu die Hälfte dieser Projekte werden im ländlichen Raum umgesetzt (Vgl. Abbildung 2). Dies ist plausibel, da gegeben durch eine geringe Nachfrage und großer Fläche die Bedienung mit einem festen Linienweg zu hohen Kosten führt. Entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung eines bedarfsgesteuerten Verkehrs ist die Betriebs- und Organisationsstruktur des neuen Dienstes. Um ODVe nachhaltig über einen längeren Zeitraum und unabhängig von Forschungsprojekten zu etablieren, sind Engagement und klare Aufgabenverteilungen in der Organisationsstruktur erforderlich. Klar ist aber auch, dass die neuen Bedarfsverkehre nicht rentabel sind. Fast alle neuen bedarfsgesteuerten Projekte werden mit Landes- oder Bundesmitteln gefördert. Der VDV rechnet mit einer Finanzierungslücke von 3,8 Mrd. Euro bis 2030, damit bis dahin flächendeckend bedarfsgesteuerte Verkehre im Regelbetrieb fahren können [VD22].

Im Projekt OSLO wurden daher im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zum Einsatz von Open Source Software für die konzeptionelle Einbindung eines neuen ODVs in Spremberg Ergebnisse in folgenden Bereichen erarbeitet: Zunächst wurde auf Basis der vorhandenen Datenbasis und gemeinsam mit der Bevölkerung eine Bedarfsanalyse im Raum Spremberg erarbeitet. Der Entwicklungsstand verfügbarer Open Source Software im Bereich Mobilitätsplattformen, Routing und On-Demand-Konzessionen wurde zusammengefasst und die Softwarearchitektur der Open-Source-Mobilitätsplattform bnavi aufbereitet. Verfügbare Routingalgorithmen und -logiken wurden analysiert und die Möglichkeiten der algorithmischen Parallelverkehrsvermeidung und Anschlusssicherung diskutiert. Aus den genannten Vorarbeiten ergeben sich erste Grundlagen für ein Betriebs- und Organisationsmodell in einer hypothetischen Umsetzung eines On-Demand-Pooling-Verkehrs. Die Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst und dargestellt.

Gefördert durch:



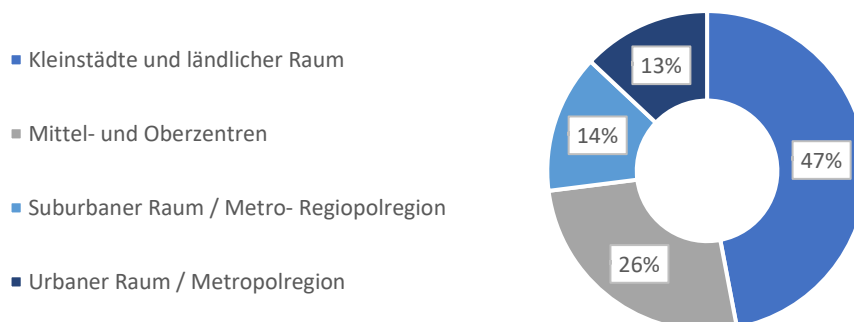
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Abbildung 2: Verteilung der On-Demand-Verkehr-Projekte nach Raumtyp



© VDV | Repräsentative Umfrage, räumliche Verteilung von On-Demand / LBV-Verkehren nach Siedlungs- und Raumstruktur im Zeitraum 01.01.2019. – 01.01.2023.

Kleinstädte und ländlicher Raum = (sehr) periphere Lagetypen + ländliche Siedlungsstruktur + Einwohner < 20.000.

Mittel- und Oberzentren 0 periphere bis zentrale Lagetypen + (teilweise) städtische Siedlungsstruktur + 20.000 < Einwohner < 100.000.

Suburbaner Raum / Metro- Regiopolregion = zentrale Lagetypen + (überwiegend) städtische Siedlungsstruktur Einwohner > 100.000 + Bedienegebiet vorwiegend außerhalb des Stadtzentrums.

Urbaner Raum / Metropolregion = sehr zentrale Lagetypen + städtische Siedlungsstruktur + Einwohner > 200.000 + zentrales Stadtgebiet

Quelle: "Hochlauf der On-Demand-Verkehre im ÖPNV | VDV - Die Verkehrsunternehmen" n.d.

## 1 Implementierungsszenarien

In Deutschland wurden bereits viele ODVe erfolgreich eingeführt. Gleichzeitig sind jedoch zahlreiche gescheitert. Aus den bisherigen Erfahrungen mit On-Demand-Pooling-Verkehren lassen sich einige Rückschlüsse auf Erfolgsfaktoren der Umsetzung sowie Optimierungsmöglichkeiten ziehen: Die meisten Angebote scheitern an der Wirtschaftlichkeit des bedarfsgerechten Verkehrs. Mit zu kleinen Kostendeckungsgraden ist ein wirtschaftlicher Betrieb des Angebots nicht möglich, was oft in der Abschaffung des Angebots nach Auslauf der Förderung endet. Es sind grundsätzlich zwei erfolgreiche Implementierungen von On-Demand-Pooling-Verkehren identifizierbar:

- Innerstädtische Substitution von Individualverkehr, um eine lebenswerte Innenstadt mit weniger Emissionen, Parkplätzen und Parkraumproblemen zu schaffen.
- Erweiterung des ländlichen ÖPNV, um große Gebiete mit geringer Nachfrage an den getakteten ÖPNV anzuschließen, um abgehängte Regionen wieder in das ÖPNV-Netz zu integrieren.

Zur Verbesserung oder auch erfolgreichen Implementierung von On-Demand-Angeboten gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder es wird auf eine Serviceoptimierung, also eine Verbesserung des ÖPNV-Angebots wie die Erschließung neuer Linien, die Substitution von nicht genutzten Haltestellen oder eine Takterhöhung bzw. -anpassung gesetzt. Oder es wird eine technische Optimierung entwickelt und implementiert, die zu einer Verbesserung des Zugangs zu dem bestehenden Service führt. Bei Letzterem werden im Zuge der Digitalisierung bspw. App-basierte Lösungen entwickelt, die einen besseren Zugang zum bestehenden ÖPNV über intermodale Routenabfragen ermöglichen [Gi21].

Im Projekt OSLO werden beide Ansätze miteinander verbunden. Es soll die Machbarkeit einer Serviceoptimierung unter der Prämisse einer technischen Optimierung geprüft werden. Hierzu wird zunächst die Machbarkeit der intermodalen Integration des bestehenden ÖPNV-Netzes über eine OS-Software geprüft und darauf aufbauend die Bedingungen und Möglichkeiten einer Serviceerweiterung über einen On-Demand-Pooling-Verkehr definiert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## 2 Anwendungsfälle im Raum Spremberg

In Spremberg wurden zur Erstellung von nutzerzentrierten Anwendungsfällen und resultierenden Anforderungen zwei Workshops durchgeführt. Im initialen Bedarfsworkshop wurde gemeinsam mit den Bürger:innen die bisher noch nicht abgedeckte Mobilitätsnachfrage erörtert. Anschließend wurden unter Rücksprache mit dem ÖPNV-Aufgabenträger drei Anwendungsfälle für einen ODV in Spremberg abgeleitet. Unter der Einschränkung ein ODV in Spremberg sollte nicht zu den regulären ÖPNV-Zeiten verkehren, exkludiert wurde die Bedienung der morgendlichen und abendlichen Pendlerverkehre, resultierten die Anwendungsfälle Pendeln, Querverbindungen und abendliche Randzeiten. Auf den ersten Workshop aufbauend wurde ein zweiter gemeinsam mit den Fahrdienstleistern in Spremberg durchgeführt. Ziel war es die wichtigsten Anforderungen zur funktionalen und konkurrenzfreien Umsetzung der Anwendungsfälle abzuleiten und ein mögliches Rollen- und Organisationsmodell zu erstellen. Im Folgenden werden die Anwendungsfälle mit zufällig ausgewählten Vergleichsstrecken und den resultierenden Anforderungen der Umsetzung vorgestellt. In Kapitel 4 und 5 wird auf das Betriebs- und Organisationsmodell eingegangen.

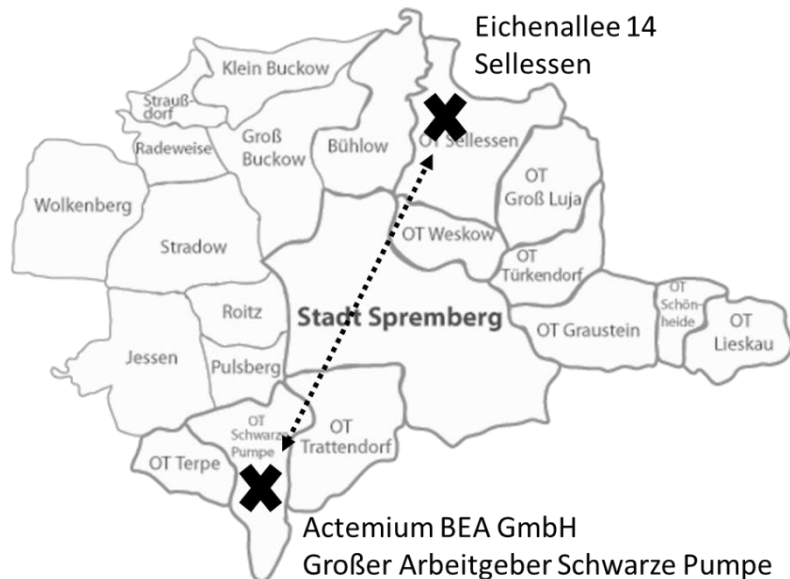
### 2.1 Pendeln

Als erster Anwendungsfall wird der Arbeitsweg detailliert. Dies liegt zum einen an der hohen Priorisierung des Bedürfnisses nach einem effizienten Arbeitsweg ohne privaten Pkw im ersten Workshop zur Bedarfserhebung in Spremberg und zum anderen an der großen potenziellen Nutzergruppe. Der Wegezweck Arbeit ist mit 18% aller Wege der dritt wichtigste Wegezweck nach Einkaufen und Freizeit [Ge20].

#### 2.1.1 Vergleichsstrecke

Als repräsentative Vergleichsstrecke für einen Arbeitsweg in Spremberg wurde die Route von einer zufällig ausgewählten Adresse in einem Wohngebiet in Sellessen Haidemühl zu der Actemium BEA GmbH, einem Großarbeitgeber im Industriepark Schwarze Pumpe, ausgewählt (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 3: Vergleichsstrecke Anwendungsfall 1



Quelle: Eigene Darstellung

Mit dem Auto beträgt die durchschnittliche Wegzeit mit einer Ankunft um 09:00 Uhr am Ziel oder für eine Rückfahrt ab 16:00 Uhr 20 Minuten, während die gleiche Strecke im ÖPNV mit einem Umstieg am Busbahnhof Spremberg in der Kernstadt durchschnittlich 49 Minuten dauert [VB22]. Ziel des Anwendungsfalls ist es, eine effizientere Reisezeit unter der Prämisse einer Minimierung der Verwendung des Privatautos in der Hauptwegstrecke zu ermöglichen. Hierfür sollen emissionsarme Verkehrsträger wie Fahrrad, Fußgänger und ODV mit dem ÖPNV effizient verzahnt werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus

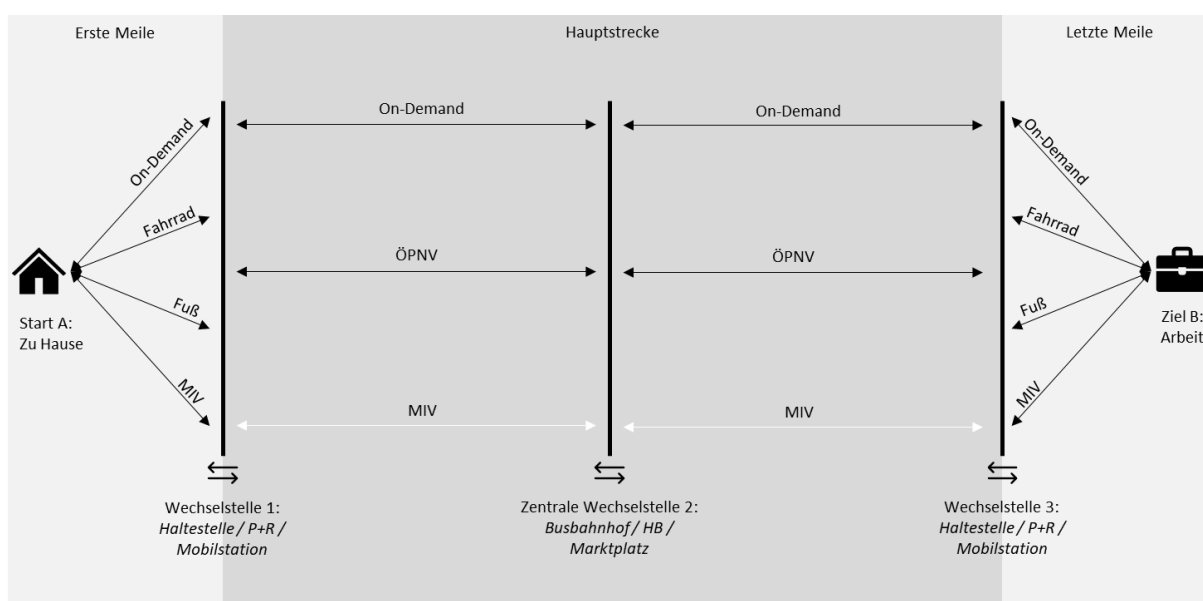


### 2.1.2 Prozessdiagramme

Zur Darstellung des Anwendungsfalls werden die erste Meile der Weg zur ÖPNV Haltestelle), die Hauptstrecke, (die Kernstrecke des Gesamtwegs) sowie die letzte Meile (der Weg von der Haltestelle zum Ziel), einzeln betrachtet. Es ist möglich, die gesamte Strecke mit dem eigenen Auto, dem motorisierten Individualverkehr (MIV), zu bewältigen. Jedoch geht es im Anwendungsfall darum, die Gesamtstrecke des MIV zu minimieren. Dies soll nicht ausschließen, dass zur Überbrückung einer Teilstrecke, wie der ersten oder letzten Meile, der MIV nicht die effizienteste Verkehrsform darstellen kann.

Abbildung 4 und Abbildung 5 stellen die Prozessdiagramme für die Hin- und Rückfahrt zum Arbeitsplatz dar. Im folgenden Kapitel 3 werden die technischen, rechtlichen und organisatorischen Anforderungen für die Umsetzung des Anwendungsfalls beschrieben. Hin- und Rückfahrt unterscheiden sich in den Anforderungen nur insofern, als dass die Rückfahrt nicht extrem auf die Ankunftszeit abgestimmt sein muss und auf der Rückfahrt auch Zwischenhalte bei beispielsweise Supermärkten oder allgemeine Erledigungen nach der Arbeit berücksichtigt werden müssen.

Abbildung 4: Prozessdiagramm Anwendungsfall 1 - Hinfahrt



Quelle: Eigene Darstellung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus

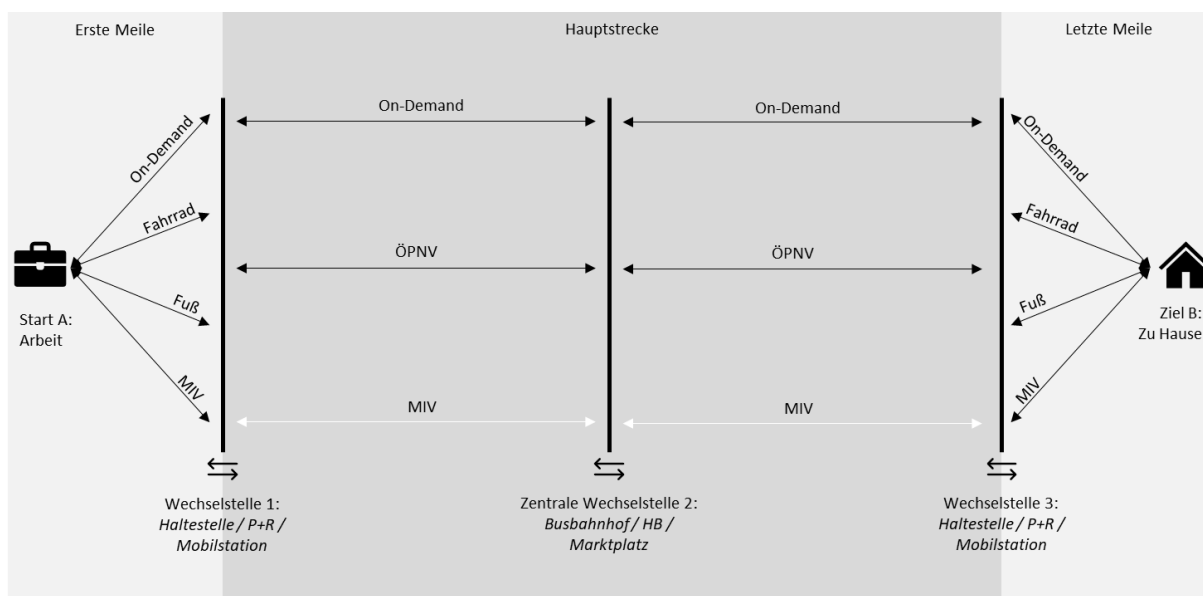


Technische Hochschule  
Brandenburg  
University of  
Applied Sciences



Brandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

Abbildung 5: Prozessdiagramm Anwendungsfall 1 - Rückfahrt



Quelle: Eigene Darstellung

### 2.1.3 Anforderungen

Tabelle 1: Anforderungen Anwendungsfall 1

1. Betrieb		
1.1	Schneller Umstieg	Umstieg an den Wechselstellen (1,2,3) muss mit kurzem Fußweg möglich sein.
1.2	Verspätungsinformationen	Verspätungen müssen klar ersichtlich sein.
1.3	Anschlussgarantie	Ein Ausfall eines Anschlusses muss ersetzt werden.
1.4	Komfortabler Umstieg	Umstiege zwischen Verkehrsträgern müssen komfortabel sein. Es müssen Unterstände und Schließanlagen vorhanden sein.
1.5	Personal	Es müssen genügend Fahrer:innen vorgehalten werden.
1.6	Fahrzeuge	Es müssen genügend Fahrzeuge vorgehalten werden.
1.7	Versicherung	Versicherung für den Flächenbetrieb muss abgeschlossen sein.
1.8	Barrierefreiheit	Feste Haltestellen müssen einen barrierefreien Zustieg ermöglichen.
1.9	Tarifsystem	Integration in das bestehende ÖPNV-Tarifsystem plus Komfortzuschlag für eine einfache Abrechnung muss umgesetzt sein.
1.10	Zeiteffizienz	Die Gesamtzeit der Verbindung muss vergleichbar (weniger als doppelt so lange) mit der Reisezeit im Privatauto sein.
1.11	Pooling	Es müssen viele Fahrtwünsche auf einer Strecke gebündelt werden, wenn eine Hauptstrecke gefahren wird (>3).
1.12	Virtuelle Haltestellen	Auch Zu- und Ausstiege abseits der bereits existierenden Haltestellen muss ermöglicht werden.
1.13	Zeitfenster	Zeitfenster müssen definiert sein: Hinfahrt: 07:00 – 10:00 Uhr Rückfahrt: 16:00 – 18:00 Uhr
2. Algorithmus		

Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehraufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus

Technische Hochschule  
Brandenburg  
University of  
Applied SciencesBrandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

2.1	Verzahnung	Anschlussmöglichkeiten müssen bestmöglich kombiniert werden.
2.2	Abhol-Optimierung	Personen können nur mitgenommen werden, wenn der Anschluss der ersten mitfahrenden Person weiterhin erreicht wird.
2.3	Umweg	Zeiten für Umwege müssen so optimiert werden, dass die Wegzeiten für Mitfahrende weiterhin akzeptabel sind, aber auch möglichst hohe Pooling-Quoten erzielt werden können.
2.4	Vermeidung Parallelverkehr	Die Vermeidung von simultanen Fahrten von ODV und ÖPNV muss forciert werden; Fokus liegt auf der Funktion Zubringer und Querverbinder.
2.5	Fixe Ankunftszeit	Hinfahrt: Es müssen feste Ankunftszeiten (09:00 Uhr Arbeitsbeginn) ermöglicht werden.
2.6	Zwischenausstieg	Rückfahrt: Ein Ausstieg an gewissen POIs auf der Strecke muss ermöglicht werden (Bspw. Supermarkt).
3. Software		
3.1	Funktionalität	Umfangreiche Informationen (Verspätungen, verfügbare Verkehrsmittel, etc.), Navigation, integrierte Buchung, Reservierung und Zahlung.
3.2	Benutzerfreundlichkeit	Verständliche Oberfläche (UI/UX Design), Individualisierbarkeit, Prozesseffizienz.
3.3	Interaktion/Kommunikation	Sicherheit (Datenschutz), Service (Kundentelefon), Feedback (Kundenrezensionen), Integration in das bereits existierende System.
3.4	Rahmenbedingungen	Spremborg als Bediengebiet, bestenfalls Grenzüberschreitend, Intermodale Integration der Verkehrsträger, Öffentliche Finanzierung, Integration in das ÖPNV-Tariffsystem.
4. Rechtsrahmen		
4.1	Genehmigung Plattform	Nach § 1 Abs. 1 a (PbefG) sind digitale Vermittlungsplattformen, wenn sie „die Vermittlung und Durchführung der Beförderung organisatorisch und vertraglich verantwortlich kontrollieren“, genehmigungspflichtig.
4.2	Linienbedarfsverkehr	§ 44 (neu) PbefG: ÖPNV-Form des Linienverkehrs ohne festen Linienweg. Flächenerschließung mit Pkw und Bus zw. Haltepunkten und nach ÖPNV-Tarif (ggf. mit Komfortzuschlag). Weitere Möglichkeit ist der „Gebündelte Bedarfsverkehr“: § 50 (neu) PbefG: Flächenerschließung als Gelegenheitsverkehr. Verpflichtete zur Erhebung sog. Mindestentgelte höher als der ÖPNV-Tarif. Nur für Pkws.

#### 2.1.4 Zusammenfassung

Neben den für alle Anwendungsfälle gültigen Anforderungen sind zur effizienten Gestaltung des Anwendungsfalls 1 „Pendeln“ folgende wesentliche Anforderungen identifiziert worden:

- Vergleichbare Reisezeit gegenüber dem MIV
- Effiziente Umsteigezeiten und Anschlussgarantie
- Kurze Fußwege
- Ausstattung der Umstiege mit Schließanlagen und Unterstand für die Kombinationen von ÖPNV mit Fuß- Rad- und ODV
- Geringe Umwege
- Planbare Ankunftszeiten (Hinfahrt)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## 2.2 Querverbindungen und kurze Wege

Als zweiter Anwendungsfall wurden die kurzen Wege sowie die Querverbindungen zwischen den Ortsteilen gewählt. Dies begründet sich durch das Zeitfenster von 10:00 bis 16:00 Uhr für eine mögliche Nutzung zwischen Hin- und Rückweg im Anwendungsfall 1. Zum anderen hat der Wegezweck Einkaufen mit 31% aller Wege eine hohe Bedeutung in Spremberg [Ge20].

Da in Spremberg einige Verbindungen zwischen den Ortsteilen mit einem Umstieg am Busbahnhof bestehen, ergibt sich auch die Chance zur effizienteren Gestaltung von gewissen Querverbindungen. Hier können Verbindungen zwischen nahegelegenen Ortsteilen durch nicht an Haltestellen gebundene Bedienformen gestellt werden und damit den MIV auf Kurzstrecken ablösen, auf welchen der ÖPNV durch einen Umstieg nicht konkurrenzfähig ist.

Zusammenfassend werden im Anwendungsfall 2 die Verbindungen gebündelt, welche keine langen Mobilitätsketten benötigen und sich auf den späten Vormittag und frühen Nachmittag konzentrieren. Beispiele sind Einkaufsfahrten, Arztbesuche, Behördengänge und der Besuch sozialer Kontakte in nahegelegenen Ortsteilen.

### 2.2.1 Vergleichsstrecke

Als repräsentative Vergleichsstrecke für eine kurze Querverbindung in Spremberg wurde die Route von einer zufällig ausgewählten Adresse in Groß Luja, Ringweg 16, 03130 Spremberg, zu einer Gaststätte in Bülow, Hauptstraße 9, 03130 Spremberg, ausgewählt (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Vergleichsstrecke Anwendungsfall 2



Quelle: Eigene Darstellung

Mit dem Auto beträgt die durchschnittliche Wegzeit 10 Minuten, während die gleiche Strecke mit einem Umstieg am Busbahnhof Spremberg in der Kernstadt durchschnittlich 1 Stunde und 8 Minuten dauert [VB22]. Die vielfach längere Zeit mit dem ÖPNV ergibt sich aus einer langen Umsteigezeit am Busbahnhof. Es ist zudem verständlich, dass nicht stark nachgefragte Querverbindungen nicht durch einen Linienbetrieb abgedeckt werden können. Hier könnten flexible Bedienformen die Lücke zwischen MIV und ÖPNV schließen. Ziel des Anwendungsfalles ist es, eine effizientere Reisezeit unter der Prämisse einer Minimierung der Verwendung des Privatautos in der Hauptwegstrecke zu ermöglichen. Dazu sollen emissionsarme Verkehrsmittel wie Fahrrad, Fuß- und Bedarfsverkehr genutzt werden. Sofern verfügbar, sind auch effiziente Kombinationen aus ÖPNV und Bedarfsverkehr denkbar. Der Fokus des Anwendungsfalles liegt jedoch auf Direktverbindungen mit einem der Verkehrsmittel, um vergleichbare Reisezeiten wie mit dem MIV zu generieren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus





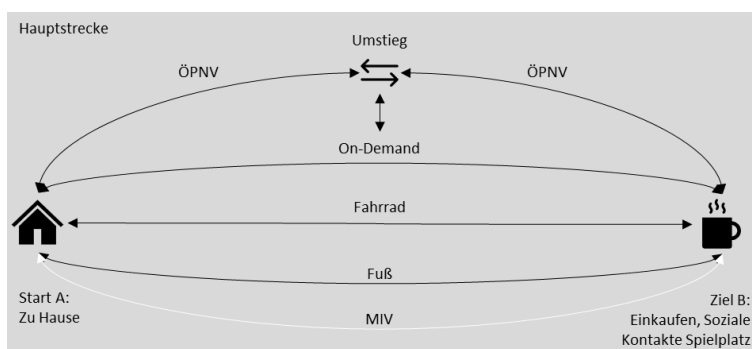
### 2.2.2 Prozessdiagramm

Für die Darstellung des Anwendungsfalles wird im Vergleich zu Anwendungsfall 1 nur auf die Hauptstrecke fokussiert. Besonderes Augenmerk wird im Anwendungsfall auf Verbindungen gelegt, die aufgrund geringer Nachfrage keine effiziente Bedienung durch einen Linienverkehr zulassen. Es sollen auch Verbindungen mit einer Kombination aus zwei Verkehrsmitteln möglich sein, sofern effiziente und kurze Umsteigevorgänge gewährleistet werden können.

Abbildung 7 und Abbildung 8 stellen die Prozessdiagramme für den Hin- und Rückweg des Anwendungsfalles 2 dar. Die Verbindung beschreibt eine relativ kurze Strecke mit dem MIV (<20 Minuten) mit dem Wegzweck Freizeit und Einkaufen. Das anschließende Kapitel beschreibt die technischen, rechtlichen und organisatorischen Anforderungen an die Umsetzung des Anwendungsfalles. Im Anwendungsfall 2 unterscheiden sich Hin- und Rückfahrt in den Anforderungen nicht.

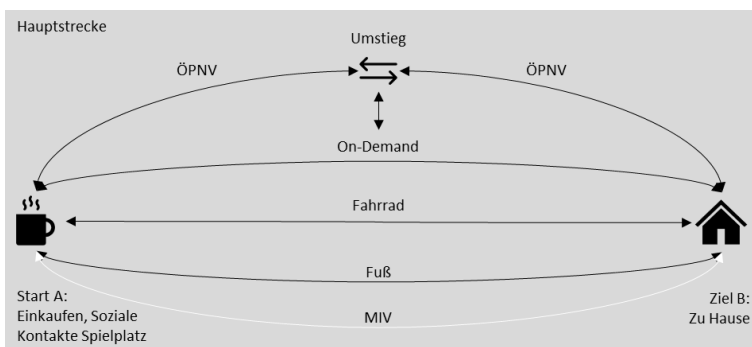
Der ODV ist besonders für mobilitätseingeschränkte Nutzer:innen und schlechte Wetterbedingungen ausgelegt. Wie die Vergleichsstrecke bereits zeigt, sind auf den kurzen Querverbindungen auch Fuß- und Radverkehr als Mobilitätslösung möglich. Der ODV soll diese nicht substituieren, sondern lediglich die Nutzung des MIV reduzieren und für Zielgruppen, welche den Fuß- und Radverkehr nicht nutzen können, eine Alternative bieten.

Abbildung 7: Prozessdiagramm Anwendungsfall 2 - Hinfahrt



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 8: Prozessdiagramm Anwendungsfall 2 – Rückfahrt



Quelle: Eigene Darstellung

### 2.2.3 Anforderungen

Tabelle 2: Anforderungen Anwendungsfall 2

1. Betrieb		
1.1	Spontan Buchungen	Buchungen mit geringer zeitlicher Vorlaufzeit (30 min) müssen ermöglicht werden (Rückfahrt nach Einkauf nicht planbar).
1.2	Optimaler Abholpunkt	Falls Fußweg möglich (Angabe bei Buchung) kann Abholort und dadurch die Gesamtzeit der Strecke optimiert werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



1.3	Schneller Umstieg	Umstieg (falls nötig) muss aufeinander abgestimmt sein.
1.4	Verspätungsinformationen	Verspätungen müssen klar ersichtlich sein.
1.5	Personal	Es müssen genügend Fahrer:innen vorgehalten werden.
1.6	Fahrzeuge	Es müssen genügend Fahrzeuge vorgehalten werden.
1.7	Versicherung	Versicherung für den Flächenbetrieb muss abgeschlossen sein.
1.8	Barrierefreiheit	Feste Haltestellen müssen einen barrierefreien Zustieg ermöglichen.
1.9	Tarifsystem	Integration in das bestehende ÖPNV-Tarifsystem plus Komfortzuschlag für eine einfache Abrechnung.
1.10	Zeiteffizienz	Die Gesamtzeit der Verbindung muss konkurrenzfähig (weniger als dreimal so lange) mit der Reisezeit im Privatauto sein.
1.11	Virtuelle Haltestellen	Auch Zu- und Ausstiege abseits der bereits existierenden Haltestellen muss ermöglicht werden.
1.12	Zeitfenster	Definiertes Zeitfenster von 09:00 – 16:00 Uhr.
<b>2. Algorithmus</b>		
2.1	Verzahnung	Anschlussmöglichkeiten müssen bestmöglich kombiniert werden.
2.2	Räumliche Bündelung	Fahrten im gleichen Gebiet müssen aufeinander abgestimmt werden. Ausstieg und Zustieg müssen effizient gestaltet werden.
2.3	Umweg	Zeiten für Umwege müssen so optimiert werden, dass die Wegzeiten für Mitfahrende weiterhin tragbar sind, aber auch möglichst hohe Pooling-Quoten erzielt werden.
2.4	Vermeidung Parallelverkehr	Keine Fahrten von ODV auf ÖPNV Linien.
2.6	Zwischenstopps	Ausstiege und Zustiege auf der geplanten Route müssen möglich sein.
<b>3. Software</b>		
3.1	Funktionalität	Umfangreiche Informationen (Verspätungen, verfügbare Verkehrsmittel, etc.), Navigation, integrierte Buchung, Reservierung und Zahlung.
3.2	Benutzerfreundlichkeit	Verständliche Oberfläche (UI/UX Design), Individualisierbarkeit, Prozesseffizienz.
3.3	Interaktion/Kommunikation	Sicherheit (Datenschutz), Service (Kundentelefon), Feedback (Kundenrezensionen), Integration in das bereits existierende System.
3.4	Rahmenbedingungen	Spremborg als Bediengebiet, bestenfalls grenzüberschreitend, Intermodale Integration der Verkehrsträger, Öffentliche Finanzierung, Integration in das ÖPNV-Tarifsystem.
<b>4. Rechtsrahmen</b>		
4.	Genehmigung Plattform	Nach § 1 Abs. 1 a (PbefG) sind digitale Vermittlungsplattformen, wenn sie „die Vermittlung und Durchführung der Beförderung organisatorisch und vertraglich verantwortlich kontrollieren“, genehmigungspflichtig.
4.2	Linienbedarfsverkehr	§ 44 (neu) PbefG: ÖPNV-Form des Linienverkehrs ohne festen Linienweg. Flächenerschließung mit Pkw und Bus zw. Haltepunkten und nach ÖPNV-Tarif (ggf. mit Komfortzuschlag). Weitere Möglichkeit ist der „Gebündelte Bedarfsverkehr“: § 50 (neu) PbefG: Flächenerschließung als Gelegenheitsverkehr. Verpflichtete zur Erhebung sog. Mindestentgelte höher als der ÖPNV-Tarif. Nur für Pkws.

Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehraufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus

Technische Hochschule  
Brandenburg  
University of  
Applied SciencesBrandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

## 2.2.4 Zusammenfassung

Neben den für alle Anwendungsfälle gültigen Anforderungen sind zur effizienten Gestaltung des Anwendungsfalls 2 „Querverbindungen“ folgende wesentliche Anforderungen identifiziert worden:

- Bedienung kurzer Strecken, für welche keine passende liniengebundene ÖPNV-Verbindung existiert
- Spontane Buchungen, da Rückfahrt zeitlich oft nicht planbar ist
- Optimierung der Abholpunkte für kontinuierliche Fahrtwege
- Geringe Umwege

## 2.3 Abendliche Randzeiten

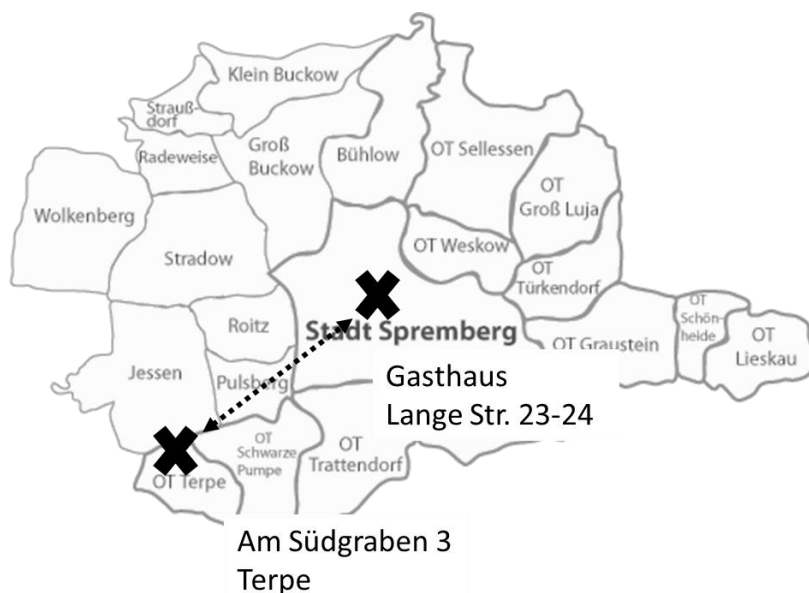
Der dritte Anwendungsfall skizziert einen Betrieb mit On-Demand-Bussen in den abendlichen Randzeiten. Dies liegt an einem verringerten ÖPNV-Betrieb in den abendlichen Zeiten und der hohen Priorisierung einer Rückfahrt nach abendlichen Aktivitäten (bspw. Restaurantbesuch) im ersten Workshop zur Bedarfserfassung in Spremberg.

Der Anwendungsfall zielt darauf ab, eine komfortable Alternative zum MIV auf der Rückfahrt von einer abendlichen Unternehmung zu schaffen. Hier können Anwendungsfall 1 und 2 als Hinfahrt genutzt werden und Anwendungsfall 3 schließt die Lücke für eine Rückfahrt in den jeweiligen Ortsteil bis 21:30 Uhr.

### 2.3.1 Vergleichsstrecke

Als repräsentative Vergleichsstrecke für eine Verbindung zur abendlichen Randzeit in Spremberg wurde die Route von einem Restaurant mit Biergarten in der Kernstadt, Lange Str. 23-24, 03130 Spremberg, zu einer zufällig ausgewählten Adresse im Ortsteil Terpe, Am Südgraben 3, 03130 Spremberg, gewählt (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 9: Vergleichsstrecke Anwendungsfall 3



Quelle: Eigene Darstellung

Mit dem Auto beträgt die durchschnittliche Wegzeit 12 Minuten, während die gleiche Strecke entweder 29 Minuten als Direktverbindung (Buslinie 886) oder 1 Stunde und 24 Minuten mit einem Umstieg von der Linie 800 am Busbahnhof Schwarze Pumpe dauert. Die Haltestelle in Terpe ist eine Rufbushaltestelle und bedarf einer Anmeldung der Fahrt mit dem Bus 886 anderthalb Stunden vor Abfahrt. Die Strecke von Terpe zum Busbahnhof Schwarze Pumpe kann auch in 29 Minuten zu Fuß begangen werden. Nach 16:30 Uhr gibt es jedoch keine Möglichkeit für eine Reisekette ohne langen Fußweg [VB22]. Durch flexible Verbindungen zu abendlichen Randzeiten können auch wenig nachgefragte Strecken effizient bedient werden. Zusätzlich bietet die Kombination aus den drei Anwendungsfällen eine komplett flexible Tagesgestaltung ohne die Nutzung des MIV. So können sich Personen nach der Arbeit direkt zum Abendessen treffen und gemeinsam in den gleichen Ortsteil

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



mit dem ODV fahren. Darüber hinaus bieten kürzere Fußwege mobilitätseingeschränkten Personen die Möglichkeit, leichter auf den privaten Pkw zu verzichten.

Die Anwendungsfälle 2 und 3 ähneln sich in der Ausgestaltung, neben einer klaren zeitlichen Abgrenzung, stark. Die Unterschiede liegen in der möglichen längeren Strecke zu den abendlichen Randzeiten und einer vermutlichen Bündelung der Fahrtwünsche in der Kernstadt in die Außenbereiche, während Anwendungsfall 2 die kurzen Querverbindungen zwischen den Ortsteilen bedient.

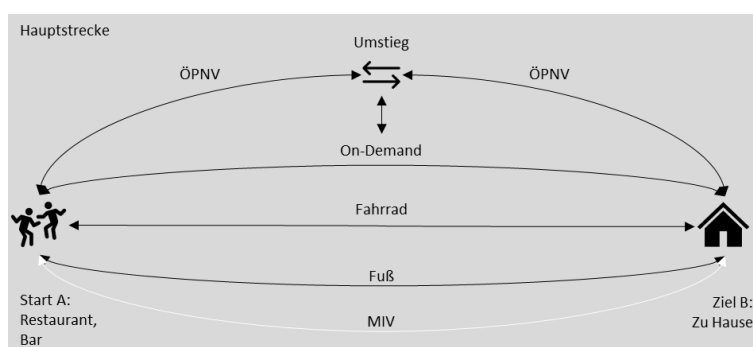
### 2.3.2 Prozessdiagramme

Zur Darstellung des Anwendungsfalls wird im Vergleich zu Anwendungsfall 1 nur die Hauptstrecke fokussiert. Explizit bildet der Anwendungsfall 3 Verbindungen zu abendlichen Tageszeiten ab, zu welchen keine oder eine mit langen Fußwegen beziehungsweise Wartezeiten verbundene ÖPNV-Verbindung besteht. Es werden auch Verbindungen mit einem Umstieg einbezogen, solange keine langen Wartezeiten entstehen. Besonders die Linie 800 und die Bahnverbindung mit dem RB 65 haben eine stündliche Taktung bis 23 Uhr [VB22]. Hier kann der ODV auch als Zubringer genutzt werden.

Abbildung 10 stellt das Prozessdiagramm für den Rückweg nach einer Unternehmung bis 21:30 Uhr dar. Die Verbindung beschreibt eine Strecke aus der Kernstadt oder einem Zentrum für kulturelle Veranstaltungen nach Hause. Das anschließende Kapitel 4 beschreibt die technischen, rechtlichen und organisatorischen Anforderungen an die Umsetzung des Anwendungsfalls. Im Anwendungsfall 3 wird nur die Fahrt nach Hause betrachtet.

Wie die Vergleichsstrecke zeigt, gibt es oft auch die Möglichkeit den existierenden ÖPNV in Kombination mit Fuß- und Radverkehr oder auch ausschließlich Fuß- und Radverkehr für kurze Strecken zu nutzen. Der ODV soll diese nicht substituieren, sondern lediglich die Nutzung des MIV reduzieren und für Zielgruppen, welche den Fuß- und Radverkehr nicht nutzen können oder welche in großer Distanz zur Kernstadt wohnen, eine Alternative bieten.

Abbildung 10: Prozessdiagramm Anwendungsfall 3



Quelle: Eigene Darstellung

### 2.3.3 Anforderungen

Tabelle 3: Anforderungen Anwendungsfall 3

1. Betrieb		
1.1	Spontan-Buchungen	Buchungen mit geringer zeitlicher Vorlaufzeit (30 min) müssen ermöglicht werden (Rückfahrt nach Einkauf nicht planbar).
1.2	Optimaler Abholpunkt	Falls Fußweg möglich (Angabe bei Buchung) kann Abholort und dadurch die Gesamtzeit der Strecke optimiert werden.
1.3	Schneller Umstieg	Umstieg (falls nötig) muss aufeinander abgestimmt sein.
1.4	Verspätungsinformationen	Verspätungen müssen klar ersichtlich sein.
1.5	Personal	Es müssen genügend Fahrer:innen vorgehalten werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



1.6	Fahrzeuge	Es müssen genügend Fahrzeuge vorgehalten werden.
1.7	Versicherung	Versicherung für den Flächenbetrieb muss abgeschlossen sein.
1.8	Barrierefreiheit	Feste Haltestellen müssen einen barrierefreien Zustieg ermöglichen.
1.9	Tarifsystem	Integration in das bestehende ÖPNV-Tarifsystem plus Komfortzuschlag für eine einfache Abrechnung.
1.10	Virtuelle Haltestellen	Auch Zu- und Ausstiege abseits der bereits existierenden Haltestellen muss ermöglicht werden.
1.11	Zeitfenster	Definiertes Zeitfenster von 18:00 – 21:30 Uhr.
<b>2. Algorithmus</b>		
2.1	Verzahnung	Anschlussmöglichkeiten müssen bestmöglich kombiniert werden.
2.2	Räumliche Bündelung	Fahrten im gleichen Gebiet müssen aufeinander abgestimmt werden. Ausstieg und Zustieg müssen effizient gestaltet werden.
2.3	Umweg	Umwege können für Verbindungen in eine ähnliche Richtung in Kauf genommen werden. Wichtig ist, möglichst viele Fahrtwünsche zu bündeln, da lange Rückfahrzeiten entstehen können.
2.4	Vermeidung Parallelverkehr	Keine Fahrten von ODV auf ÖPNV-Linien.
2.6	Zwischenstopps	Ausstiege und Zustiege auf der geplanten Route müssen möglich sein.
<b>3. Software</b>		
3.1	Funktionalität	Umfangreiche Informationen (Verspätungen, verfügbare Verkehrsmittel, etc.), Navigation, integrierte Buchung, Reservierung und Zahlung.
3.2	Benutzerfreundlichkeit	Verständliche Oberfläche (UI/UX Design), Individualisierbarkeit, Prozesseffizienz.
3.3	Interaktion/Kommunikation	Sicherheit (Datenschutz), Service (Kundentelefon), Feedback (Kundenrezensionen), Integration in das bereits existierende System müssen gewährleistet sein.
3.4.	Rahmenbedingungen	Spremberg als Bediengebiet, bestenfalls grenzüberschreitend, Intermodale Integration der Verkehrsträger, Öffentliche Finanzierung, Integration in das ÖPNV-Tarifsystem.
<b>4. Rechtsrahmen</b>		
4.1	Genehmigung Plattform	Nach § 1 Abs. 1 a (PbefG) sind digitale Vermittlungsplattformen, wenn sie „die Vermittlung und Durchführung der Beförderung organisatorisch und vertraglich verantwortlich kontrollieren“, genehmigungspflichtig.
4.2	Linienbedarfsverkehr	§ 44 (neu) PbefG: ÖPNV-Form des Linienverkehrs ohne festen Linienweg. Flächenerschließung mit Pkw und Bus zw. Haltepunkten und nach ÖPNV-Tarif (ggf. mit Komfortzuschlag). Weitere Möglichkeit ist der „Gebündelte Bedarfsverkehr“: § 50 (neu) PbefG: Flächenerschließung als Gelegenheitsverkehr. Verpflichtete zur Erhebung sog. Mindestentgelte höher als der ÖPNV-Tarif. Nur für Pkws.

### 2.3.4 Zusammenfassung

Neben den für alle Anwendungsfälle gültigen Anforderungen sind zur effizienten Gestaltung des Anwendungsfalls 3 „Abendliche Randzeiten“ folgende wesentliche Anforderungen identifiziert worden:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



- Bedienung der abendlichen Randzeiten, für welche keine passende liniengebundene ÖPNV-Verbindung existiert
- Spontane Buchungen, da Rückfahrt zeitlich oft nicht planbar ist
- Optimierung der Mitnahme entlang der Strecke, da Streckenführung meist von der Kernstadt in die äußeren Ortsteile führt und damit lange leere Rückfahrten bedeutet
- Umwege können zur Erhöhung der Pooling-Quote in Kauf genommen werden

## 2.4 Zwischenfazit

Aus der Zusammenfassung der drei entwickelten Anwendungsfälle, „Pendeln“, „Querverbindungen“ und „Abendliche Randzeiten“ lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen: Zum einen sind die betrieblichen, technischen und rechtlichen Anforderungen an die Umsetzung sehr ähnlich. Die größten Unterschiede bestehen in der Verzahnung mit dem existierenden Linienverkehr gegenüber der Bedienung von bisher nicht in Linien abgebildeten kurzen Querverbindungen oder bisher zeitlich nicht abgebildeten Verbindungen zu Randzeiten.

Daraus lässt sich ableiten, dass bei der Umsetzung des ersten Anwendungsfalls ein starker Fokus auf effizienten Umsteigevorgängen zwischen verschiedenen Verkehrsträgern und einer fixen Ankunftszeit liegt, während die beiden anderen Anwendungsfälle bisher nichtexistierende Verbindungen darstellen und daher einen stärkeren Fokus auf effiziente Abholpunkte und flexible Buchbarkeit legen.

Durch die Routine des Arbeitsweges sind die Abholungen im ersten Anwendungsfall gut planbar und über einen längeren Zeitraum konstant, während es in den beiden anderen Anwendungsfällen auch zu spontanen Buchungen und nicht planbaren Verbindungen kommt, da der zeitliche Umfang eines Restaurantbesuches oder eines Treffens mit sozialen Kontakten nicht im Voraus planbar ist. Dabei ist zu beachten, dass in der abendlichen Schwachverkehrszeit bei Verbindungen vor allem von der Kernstadt in die peripheren Ortsteile längere Warte- bzw. Vorbuchungszeiten sowie längere Umwege auf der Strecke in Kauf genommen werden müssen, um möglichst viele Fahrgäste auf einer Fahrt zu befördern.

In Bezug auf die Flottengröße ist für eine Stadt im Umfang von Spremberg davon auszugehen, dass für die Bedienung der Anwendungsfälle zunächst ein bis zwei Fahrzeuge ausreichend sind [Me23]. Dies ist mit der Ausdehnung des Betriebsgebietes oder eines spezifischen Anwendungsfalls skalierbar und kann dadurch in Zukunft auch zu einem höheren Bedarf an verfügbaren Fahrzeugen führen.

Während der Betrieb bzw. die organisatorische Hoheit über das Angebot entweder beim ÖPNV-Aufgabenträger oder bei einer Gebietskörperschaft zu sehen ist, sind die Teilbereiche des Betriebs auf viele verschiedene Akteure verteilt. Das zugrundeliegende Rollenmodell wird im weiteren Projektverlauf weiter ausgearbeitet. So können z.B. Fahrzeuge und Personal auch von lokalen Verkehrsunternehmen gestellt werden und die Wartung und der Betrieb der Software durch einen lokalen Softwaredienstleister erfolgen. Hier sind viele Konstellationen vorstellbar, welche durch die Integration ansässiger Stakeholder im weiteren Verlauf geschärft wird.

## 3 Rahmenbedingungen

In Vorbereitung auf das Betriebs- und Organisationsmodell werden im Folgenden zunächst die wichtigsten Rahmenbedingungen zur Etablierung eines On-Demand-Pooling-Verkehrs zusammengefasst.

### 3.1 Rechtlich

Mit der Zustimmung des Bundesrats vom 26. März 2021 wurde das Gesetzesvorhaben zur Modernisierung des Personenbeförderungsrechts abgeschlossen. Das Gesetz wurde Ende April 2021 im Bundesgesetzblatt verkündet (BGBl I, S. 822), und die Verkündung führte zur Inkraftsetzung der meisten neuen Regelungen ab dem 1. August 2021.

Die Anpassungen betreffen hauptsächlich das Personenbeförderungsgesetz (PBefG). Treiber der Novellierung war das im Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD 2018 festgehaltene Ziel einer rechtssicheren Regelung von sogenannten plattformbasierten Mobilitätsdiensten. Die durch die Digitalisierung ermöglichten Geschäftsmodelle zur bedarfsgerechten Vermittlung von Verkehrsleistungen sollten im PBefG eine rechtssichere Grundlage finden. Bei diesen "digitalen Geschäftsmodellen" erfolgt die Bestellung, Buchung, Streckenführung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



und Zahlungsabwicklung der Beförderungen automatisiert über Smartphone-Apps. Je nach Geschäftsmodell können auch Beförderungswünsche separater Parteien auf eine Fahrt gebündelt und (virtuelle) Abhol- oder Absetzpunkte vorgesehen werden. Nachfrage und Angebot werden algorithmusbasiert zusammengeführt. Ebenso automatisiert erfolgen die Bündelung und Preisfestlegung im Rahmen vorgegebener Kriterien. Die Novellierung hat großen Einfluss auf die Zulassung neuer bedarfsorientierter Verkehre, auch als Teil des ÖPNV und hat daher großen Einfluss auf das im Zuge von OSLO zu entwickelnde Betriebs- und Organisationsmodell.

Im Folgenden werden die wichtigsten Teilbereiche der Novelle kurz beleuchtet und ein Resümee zu den Auswirkungen für eine mögliche Projektumsetzung gezogen.

Tabelle 4: Rechtsgrundlagen Bedarfsverkehre im Personenbeförderungsgesetz (PBefG)

PBefG	Erläuterung	Abgrenzung
§ 42: Linienverkehr	Zulassung über § 2 Abs. 6 iVm. § 42 Abs. 1 PBefG als „atypischer Linienverkehr“	Genehmigung als atypischer Linienverkehr. Damit müssen die Mehrheit der Merkmale, fester Linienweg, Haltestellen, Bedienzeiten, Gebiet erfüllt sein
§ 44: Linienbedarfsverkehr	Linienverkehr gemäß § 42, der öffentlicher Personennahverkehr gemäß § 8 Absatz 1. Jedoch Möglichkeit der vorherigen Bestellung und die Beförderung ohne festen Linienweg zwischen bestimmten Einstiegs- und Ausstiegspunkten innerhalb eines festgelegten Gebietes und festgelegter Bedienzeiten (Linienbedarfsverkehr).	PBefG-Novelle zur rechtlichen Grundlage für On-Demand-Pooling-Verkehre, die als Ergänzung des ÖPNV durch öffentliche Aufgabenträger betrieben werden. Abgrenzung zu § 50 ist der Fokus auf ÖPNV und damit ein Betrieb in Zuschussfinanzierung
§ 50: gebündelter Bedarfsverkehr	Gebündelter Bedarfsverkehr bezeichnet den Transport von Personen mittels Personenkraftwagen, bei dem mehrere Fahraufträge entlang ähnlicher Routen zusammengefasst werden. Der Unternehmer ist ausschließlich dazu berechtigt, die Aufträge auf vorherige Bestellung hin, auszuführen.	PBefG-Novelle zur rechtlichen Grundlage für On-Demand-Pooling-Verkehre, die von wirtschaftlichen Akteuren betrieben werden. Abgrenzung zu § 44 ist der Fokus nicht dem ÖPNV-zugehörige Unternehmer.

Quelle: Stallmann 2022

Auf die vorgestellten Ergebnisse aufbauend wird für eine Umsetzung des OSLO Betriebskonzepts eine Genehmigung als Linienbedarfsverkehr auf der Rechtsgrundlage des § 44 PBefG empfohlen. Jedoch birgt die gewählte Umsetzung des Linienbedarfsverkehrs als eine Form des Linienverkehrs mit Kraftfahrzeugen im Rahmen der PBefG-Novelle bestimmte rechtliche Risiken. Die Unterscheidung zwischen Linienbedarfsverkehr und gebündeltem Bedarfsverkehr, insbesondere im Hinblick auf die Integration in den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), wurde zwar beabsichtigt, aber nicht explizit auf der Ebene der rechtlichen Bestimmungen festgelegt. Dies könnte unerwünschte rechtliche Auswirkungen auf die Genehmigung von gebündelten Bedarfsverkehren haben. Sollten diese Risiken jedoch eintreten, könnte der Gesetzgeber schnell reagieren, um ihnen entgegenzuwirken [St22]. Im Folgenden sind die Anforderungen für eine Anwendung des § 44 zusammenfassend dargestellt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

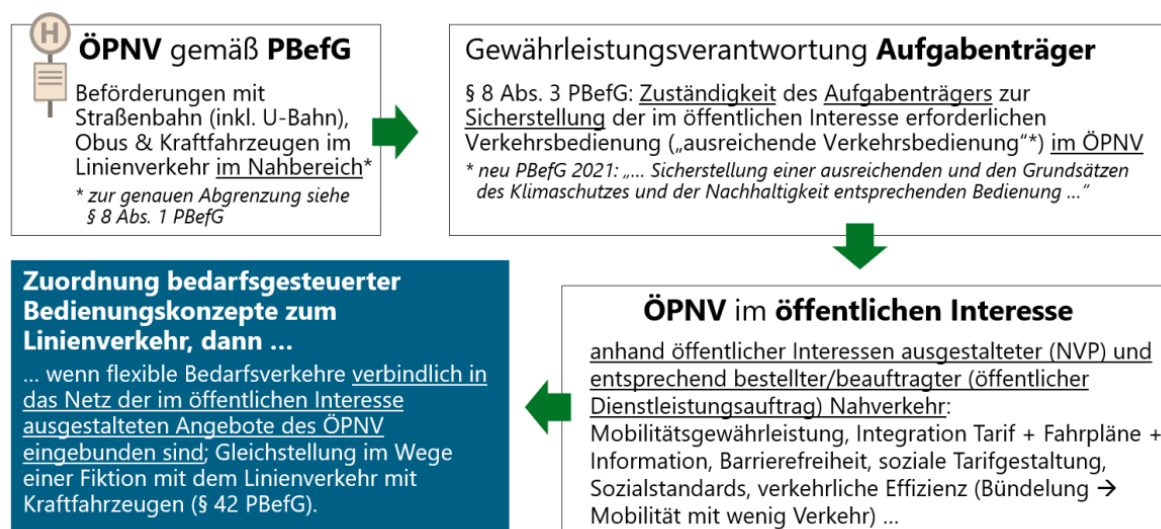


Ein Verbund aus





Abbildung 11: Anforderungen zur Zuordnung § 44 als Linienverkehr des ÖPNV



Quelle: Stallmann 2022

Mit der Einführung des neuen § 44 PBefG wurde eine rechtliche Grundlage für ÖPNV-integrierte ODVe geschaffen. Gemäß § 44 Satz 1 PBefG gilt als Linienverkehr (§ 42), der öffentlicher Personennahverkehr gemäß § 8 Absatz 1 ist, auch der Verkehr, der auf vorherige Bestellung ohne festen Linienweg zwischen bestimmten Einstiegs- und Ausstiegspunkten innerhalb eines festgelegten Gebiets und zu festgelegten Bedienzeiten stattfindet (Linienbedarfsverkehr).

Gemäß den Sätzen 2 und 3 des § 44 PBefG dürfen nur vom Aufgabenträger festgelegte Beförderungsentgelte und -bedingungen angewendet werden, wobei Zuschläge erhoben werden dürfen. Die ursprünglich vorgesehene Beschränkung auf "pauschale" Zuschläge wurde in der endgültigen Fassung aufgrund erfolgreicher Intervention der Verbände fallen gelassen.

Die Einordnung des Linienbedarfsverkehrs als Linienverkehr (vgl. Abbildung 11) hat zur Folge, dass alle gesetzlichen Regelungen, die auf den Linienverkehr anwendbar sind, auch hier gelten. Dies betrifft Genehmigungsvoraussetzungen, -verfahren und -folgen (Betriebspflicht, Beförderungspflicht). Der ermäßigte Umsatzsteuersatz von derzeit 7 % findet Anwendung auf Fahrausweise. Die unentgeltliche Beförderung schwerbehinderter Menschen und die entsprechenden Ausgleichsregelungen gelten auch im Linienbedarfsverkehr. Auch die Finanzierungsregeln des Bundes (§ 45a PBefG, soweit im Land noch angewendet) und der Länder, die sich auf den Linienverkehr beziehen, beziehen automatisch den Linienbedarfsverkehr mit ein.

Durch die Einordnung als ÖPNV gelten auch die Bestimmungen zum Nahverkehrsplan und zur Zielsetzung der vollständigen Barrierefreiheit [St22].

## 3.2 Technisch

### 3.2.1 Softwarearchitektur

Die Analyse ergab vier wesentliche, notwendige Erweiterungen zur Umsetzung von ODV auf der Basis von bbnavi:

- 1) Die Nutzung von GTFS-Flex-V2 für die Nahe-Echtzeit-Generierung dynamischer Fahrpläne,
- 2) die Integration des angepassten Routing-Algorithmus (BTU) in die OTP-Architektur,
- 3) die Entwicklung einer Schnittstelle für die Anbindung von Buchungssystemen und
- 4) die Anbindung von bbnavi über eine Schnittstelle mit der Fahr-App.

Grundlage dafür sind die vorhandenen Open-Source-Komponenten (vgl. Tabelle 5).

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus



## Liste der eingesetzten Komponenten

Tabelle 5: Liste eingesetzter Open-Source-Komponenten

Komponente	Version	Lizenz
digitransit-ui <a href="https://digitransit.fi/en/developers/services/5-digitransit-ui/">https://digitransit.fi/en/developers/services/5-digitransit-ui/</a>	V 3	EUPL v1.2 and AGPL v3
GTFS Flex <a href="https://github.com/bbnavi/gtfs-flex">https://github.com/bbnavi/gtfs-flex</a>	V 2	Creative Commons Zero v1.0 Universal
OpenTripPlanner <a href="https://docs.opentripplanner.org/en/v2.3.0/">https://docs.opentripplanner.org/en/v2.3.0/</a>	V 2.3.0	Apache 2.0

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

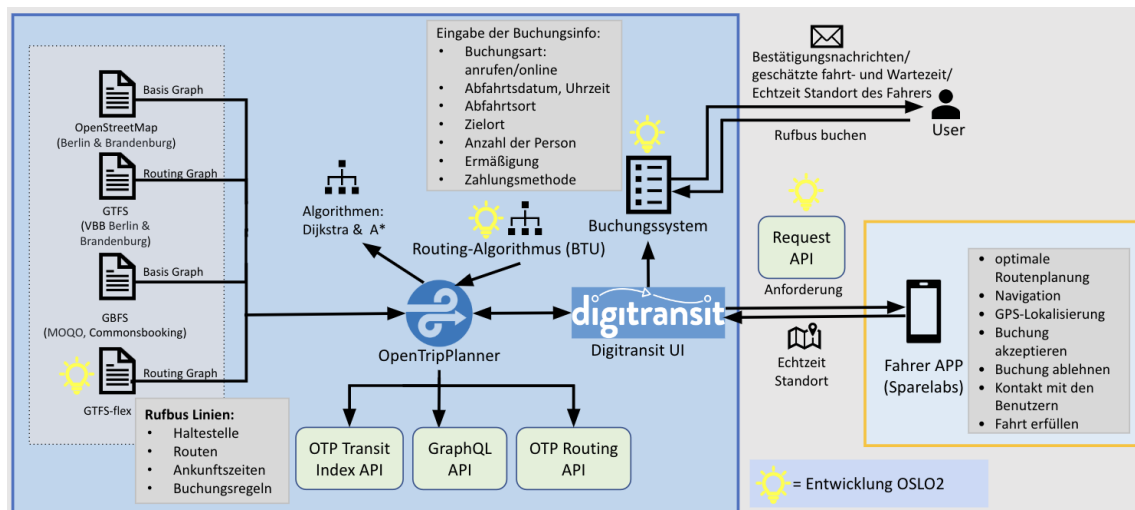


Ein Verbund aus



Das bedeutet, dass eine Erweiterung der bestehenden Software-Projekte für die Umsetzung des geschilderten ODV grundsätzlich möglich ist. Zentral ist die Nutzung von GTFS-Flex-V2 für die dynamische Generierung von Datendateien. In Abbildung 12 wird die Software-Architektur dargestellt, bei der die vier wesentlichen Erweiterungen gelb (Glühbirne) markiert sind. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

Abbildung 12: Darstellung der Software-Architektur

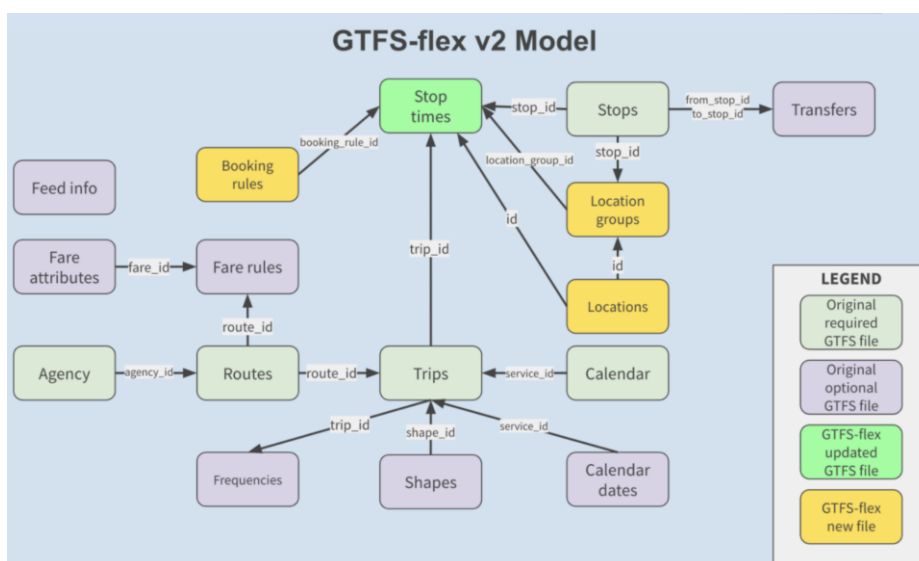


Quelle: Eigene Darstellung

## Datenquellen

OTP greift auf verschiedene Datenquellen zu, wie zum Beispiel *General Transit Feed Specification (GTFS)* Daten, die den Fahrplan- und Routeninformationen der Verkehrsbetriebe in Berlin und Brandenburg entsprechen. Weitere Datenquellen sind OpenStreetMap (Berlin-Brandenburg) für Straßennetze und Echtzeitdaten über die Standorte von mehreren hundert Fahrradvermietungen in Berlin und Brandenburg (GBFS). Darüber hinaus gibt es GTFS-Flex-Daten, die den Routeninformationen der Rufbus-Linien entsprechen. Da GTFS-Flex eine Erweiterung des GTFS-Formats ist, enthalten GTFS-Flex-Daten in der Regel die gleichen Grundelemente wie GTFS-Daten (Agentur, Haltestellen, Routen usw.), aber auch zusätzliche Informationen, die speziell für die Darstellung von flexiblen Verkehrsdiensten relevant sind, z. B. Buchungsregeln, wie in Abbildung 13.

Abbildung 13: Darstellung des GTFS-Flex v2 Models



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an "MobilityData/Gtfs-Flex." 2016. Reprint, MobilityData IO.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Die neueste Version, GTFS-Flex v2, besteht aus zwei Erweiterungen, die darauf abzielen, die Vielfalt der nachfrageabhängigen Dienste zu modellieren, die nicht immer denselben festen Haltestellen folgen. Die folgenden beiden Erweiterungen tragen diesem Bedarf Rechnung:

- **GTFS-FlexibleTrip:** Flexible Dienste, die nach einem bestimmten Fahrplan verkehren, aber auf die Nachfrage einzelner Fahrgäste reagieren.
- **GTFS-BookingRules:** Buchungsinformationen für von Fahrgästen angeforderte Dienste, die GTFS-FlexibleTrips verwenden, z. B., wie weit im Voraus die Buchung erfolgen soll oder welche Telefonnummer für Nachfragen oder Buchungen angerufen werden kann.

Mit der Generierung von Dateien innerhalb dieser Spezifikation ist es möglich, einen mit der bestehenden Architektur kompatiblen Transit Feed für On-Demand-Verkehre zu erzeugen.

### OpenTripPlanner

OpenTripPlanner (OTP) bietet verschiedene APIs und Endpunkte, die es Entwicklern ermöglichen auf verschiedene Funktionalitäten im Zusammenhang mit dem öffentlichen Nahverkehr und der multimodalen Reiseplanung zuzugreifen. Die OTP-Transit-Index-API liefert Informationen, die aus den GTFS-Feeds abgeleitet wurden. OTP erstellt einen transitiven Graphen aus den Datenquellen, um die öffentlichen Verkehrsrouten berechnen zu können. Dieser Graph enthält Informationen über Haltestellen, Routen, Fahrpläne, Umsteigeverbindungen usw. Die GraphQL API ermöglicht den Zugriff auf den zugrundeliegenden Verkehrsnetzgraph, den OTP für die Routenberechnung verwendet. Die Berechnung des Graphen ermöglicht effiziente Routenplanungen. OTP verwendet Algorithmen wie Dijkstra oder A\* für die Berechnung der besten Routen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Entfernung, Reisezeit, Umstiege, Fußwege usw. Der günstigste Routing-Algorithmus (vgl. AP 6) muss in die Routing-Komponente (OTP-Routing-API) integriert werden, um die besten Routen für kommunal betriebene On-Demand-Verkehre (ODV) zu ermitteln. Die Routing-API bietet eine Möglichkeit zur Planung von Routen und zur Abfrage von Informationen über Haltestellen und Fahrpläne im öffentlichen Nahverkehr mit GraphQL. Über diese Komponente können also auch Zusatzinformationen eingespeist werden, die für das Routing relevant sind.

### Digitransit UI

Digitransit-ui ist eine mobilfreundliche Benutzeroberfläche. Digitransit UI ermöglicht den Nutzer:innen die Eingabe von Start- und Zielorten sowie Reisepräferenzen. Es verarbeitet Eingaben (Mobilitätsanfragen) und sendet entsprechende Anfragen an OTP, um die Routenplanung anzustoßen und mögliche Verbindungen als Reiseplanungsdaten abzurufen.

### Buchungssystem

Für den Betrieb von On-Demand-Verkehr ist es notwendig, ein Buchungssystem zu entwickeln, an das der Fahrtwunsch weitergegeben werden kann. Die Nutzer:innen können den Rufbus telefonisch oder online buchen und die Buchungsinformationen (Zeit, Abfahrtsort, Zielort usw.) eingeben. Die Unterstützung diverser Zahlungsmöglichkeiten ist ebenfalls erforderlich. Wenn Nutzer:innen eine Zahlungsmethode auswählen, werden sie auf die entsprechende Zahlungsseite weitergeleitet. Darüber hinaus sollten die Buchungsinformationen rechtzeitig bearbeitet und durch die Request-API an die Fahr-App übermittelt werden.

### Fahr-App

Für den Betrieb von On-Demand-Verkehr ist es notwendig, dass Fahrzeuge zu jeder Zeit neue Routen-Informationen erhalten und die Route bedarfsgerecht verändert werden kann. Navigationsanwendungen für mobile Endgeräte sind in der Praxis etabliert und es existiert die Erwartungshaltung von Echtzeit-Geo-Informationen in allen Anwendungen. Daneben ist auch für die Routenplanung ein genauer Standort der Fahrzeuge unerlässlich. Die Standorte im Netzgraph sollten annähernd in Echtzeit und möglichst feingranular, also auf Knotenebene des Straßennetzes, zur Verfügung stehen, um eine praxistaugliche Routenplanung in angemessener Zeit zu ermöglichen. Die Datenbeschaffung dafür kann über separate GPS-Sensoren innerhalb der Fahrzeuge oder über eine Schnittstelle der Fahr-App realisiert werden. Dabei wird die übliche GPS-Lokalisierung der mobilen Endgeräte genutzt. Bei der Realisierung über die Fahr-App müssen diese Koordinaten

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



jedoch explizit an bbnavi zurückgegeben werden, um für die Routenplanung genutzt werden zu können. Für Fahrer:innen ist darüber hinaus eine Funktion zur Bearbeitung von Mobilitätsanfragen notwendig. Nach Erhalt der Buchungsinformation, kann die Buchung angenommen oder aufgrund unvermeidbarer Faktoren abgelehnt werden. Damit ist eine direkte, digitale Rückmeldung an die Nutzer:innen innerhalb der verschiedenen Apps möglich. Auch voraussichtliche Wartezeiten und sonstige Veränderungen können so kurzfristig strukturiert kommuniziert werden.

Die Analyse der Anforderungen hat ergeben, dass von der Realisierung einer eigenen mobilen Fahr-App abzusehen ist. Die Erwartungen von Nutzer:innen in Bezug auf Komfort (Geschwindigkeit, Sprachausgabe), Visualisierung (2D/3D, Karten, Verkehrsdichte), Funktionsumfang (Offline-Modus, Stauumfahrung) sind zu hoch für eine eigene Entwicklung im Rahmen eines Umsetzungsprojekts. Es wird daher empfohlen, mit Dritten zusammenzuarbeiten, um diese Funktionalität zufriedenstellend umzusetzen. Im Projekt hat sich der Partner "SpareLabs" offen für eine Zusammenarbeit gezeigt, weshalb für Folgeprojekte eine Kooperation angestrebt wird. Auf technischer Ebene muss hier lediglich eine offene Referenzimplementierung einer Schnittstelle entwickelt werden, sodass auch verschiedene Dienstleister diese Lücke füllen und ggf. mit eigenen Mehrwertdiensten für die Fahr-Dienstleister, z. B. die Integration mit offenen oder proprietären Software-Lösungen für Fuhrparkverwaltung oder Vermietung, anreichern können.

### Nicht-funktionale Anforderung

Aus der Architektur-Analyse und den abgeleiteten Anforderungen von Nutzer:innen und Fahr-Dienstleistern ergeben sich mehrere nicht-funktionale Anforderungen:

- **Leistungsfähigkeit:** Durch die zusätzlichen Routenoptionen des neuen Verkehrsmodus "Rufbus" und der Einbeziehung von Echtzeitdaten ist von erhöhter Komplexität in der Berechnung möglicher Routen auszugehen. Daher ist darauf zu achten, dass entsprechende Geschwindigkeitstests durchgeführt werden, um wesentliche Abweichungen von den üblichen Latenzen für die Routenplanung (aktuell ca. 450 Millisekunden) zu ermitteln und ggf. mit dem vermehrten Einsatz von Heuristiken gegenzusteuern.
- **Sicherheit und Datenschutz:** Personenbezogene Daten wie beispielsweise Buchungsinformationen werden außerhalb des Systems verarbeitet und werden gemäß den geltenden Datenschutzbestimmungen sicher behandelt.
- **Kompatibilität:** Die Benutzungsoberflächen müssen auf verschiedenen Betriebssystemen und Geräten (z. B. Windows, macOS, Android, iOS) ordnungsgemäß funktionieren.
- **Benutzungsfreundlichkeit:** Die Benutzungsoberfläche (Routenplanung mit Rufbus/Buchungssystem) sollte intuitiv und leicht verständlich sein, um die Einarbeitungszeit für neue Benutzer:innen und fehlerhafte Eingaben zu reduzieren.
- **Wartbarkeit:** Der Code muss gut strukturiert und dokumentiert sein, um eine einfache Wartung und Erweiterung des Systems zu ermöglichen.
- **Skalierbarkeit:** Das System sollte in der Lage sein, die aktuelle und die zu erwartende gestiegene Last durch den ODV zu bewältigen und muss bei Bedarf erweitert werden können. Das trifft insbesondere auf den Routing-Algorithmus und die Generierung des GTFS-Feeds zu.
- **Zuverlässigkeit:** Das System sollte eine Verfügbarkeit von mindestens 99,9 % aufweisen.

Aus der Analyse der Architektur, dem Open-Source-Entwicklungsstand und den erfassten Anforderungen in Workshops haben sich zahlreiche funktionale und nicht-funktionale Anforderungen ergeben, die hier wiedergegeben wurden. Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich die Implementierung dieser Anforderungen im Rahmen eines Umsetzungsprojekts grundsätzlich als möglich und realistisch darstellt.

### 3.2.2 Routing-Algorithmen

Die nachfolgenden Ausführungen wurden im Wesentlichen als wissenschaftlicher Beitrag beim "MOC 2023 - 15. Workshop {KI-basiertes} Management und Optimierung komplexer Systeme" eingereicht und akzeptiert. Die Präsentation der Arbeit erfolgte am 29. September 2023 auf dem Workshop als Teil der Jahrestagung Informatik 2023 der Gesellschaft für Informatik (<https://informatik2023.gi.de/>). Zusätzlich zu dem hier aufgeführten theoretischen Vorgehen wurde mittlerweile auch damit begonnen, diese exemplarisch für kleine Einsatzbereiche (einzelne Bereiche von Spremberg) und eine Teilmenge der Anforderungen an ein solches System prototypisch zu implementieren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Straßen- und Verkehrsnetze, wie die der Stadt Spremberg und Umgebung, können durch gewichtete Graphen repräsentiert werden. Ein gewichteter Graph  $G = (V, E)$  besteht aus einer Menge  $V$  von Knoten (engl. vertices) und einer Menge  $E \in V \times V$  von Kanten (engl. edges) sowie einer Gewichtsfunktion  $d : E \rightarrow \mathbb{R}$ , die die Kanten mit Gewichten oder Kosten bewertet. Für die Problemdomäne "Routing-Algorithmen" in unserem Projekt sind zwei wesentliche mathematische Problemstellungen relevant: A) die Berechnung kürzester Pfade (engl. shortest-path) und B) die Tourenplanung. Zunächst werden beide eingeordnet und dann wird die algorithmische Behandlung beider Problemstellungen in den darauffolgenden Unterabschnitten detailliert. Am Ende des Abschnitts werden C) Kombinationsmöglichkeiten betrachtet.

Ein *Shortest Path-Algorithmus* findet den kürzesten Weg zwischen einem Start ( $s \in V$ ) und einem Zielknoten ( $z \in V$ ) in einem gewichteten Graphen. Mit Hilfe eines solchen Algorithmus kann sowohl für den privaten Straßenverkehr als auch für den ÖPNV ein kürzester Weg ermittelt werden. Für den Straßenverkehr sind die Knoten Kreuzungen, Haltepunkte und Orte, die durch Straßen (Kanten) miteinander verbunden sind. Die Gewichtsfunktion ordnet dabei jeder Straße eine geschätzte Fahrtdauer zu. Analog kann für den ÖPNV ein Graph verwendet werden, bei dem die Busstationen und Bahnhöfe die Knoten darstellen und die Schienen bzw. Buslinien durch Kanten repräsentiert werden.

Bei einem On-Demand-Service soll ein Fahrzeug oder eine Flotte von Fahrzeugen dazu genutzt werden, die Transportwünsche möglichst vieler Teilnehmer zu erfüllen und dabei die geringsten Kosten verursachen. Die beschriebene Problemstellung wird in der Literatur als *Tourenplanung* (englisch Vehicle Routing Problem, VRP) bezeichnet. Ziel ist dabei die Gruppierung und optimale Aneinanderreihung verschiedener Transportaufträge [TV02]. Aus den Gegebenheiten in Spremberg leiten sich weitere Einordnungen des Problems in Unterklassen des VRP [Zh22] ab. So handelt es sich um ein Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), d.h. es müssen die verschiedenen Kapazitäten der Fahrzeuge (Auto, Kleinbus, Bus) berücksichtigt werden. Es genügt auch nicht, die Transporte einfach nur durchzuführen, sondern dies muss auch innerhalb zulässiger Zeitfenster geschehen (Vehicle Routing Problem with Time Window, VRPTW). Diese Zeitfenster steuern auf der einen Seite, dass die Fahrgäste ihren Anschlusszug rechtzeitig erreichen können und auf der anderen Seite, dass die Gesamtdauer des Transports für den jeweiligen Gast nicht zu groß wird (denn dann könnte auch der bisherige ÖPNV genutzt werden). Um eine kurzfristige Buchung des On-Demand-Services zu ermöglichen, müssen im späteren Verlauf dynamisch weitere Fahrgäste und Transporte zu bestehenden Routen hinzugefügt werden können (Dynamic Vehicle Routing Problem, DVRP).

Für die Unterstützung des bestehenden ÖPNV mittels eines On-Demand-Services ist es nicht nur notwendig, geeignete einzelne Verfahren zum Finden kürzester Wege und optimierte Routen zu finden, sondern auch diese geeignet zu kombinieren. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit von Spremberg nach Bautzen mittels Bussen (Linie 800 und 500) oder Zügen (RB 65 und RB 60) zu gelangen. Dem Fahrgast ist dabei die Art der Verbindung egal, was bedeutet, dass er entweder zu einer der Bushaltestellen oder zum Bahnhof gebracht werden muss, ehe er mit dem ÖPNV weiterfahren kann. Die Tourenplanung (im Folgenden auch "Routing") soll dabei gewährleisten, dass der Fahrgast so schnell wie möglich und rechtzeitig zu einem der Haltepunkte gebracht wird, wohingegen ein Shortest-Path-Algorithmus zunächst die infrage kommenden Haltepunkte ermitteln muss.

Im Folgenden wird nun auf die beiden Teilproblemstellungen "Shortest Path-Algorithmen" und "Vehicle Routing" eingegangen.

### A) Shortest-Path-Algorithmen

Das Shortest Path-Problem ist ein sehr gut erforschtes und in verschiedene Unterkategorien differenzierbares Problem. In [Ma17] sind diverse Unterkategorien des Shortest Path-Problems aufgeführt. Die Problemstellung des statischen Ermitteln der schnellsten Bus- oder Bahnverbindung fällt in die Kategorie (static) Single Source Shortest Path (SSSP). In diesem Abschnitt werden verschiedene Shortest-Path-Algorithmen zur Lösung des SSSP-Problems vorgestellt und miteinander verglichen.

### Der Dijkstra-Algorithmus

Der Dijkstra-Algorithmus [Co01] ist ein bekannter Algorithmus zur Berechnung des kürzesten Pfades in einem gewichteten Graphen mit nicht-negativen Kantengewichten. Der Algorithmus arbeitet inkrementell und wählt iterativ den Knoten mit dem geringsten Abstand vom Startknoten aus. Wurde der Knoten mit dem geringsten Abstand ausgewählt, so werden die Abstände aller Knoten, die noch nicht besucht wurden und mit dem aktuellen Knoten verbunden sind, angepasst und der aktuelle Knoten als besucht markiert. Der Abstand eines

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages





markierten Knotens kann sich nicht mehr verringern und ist somit der kürzeste Abstand vom Startknoten zu diesem Knoten. Wird der Abstand zu einem bestimmten Knoten gesucht, so bricht der Algorithmus ab, sobald der gewünschte Knoten besucht wurde.

Der Dijkstra-Algorithmus ist exakt und hat eine Zeitkomplexität von  $O(n^2)$ , wobei  $n$  die Anzahl der Knoten ist. Ein Vorteil des Algorithmus ist, dass er nicht alle Kanten untersuchen muss. Dies ist besonders nützlich, wenn die Gewichte an einigen Kanten teuer sind. Ein Nachteil besteht darin, dass der Algorithmus nur mit nicht-negativ gewichteten Kanten umgehen kann und er nur für statische Graphen anwendbar ist. Fredman und Willard [FW90; FW93; FW94] konnten eine Erweiterung des Dijkstra-Algorithmus unter Verwendung von AF-Heaps (allocation free Heaps) entwickeln, die lediglich einen Aufwand von  $O(m + n \cdot \log(n)/\log(\log(n)))$  hat.

### Der A\*-Algorithmus

Der A\*-Algorithmus [HNR68] ist eine Verallgemeinerung des Dijkstra-Algorithmus, der diesen um eine Kostenschätzfunktion erweitert. Eine gute Kostenschätzfunktion kann die Menge der Knoten, die untersucht werden müssen, bevor die Lösung gefunden wird und somit den Suchraum, signifikant verkleinern. Es wird dabei in jedem Schritt der Knoten als nächster ausgewählt, dessen geschätzte Kosten zum Zielknoten zusammen mit den bisherigen Kosten am geringsten sind. Wenn die verwendete Kostenschätzfunktion die tatsächlichen Kosten nie überschätzt, so ist der A\*-Algorithmus optimal, das heißt, er findet immer eine Lösung mit niedrigsten Kosten.

### Der Arcflag-Algorithmus

Der Arcflag-Algorithmus [Hi06] ist eine zielgerichtete Beschleunigungstechnik für den Dijkstra-Algorithmus zur Suche des kürzesten Pfades zwischen zwei Knoten in einem gewichteten Graphen. Die Grundidee besteht darin, die Menge der zu betrachtenden Kanten geschickt auf einen Bruchteil im Vergleich derer zu verringern, welche bei Ausführung des Dijkstra-Algorithmus betrachtet werden müssten. Dabei wird zunächst jede Kante des Graphen um Flaggeninformationen angereichert, welche schließlich bei der Pfadsuche entscheiden, ob diese Kante für die Suche in Betracht gezogen werden muss. Die Vorberechnungsphase des Arcflags-Algorithmus verläuft in zwei Schritten. Zuerst wird das Straßennetz in Regionen eingeteilt. Anschließend wird für jede Region bestimmt, über welche Kanten kürzeste Wege in diese Region führen. Die Information, ob eine Kante Teil eines kürzesten Pfades ist, wird Arcflag genannt.

In der Anfragephase bestimmt der Algorithmus zunächst die Region des Zielknotens. Anschließend wendet er den Dijkstra-Algorithmus an, folgt dabei aber nur den Kanten, die laut Zusatzinformationen in die Zielregion führen. Er lässt also gezielt Kanten aus, die nichts mit der Zielanfrage zu tun haben. Die Komplexität des Dijkstra-Algorithmus kann durch das Verwenden von Arcflags nicht reduziert werden, nichtsdestotrotz verringert sich in der Praxis der Suchraum durch das Weglassen von Kanten, die keine kürzesten Wege zur Zielregion darstellen, signifikant.

### Der ALT-Algorithmus

ALT steht für **A**\* Search, **L**andmarks und **T**riangle Inequality, da dies die Hauptbestandteile des Algorithmus sind. Der ALT-Algorithmus verwendet als Kostenschätzfunktion für den A\*-Algorithmus, sogenannte Landmarken [GH05]. Landmarken sind eine Teilmenge der Knoten des Graphen, für die die Distanzen aller anderen Knoten zu diesen Landmarken aus der Vorverarbeitungsphase bekannt sind. In der Folge können Entfernungsschätzungen innerhalb des Graphen mittels der Dreiecksungleichung durchgeführt werden. Die Dreiecksungleichung besagt, dass sich für beliebige drei Knoten  $u, v, l$  im Graphen der minimale Abstand von  $u$  und  $v$  kleiner oder gleich dem Abstand von  $u$  zu  $l$  plus dem Abstand von  $l$  zu  $v$  sein muss:  $d(u, v) \leq d(u, l) + d(l, v)$ . Aus dieser Ungleichung lassen sich Grenzen ableiten: Wie in Abbildung 14 dargestellt, ist der Abstand von  $u$  nach  $v$  kleiner oder gleich  $dist(l1, v) + dist(l1, u)$  sowie  $dist(u, l2) + dist(v, l2)$  und größer oder gleich  $dist(l1, v) - dist(l1, u)$  sowie  $dist(u, l2) - dist(v, l2)$ . Eine Frage die verbleibt ist: Wie müssen geeignete Orientierungspunkte aus dem Eingabegraphen ausgewählt werden?

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

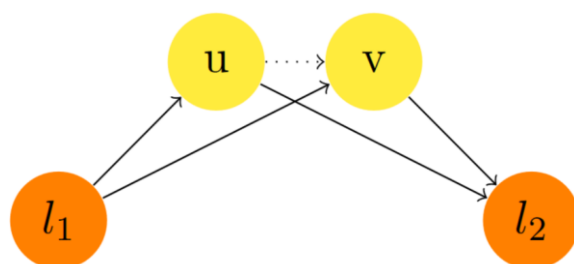


Ein Verbund aus





Abbildung 14: Visualisierung der Dreiecksungleichung (Triangle Inequality)



Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Shortest Path-Problem für den statischen ÖPNV mittels Dijkstra-Algorithmus bzw. Weiterentwicklungen davon lösen lässt. Die Eingangsbedingung, dass keine negativen Kantengewichte vorliegen, ist sowohl für das Berechnen kürzester Wege als auch für das Berechnen preisgünstigster Wege erfüllt. Nach einer Studie von [Ba22] ist bereits der Dijkstra-Algorithmus in seiner Grundform in der Lage europaweite SSSP-Anfragen in ca. 6s zu beantworten. Die vorgestellten weiterentwickelten Formen benötigten dafür teilweise sogar nur wenige Millisekunden. Eine Anfrage für ländliche Regionen mit deren abgehenden und eingehenden ÖPNV-Verbindungen sollte somit mit allen vorgestellten Algorithmen realisierbar sein.

### B) Vehicle Routing-Algorithmen

Ebenso wie das Shortest Path-Problem, ist auch das Vehicle Routing-Problem prinzipiell zunächst sehr gut erforscht. Es existiert eine Vielzahl an Algorithmen, die das Problem entweder zeitaufwändig und exakt oder aber schnell heuristisch lösen. Abbildung 15 klassifiziert existierende Lösungsverfahren für Vehicle Routing-Probleme nach Korrektheit und heuristischem Vorgehen. An dieser Stelle soll aufgrund der großen Vielfalt an existierenden Algorithmen nur auf je ein vielversprechendes exaktes und ein heuristisches Verfahren eingegangen werden, die verwendet werden können, um das VRP für den On-Demand-Service zu lösen.

#### Ein Constraint-Ansatz (Branch and bound) - ein exaktes Verfahren

Die Constraint-Programmierung ist ein mächtiges Werkzeug zum Modellieren und Lösen komplexer Probleme [MS98]. Das generelle Vorgehen bei der Constraint-Programmierung unterteilt sich in zwei Teile: 1. die deklarative Modellierung des Problems als Constraint-Modell, 2. das selbstständige Lösen des Constraint-Modells durch einen Constraint-Solver. Der Constraint-Anwender ist dabei nur dafür verantwortlich, das Constraint-Modell zu erzeugen und den Solver zu konfigurieren. Der Solver selbst fungiert als Blackbox und reduziert schrittweise durch Propagation (Branch and Bound) und einer Backtracking-basierten Tiefensuche den Lösungsraum solange bis eine (optimale) Lösung gefunden wurde (falls eine solche existiert).

Für das sich aus unserer Anwendung ergebende VRP inklusive der spezifizierten Subklassen Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) und Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) sind in [Zh22] bereits mathematische Beschreibungen angegeben, die sich prinzipiell direkt in Constraints überführen lassen. Einziger, aber wesentlicher und potentiell kritischer Stolperstein, der bei der Verwendung der Constraint-Programmierung, wie bei jedem anderen exakten Verfahren auch, auftreten kann, ist dass das Problem und damit verbunden dessen Suchraum zu groß wird, als dass in akzeptabler Zeit eine gute oder sogar eine optimale Lösung gefunden werden kann. Da hier allerdings Graphen betrachtet werden, die den ländlichen Raum widerspiegeln (und keine Großstädte), sollten deren Ausmaße handhabbar sein. Sollte die Problemstellung wider Erwarten trotzdem zu groß sein, um einen Constraint-Solver anzuwenden, so wird auf ein heuristisches Verfahren umgestellt.

Bisher wurden im Rahmen dieses Projekts mit Hilfe des Constraint Solvers "Google OR Tools" erste kleinere Instanzen mit einer Teilmenge der Anforderungen an die gegebene Problemstellung zufriedenstellend prototypisch gelöst, so dass von einer Umsetzbarkeit der gesamten Tourenplanung mittels eines Constraint Solvers ausgegangen werden kann.

Gefördert durch:

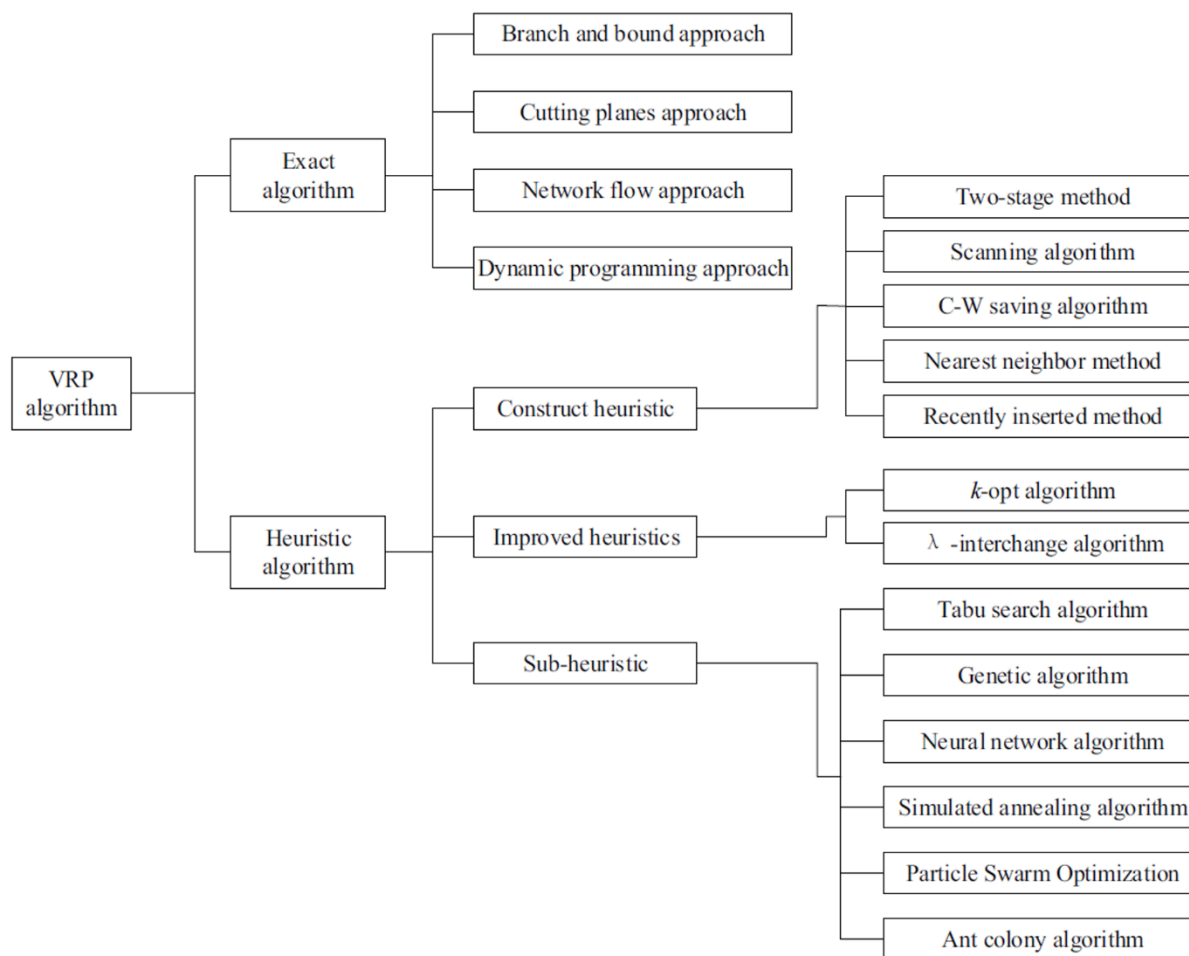
Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehraufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus

Technische Hochschule  
Brandenburg  
University of  
Applied SciencesBrandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

Abbildung 15: Existierende Algorithmen zum Lösen von Vehicle Routing-Problemen



Quelle: Zhang 22

### Ein heuristischer Zwei-Phasen-Ansatz (Two-stage method) - ein heuristisches Verfahren

Der Zwei-Phasen-Ansatz probiert in Phase 1 eine initiale Lösung für das Routing-Problem zu finden und in Phase 2 die bestehende Lösung sukzessive zu verbessern [Wa14]. Die erste Phase wird dabei oftmals erneut in zwei Phasen unterteilt. In Phase 1.1 wird dabei zunächst ein Clustering  $C_1, \dots, C_n$  der abzufahrenden Knotenpunkte angelegt. In Phase 1.2 wird dann eine initiale Tour innerhalb jedes Clusters von einem Startknoten (Depot) hin über alle Knoten und wieder zum Startknoten zurück angelegt. Mittels verschiedener lokaler Optimierungen wird in Phase 2 dann versucht, die initiale Lösung zu verbessern.

Im Gegensatz zu den exakten Verfahren handelt es sich bei diesem Vorgehen um eine lokale Suche, die ein lokales Optimum findet. Ob das gefundene lokale Optimum nah am globalen Optimum ist oder dieses sogar erreicht, kann nicht garantiert werden. Aufgrund der lokalen Suche kann allerdings i.d.R. schnell eine gute Lösung gefunden werden, so dass sichergestellt werden kann, dass, wenn der Constraint-Ansatz keine Lösung findet, mittels dem beschriebenen heuristischen Verfahren eine zufriedenstellende Lösung gefunden werden kann.

### C) Kombinationsmöglichkeiten

Weil der On-Demand-Service als Zubringer für den weiteren ÖPNV dienen soll, müssen die beiden vorgestellten Problemstellungen SSSP und VRP kombiniert werden. Ein Fahrgast möchte zum Beispiel von Spremberg nach Schwarze Pumpe fahren. Ihm ist es dabei egal, ob er mit dem On-Demand-Service direkt von Zuhause zum Zielort gebracht wird oder ob er mit dem On-Demand-Service zu einer der regulären Haltestellen der entsprechenden Verbindung innerhalb von Spremberg gebracht wird und von dort aus mit dem ÖPNV weiterfahren kann. Für

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus



den Fahrgast ist dabei in der Regel nur die benötigte Zeit von Start bis Ziel interessant. Für die Routenberechnung macht es allerdings einen erheblichen Unterschied zu welchem Bahnhof der Passagier gebracht werden muss. Befinden sich mehrere solcher Fahrgäste mit flexiblen Zielen gleichzeitig in einer Tour, so erschwert das die Tourenplanung zusätzlich erheblich. Nachfolgend werden zwei, im Projekt herausgearbeitete, Vorgehen erläutert, mit solchen Alternativen umzugehen.

- Single-SSP-VRP: Es wird zunächst der statische ÖPNV (SSSP) geplant und im Anschluss daran der On-Demand-Service (VRP).
- Alternative-VRP: Das VRP wird um Alternativen in der Routenplanung erweitert. Es ergeben sich somit für jeden Fahrgast verschiedene mögliche Start- und Zielorte und -Zeiten.

### Single-SSP-VRP

In diesem Fall würden zunächst die ÖPNV-Verbindungen der einzelnen Fahrgäste ermittelt werden. Diese würden mit den vorgestellten Algorithmen berechnet werden. Dabei würde als Start und Ziel jeweils die für den einzelnen Reisenden passende Haltestelle mit zugehöriger Start- und Ankunftszeit gewählt werden. Dieses Vorgehen würde für alle Reisenden analog erfolgen, so dass alle eine minimale ÖPNV-Reisedauer haben. Im Anschluss daran wird der On-Demand-Service für die zuvor ermittelten Start- und Ankunftsorte und -zeiten ermittelt. Bei diesem Vorgehen handelt es sich um einen greedy-Algorithmus, bei dem versucht wird, die lokalen Optima (die ÖPNV-Verbindungen für die einzelnen Fahrgäste) zu einer Gesamtlösung (durch den On-Demand-Service) zu vereinen. Positiv daran ist, dass das VRP dabei so klein wie möglich gehalten wird und auch die einzelnen ÖPNV-Verbindungen nur einmal für jeden Fahrgast mittels SSSP-Algorithmen gelöst werden müssen. Dieses Vorgehen kann sehr schnell eine erste, gute Lösung ermitteln, allerdings kann nicht sichergestellt werden, dass ein globales Optimum gefunden wird. Denkbar ist z.B., dass durch das Ändern des Zielortes einer oder mehrerer ÖPNV-Anbindungen (Wahl einer früheren oder späteren Haltestelle) die Tourenplanung ggf. deutlich bessere Ergebnisse erlaubt.

Eine Erweiterungsmöglichkeit besteht darin, zunächst alle ÖPNV-Anbindungen, die für die einzelnen Fahrgäste infrage kommen, zu berechnen. Das beinhaltet also nicht nur die Haltestelle, die am nächsten am Start- bzw. Zielort ist, sondern auch die, die sich in einer akzeptablen Umgebung für den On-Demand-Service befinden. Anschließend wird für jeden Fahrgast eine Verbindung ausgewählt und das Routing durchgeführt. Nachfolgend wird eine andere Kombination an Fahrgastverbindungen ausgesucht und dafür ein Routing durchgeführt. Sobald es ersichtlich ist, dass ein VRP keine bessere Lösung finden kann, kann die Berechnung abgebrochen und die nächste Kombination ausprobiert werden. Mit diesem Vorgehen können globale Optima ermittelt werden, allerdings steigt der Rechenaufwand exponentiell an.

### Alternative-VRP

Für jeden Fahrgast werden zunächst alle infrage kommenden ÖPNV-Anbindungen ermittelt (SSSP). Anders als zuvor wird das VRP nicht auf einer möglichen Kombination dieser ÖPNV-Anbindungen aufgerufen, sondern um die möglichen Alternativen erweitert. Das VRP muss dann entweder dafür sorgen, dass Fahrgast  $F_1$  rechtzeitig von Ort  $A$  zu Ort  $B$  oder zu Ort  $C$  gebracht wird. Es ergeben sich also Alternativen für die Start- bzw. Zielorte und -zeiten. Bei der Constraint-Programmierung können solche Alternativen durch logische Meta-Constraints (*and*, *or* oder *not*, die jeweils wieder Constraints als Eingaben erhalten) problemlos eingebaut werden. Auch hier wächst das Problem mit zunehmender Anzahl an Alternativen exponentiell, allerdings können durch den branch-and-bound-Ansatz deutlich eher solche ÖPNV-Anbindungen ermittelt und ausgeschlossen werden, die in keiner guten Lösung vorkommen können. Im Vergleich zum zuerst vorgestellten Vorgehen Single-SSP-VRP besteht hierbei die Gefahr, dass das Finden einer ersten Lösung länger dauert. Da wir uns aber im ländlichen Raum mit wenigen Alternativen im ÖPNV befinden, scheint eine Umsetzung mittels Constraint-Programmierung realistisch.

## 3.3 Organisatorisch

Neben den bereits beschriebenen rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen beeinflussen auch besonders organisatorische Rahmenbedingungen eine ODV-Umsetzung. Im Folgenden werden die einflussreichsten organisatorischen Dimensionen vorgestellt und zusammengefasst.

### Fahrer\*innenmangel

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Die Umsetzung neuer On-Demand-Pooling-Verkehre bedarf zusätzlicher Fahrer\*innen. Dies stellt besonders in einem geplanten Eigenbetrieb eine Herausforderung dar, da im ÖPNV, speziell im Fahrdienst, vielerorts der Fachkräftemangel akut wird. Eine Möglichkeit ist die Beauftragung der Fahrdienstleistung anstelle eines eigenen Betriebs des Angebots. In den meisten Landkreisen bestehen bereits Dienstleister für Fahraufträge, wie beispielsweise Taxi-Unternehmen, Krankentransporte oder Fahrdienstleister aus anderen Segmenten. Dies hat zum Vorteil, dass das mit dem ÖPNV konzessionierte Verkehrsunternehmen weder Personal noch Fahrzeuge für den On-Demand-Pooling-Verkehr vorhalten muss [Mü23]. Welche der beiden Möglichkeiten die wirtschaftlichere Alternative für den Aufgabenträger darstellt, ist bisher noch nicht abschließend geklärt und bedarf weiterer Forschung.

### Kosten

Ein neuer Bedarfsverkehr führt im Betrieb zu höheren Kosten im Vergleich zum Fahrplankilometer im klassischen Linienbetrieb. Dies resultiert aus den geringeren Auslastungen im Vergleich zu einem Linienbus. Bei der Gegenüberstellung von bedarfsorientiertem und klassischem Linienverkehr ist es jedoch schwierig, die Kosten im Verhältnis zum Nutzen zu bewerten. Insbesondere bestehen langfristig große Chancen, unrentable Linien durch den neuen bedarfsorientierten Linienverkehr zu ersetzen. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, besteht auch hier weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der langfristigen Wirtschaftlichkeit [Me23] [Ha23].

### Unternehmensgröße

Sowohl beim Eigenbetrieb als auch bei der Beauftragung ergeben sich organisatorische Rahmenbedingungen aus der Größe des verantwortlichen konzessionierten Verkehrsunternehmens. Je größer das Unternehmen ist, desto einfacher und störungsfreier kann der Betrieb durchgeführt werden. So kann ein großes Verkehrsunternehmen mehr Personal und Fahrzeuge für einen bedarfsgesteuerten Betrieb vorhalten. Dies gilt entsprechend auch für die Auftragsvergabe. Ein Verkehrsunternehmen mit einer größeren Flotte kann den Betrieb ausfallfreier und längerfristig übernehmen, während kleinere Unternehmen den Betrieb zwar kostengünstiger, aber schwieriger übernehmen können [Gi21].

### Softwareinfrastruktur

Die für die Disposition und Betriebsplanung eingesetzte Softwareinfrastruktur hat einen großen Einfluss auf die Einführung von On-Demand-Pooling-Verkehren. Die Einfachheit der Implementierung von Schnittstellen zwischen der verwendeten ÖPNV-Betriebssoftware und anderen Softwarekomponenten, die für Planung, Disposition, Pooling und Routing eines On-Demand-Pooling-Verkehrs erforderlich sind, hat Einfluss auf die Einführungskosten und die Umsetzbarkeit [Mü23].

### Politische Entscheidungsträger

Die monetäre Ausstattung, die politische Agenda, die Nahverkehrspläne und die erteilten ÖPNV-Konzessionen bestimmen maßgeblich die Umsetzung neuer bedarfsorientierter Bedienungsformen. Inwieweit neue Verkehre kooperativ und kohärent zum bestehenden Nahverkehrsplan umgesetzt werden können, bestimmt den möglichen Erfolg eines neuen Angebotes [KI23].

### Sozialgesellschaft

Die Realisierbarkeit hängt letztlich von den Zielgruppen des neuen Bedarfsverkehrs ab. Das neue Angebot muss eine breite Unterstützung in der Bevölkerung finden, um das Angebot entlang der Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer zu entwickeln. Zunächst muss in der Bevölkerung der Bedarf nach neuen Bedienungsformen vorhanden sein und darüber hinaus die Bereitschaft das Angebot gemeinsam zu entwickeln, um daraus ein passendes Betriebsmodell ableiten zu können [KI23].

## 4 Betriebsmodell

Das Betriebsmodell umfasst einen konzeptionellen Entwurf zur strukturellen Aufgaben- beziehungsweise Rollenverteilung in einem prototypischen Betrieb eines On-Demand-Pooling-Verkehrs. Es wird insbesondere auf die Open-Source-Routing-Software, die Fahrtenplanungs- beziehungsweise Navigations-Software, Organisation des Fahrpersonals sowie des Fuhrparks, mögliche Tarifmodelle und die Abschätzung des finanziellen Aufwands auf Basis des Anwendungsfalls eingegangen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



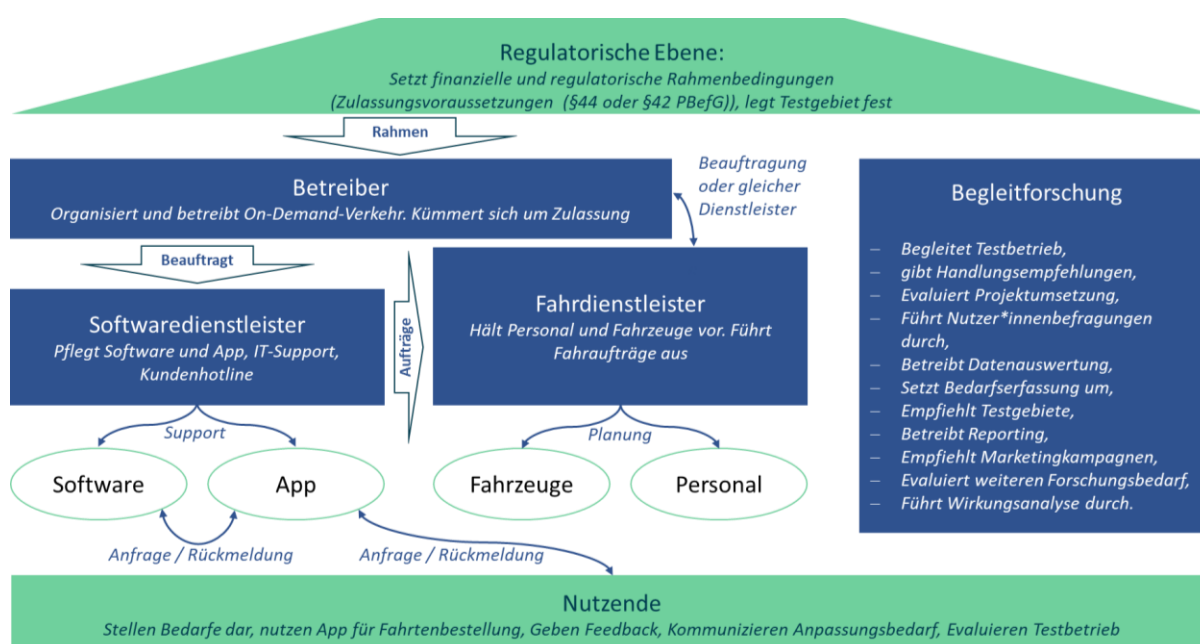
Ein Verbund aus



Generell lassen sich zwei wesentliche Organisationsformen eines bedarfsgesteuerten Verkehrs unterscheiden. Zum einen kann der gesamte Verkehrsbetrieb komplett an ein Unternehmen vergeben werden und somit aus einer Hand kommen. Das bedeutet, dass Software, Buchungssaplikation und Fahrdienst vom gleichen Dienstleister betrieben werden. Zum anderen können getrennte Dienstleister für Plattform, Fahrzeugflotte und Betrieb beauftragt werden.

In der ersten Alternative wird der Gesamtbetrieb durch einen Dienstleister gestellt und ist damit mit einem kleineren Monitoring- und Abspracheaufwand für den ÖPNV-Aufgabenträger verbunden. Falls bereits Vorerfahrungen existieren, wurde das Gesamtkonzept bereits in anderen Kommunen erprobt, wodurch bereits Kompetenzen in der Abschätzung des wirtschaftlichen und organisatorischen Aufwandes existieren. Ist der beauftragte Dienstleister das lokale Verkehrsunternehmen, wird der Betrieb und der Fahrdienst von dieser Institution übernommen und voraussichtlich die Softwaredienstleistung von dieser zusätzlich ausgeschrieben, da eigene Kompetenzen zur Softwareentwicklung vermutlich nicht existieren. Dies würde eine Zwischenstufe der separaten und gesamtheitlichen Beauftragung bedeuten, da zwar nur ein Dienstleister durch den ÖPNV-Aufgabenträger beauftragt wird, jedoch die IT-Dienstleistung im Unterauftrag vergeben wird.

Abbildung 16: Betriebsmodell On-Demand-Verkehr (Testbetrieb)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Workshop- und Projektergebnisse

Es ist ebenso möglich, alle Dienstleistungen einzeln zu beauftragen. Somit existiert in allen Bereichen (Software, Betrieb und Fahrdienst) die höchste Kompetenz und die Dienstleistungen können auf Basis der Anwendungsfälle für den kommunalen ODV optimiert werden. Dies bedeutet jedoch auch einen höheren Koordinationsaufwand zwischen den Beteiligten für eine optimale Betriebsausgestaltung. Ein Zwischenschritt wäre einen Betreiber zu beauftragen, welcher wiederum den Fahrdienstleister und Plattform- beziehungsweise IT-Dienstleister in den Unterauftrag nimmt [KI23]

Abbildung 16 fasst das Betriebsmodell eines ODVs im Testbetrieb zusammen. Im regulären Betrieb fällt die Begleitforschung weg und der ODV wird mit einem festen finanziellen und organisatorischen Rahmen in den Nahverkehrsplan aufgenommen.

## 5 Umsetzungskonzept Modellprojekt

Aus den vorherigen Ergebnissen lassen sich verschiedene Rückschlüsse sowohl auf die Konzeption als auch die Ausgestaltung eines möglichen anschließenden Umsetzungsprojektes ziehen. Zum einen wird es als umsetzbar bewertet, bbnavi um ein Informations- und Buchungstool für ODVs zu erweitern. Durch die Rücksprache mit

Gefördert durch:

Ein Verbund aus

verschiedenen Entwicklern konnte auch die Anbindung bereits existierender Fahrer-Navigations-Apps als sinnvoll erarbeitet werden. Des Weiteren ist eine Optimierung des Routingalgorithmus in Zusammenhang mit einem ODV, speziell auch als Zubringer zum existierenden liniengebundenen ÖPNV ein wichtiger Teil eines sich an die Machbarkeitsstudie anschließenden Modellprojektes zu betrachten.

Da die Aufgabenträgerschaft und somit auch die Beauftragung eines ODVs beim Landkreis liegt hat sich im Zuge der Machbarkeitsstudie in Spremberg herausgestellt, dass das Potential zwar erkannt wird eine Umsetzung jedoch gegeben durch Haushaltsverteilungen in anderen Berichten und einem akuten Zeitmangel ein Modellprojekt vorerst nicht als sinnvoll betrachtet wird. Eine zukünftige Zusammenarbeit wurde jedoch verabredet. Aus dem vertieften Austausch im Land Brandenburg, durch die OSLO-Workshops und -Interviews konnte jedoch der bereits in Betrieb genommene ODV, DALLI- dein Brandebus, im Landkreis Oder-Spree für ein Modellprojekt gewonnen werden. Die Projektskizze, OSLO2, wurde erarbeitet und eingereicht.

Ziel des geplanten Modellprojektes ist es, Routing und Echtzeitlokalisierung für den DALLI-Verkehr auf der Open-Source-Mobilitätsplattform bbnavi zu entwickeln und modellhaft umzusetzen. Zur Verbesserung der Planbarkeit und Sicherstellung der Übertragbarkeit von Open-Source-basierten ODV wird im Austausch mit vier Regionen eine szenarienbasierte Kosten-Nutzen-Analyse erarbeitet und ein Leitfaden erstellt. Neben dem Landkreis Oder-Spree als Umsetzungspartner, beteiligen sich auch Teltow-Fläming als Datenlieferant aus 13 Jahren Erfahrung im Rufbussystem, sowie Barnim und Spremberg als interessierte zukünftige Umsetzungsregionen am Vorhaben.

Wie die vorliegende Machbarkeitsstudie zeigt, sind On-Demand-Verkehre in ländlichen Räumen eine bedarfsorientierte Ergänzung des ÖPNV. Voraussetzung für hohe Nutzungs- und Poolingquoten sind Umstiegsmöglichkeiten in den ÖPNV und dafür optimiertes Routing. Doch geschlossene Schnittstellen proprietärer Plattformen verhindern diese Integration. Für Nutzende leidet die Angebotsqualität, Betreiber zahlen hohe Lizenzgebühren, ohne Bedarfsdaten zu erhalten (Drittanbieter-Data-Governance), was zu einem ineffizienten Betrieb und hohen Kosten führt.

Zur Schaffung einer lizenzfrei verfügbaren Alternative soll im Modellprojekt bbnavi um eine ODV-Routen- und Tourenplanung erweitert und Schnittstellen zu einer Navigations-App entwickelt werden. Der ODV-Rollout im Landkreis Oder-Spree soll als Reallabor begleitet und modellhaft in bbnavi integriert werden. Geplant ist die Veröffentlichung der Buchungsdaten als Open Data sowie Kosten und Nutzen anhand der Betriebsdaten von den vier partizipierenden Regionen zu evaluieren und in einem Leitfaden für andere Regionen aufzubereiten.

Das Umsetzungsprojekt gliedert sich in mehrere Arbeitspakete. Geplant ist die Erweiterung der Softwarearchitektur um eine ODV-Steuerung sowie die Einbindung des DALLI ODVs in bbnavi samt Datenauswertung (AP2). Hierzu wird ein Routing-Algorithmus entwickelt und integriert (AP3). Der Rollout und eine Nutzerbefragung in Oder-Spree (AP4/5) sowie die Betriebsdaten der Partnerregionen sind die Basis für eine szenarienbasierte Kosten-Nutzen-Analyse. Darauf aufbauend werden Handlungsempfehlungen und Übertragbarkeitskriterien für weitere Regionen abgeleitet (AP6/7).

Nach Projektabschluss soll ein bbnavi-Zusatzmodul für die Buchung von On-Demand-Verkehren existieren. Die Integration des DALLI-ODV in bbnavi und dessen Gebietsausweitung in LOS ist dann abgeschlossen. Die Unabhängigkeit von proprietärer Software erleichtert kommunalen Akteuren den Zugang zu Mobilitätsdaten und nutzerzentrierte Anpassungen. Tragfähige Einführungsszenarien für ländliche ODV auf Basis der Vergleichsdaten der assoziierten Partner sind in einem Leitfaden für andere Regionen zusammengefasst.

Zur Möglichkeit der Umsetzung des beschriebenen Modellprojektes bedarf es einer Förderung, da die Weiterentwicklung einer Open-Source-Plattform zur vereinfachten Integration ländlicher ODV eigenwirtschaftlich nicht umsetzbar ist.

## 5.1 Betriebsstruktur

Für einen funktionierenden Betrieb eines On-Demand-Pooling-Verkehrs bedarf es des Zusammenspiels der einzelnen Teilbereiche, welche durch verschiedene Stakeholder abgedeckt werden können. Es ist möglich, dass diverse Teilbereiche durch den gleichen Stakeholder bedient werden können. Dies entscheidet sich nach den organisatorischen Strukturen vor Ort, wie auch der geplanten Ausgestaltung. Der Betrieb lässt sich in folgende Teilbereiche gliedern.

### Regulatorische Ebene

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus





Die regulative Ebene stellt zusammenfassend die politischen Entscheidungsträger dar. Im Bereich des ÖPNV ist dies ein Zusammenspiel zwischen dem Landkreis, insbesondere dem ÖPNV-Aufgabenträger, in Spree-Neiße der Stabsstelle ÖPNV, den gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie im vorherigen Kapitel angesprochen, insbesondere der Novellierung des PBefG, den Stadtverwaltungen der Kommunen, in denen der Testbetrieb stattfinden soll, sowie politischen Gremien und Verbänden. Weitere wichtige ordnungspolitische Akteure sind das Landesamt für Bauen und Verkehr (LBV) zur Umsetzung notwendiger genehmigungspflichtiger Änderungen sowie der überregionale Verkehrsverbund, am Beispiel Spremberg der Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB).

Je nachdem, ob die konzessionierte lokal ansässige Verkehrsgesellschaft als Organisator des Betriebs oder als Kooperationspartner fungiert, ist auch diese als regulatorischer Stakeholder zu sehen. Dies hängt davon ab, ob das neue Angebot von einer anderen Institution, also parallel zum regulären ÖPNV-Betrieb oder von der Verkehrsgesellschaft betrieben wird. Denn der neue Service muss passgenau in das bestehende ÖPNV-Angebot eingegliedert werden, weshalb im zweiten Fall die beschlossenen Fahrpläne, Linien und Betriebsstrukturen als regulatorische Rahmen für das neue Angebot gelten.

### Betreiber

Die betreibende Institution des neuen Angebots organisiert den gesamten Betrieb von der Planung bis zur Durchführung. Im Falle einer Beauftragung der Fahrleistung, im Gegensatz zu einem Eigenbetrieb, organisiert der Betreiber alle auszuführenden Prozesse. Spezifisch ist dies die Fahrauftragsplanung, der Kundenservice, die Beauftragung der Fahrdienstleistung, die Beschaffung und Einrichtung der nötigen Software und das gesamte Projektmanagement sowie die Öffentlichkeitsarbeit. Der Betreiber ist somit der Organisator des Betriebs. Im Falle eines Eigenbetriebs kommen noch die Aufgaben der Personalplanung, Fahrzeugbeschaffung, inklusive Wartung, Abschreibung, Finanzierung und Fuhrparkmanagement hinzu. Der Betreiber bildet das Herzstück des neuen Angebots und hat für alle Aufgaben die Möglichkeit der Servicebeschaffung oder des Eigenbetriebs.

### Fahrdienstleister

Der Verkehrsdienstleister sorgt für die effiziente Durchführung der Fahraufträge. Aufgabenbereiche sind die Fahrzeug- und Personaldisposition sowie die Planung im Vorfeld. Weitere Aufgaben sind eine eventuelle Fahrzeugbeschaffung, wenn der Auftrag die Kapazität des vorhandenen Fuhrparks übersteigt. Weitere organisatorische Aufgaben wie Wartung, Reparatur und Reinigung ergeben sich aus der Betriebsabwicklung. Der Betreiber kann im Falle des Eigenbetriebs auch selbst der Verkehrsdienstleister sein. Der Fahrdienstleister ist zudem die Instanz mit direktem Kundenkontakt und somit wichtig für die Übermittlung von positiven und negativen Rückmeldungen zum Betrieb.

### IT-Dienstleister

Der IT-Dienstleister entwickelt und betreibt die Software, die Routingplattform und die App und kümmert sich um den Kundendienst bei Softwareproblemen. Der Dienstleister pflegt alle verfügbaren Daten, wie ÖPNV-Linien, Kartenmaterial, Baustellendaten, Straßeninformationen, virtuelle Haltestellen, in die Software ein, macht den Service über eine Plattform und App buchbar und organisiert das Fahrtenrouting und die Konzession der Fahrenden. Bei Problemen mit dem IT-Service stellt der Dienstleister den Kundenservice zur schnellen Lösung des Problems.

### Nutzende

Die Nutzenden nehmen den neuen Service an und geben schnelle Rückmeldung zu auffallenden Problemen im Fahrdienst und auf der Plattform beziehungsweise App. Es ist wichtig, dass der neue On-Demand-Service auf großen Rückhalt in der Bevölkerung stößt, um den Service weiter an die Bedarfe der einzelnen Zielgruppen anzupassen.

## 5.2 Rollenmodell

Aus den Projekt- und Workshopergebnissen lässt sich ein strukturiertes Rollenmodell von der ersten Planung bis zum Regelbetrieb eines bedarfsgesteuerten Verkehrs ableiten. Das Rollenmodell (vgl. Abbildung 17) stellt einen stereotypen Ablauf von der Planung über einen Testbetrieb bis hin zum Roll-Out dar. Die Ergebnisse beziehen sich aufgrund des Projektfokus auf die Modellregion Spremberg, sind aber mit individuellen Anpassungen auch auf andere Regionen übertragbar.

Gefördert durch:



Ein Verbund aus



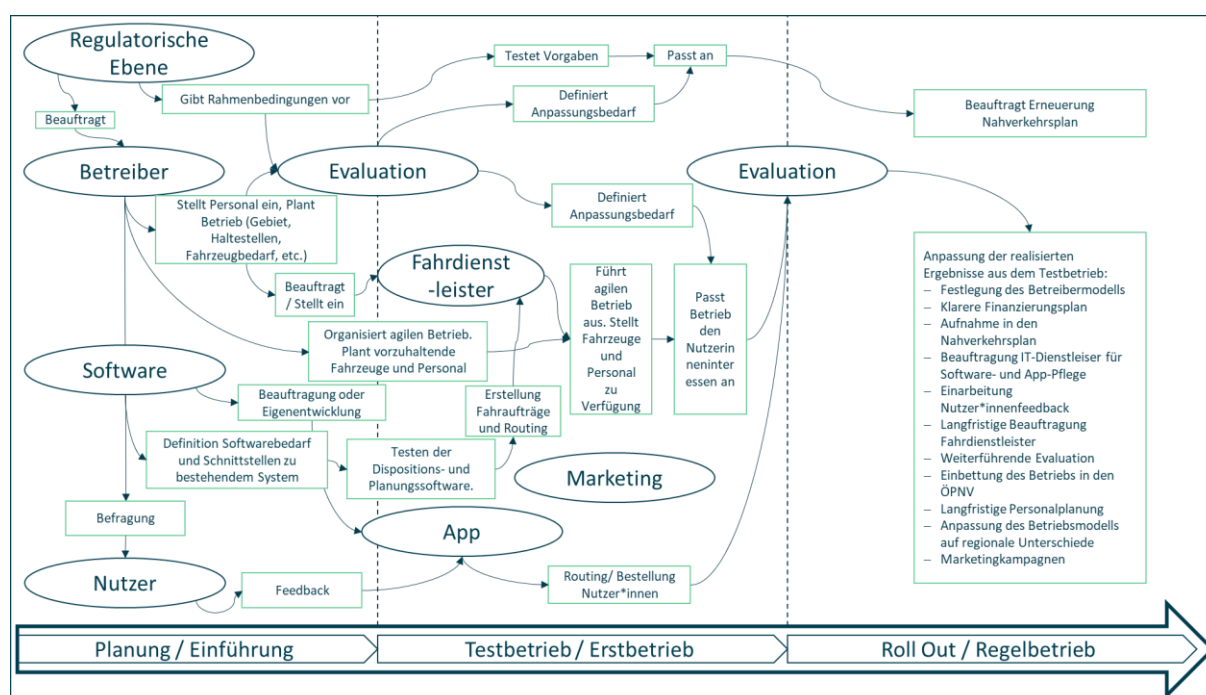


Es ist zu erkennen, dass der Rolle des Betreibers, besonders wenn dieser zugleich Fahrdienstleister ist, eine hohe Verantwortung zukommt. Des Weiteren ist die Aufgabe des Marketings nicht abschließend zu klären. Die Frage, in welcher Hand die Verantwortung der Bewerbung des neuen Angebots liegt, ist stark von der Betriebsausgestaltung abhängig. Ist der Betreiber des Gesamtbetriebs ein externer Dienstleister, kommt es auf den Dienstleistungsvertrag an, ist es das lokale Verkehrsunternehmen, so liegt die Verantwortung voraussichtlich bei diesem oder aber beim initialen Aufgabenträger auf der regulatorischen Ebene.

Die Einholung der Rückmeldungen zur Servicequalität, Verständlichkeit der App und Software wie alle weiteren Bereiche der Kundenzufriedenheit liegt voraussichtlich beim Fahrdienstleister, da dieser den direkten Kundenkontakt hat. Die Auswertung, Verarbeitung und Anpassung der jeweiligen Betriebsbereiche liegen wiederum bei den einzelnen verantwortlichen Dienstleistern für die jeweiligen Bereiche.

Generell soll über eine kontinuierliche Evaluation und Anpassung des Betriebs in der Planungs- und Testbetriebs-Phase alle nötigen Grundsteine für einen wirtschaftlich tragbaren und langfristig betreibbaren ODV gelegt werden. Die Ergebnisse sollen dann im Nahverkehrsplan festgeschrieben werden, um die Leistung langfristig als Teil des ÖPNV zu verfestigen.

Abbildung 17: Rollenmodell On-Demand-Verkehr. Von der Planung zum Regelbetrieb



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Workshop- und Projektergebnisse

### 5.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit eines ODV hängt von vielen Faktoren ab, wesentlich aber von der Betriebsphase. Zunächst ist es wichtig herauszustellen, dass der Betrieb von ODVen im ländlichen Raum ein defizitäres Geschäft ist. Da eine Initiierung nur als Teil oder komplementär zum ÖPNV sinnvoll ist, ist als Resultat auch der ODV nur durch Zusatzfinanzierung zu betreiben. Die Kostendeckungsgrade im ÖPNV sind sehr unterschiedlich zu berechnen, je nachdem welche Erlöse und Kosten miteinbezogen werden. In der VDV Hochrechnung [VD23] liegen die ÖPNV Kostendeckungsgrade deutschlandweit bei 75,6% (SPNV ausgeschlossen). Im ländlichen Raum liegen jedoch noch weitaus niedrigere Kostendeckungsgrade vor, was sich aus langen Strecken und einer geringeren Bevölkerungsdichte ergibt [Sc23].

Gefördert durch:



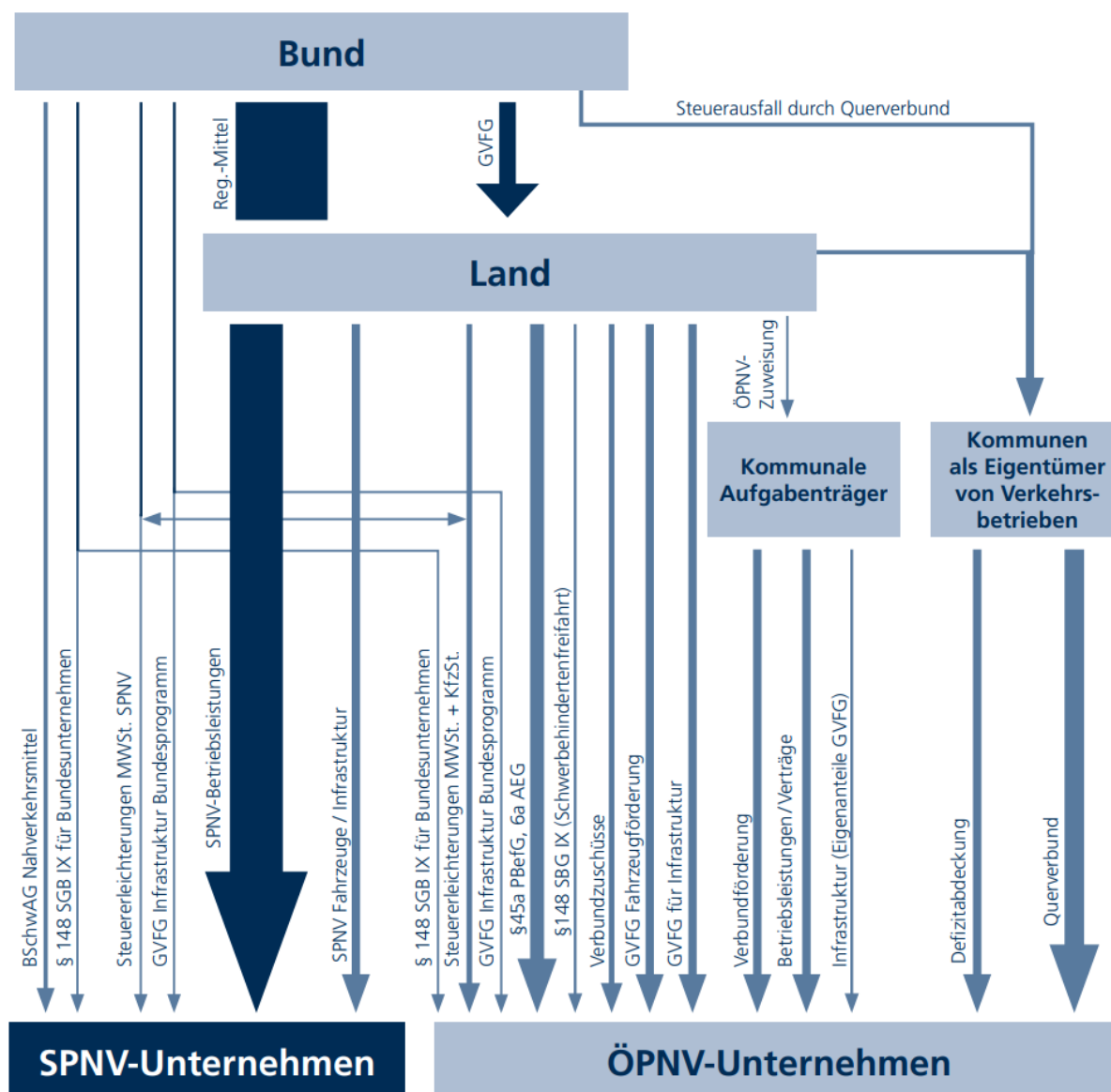
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Abbildung 18: Finanzierung des ÖPNV in Deutschland (Überblick)



Quelle: Bormann 2010 (S. 9)

Daher bedarf es im ÖPNV immer der Zusatzfinanzierung. Diese ist, wie Abbildung 18 verdeutlicht, sehr komplex und schwer abschließend zu beziffern. Das komplexe Finanzierungsgebilde schafft jedoch wenig Anreiz für einen wirtschaftlichen Betrieb, was auch in der Initialisierung eines neuen ODV berücksichtigt werden muss. Der VDV beziffert die nötige Zusatzfinanzierung für einen deutschlandweit flächendeckenden ODV mit Fokus auf ländliche Regionen auf 3,8 Milliarden Euro [VD22]. Deshalb bleiben die meisten der 80 ODV-Projekte momentan Förderprojekte. Ohne Zusatzfinanzierung aus Forschungsprojekten und Förderbekanntmachung sind die entstehenden Zusatzkosten vom ÖPNV-Aufgabenträger schwer zu tragen.

Die Bundesregierung stellte bis 2024 rund 250 Mio. Euro in Form von Fördertöpfen für die Entwicklung neuer ODVe zur Verfügung. Hierzu kommen noch die zur Verfügung gestellten Landesmittel. In Nordrhein-Westfalen waren es rund 120 Mio. Euro. In der vom Nordhessisches Verkehrsverbund (NVV) bei KCW beauftragten Studie soll der Hochlauf der ODVe an der erwarteten Wirtschaftlichkeit gemessen werden [Me23].

Zur Bewertung der erwarteten Potentiale gegenüber den Kosten wurde in der Studie [Me23] eine Mengen-Kosten-Analyse mit stark vereinfachten Annahmen durchgeführt. Im Ergebnis können im NVV-Gebiet maximal 700.000 Personen einem schlechten oder nichtexistierenden ÖPNV-Angebot zur schwächsten Verkehrszeit

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus



durch den ODV versorgt werden, während maximal 70 On-Demand-Shuttles gleichzeitig im Einsatz sind. Über alle Verkehrszeiten hinweg ergeben sich so 700.000 Fahrgäste jährlich. Aus diesen Annahmen ergeben sich für den NVV ein Zusatzfinanzierungsaufwand von 9 Millionen Euro pro Jahr oder 12,86 Euro pro Fahrgast [Me23].

Da keine Wirtschaftlichkeitsanalysen auf Basis eines ODVs im Realbetrieb in der Forschungsliteratur vorliegen, wird im Folgenden auf die Kostenschätzungen von KCW [Me23] sowie einen intern vorliegenden Kostenvoranschlag zur Initiierung eines ODVs durch einen wirtschaftlichen Betreiber aufgebaut.

Die Datenlage der vorliegenden Literatur erlaubt keine ex-post-Analyse der real anfallenden Kosten. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Dies ergibt sich auch durch den raschen Hochlauf der ODVe seit der PBefG-Novelle im Jahr 2021 [VD22], weshalb sich die meisten ODV-Projekte noch im Testbetrieb befinden. Dies erlaubt noch keine Abschätzung der tatsächlichen Kosten im Normalbetrieb.

Daher werden im Folgenden zur Kostenschätzung auf Anwendungsfallbasis für einen hypothetischen ODV in Spremberg die vorliegenden ex-ante-Kostenschätzungen herangezogen und aufbauend folgende Annahmen getroffen.

- Die Betriebszeit über alle Anwendungsfälle hinweg ist 7 Tage die Woche von 06:00 bis 22:00 Uhr (ausgeschlossen der Anwendungsfall Pendeln, welcher nur an 5 Tagen pro Woche stattfindet).
- Es wird ein Fahrzeug für 10.000 Einwohner pauschal für alle Anwendungsfälle veranschlagt. Für Spremberg sind dies zwei Fahrzeuge.
- Die Hauptverkehrszeiten 06:00 bis 09:00 Uhr und 16:00 bis 19:00 Uhr entfallen auf den Anwendungsfall Pendeln. Es wird von einer Kostendeckung von 15% ausgegangen und die Fahrdienststunde wird mit 25 Euro (inklusive aller Kosten) kalkuliert.
- Die Nebenverkehrszeiten 09:00 bis 16:00 Uhr entfallen auf den Anwendungsfall Querverbindungen. Es wird von einer Kostendeckung von 10% ausgegangen und die Fahrdienststunde wird mit 25 Euro (inklusive aller Kosten) kalkuliert.
- Die schwachen Verkehrszeiten 19:00 bis 22:00 Uhr entfallen auf den Anwendungsfall „abendliche Randzeiten“. Es wird von einer Kostendeckung von 5% ausgegangen und die Fahrdienststunde wird mit 30 Euro (inklusive aller Kosten) kalkuliert.
- Für Softwarepflege wird eine Vollzeitstelle mit 60.000€ Jahresgehalt und für Marketingmaßnahmen eine 50% Teilzeitstelle mit gleichem Jahresgehalt einbezogen.
- Zur Berechnung der Stundenlöhne aus dem Vollzeitäquivalent wird ein Monat mit 4,35 Wochen mit je 40 Arbeitsstunden einbezogen.
- Für Lizenzgebühren entfallen gegeben durch den Open-Source Charakter keine Kosten. Anpassungen der verwendeten Open-Source-Software sind unter der Vollzeitstelle zur Softwarepflege verortet.

Tabelle 6 fasst die Ergebnisse der Analyse auf Basis der beschriebenen Annahmen zusammen. Aus den Ergebnissen können einige Rückschlüsse auf die Umsetzung gezogen werden. Es wird ersichtlich, dass Anwendungsfall 1, gegeben durch einen höheren Kostendeckungsgrad zu den Hauptverkehrszeiten, der pro Betriebsstunde günstigste umsetzbare Anwendungsfall ist. Anwendungsfall 3 zu den abendlichen Randzeiten ist gegeben durch einen niedrigeren Kostendeckungsgrad aufgrund geringerer Nachfrage und den höheren Kosten der Fahrdienstleistung der auf Stundenbasis unwirtschaftlichste. Insgesamt ergibt die Hochrechnung jährliche Gesamtkosten für die Umsetzung aller Anwendungsfälle in Höhe von 343.900,80 Euro.

Es ist wichtig klarzustellen, dass die errechneten Kosten in der gegebenen Pauschalrechnung unter Zuhilfenahme der diversen Annahmen weit von den realen Kosten der Initiierung eines neuen On-Demand-Angebots entfernt sind. In projektinternen Gesprächen wurden die jährlichen Gesamtkosten für ein bis zwei Testgebiete mit zwei bis drei Fahrzeugen auf 1.2 Millionen Euro geschätzt. Grund hierfür sind in der Rechnung nicht beachteten Zusatzkosten für die Betriebsentwicklung und -aufsetzung. Kosten wie Fahrzeuganschaffung, initiale Softwareanpassung, Begleitforschung, Datenauswertung, Kundenbefragungen und viele nicht quantifizierbare weitere Kostenpunkte werden in der vorliegenden Pauschalrechnung nicht beachtet.

Es wird von einem hypothetischen Normalbetrieb ausgegangen, in dem die Skaleneffekte vom Testbetrieb bis zum Roll-Out bereits eingerechnet sind. Die benannten zusätzlichen Kostenpunkte eines Testbetriebs sind abhängig von den Rahmenbedingungen, wie dem gewählten Organisationsmodell, der Anschubfinanzierung,

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



möglicher Fördergelder und lokalen Implementierungsunterschieden. Welche exakten Effekte diese Rahmenbedingungen auf die Kosten haben, lässt sich ex-ante nicht berechnen und wird daher aus der Kalkulation ausgeschlossen. Die Thematik der Wirtschaftlichkeit verschiedener Implementierungsszenarien und Betriebsmodelle vom Test- bis zum Regelbetrieb ist jedoch ein wichtiger offener Forschungsbedarf, besonders unter dem Gesichtspunkt des bemerkenswerten Hochlaufs von ODVs-Projekten.

Tabelle 6: Kostenaufschlüsselung je Anwendungsfall

Variablen	AW 1: Pendeln	AW 2: Querverb.	AW 3: Randzeiten	Alle Anwendungsfälle	
A: Betriebstage pro Woche	5	7	7	∅	6,33
B: Betriebszeit (Std./Tag)	6	7	3	Σ	16
C: Fahrzeug pro 10.000 EW	2	2	2	∅	2
D: Kosten Fahrdienst (€/Std.):	25	25	30	∅	26,67
E: Kostendeckung	15%	10%	5%	∅	10%
F: Softwarepflege (€/Monat) (Vollzeitstelle)	5.000,00 €			Σ	5.000,00 €
G: Marketing (€/Monat) (Teilzeitstelle 50%)	2.500,00 €			Σ	2.500,00 €
Kosten pro Betriebsstunde $C \cdot D \cdot (1-E) + ((F+G)/4,35/40)$	85,60 €	88,10 €	100,10 €		91,10 €
Gesamtkosten (Monat) $4,35 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot (1-E) + F + G$	13.046,25 €	17.091,75 €	12.706,95 €		28.658,40 €
Gesamtkosten (Jahr) $12 \cdot \text{Gesamtkosten (Monat)}$	156.555,00 €	205.101,00 €	152.483,40 €		<u>343.900,80 €</u>

## 6 Fazit

Im Raum Spremberg lassen sich drei ODV Anwendungsfälle identifizieren. Anwendungsfall 1, „Pendeln“, beschreibt den morgendlichen und abendlichen Weg zur und von der Arbeit zum Wohnort. In Spremberg führt dieser Weg im ÖPNV meist über den Hauptbahnhof oder den Busbahnhof und bedeutet eine lange Reisezeit, gegeben durch lange Umsteigezeiten. Der ODV kann hier als Zubringer fungieren und die Reisezeit in Kombination verkürzen. Anwendungsfall 2, „Querverbindungen“, beschreibt die Verbindungen zwischen den einzelnen Ortsteilen. Auch hier existiert in der ÖPNV-Verbindung meist ein Umstieg in der Kernstadt, was wiederum für lange Reisezeiten im ÖPNV für eine kurze Entfernung von Start- und Zielpunkt sorgt. Dies liegt an der geringen Nachfrage der vielen Querverbindungen. Diese kann für das ganze Stadtgebiet und alle Ortsteile auch durch den ODV gestellt werden. Der letzte Anwendungsfall 3, „Abendliche Randzeiten“, beschreibt die Rückführung aus der Kernstadt in die Ortsteile nach 18 Uhr, da zu dieser Zeit viele Verbindungen mit dem ÖPNV von der Kernstadt in die Ortsteile in Randlage nicht mehr bedient werden.

Zur Initiierung eines neuen On-Demand-Angebotes bildet der §44 PBefG die rechtliche Grundlage für eine Zulassung als dem ÖPNV angegliederter Bedarfslinienverkehr. Seit der PBefG-Novelle 2021 können auch Bedarfslinienverkehre ohne feste Abfahrtszeiten und Linienweg sowie mit zusätzlichen virtuellen Haltestellen als Teil des ÖPNV zugelassen werden. ODVe erleben in Deutschland seit der Gesetzesnovellierung insbesondere im ländlichen Raum einen Boom und werden langfristig ein wichtiges Puzzleteil der Mobilität in peripheren Räumen sein.

Aus den Ergebnissen lässt sich ein konzeptionelles Betriebsmodell ableiten. Dieses beschreibt die Strukturen eines Testbetriebs, bestehend aus Regulierungsebene, Betreiber, Softwaredienstleister, Verkehrsdienstleister, Begleitforschung und Nutzer:innen, sowie das Verhältnis der Teilsysteme Software, Applikation, Fahrpersonal

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



und Fahrzeuge. Es lassen sich drei zu unterscheidende Umsetzungsszenarien ableiten. Der Gesamtbetrieb wird durch den Aufgabenträger des ÖPNV an eine einzelne Institution vergeben. Dies wäre ein Betrieb aus einer Hand. Als zweite Variante kann das örtliche Verkehrsunternehmen mit dem Betrieb beauftragt werden, übernimmt die Rolle des Betreibers und Fahrdienstleisters und vergibt die Softwaredienstleistung an einen Drittanbieter. Die dritte Variante wäre die Vergabe aller drei Rollen an unterschiedliche Drittanbieter, die die jeweilige Expertise als Fahrdienstleister, Betreiber und Softwaredienstleister nachweisen können und so ein Konsortium bilden.

Im Projekt wurde auch die Machbarkeit auf technischer Ebene untersucht. Aus der Analyse der Architektur bestehender Software-Komponenten, dem Open-Source-Entwicklungsstand und den erfassten Anforderungen von Nutzer:innen und Akteuren haben sich zahlreiche funktionale und nicht-funktionale Anforderungen an die neu zu entwickelnden Software-Komponenten ergeben. Diese erweitern das bestehende technische Ökosystem von bbnavi um Schnittstellen für Fahr-Apps und Buchungssysteme sowie Erweiterungen für die individuelle Routenplanung von ODV anhand von Nutzer:innen-Präferenzen. Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich die Implementierung dieser Anforderungen im Rahmen eines Umsetzungsprojekts als möglich und realistisch darstellt. Auf Software-technischer Ebene konnte die Machbarkeit des Projekts demnach bestätigt werden.

Technisch gesehen ist das optimale Planen von On-Demand-Zubringerfahrzeugen für den ÖPNV möglich. Es handelt sich dabei um eine Verknüpfung zweier bekannter Logistikprobleme: dem Vehicle Routing Problem (VRP) und dem Single Source Shortest Path-Problem (SSSP). Für beide einzelnen Problemstellungen sind Lösungsalgorithmen bekannt. Die Herausforderung für die Umsetzung einer On-Demand-Planung liegen einerseits in der Umsetzung der Kombination der Algorithmen zur Lösung der Problemstellung und der geschickten Formulierung von Bedingungen um einen Konkurrenzbetrieb zum herkömmlichen ÖPNV zu vermeiden und als Zubringer für diesen zu dienen. Zwei Möglichkeiten der Kombination der Algorithmen zum Lösen von VRP- und SSSP-Problemen wurden vorgestellt und können in der Umsetzungsphase realisiert werden. Für das Vermeiden eines Konkurrenzbetriebs für den herkömmlichen ÖPNV können zum Beispiel zeitliche Constraints oder Orthogonale Richtungen (zwischen On-Demand-Service und herkömmlichen ÖPNV) bei den Fahrten garantiert werden.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit lässt sich festhalten, dass die tatsächlichen Kosten für einen Testbetrieb aufgrund fehlender Datengrundlagen schwer abzuschätzen sind. Eine Kostenanalyse auf Basis von in der Literatur verfügbaren Beispielrechnungen für einen hypothetischen Normalbetrieb in Spremberg ohne Forschungscharakter ergibt Gesamtkosten für die Umsetzung aller drei Anwendungsfälle in Höhe von 323.472 Euro. Der wirtschaftlichste Anwendungsfall ist dabei Anwendungsfall 1, der unwirtschaftlichste Anwendungsfall ist Anwendungsfall 3. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Wirtschaftlichkeitsanalyse verschiedener Umsetzungsszenarien von Testbetrieben, um den Hochlauf bedarfsgesteuerter Verkehre mit belastbaren Kosten über alle Phasen von der Angebotsentwicklung bis zum Regelbetrieb unterstützen zu können.

Das Umsetzungskonzept für ein Modellprojekt wurde gemeinsam mit dem Landkreisen Oder-Spree erarbeitet. Große Unterstützung zur Ausgestaltung ergab sich aus dem engen Austausch mit der Verkehrsgesellschaft Teltow-Fläming der Stadt Spremberg dem Landkreis Potsdam-Mittelmark. Dieser resultierte aus der kontinuierlichen Einbindung in die verschiedenen Vernetzungsveranstaltungen im Rahmen des Projektes OSLO. Das Konzept wurde für eine Förderung eingereicht. Die vorliegende Machbarkeitsstudie bietet die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung eines ODV in Kombination mit der Open-Source-Mobilitätsplattform bbnavi. Definiert jedoch auch den noch offenen Forschungsbedarf sowie die nötigen Entwicklungen. Eine Förderung des Umsetzungsprojektes könnte Grundlage zur flächendeckenden ODV-Umsetzung sowie die wirtschaftliche Evaluation verschiedener Einführungsszenarien in Brandenburg und ganz Deutschland sein.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## 7 Literaturverzeichnis

- [Ba22] Bayer, S.; Kluge, R.; Kohl, A.; Messmer, S.: Studentisches Projekt: Gläserner Routenplaner, Betreuer: M. Kobitzsch, S. Meinert, I. Rutter, Prof. P. Sanders, Prof. D. Wagner. KIT - Karlsruhe Institute of Technology. n.n., letzmal besucht am 5. Mai 2023, url: [https://i11www.iti.kit.edu/\\_media/projects/rpkit/techniken\\_poster.pdf](https://i11www.iti.kit.edu/_media/projects/rpkit/techniken_poster.pdf).
- [Ba23] Baur, Tilman. "Wie Kommunen ihr Stadtnavi fördern lassen." Tagesspiegel Background Smart City & Verwaltung, May 2, 2023. <https://background.tagesspiegel.de/smart-city/wie-kommunen-ihr-stadtnavi-foerdern-lassen>.
- [BM23] BMDV mFUND-Projekte. "BMDV - Projekte." Accessed July 19, 2023. <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Projekte/mfund-projekte.html>.
- [Co01] Cormen, T. H.; Leiserson, C. E.; Rivest, R. L.; Stein, C.: Introduction to Algorithms. The MIT Press, 2001, isbn: 0262032937.
- [Fr90] Fredman, M. L.; Willard, D. E.: BLASTING through the Information Theoretic Barrier with FUSION TREES. In (Ortiz, H., Hrsg.): Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on Theory of Computing, May 13-17, 1990, Baltimore, Maryland, USA. ACM, S. 1-7, 1990, url: <https://doi.org/10.1145/100216.100217>.
- [Fr93] Fredman, M. L.; Willard, D. E.: Surpassing the Information Theoretic Bound with Fusion Trees. J. Comput. Syst. Sci. 47/3, S. 424-436, 1993, url: [https://doi.org/10.1016/0022-0000\(93\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0022-0000(93)90040-4).
- [Fr94] Fredman, M. L.; Willard, D. E.: Trans-Dichotomous Algorithms for Minimum Spanning Trees and Shortest Paths. J. Comput. Syst. Sci. 48/3, S. 533-551, 1994, url: [https://doi.org/10.1016/S0022-0000\(05\)80064-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0000(05)80064-9).
- [Ge20] Gerike, Regine, Stefan Hubrich, Frank Ließke, Sebastian Wittig, and Rico Wittwer. Sonderauswertung „Mobilität in Städten – SrV 2018“: Städtevergleich (Comparison of the Results for the Participating Cities in the 2018 Round of the German HTS "Mobility in Cities - SrV"), 2020.
- [Gi21] Gies, Jürgen, and Victoria Langer. "Mit On-Demand-Angeboten ÖPNV Bedarfsverkehre Modernisieren." Werkstattbericht Zu Chancen Und Herausforderungen (Difu Sonderveröffentlichung). S 40 (2021).
- [Gi23] "MobilityData/Gtfs-Flex." 2016. Reprint, MobilityData IO, October 26, 2023. <https://github.com/MobilityData/gtfs-flex>.
- [Go05] Goldberg, A. V.; Harrelson, C.: Computing the shortest path: A\* search meets graph theory. In: Proceedings of the Sixteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA 2005, Vancouver, British Columbia, Canada, January 23-25, 2005. SIAM, S. 156-165, 2005, url: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1070432.1070455>.
- [Go05] Goldberg, A. V.; Harrelson, C.: Computing the shortest path: A\* search meets graph theory. In: Proceedings of the Sixteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA 2005, Vancouver, British Columbia, Canada, January 23-25, 2005. SIAM, S. 156-165, 2005, url: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1070432.1070455>.
- [Ha23] Hartmann, Thomas, and Michael Hacker. "Bericht zur Evaluation des On-Demand-Verkehrs DALLI im Landkreis Oder-Spree." tamen. Entwicklungsbüro Arbeit und Umwelt GmbH, March 31, 2023.
- [Ha68] Hart, P. E.; Nilsson, N. J.; Raphael, B.: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. IEEE Trans. Syst. Sci. Cybern. 4/2, S. 100-107, 1968, url: <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>.
- [Hi06] Hilger, M.; Köhler, E.; Möhring, R. H.; Schilling, H.: Fast Point-to-Point Shortest Path Computations with Arc-Flags. In (Demetrescu, C.; Goldberg, A. V.; Johnson, D. S., Hrsg.): The Shortest Path Problem, Proceedings of a DIMACS Workshop, Piscataway, New Jersey, USA, November, 2006. Bd. 74. DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, DIMACS/AMS, S. 41-72, 2006, url: <https://doi.org/10.1090/dimacs/074/03>.



- [KI23] Klinge, Alexander. "Präsentation OSLO Betriebsmodell. Workshop Im Rathaus Spremberg Zur Erarbeitung Möglicher Organisationsmodelle." Presented at the 2. OSLO Workshop, July 6, 2023.
- [Lö23] Löffler, S.; Becker, I.; Hofstedt, P.; Nietze, A.; Hennig, S.; Klinge, A.: Planung des Ländlichen On-Demand-Verkehr - Probleme, Analyse und Algorithmen. MOC 2023 - 15. Workshop {KI-basiertes} Management und Optimierung komplexer Systeme. 29.09.2023. Berlin. Lecture Notes in Informatics (LNI) Band Nr. 337; ISBN 978-3-88579-731-9, Springer, 2023.
- [Ma17] Madkour, A.; Aref, W. G.; Rehman, F. U.; Rahman, M. A.; Basalamah, S. M.: A Survey of Shortest-Path Algorithms. CoRR abs/1705.02044/, 2017, arXiv: 1705.02044, url: <http://arxiv.org/abs/1705.02044>.
- [Ma98] Marriott, K.; Stuckey, P. J.: Programming with Constraints - An Introduction. MIT Press, Cambridge, 1998, isbn: 978-0-262-13341-8.
- [Me23] Mehler, Christian, and Martin Weißhand. "Wirtschaftlichkeit von On-Demand-Verkehren | KCW." Der Nahverkehr 1+2/2023, S. 56-59.
- [Mü23] Müller, Dirk. "Präsentation Rufbussystem Teltow-Fläming. Workshop Zur Bedarfsanalyse in Spremberg." Presented auf dem 1. OSLO Workshop, August 3, 2023.
- [No18] Nobis, Claudia, and Tobias Kuhnimhof. "Mobilität in Deutschland– MiD: Ergebnisbericht," 2018.
- [Öf22] "Öffentliche Ausschreibung Berlin 2022 VBB HIM Erweiterung 2022-08-08." Accessed July 19, 2023. [https://ausschreibungen-deutschland.de/949748\\_VBB\\_HIM\\_Erweiterung\\_2022\\_Berlin](https://ausschreibungen-deutschland.de/949748_VBB_HIM_Erweiterung_2022_Berlin).
- [Op07] Open Source Initiative: The Open Source Definition, 2007, <https://opensource.org/osd/>, abgerufen am 30.06.2023.
- [Sc23] Scheier, Benedikt, Filiz Kurt, Evnika David, and Tim Ole John. "Analyse von On-Demand ÖPNV Als Bahnhofszubringerverkehr Im Urbanen Und Ländlichen Raum." In Towards the New Normal in Mobility: Technische Und Betriebswirtschaftliche Aspekte, 475–86. Springer, 2023.
- [St22] Stallmann, Martin. Personenbeförderungsgesetz-Novelle 2021. Umweltbundesamt, 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/personenbefoerderungsgesetz-novelle-2021>.
- [To02] Toth, P.; Vigo, D.: The Vehicle Routing Problem. Society for Industrial und Applied Mathematics, 2002, isbn: 0-89871-579-2.
- [VB22] VBB Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg, GmbH. "Fahrinfo." Accessed December 20, 2022. <https://www.vbb.de/fahrinfo/>.
- [VD22] VDV. "Hochlauf der On-Demand-Verkehre im ÖPNV | VDV - Die Verkehrsunternehmen," 2022. <https://www.vdv.de/unsere-themen/oepnv-deutschland/on-demand-im-oepnv-/ondemandumfrage22.aspx>.
- [VD23] VDV, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. "Finanzierung/Kostendeckungsgrad VDV - Mobi-Wissen." Accessed September 18, 2023. <https://www.mobi-wissen.de/Finanzierung/Kostendeckungsgrad>.
- [Wa14] Wang, Y.; Ma, X.; Lao, Y.; Yu, H.; Liu, Y.: A two-stage heuristic method for vehicle routing problem with split deliveries and pickups. J. Zhejiang Univ. Sci. C 15/3, S. 200–210, 2014, url: <https://doi.org/10.1631/jzus.C1300177>.
- [Zh22] Zhang, H.; Ge, H.; Yang, J.; Tong, Y.: Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms. Arch Computat Methods Eng 29/, S. 195–221, 2022.

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus





28. MÄRZ 2023



## BEDARFSANALYSE SPREMBERG

OSLO- OPEN-SOURCE-SOFTWARE FÜR LÄNDLICHEN ON-DEMAND-VERKEHR  
MEILENSTEINBERICHT M1

ALEXANDER KLINGE

NEULAND21 E.V.  
KLEIN GLIEN 25  
14806 BAD BELZIG

ALEXANDER.KLINGE@NEULAND21.DE

## Inhaltsverzeichnis

ÖPNV Bedarfsanalyse Spremberg .....	4
Allgemein .....	4
Geografie .....	4
Stadtgliederung .....	4
Eingemeindungen .....	6
Bevölkerungsentwicklung .....	7
Sehenswürdigkeiten .....	8
Sport .....	8
Wirtschaft und Infrastruktur .....	8
Ansässige Unternehmen .....	8
Schulen .....	9
Bebauungspläne .....	10
Verkehr .....	10
Straßenverkehr .....	10
Eisenbahnverkehr .....	10
Öffentlicher Personennahverkehr .....	11
Luftverkehr .....	11
Radverkehr .....	11
Pendlerverkehre .....	11
Verkehrsverhalten .....	12
ÖPNV Angebot .....	16
ÖPNV-Netz .....	16
ÖPNV-Verbindungen .....	17
Regional übergreifend .....	17
Kooperationsraum Spremberg .....	17
Stadtgebiet Spremberg .....	18
Anschlusslinien .....	18
Weitere verkehrliche Angebote .....	18
Erfolgsfaktoren On-Demand-Verkehr .....	19
Workshopergebnisse: Bedarfsanalyse Spremberg .....	19
Trattendorf, Pumpe, Terpe .....	21
Sellessen, Haidemühl, Weskow, .....	22
Graustein, Schönheide, Lieskau, .....	23
Kernstadt, Cantdorf .....	24

Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehraufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus

Brandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

Hornow, Wadelsdorf, Türkendorf, Groß Luja .....	25
Zielgruppen und Bedarfe .....	26
Priorisierung der Bedarfe .....	28
Ideenskizzen .....	29
Verspätungsanzeigen.....	30
Arbeitsweg ohne Auto .....	30
Intermodele Mobilitätsplattform .....	30
Sicherheit .....	31
Fazit .....	31
Literaturverzeichnis .....	32

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte Ortsteile Spremberg.....	5
Abbildung 2: Bebauungspläne Spremberg .....	10
Abbildung 3: Pendlerströme ein- und auswärts Spremberg .....	11
Abbildung 4: Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln nach Verkehrsmittel und Geschlecht .....	13
Abbildung 5: Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln (15- bis 65-Jährige) nach Verkehrsmittel und Erwerbstätigkeitsstatus .....	13
Abbildung 6: Modal Split in Spremberg.....	14
Abbildung 7: Verkehrsmittelwahl nach Wegzweck .....	14
Abbildung 8: Verkehrsmittelwahl nach Weglänge .....	15
Abbildung 9: Liniennetz Spremberg .....	17
Abbildung 10: Geplanter Workshop-Ablauf.....	19
Abbildung 11: Workshop-Poster Gruppe 1.....	21
Abbildung 12: Workshop-Poster Gruppe 2.....	22
Abbildung 13: Workshop-Poster Gruppe 3.....	23
Abbildung 14: Workshop-Poster Gruppe 4.....	24
Abbildung 15: Workshop-Poster Gruppe 5.....	25

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ortsteile und Einwohner in Spremberg .....	5
Tabelle 2: Ehemalige Gemeinden Spremberg .....	6
Tabelle 3: Bevölkerungsentwicklung Spremberg .....	7
Tabelle 4: Zusammenfassung Mobilitätssteckbrief Spremberg - SrV 2018 .....	12
Tabelle 5: Zusammenfassung ÖPNV-Angebot Spremberg .....	16
Tabelle 6: Zusammenfassung wichtigster Haltestellen .....	16
Tabelle 7: Rufbus-Verbindungen im Gesamtfahrplan .....	18
Tabelle 8: Zielgruppen nach Ortsteilzugehörigkeit.....	26
Tabelle 9: Bedarfe nach Ortsteilzugehörigkeit .....	26
Tabelle 10: Definitionen der Zielgruppen und zugehörige Bedarfe .....	27
Tabelle 11: Bedarfpriorisierung .....	29

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## ÖPNV Bedarfsanalyse Spremberg

Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) in Spremberg zusammengefasst. Zielsetzung ist es die Machbarkeit einer Erweiterung des Mobilitätsangebots durch einen bedarfsorientierten Flächenbetrieb mit Fahrtwunschpooling zu eruieren. Es wird erforscht inwieweit in Spremberg Anwendungsfälle zur Erweiterung des umfangreich bestehenden ÖPNV-Netztes bestehen und wie diese für eine mögliche Umsetzung ausgestaltet werden müssten. Hierzu wird in folgendem Report zunächst auf Grundlage der verfügbaren quantitativen und qualitativen Daten der Mobilitätsbedarf in Spremberg erfasst.

### Allgemein

Die Stadt Spremberg/Grodtk liegt im Landkreis Spree-Neiße. Als lokales Mittelzentrum liegt die Stadt im sorbischen Siedlungsgebiet im Süden der Niederlausitz und ist hier die fünftgrößte Stadt. Die Stadt ist offiziell zweisprachig besitzt die offizielle Zusatzbezeichnung „Perle der Lausitz – parlicka Łużyce“.

Postleitzahl		03130
Fläche in km <sup>2</sup>		202,32
Bevölkerung	Insgesamt	21.464
	Männlich	10.391
	Weiblich	11.073
	Je km <sup>2</sup>	106

### Geografie

Die Stadt liegt etwa 20 Kilometer südlich von Cottbus, an der Grenze zum sächsischen Landkreis Bautzen. Die Altstadt liegt in einer Wiesenlandschaft zwischen zwei Armen der Spree auf einer Insel. Die Spree fließt direkt durch die Stadt und in der Nähe der Sprembertalsperre befindet sich ein Naherholungsgebiet. Die Gewässer der Kochsa und des Hühnerwassers stammen aus dem Stadtgebiet.

Spremberg liegt im Osten Deutschlands, 25 Kilometer von der polnischen Grenze entfernt.

### Stadtgliederung

Das Stadtgebiet hat sich im Laufe der Jahre immer wieder durch Eingemeindungen verändert. Dies lag nicht nur an der Entwicklung vorstädtischer Siedlungen mit entsprechendem Stadtgebiet, sondern auch daran, dass die Dörfer rund um Spremberg immer wieder durch Bergbau zerstört wurden. Der Kreis Spremberg bildet 1993 zusammen mit den Landkreisen Wald, Guben und Cottbus-Land den neuen Landkreis Spree-Neiße. Forst (Lausitz) wurde neue Hauptstadt.

Spremberg hat seit dem 1. Januar 2016 vierzehn Ortsteile, zwei Gemeindeteile und 22 Wohnplätze (Einwohnerzahlen vom 31. Dezember 2019):

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Abbildung 1: Karte Ortsteile Spremberg



Quelle: "Ortsteile - Spremberg.de - Immer Aktuell" n.d.

Tabelle 1: Ortsteile und Einwohner in Spremberg

Ortsteil	Wohnplätze / Gemeindeteile	Einwohner
Cantdorf,	Wilhelmsthal	362
Graustein	Ausbau Nord, Ausbau Süd	340
Groß Luja		262
Haidemühl		603
Hornow	Hornow-Vorwerk	401
Lieskau		225
Schönheide		96
Schwarze Pumpe		1.859
Sellessen	Bühlow und Muckrow	819
Terpe	Terpe Ausbau	264
Trattendorf	Obertrattendorf	1.915

Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehraufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus



Türkendorf	Ausbau Türkendorf	117
Wadelsdorf	Ausbau Wadelsdorf	164
Weskow		830

Quelle: "Ortsteile - Spremberg.de - Immer Aktuell" n.d.

Zur Kernstadt Spremberg gehören die Wohnplätze: Ausbau Kirschberg (Wutwaŕki pśi Wišnjowej Górje), Birkhahn (Brězan), Georgenberg (Jurowa Góra), Heinrichsfeld (Šenki), Klein Buckow (Bukowk), Kochsdorf (Kochanojce), Oberteschnitz (Górne Tešnice), Pulsberg (Lutoboŕ), Slamen (Słomjeń), Slamen Ziegelei (Słomjeńska Cyglownja), Stadtrandsiedlung (Pód Městom), Unterteschnitz (Dolne Tešnice), Waldschlößchen (Lěsny Grodk) und Weinberge (Winice).

## Eingemeindungen

Tabelle 2: Ehemalige Gemeinden Spremberg

Ehemalige Gemeinde	Datum	Anmerkung
Bühlow	1. Januar 1974	Eingemeindung nach Sellessen
Cantdorf	1. Januar 1946	
Graustein	31. Dezember 2002	
Groß Buckow	1. Januar 1984	
Groß Luja	31. Dezember 2002	
Haidemühl	1. Januar 2006	Umsiedlungsort
Heinrichsfeld	1. Januar 1946	
Hornow-Wadelsdorf	1. Januar 2016	2001 Zusammenschluss aus Hornow und Wadelsdorf
Jessen	1. Januar 1972	
Klein Buckow	1. Januar 1987	
Kochsdorf	1. Januar 1946	
Lieskau	31. Dezember 2002	
Muckrow	1. Oktober 1938	Eingemeindung nach Sellessen
Pulsberg	1. Januar 1974	
Radeweise	1. Januar 1967	Zusammenschluss mit Straußdorf zu Radeweise-Straußdorf
Radeweise-Straußdorf	31. Dezember 1985	

Gefördert durch:

Ein Verbund aus



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft



Technische Hochschule  
Brandenburg  
University of  
Applied Sciences



Brandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg



Roitz	1. Mai 1978	
Schönheide	1. Januar 1974	Eingemeindung nach Graustein
Schwarze Pumpe	27. September 1998	
Sellessen	27. September 1998	mit den bewohnten Gemeindeteilen Bühlow und Muckrow
Slamen	1. Januar 1946	
Stradow	1. Januar 1984	
Straußdorf	1. Januar 1967	Zusammenschluss mit Radeweise zu Radeweise-Straußdorf
Terpe	27. September 1998	gleichzeitig aus Schwarze Pumpe ausgegliedert
Trattendorf	1. Januar 1946	
Türkendorf	31. Dezember 2002	
Weskow	1. Januar 1946	
Wolkenberg	1. Januar 1991	

Quelle: "Ortsteile - Spremberg.de - Immer Aktuell" n.d.

## Bevölkerungsentwicklung

Gebietsstand des jeweiligen Jahres, Einwohnerzahl: Stand 31. Dezember (ab 1991) ab 2011 auf Basis des Zensus 2011.

Im Jahr 2021 lebten in der Kernstadt Spremberg 13.842 Einwohner und in den 14 Ortsteilen 8.120 Einwohner.

Tabelle 3: Bevölkerungsentwicklung Spremberg

Jahr	Einwohner	Jahr	Einwohner	Jahr	Einwohner	Jahr	Einwohner
1875	10.441	1946	17.498	1990	24.262	2016	22.750
1890	10.591	1950	18.400	1995	23.297	2017	22.456
1910	11.706	1964	23.443	2000	26.230	2018	22.175
1925	12.726	1971	22.871	2005	26.416	2019	21.998
1933	13.375	1981	23.299	2010	24.373	2020	21.749
1939	13.945	1985	24.663	2015	22.818	2021	21.464

Quelle: "Ortsteile - Spremberg.de - Immer Aktuell" n.d.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus



## Sehenswürdigkeiten

Historischer Stadtkern	Postgebäude
Kreuzkirche	Stadtpark
Wendische Kirche	Eingangsportal Georgenberg-Friedhof
Evangelische Auferstehungskirche	Bismarckturm
Katholische Kirche St. Benno	Heldenehrenmal
Sonntagsches Haus	Pavillon Sängerblick
Rathaus	St.-Georg-Kapelle (Georgenbergkapelle)
Bürgerhaus	Kriegerdenkmal 1870/1871
Kavalierhaus	Kriegsgräberstätten
Bullwinkel	Denkmalanlage „Hürden überwinden“
Burglehnhaus	Lapidarium
Schloss	

Quelle: "Ortsteile - Spremberg.de - Immer Aktuell" n.d.

## Sport

Größter Sportverein der Stadt ist der KSC Asahi Spremberg, der in der 1. Deutschen Judo-Bundesliga kämpft. Zu DDR-Zeiten war die BSG Aktivist Schwarze Pumpe aus dem Ortsteil Schwarze Pumpe in der zweitklassigen DDR-Liga aktiv, nach der Wende verlagerte die Sportgemeinschaft ihre Fußballabteilung nach Hoyerswerda.

## Wirtschaft und Infrastruktur

### Ansässige Unternehmen

Der Wirtschaftsstandort ist einer von 15 Regionalen Wachstumskernen im Land Brandenburg. Diese werden durch das Land Brandenburg zur Ausschöpfung ihres besonderen wirtschaftlichen Potentials gefördert.

Die größten Unternehmen in Spremberg sind im Folgenden zusammengefasst:

Unternehmen	Umsatz	Mitarbeiter	Ortsteil
Actemium BEA GmbH	35 Mio.	360	Schwarze Pumpe
Spreerecycling GmbH & Co. KG	47 Mio	50	Schwarze Pumpe
Dunapack Spremberg GmbH & Co. KG	65 Mio.	259	Schwarze Pumpe

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



TSS GmbH	60 Mio.	200	Schwarze Pumpe
Erhard Hippe KG	30 Mio	200	Spremberg
SPRELA GmbH	23 Mio.	92	Spremberg
Fleischerei Kadach	13,56 Mio	120	Spremberg
umboTec GmbH	18 Mio.	132	Schwarze Pumpe

Quelle: "Standortprofil: Die größten Unternehmen in Spremberg" n.d.

## Schulen

Spremberg besitzt in seinem Stadtgebiet und seinen Eingemeindungen insgesamt fünf Grundschulen, eine Berufsorientierende Schule, ein Gymnasium und zwei Förderschulen.

Schultyp	Name	Ortsteil
Grundschulen	Astrid-Lindgren-Grundschule	Spremberg Stadtgebiet
	Grundschule „Lausitzer Haus des Lernens“	Spremberg Stadtgebiet
	Grundschule Kollerberg	Spremberg Stadtgebiet
	Heidegrundschule	Sellessen
	Grundschule Geschwister Scholl	Schwarze Pumpe
Berufsorientierende Schule	BOS	Spremberg Stadtzentrum
Gymnasium	Erwin-Strittmatter-Gymnasium	Spremberg Stadtzentrum
Förderschulen	Georgenbergschule	Spremberg Stadtgebiet
	Wiesenwegschule	Trattendorf

Quelle: "Ortsteile - Spremberg.de - Immer Aktuell" n.d.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## Bebauungspläne

Abbildung 2: Bebauungspläne Spremberg

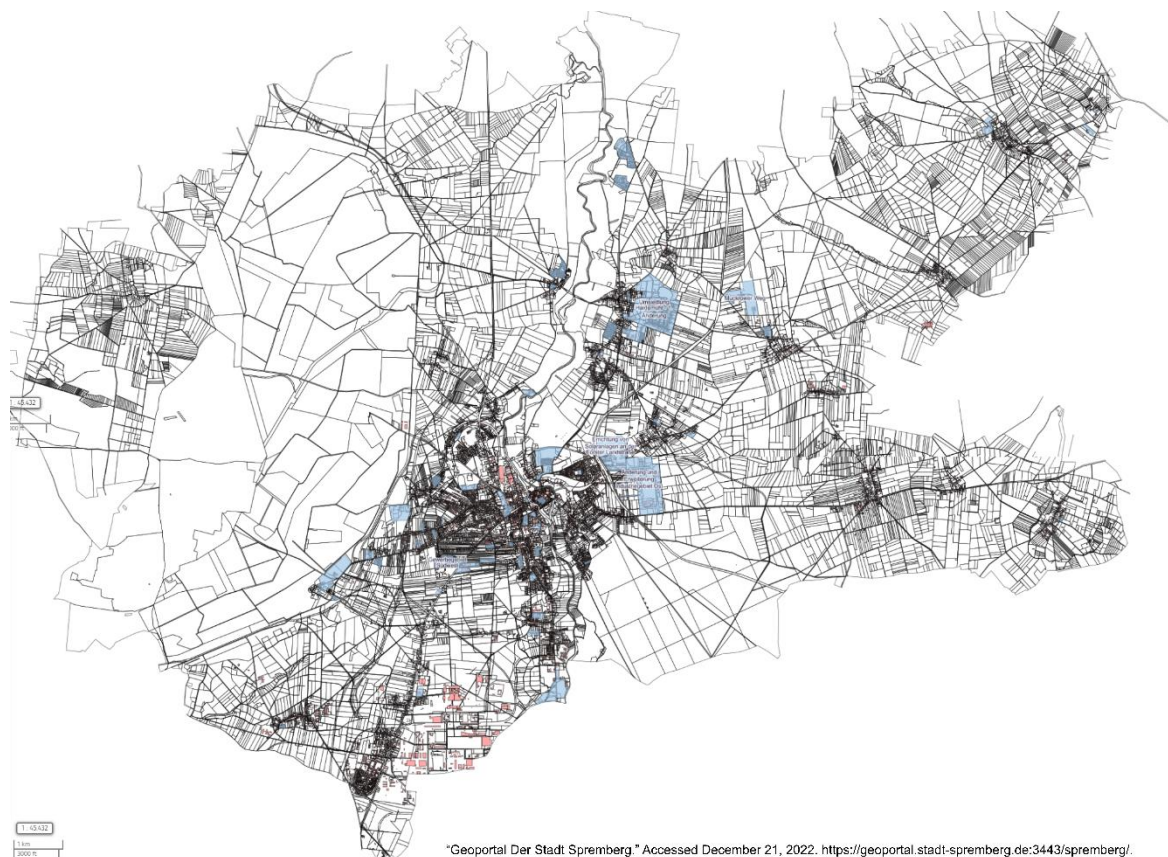


Abbildung 2 visualisiert die aktuell beschlossenen Bebauungspläne der Stadt Spremberg. Die blau markierten Felder sind Entwicklungs- und Bebauungsgebiete der Stadt. Die aktuell gültigen Pläne können im Geoportal der Stadt Spremberg tagesaktuell abgerufen werden.

## Verkehr

### Straßenverkehr

Zwei Bundesstraßen führen durch Spremberg zwei Bundesstraßen. Die Bundesstraße 97 von Nord nach Süd (Guben–Dresden) und von West nach Ost die Bundesstraße 156 (Großräschen–Bautzen). Ab dem zentralen Kreuzungspunkt Berliner Kreuzung in Spremberg bis etwa zur Mitte der Ortslage Schwarze Pumpe verlaufen auf einer Länge von etwa sechs Kilometer beide Bundesstraßen auf einer gemeinsamen Trasse. Die Landesstraße L 47 verläuft von Spremberg in Richtung Norden nach Kathlow, die L 48 nach Nordosten bis zur Anschlussstelle Roggosen der Autobahn A 15.

Die nächstgelegenen Autobahnanschlüssen sind Cottbus-Süd an der A 15 (Grenzübergang Forst–Dreieck Spreewald), etwa 17 Kilometer nördlich gelegen, und Großräschen an der A 13 (Berlin–Dresden) westlich von Spremberg in rund 38 Kilometer Entfernung.

### Eisenbahnverkehr

Spremberg liegt an der 1866/1867 gebauten Eisenbahnstrecke Berlin–Görlitz. Einziges Eisenbahnverkehrsunternehmen im Personenverkehr ist seit Dezember 2008 die Ostdeutsche Eisenbahn (ODEG). Ihre Züge der Linie RB65 verkehren stündlich von Cottbus über Spremberg nach Weißwasser/Oberlausitz, Görlitz und Zittau.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus



## Öffentlicher Personennahverkehr

Spremberg liegt im Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg (VBB). Daneben bildet die Stadt die Tarifgrenze zum Zweckverband Verkehrsverbund Oberlausitz-Niederschlesien (ZVON) und zum Verkehrsverbund Oberelbe (VVO).

Der Öffentliche Personennahverkehr wird seit dem 1. Januar 2015 durch den Spree-Neiße-Bus der *DB Regio Bus Ost*, einer Tochtergesellschaft der *Deutschen Bahn AG* betrieben. Auf die ÖPNV Abdeckung wird in den folgenden Kapiteln noch detaillierter eingegangen.

## Luftverkehr

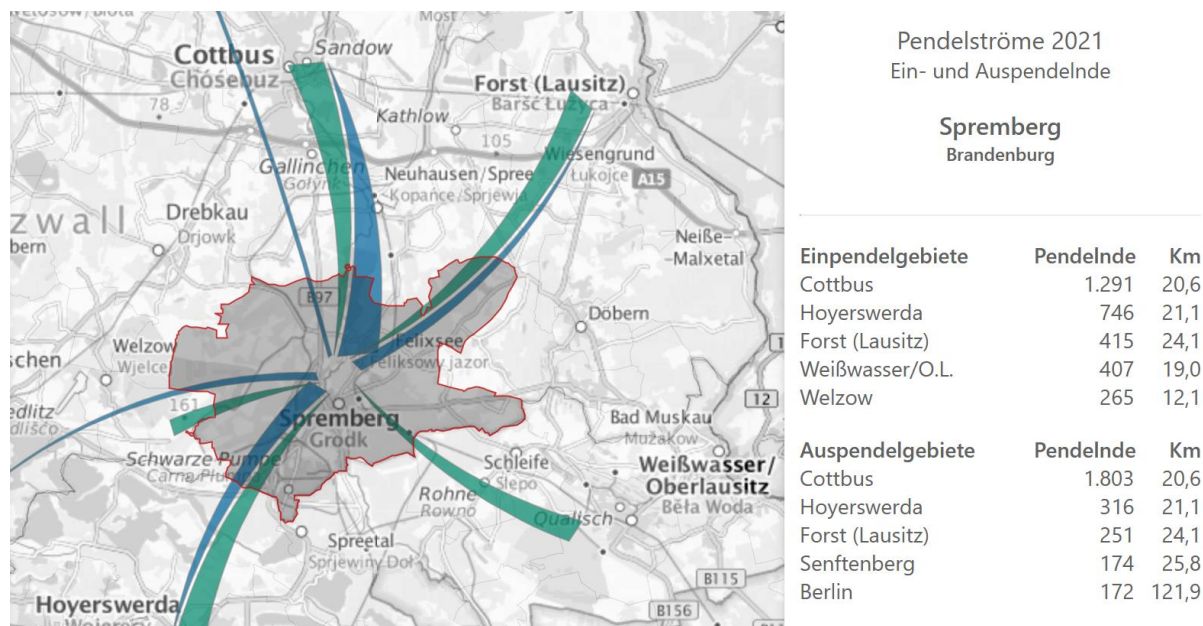
Vom 20 Kilometer entfernten Flugplatz Welzow bietet sich die Möglichkeit, Spremberg aus der Luft zu erreichen. Der Verkehrslandeplatz ist für Flugzeuge bis 14 Tonnen, Ultraleichtflieger, Ballons und Hubschrauber zugelassen. Alternativ bietet sich eine Anreise über den Verkehrslandeplatz Cottbus-Drewitz an, der sich etwa 50 Kilometer nördlich von Spremberg befindet.

## Radverkehr

Spremberg und seine Umgebung verfügen über ein großes Radwanderwegenetz. Die Stadt ist deshalb ein idealer Ausgangspunkt für Radwanderungen. Durch Spremberg führen vier überregionale Radwanderwege: Spreeradweg, Fürst-Pückler-Weg, die Niederlausitzer Bergbautour und die Tour Brandenburg. Regionale Touren wie die Altbergbautour, die Glastour und die Geologietour führen durch den Geopark Muskauer Faltenbogen.

## Pendlerverkehre

Abbildung 3: Pendlerströme ein- und auswärts Spremberg



Quelle: "Pendleratlas Deutschland - Statistische Ämter Der Länder" n.d.

Abbildung 3: bildet die größten Pendlerströme ein und auswärts nach und von Spremberg ab. Die größten Pendlerströme gehen auswärts in absteigender Größenordnung nach Cottbus, Hoyerswerda und Forst. Nach Spremberg einpendelnd ist die Verteilung dieselbe. Innerstädtische Pendlerströme, also Pendelbewegungen von einem Ortsteil in den anderen, sind nicht statistisch erhoben.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## Verkehrsverhalten

Im Folgenden werden die Zahlen zum Verkehrsverhalten in Spremberg aufgeschlüsselt. Die Daten stammen aus der Publikation von Gerike, Regine, Stefan Hubrich, Frank Ließke, Sebastian Wittig, und Rico Wittwer zur Sonderauswertung „Mobilität in Städten – SrV 2018“: Städtevergleich, 2020. In der Studie wurden für diverse Städte in Deutschland detaillierte Daten zum Verkehrsverhalten erhoben. Die SrV-Erhebung 2018 umfasst insgesamt 118 Untersuchungsräume, die sich aus 135 Städten, Gemeinden und Verwaltungsgemeinschaften auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland zusammensetzen. Spremberg diente als Untersuchungsraum. Die Stichprobe in Spremberg umfasste 608 Personen. Die Studie dient als Datengrundlage für die weitere Bewertung der On-Demand-Pooling-Verkehr Bedarfe in Spremberg.

In Tabelle 4 werden die Kernerhebungen zusammengetragen.

*Tabelle 4: Zusammenfassung Mobilitätssteckbrief Spremberg - SrV 2018*

59,6 min	Mittlere tägliche Zeit im Verkehr
17,4 min	Mittlere Dauer eines Weges
3,5	Wege pro Person und Tag
3,9	Wege pro mobile Person
90,2%	Anteil mobiler Personen
7,2 km	pro Weg im Mittel
1,2	Privat- und Dienst-Pkw pro Haushalt
1,3	Personen pro Fahrt Pkw-Besetzung
16,0%	Anteil der Haushalte ohne Pkw
1,8	Fahrräder pro Haushalt

Quelle: Gerike et al. 2020

Zunächst wurden die Verfügbarkeiten der einzelnen Verkehrsmittel in Spremberg zusammengefasst (vgl. Abbildung 4). In Bezug auf die Verwendung öffentlicher Verkehrsmittel wird ersichtlich, dass in Spremberg insgesamt nur 14% aller Personen über eine Zeitkarte für den ÖPNV verfügen. Die am meisten verfügbaren Verkehrsmittel sind Pkw und Fahrrad. Insgesamt besitzen in allen Verkehrsmittelklassen männliche Personen prozentual mehr. Besonders der Pkw-Besitz ist höher für männliche Personen. Durch eine Flexibilisierung des ÖPNV könnten daher viele Personen von einer ÖV-Zeitkarte überzeugt werden, falls diese mit den Möglichkeiten des eigenen Pkw konkurrieren sollte. Auch in Kombination mit dem Fahrrad, also einer verbesserten intermodalen Anbindung bestehen große Chancen zur Erhöhung des ÖPNV-Anteils im Modal-Split (vgl. Abbildung 6).

Aufbauend wird in der Altersgruppe zwischen 15 und 65 Jahren die Verfügbarkeit der Verkehrsmittel zwischen erwerbstätigen und nicht-erwerbstätigen Personen aufgeschlüsselt (vgl. Abbildung 5). Es ist abzulesen, dass der Pkw-Besitz in der Gruppe der Erwerbstätigen zu 19% höher ist als in der Gruppe der Nicht-Erwerbstätigen. Besonders der Anteil des Besitzes von ÖV-Zeitkarten in der Gruppe der Nicht-Erwerbstätigen ist höher als in der Gruppe der Erwerbstätigen. Es ist ersichtlich, dass der Pkw-Besitz klar an das Einkommen gekoppelt ist.

Abbildung 6 spezifiziert den Modal-Split in Spremberg. Von der durchschnittlichen Wegstrecke von 25 Kilometer pro Person pro Tag werden 82% im motorisierten Individualverkehr (MIV) erledigt. 2,5 Kilometer oder 10% werden im ÖPNV zurückgelegt. Das Fahrrad wird für 6% der Wege benutzt. Hieraus lassen sich große Chancen für eine Steigerung des ÖV-Anteils im Modal Split ablesen. Besonders könnte eine Steigerung der Verwendung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



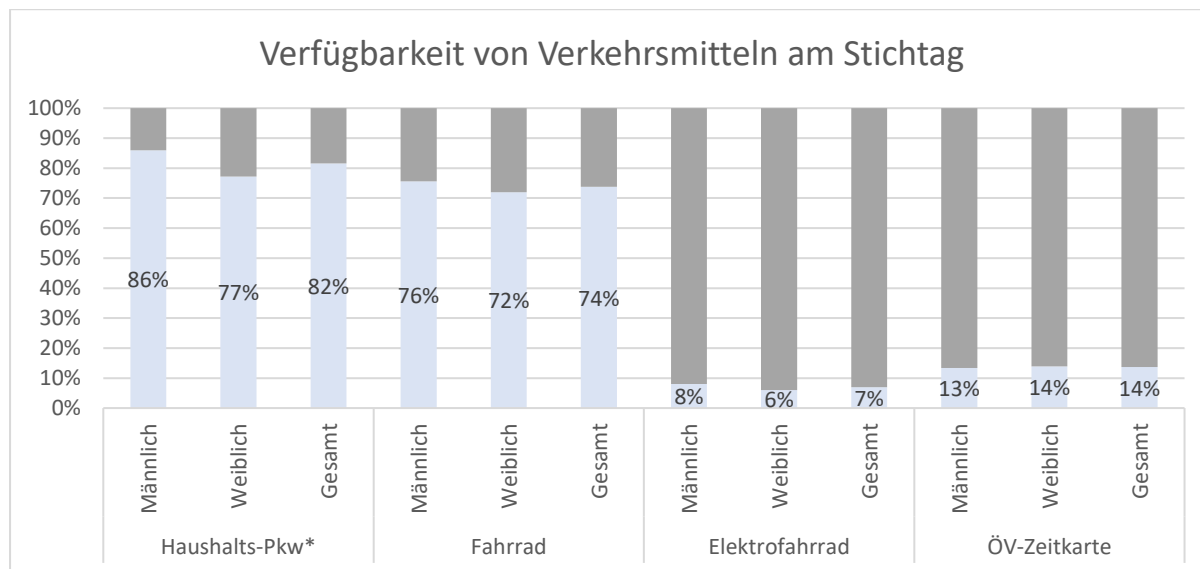
Ein Verbund aus





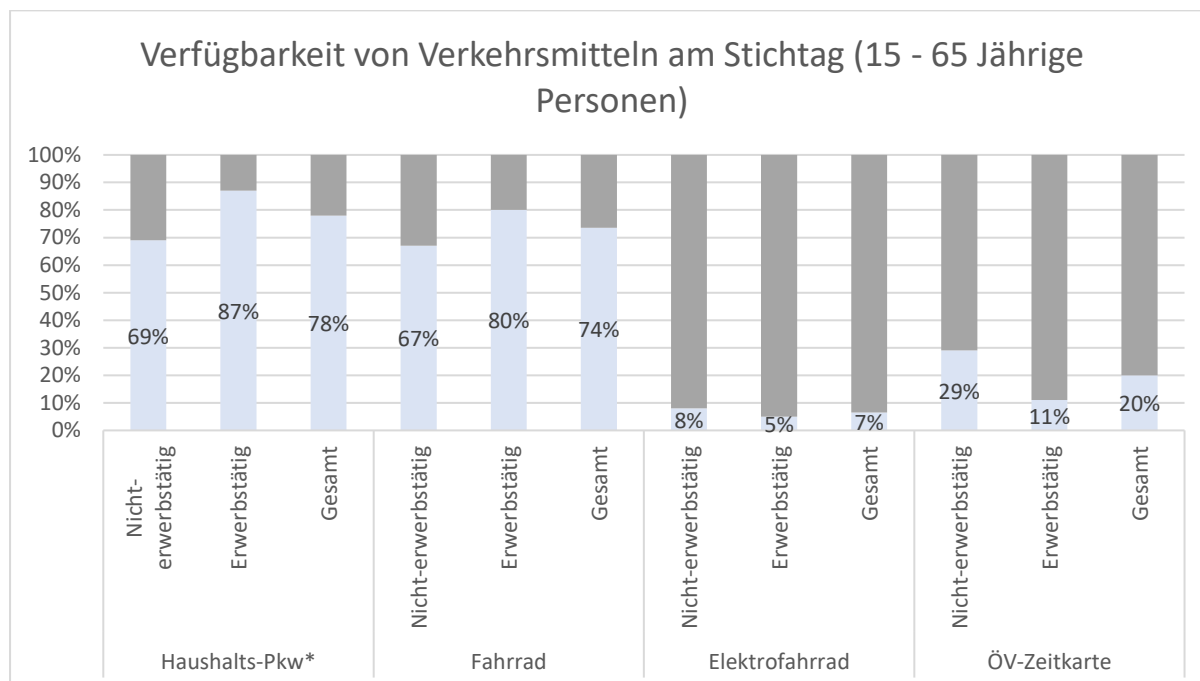
des ÖPNV in Kombination mit dem Fahrrad eine Möglichkeit zur besseren Abdeckung in Spremberg sein. Da der Fahrradbesitz mit 1,8 Fahrrädern pro Haushalt höher als der Pkw-Besitz (1,2) liegt könnte in Spremberg eine Kombination der bisher nur sehr gering vertretenen Verkehrsmittel zu einer insgesamten Steigerung klimaneutraler Mobilitätslösungen führen.

Abbildung 4: Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln nach Verkehrsmittel und Geschlecht



Quelle: Eigene Darstellung auf Datenbasis von Gerike et al. 2020

Abbildung 5: Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln (15- bis 65-Jährige) nach Verkehrsmittel und Erwerbstätigkeitsstatus



Quelle: Eigene Darstellung auf Datenbasis von Gerike et al. 2020

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



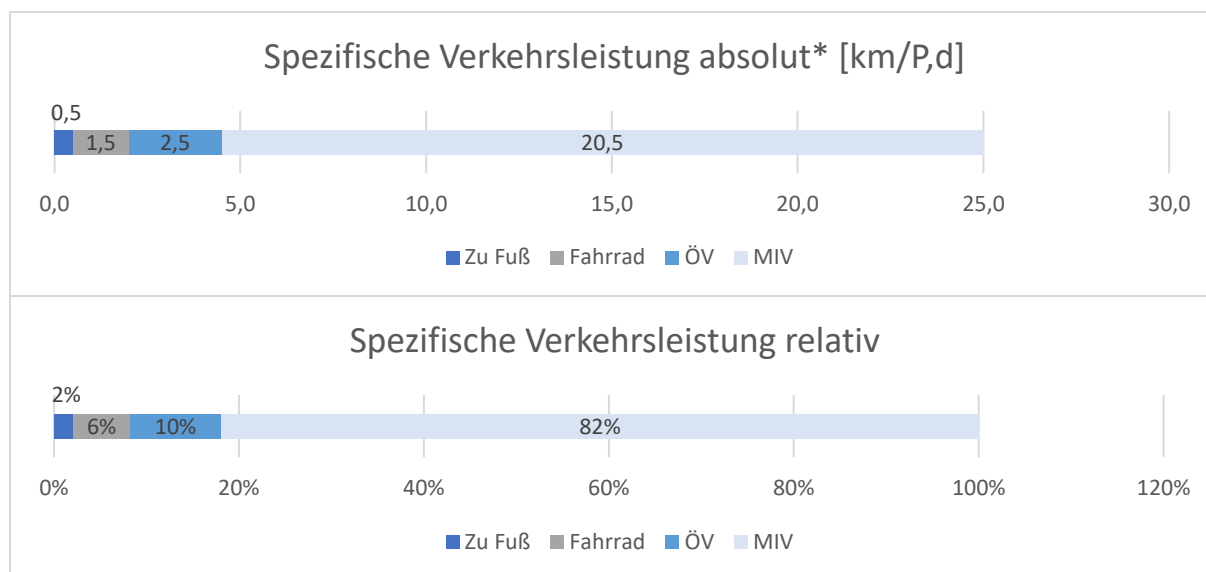
Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus





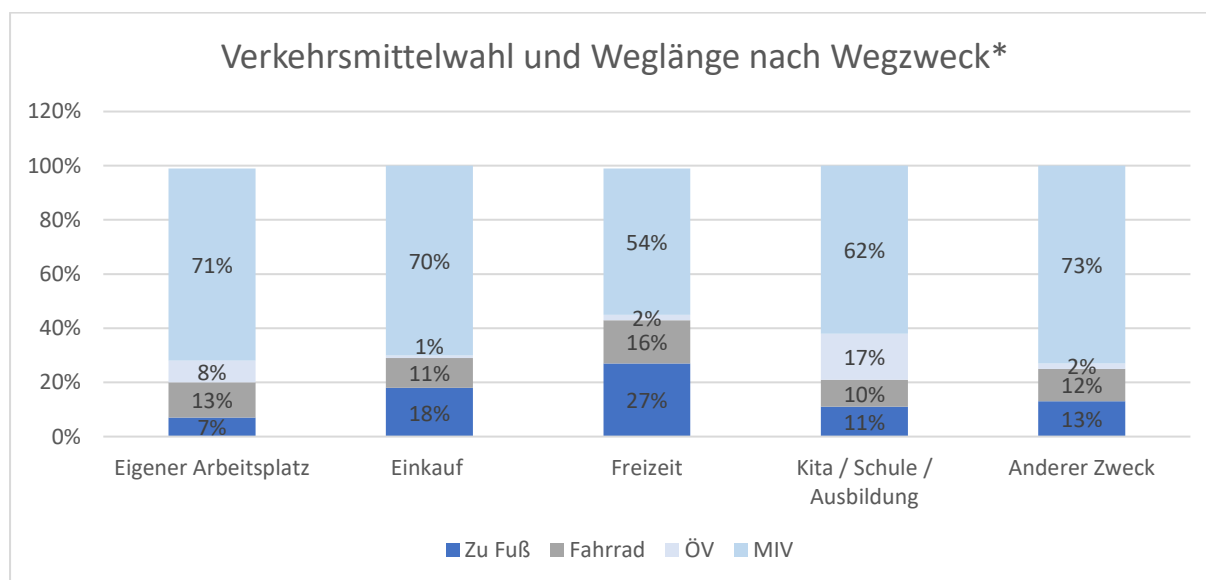
Abbildung 6: Modal Split in Spremberg



Quelle: Eigene Darstellung auf Datenbasis von Gerike et al. 2020

Abbildung 7 zeigt, dass der ÖV bislang hauptsächlich für Wege in die Schule, Kita oder Ausbildung verwendet wird. Der Anteil ist mit 17% für schulische Aktivitäten am höchsten. Für die Strecke zum Arbeitsplatz wird hauptsächlich der MIV (71%) verwendet, während 8% der Wege zum Arbeitsplatz mit dem ÖV bewältigt werden. Weiteres Potential steckt in den Wegen zum Einkaufen. Dieser Wegzweck macht mit 32% den höchsten Anteil der in Spremberg begangenen Wege aus – jedoch werden diese Wege bisher nur zu 1% mit dem ÖV zurückgelegt. Auch hier hat der MIV den Höchstanteil. Flexible Bedienformen könnten für Einkaufswege, welche zu weit für das Fahrrad oder zu Fuß und nicht bereits durch eine Buslinie abgedeckt sind, verwendet werden. In der Entwicklung eines möglichen On-Demand-Flächenbetriebs sollten daher beispielsweise die nächstgelegenen Supermärkte mitgedacht werden.

Abbildung 7: Verkehrsmittelwahl nach Wegzweck



\*Wege zur eigenen Wohnung wurde der Zweck der vorangegangenen Aktivität zugeordnet

Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehraufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus

Technische Hochschule  
Brandenburg  
University of Applied SciencesBrandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

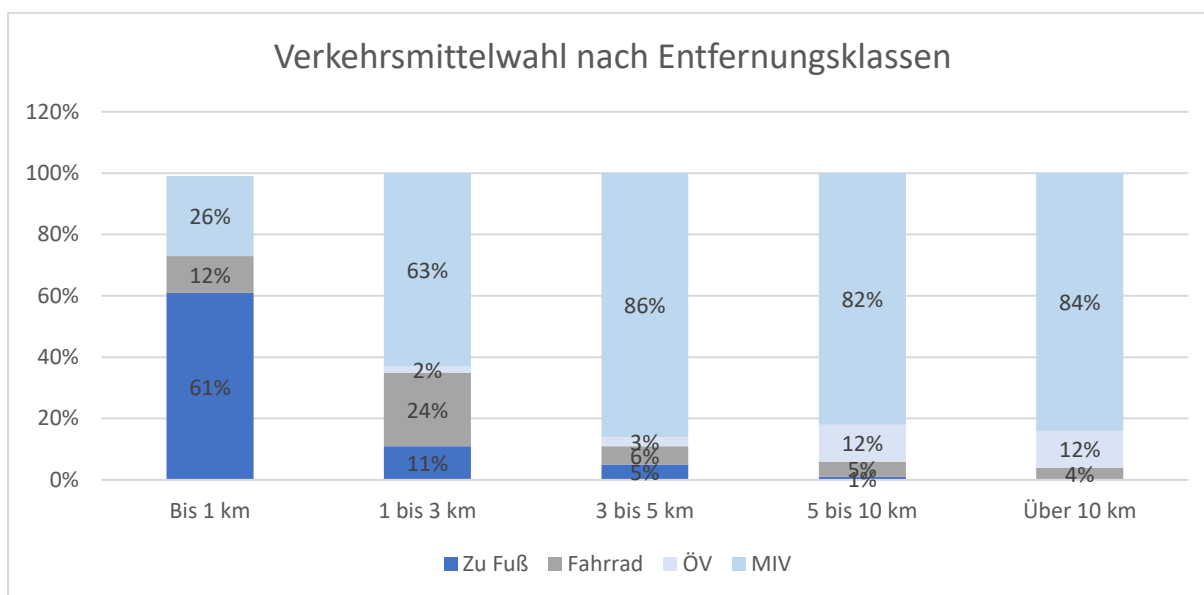
	Eigener Arbeitsplatz	Einkauf	Freizeit	Kita / Schule / Ausbildung	Anderer zweck
Weganteil des Zwecks	18%	32%	30%	13%	6%
Mittlere Weglänge	12,6 km	4,8 km	5,2 km	6,4 km	14,9 km

Quelle: Eigene Darstellung auf Datenbasis von Gerike et al. 2020

Des Weiteren bietet der Weg zur Arbeit hohes Potential zur Priorisierung des ÖPNV unter Zuhilfenahme eines On-Demand-Pooling-Verkehrs. Denn Wege wie diese bleiben meist über eine lange Zeit konstant und werden sehr regelmäßig begangen. Hier spielen die Zeiteffizienz und der Komfort eine große Rolle. Eine konstante Wegeketten von der Haustür zum Arbeitsplatz, welche schneller ist als die durchschnittliche Fahrzeit mit dem Auto, könnte voraussichtlich von vielen Personen präferiert werden, woraus sich eine höhere Nutzer:innenzahl im ÖV ergeben könnte. Weitere Komfortmerkmale könnten eine Internetverbindung über W-Lan und Lade-Ports für Mobiltelefone im Fahrzeug sein, um den Arbeitsweg komfortabler als im MIV zu gestalten. Inwieweit dies einen Einfluss auf die Präferenz des ÖPNV gegenüber des MIV in Spremberg hat, wird im anschließenden Kapitel zu den Workshopergebnissen konkretisiert.

Auch wird bei langen Strecken meist der MIV verwendet (vgl. Abbildung 8). Zwar werden prozentual die Anteile des ÖV am Modal-Split mit steigender Wegstrecke höher, jedoch nicht im Verhältnis zum MIV. Hier ergeben sich Potentiale des Zubringens zu längeren, überregionalen Busverbindungen.

Abbildung 8: Verkehrsmittelwahl nach Weglänge



Quelle: Eigene Darstellung auf Datenbasis von Gerike et al. 2020

Zur Gesamtübersicht wird im nächsten Kapitel das umfangreiche ÖPNV-Angebot in Spremberg aufgeschlüsselt. Hierzu werden die Bus- und Zugverbindungen kondensiert zusammengefasst. In Kombination mit den vorgestellten Daten zum Verkehrsverhalten werden darauf aufbauend die Workshopergebnisse mit den Bürger:innen aus Spremberg zu deren subjektiver Bedarfswahrnehmung zusammengefasst. Auf der Basis des vorliegenden Meilensteinberichts werden im weiteren Projektverlauf Anwendungsfälle für einen On-Demand-Pooling-Verkehr am Beispiel Spremberg erstellt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## ÖPNV Angebot

### ÖPNV-Netz

Spremberg verfügt über einen Schienenpersonennahverkehr (SPNV) Anschluss, 11 ÖPNV-Buslinien sowie zwei Buslinien welche nur im Schüler:innenverkehr eingesetzt werden.

Tabelle 5: Zusammenfassung ÖPNV-Angebot Spremberg

Anzahl	Kategorie	Nummer
1	SPNV	OE65 bzw. RB65
2	Schüler*innenverkehr	Linie 856 Linie 866
11	ÖPNV - Bus	Linien: 800, 793, 779, 259, 879, 880, 884, 885, 886, 872, 873

Quelle: "DB Regio Bus Ost - Fahrpläne, Angebote, Ticketinfos" n.d.

Das Liniennetz setzt sich geografisch wie folgt zusammen (vgl. Abbildung 9). Die wichtigsten Umsteigepunkte sind Spremberg Busbahnhof und Bahnhof mit 7 bzw. 8 Anschlussmöglichkeiten. Weitere zentrale Umsteigepunkte sind Spremberg, OT Schwarze Pumpe, Busbahnhof und Spremberg, Schloßstraße mit 4 bzw. 5 Anschlussmöglichkeiten. Tabelle 6 fasst die Haltestellen mit mindestens drei anfahrenden Linien im Stadtgebiet Spremberg sowie Ausstattungsmerkmale zusammen.

Tabelle 6: Zusammenfassung wichtigster Haltestellen

Haltestelle	Liniennummern (ÖPNV)	Zusätze
Spremberg, Bahnhof	RB 65, 793, 800, 872, 879, 880, 885	Überdachung, Abstellanlage
Spremberg, OT Schwarze Pumpe, Busbahnhof	259, 779, 800, 886	Überdachung, Abstellanlage
Spremberg, OT Trattendorf, Kaufhalle (landwärts)	793, 872, 886	
Spremberg, OT Trattendorf, Kaufhalle (stadtwärts)	793, 872, 886	Überdachung
Spremberg, Trattendorfer Hof	793, 872, 886	Überdachung
Spremberg, Trattendorfer Hof	793, 872, 886	Überdachung
Spremberg, Krankenhaus (landwärts)	793, 872, 886	Überdachung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

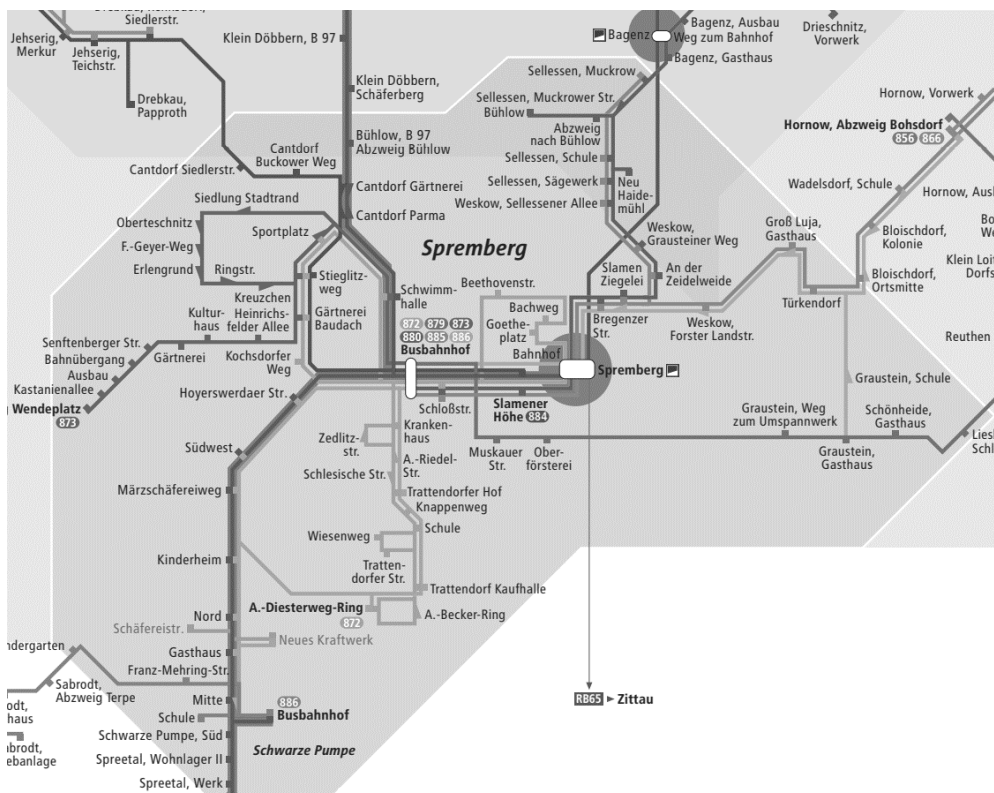


Ein Verbund aus



Spremberg, Krankenhaus (stadtwärts)	793, 872, 887	Überdachung
Spremberg, Busbahnhof	793, 800, 872, 879, 880, 884, 885, 886	Überdachung, Abstellanlage
Spremberg, Schloßstraße	793, 872, 879, 880, 885	Überdachung
Spremberg, Schloßstraße	793, 872, 879, 880, 885	Überdachung

Abbildung 9: Liniennetz Spremberg



Quelle: VBB Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg n.d.

## ÖPNV-Verbindungen

### Regional übergreifend

RB 65	Cottbus - Zittau
Plus Bus Linie 800	Hoyerswerda - Cottbus
Linie 793	Burgneudorf – Spremberg
Linie 779	Hoyerswerda – Industriepark Schwarze Pumpe
Linie 259	Hoyerswerda – Weißwasser (partieller Verkehr)

### Kooperationsraum Spremberg

Linie 879	Spremberg - Döbern
-----------	--------------------

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus



Linie 880	Spremberg – Laubsdorf
Linie 884	Spremberg – Drebkau/Welzow
Linie 885	Spremberg – Döbern
Linie 886	Spremberg – Neupetershain

#### Stadtgebiet Spremberg

Linie 872	Spremberg - Trattendorf
Linie 873	Spremberg – Pulsberg/Heinrichsfeld/Kochsdorf

#### Anschlusslinien

Linie 856	Spremberg/Hornow – Döbern
Linie 866	Spremberg/Hornow – Groß Kölzig

#### Weitere verkehrliche Angebote

Taxi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RMS GmbH "Taxi plus"</li> <li>• Michallek Birgit Taxiunternehmen</li> <li>• Holz Andreas Taxi und Kleintransporte</li> <li>• Taxi- u. Mietwagen Silvio Grimm</li> <li>• Taxi Schymanowski - Groll Benjamin</li> <li>• TAXI-Dienstleistungen CON-TAX</li> </ul>
Fernbus	Flixbus nach Berlin
Rufbus	Einige Abfahrten der Linien 856, 866, 866, 873, 873, 879, 879, 885, 885 verkehren als Rufbus in Randzeiten. (vgl. Tabelle 7)

Tabelle 7: Rufbus-Verbindungen im Gesamtfahrplan

Linie - Nummer	Line - Name	Fahrtnummer	Sonstiges
856	Hornow - Döbern	24	
866	Hornow - Groß Kölzig, Bahnhof	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24	
866	Groß Kölzig, Bahnhof - Hornow	1,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23	1 nur in Schulferien
873	Spb Kochsdorf - Spb Pulsberg	1,5,17	

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das Startkapital für die Mobilität der Zukunft

Ein Verbund aus



873	Spb Pulsberg - Spb Kochsdorf	12,16,20,24	
879	Spremberg - Döbern	333,335,337	Sa, So, Feiertage 1,3,5
879	Döbern - Spremberg		Sa, So, Feiertage 2,4,6
885	Spremberg - Döbern	3,29	
885	Döbern - Spremberg	28	

## Erfolgsfaktoren On-Demand-Verkehr

In Deutschland wurden bereits viele On-Demand-Verkehre erfolgreich eingeführt. Gleichzeitig sind jedoch zahlreiche gescheitert. Aus den bisherigen Erfahrungen mit On-Demand-Pooling-Verkehren lassen sich einige Rückschlüsse auf Erfolgsfaktoren der Umsetzung sowie Optimierungsmöglichkeiten ziehen: Die meisten Angebote scheitern an der Wirtschaftlichkeit des bedarfsgerechten Verkehrs. Mit zu kleinen Kostendeckungsgraden ist ein wirtschaftlicher Betrieb des Angebots nicht möglich, was oft in der Abschaffung des Angebots endet. Es sind grundsätzlich zwei erfolgreiche Implementierungen von On-Demand-Pooling-Verkehren identifizierbar:

- Innerstädtische Substitution von Individualverkehr, um eine lebenswerte Innenstadt mit weniger Emissionen, Parkplätzen und Parkraumproblemen zu schaffen
- Erweiterung des ländlichen ÖPNV um große Gebiete mit geringer Nachfrage an den getacketen ÖPNV anzuschließen, um abgehängte Regionen wieder in das ÖPNV Netz zu integrieren.

Zur Verbesserung oder auch erfolgreichen Implementierung von On-Demand-Angeboten gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder es wird auf eine Serviceoptimierung, also eine Verbesserung des ÖPNV Angebots wie die Erschließung neuer Linien, die Substitution von nicht-genutzten Haltestellen oder eine Takterhöhung bzw. -anpassung gesetzt. Oder es wird eine technische Optimierung entwickelt und implementiert, also die Verbesserung des Zugangs zu dem bestehenden Service über eine bessere technische Lösung. Bei Zweiterem werden im Zuge der Digitalisierung bspw. App-basierte Lösungen entwickelt, um einen besseren Zugang zum bestehenden ÖPNV über intermodale Routenabfragen zu generieren.

OSLO verbindet beide Ansätze. Es soll die Machbarkeit einer Serviceoptimierung unter der Prämisse einer technischen Optimierung geprüft werden. Hierzu wird zunächst die Machbarkeit der intermodalen Integration des bestehenden ÖPNV-Netzes über eine OS-Software geprüft und darauf aufbauend die Bedingungen und Möglichkeiten einer Serviceerweiterung über einen On-Demand-Pooling-Verkehr definiert.

## Workshopergebnisse: Bedarfsanalyse Spremberg

Am 11.03.2023 von 10:00 bis 15:00 wurden in Spremberg zusammen mit 30 Teilnehmenden aus Politik und Zivilgesellschaft in einem ko-kreativen Bearbeitungsprozess (vgl. *Abbildung 10*) existierende Bedarfe, welche bisher nicht durch den ÖPNV abgedeckt werden, erarbeitet und evaluiert. Die Bearbeitung aller Teilabschnitte bis zur Ideenskizze (Wer-Wie-Was-Aber-Sätze, Bedarfspoker) wurde in fünf Kleingruppen nach Ortsteilzugehörigkeit durchgeführt. Nach der Priorisierung der Bedarfe wurden vier Kernbedarfe identifiziert. Diese wurden aufbauend in vier Kleingruppen nach Bedarfszugehörigkeit bearbeitet und Ideen skizziert.

Abbildung 10: Geplanter Workshop-Ablauf

Gefördert durch:



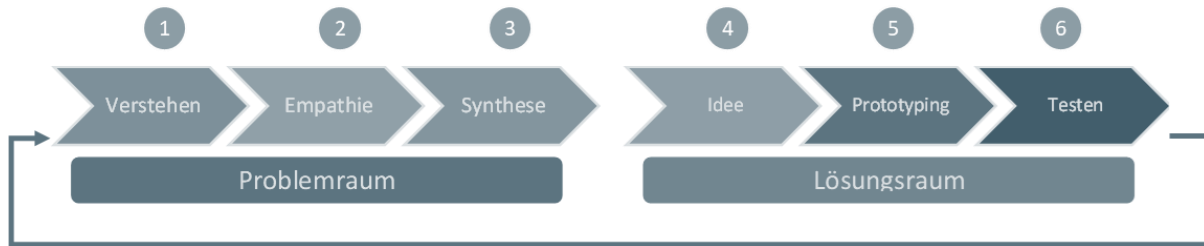
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus







Von dem geplanten sechsstufigen Workshopablauf wurden aufgrund des geringen zeitlichen Umfangs vier umgesetzt. Begründet wurde dies durch eine umfangreiche Grundlagenschaffung in den vorgelagerten informativen Präsentationen zu Erfolgsfaktoren neuer Mobilitätslösungen sowie der Präsentation des Best-Practice-Beispiels eines Rufbussystems in Teltow-Fläming (Dirk Müller, Bereichsleiter Verkehrsplanung VTF).

Es wurden folgende vier Stufen mit den angegebenen Methoden durchgeführt:

1. Empathie:  
Wer-Was-Warum-Aber-Sätze, Zielgruppen, Bedarfe
2. Synthese:  
Bedürfnispoker, Bedarfs-Priorisierung
3. Idee:  
Brainsketching, Ideenskizze, Priorisierung, Konkretisierung
4. Testen:  
Vorstellung der Idee zur Lösung des priorisierten Bedarfs, Diskussion mit den anderen teilnehmenden

Die Ergebnisse sind zusammenfassend auf den folgenden Bildern der erstellten Poster dargestellt. Aufbauend darauf werden die Ergebnisse nochmal tabellarisch und Gruppenübergreifend dargestellt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

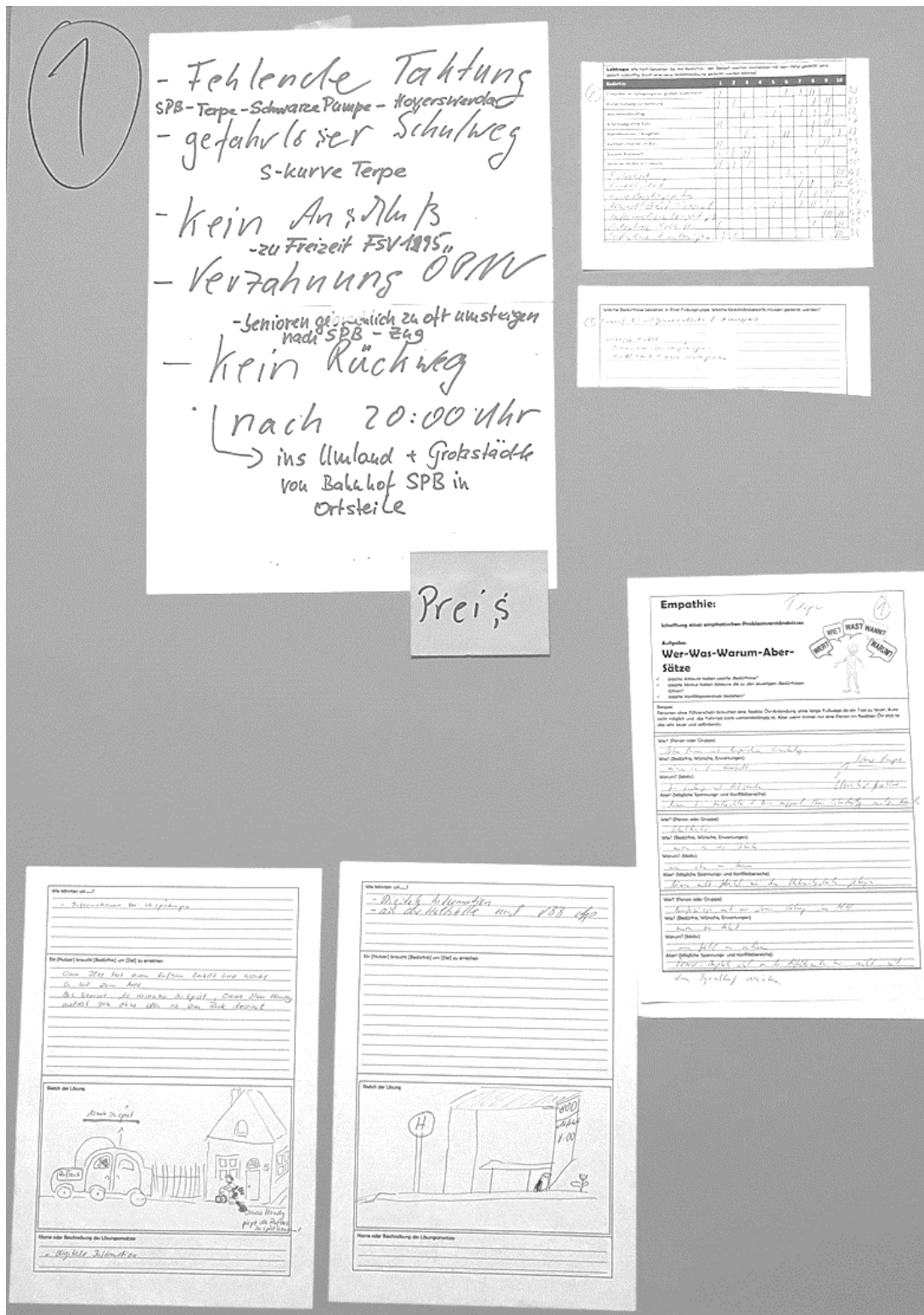


Ein Verbund aus



## Trattendorf, Pumpe, Terpe

Abbildung 11: Workshop-Poster Gruppe 1



Gefördert durch:

Ein Verbund aus

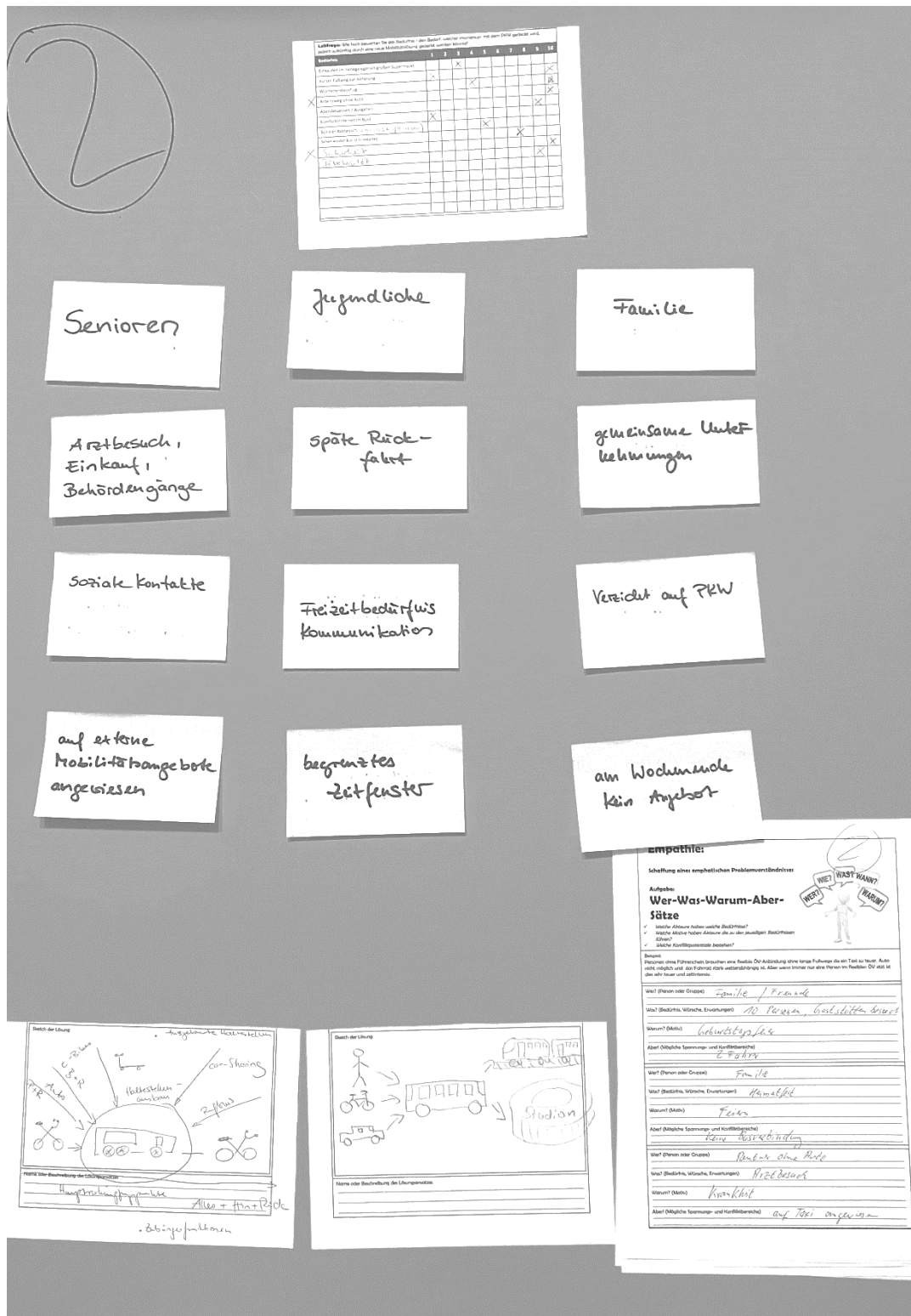


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Sellessen, Haidemühl, Weskow,

Abbildung 12: Workshop-Poster Gruppe 2





## Graustein, Schönheide, Lieskau,

Abbildung 13: Workshop-Poster Gruppe 3

The poster displays several handwritten notes and diagrams on a grey background:

- Partner** (top right)
- Schüler** (middle right)
- Touristen** (middle right)
- Perler** (bottom right)
- Arzt Einkauf Kino Freunde** (top left)
- Grenzverkehr m. Sachsen** (top left)
- Schule hin/zuück Freizeit** (middle left)
- Bahnbindung** (middle left)
- flexible Erreichbarkeit** (bottom left)
- Schneeketten Aufrichtpunkt SPS Hornum Freife** (middle left)
- kurze Fahrt direkte Fahrt geringe Kosten** (center)
- Sicherheit** (bottom center)
- Prüfbarkeit Flexibilität Anschaffung Mobilität als Mobilitätsdienstleistungen Grenzverkehr** (top left)
- Empathie: Schaffung eines empathischen Problemverständnisses** (bottom right)
- Aufgabe: Wer-Was-Warum-Aber-Sätze** (bottom right)
- 1) Typischer Nutzer** (bottom left)
- 2) Nutzung: keine Fahrkarte** (bottom left)
- 3) Datenverarbeitung** (bottom left)
- 4) Beratung, "Smart" services** (bottom left)
- 5) Integration in PC** (bottom left)
- 6. Taktung** (bottom left)

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus







## Hornow, Wadelsdorf, Türkendorf, Groß Luja

Abbildung 15: Workshop-Poster Gruppe 5



Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus





## Zielgruppen und Bedarfe

Ortsteile (OT):

1. Trattendorf, Pumpe, Terpe
2. Sellessen, Haidemühl, Weskow,
3. Graustein, Schönheide, Lieskau,
4. Kernstadt, Cantdorf
5. Hornow, Wadelsdorf, Türkendorf, Groß Luja

Tabelle 8: Zielgruppen nach Ortsteilzugehörigkeit

OT Gruppe	Hauptzielgruppen
1	Bewegungseingeschränkte, Schüler, Pendler, Kulturinteressierte
2	Senioren, Jugendliche, Familien
3	Rentner, Schüler, Senioren, Pendler, Touristen
4	Kinder in Begleitung, Touristen, Jugendliche, Mobilitätseingeschränkte
5	Schüler, Senioren, Studenten

Tabelle 9: Bedarfe nach Ortsteilzugehörigkeit

OT Gruppe	Hauptbedarfe
1	Verzahnung, Freizeit, Späte Rückfahrt, Querverbindung, Verzahnung am Busbahnhof
2	Arztbesuch, Behördengänge, Einkauf, Soziale Kontakte, Späte Rückfahrt, Familienausflüge, PKW-Verzicht
3	Grenzverkehr (Sachsen), Einkauf, Freizeit, Soziale Kontakte, Flexibilität, Anbindung an Bahntaktung
4	Veranstaltungen (Kulturelle, Sportliche), POIs (Spielplätze, Sportplätze, Theater), Einkaufen, Café-Besuch, Regelmäßige Veranstaltungen, Reduktion des ökologischen Fußabdrucks
5	Soziale Kontakte, Eigenständigkeit, Gesundheitsversorgung, Einkaufen, Behörden, Freizeit, Schule, Flexibilität, Sicherheit

Nach der Definition der einzelnen Zielgruppen und der Sammlung von existierenden Mobilitätsbedürfnissen in Spremberg, welche bisher noch nicht mit dem ÖPNV bedient werden können, wurden die einzelnen Bedarfe den Zielgruppen zugeordnet. Aus der gemeinsamen Diskussion und Vorstellung der Ergebnisse in den Kleingruppen konnten erste Definitionen und Kernmerkmale der Zielgruppen abgeleitet werden. Zusätzlich konnten einige

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Zielgruppen unter Obergruppen zusammengefasst werden. Die einzelnen Bedarfe wurden anschließend den Zielgruppen zugeordnet. Die Ergebnisse sind zusammengefasst in der folgenden Tabelle dargestellt.

In einzelnen Fällen existieren die Bedürfnisse über alle Zielgruppen hinweg, jedoch wurden die Kreuze immer nur dann gesetzt, wenn es ein herausstehender Bedarf der Zielgruppe ist. Beispielsweise profitieren auch die Gruppen der Rentner:innen und mobilitätseingeschränkten Personen von kurzen Umsteigezeiten, jedoch ist nicht der Kernbedarf hinter der definierten Zielgruppe. Die Kernbedarfe sind in Tabelle 10 für alle Zielgruppen dargestellt. So sind Rentner:innen nach Definition nicht termingebunden und könnten daher mit längeren Umsteigezeiten umgehen. Ginge es um eine zur Arbeit pendelnde mobilitätseingeschränkte Person ist das Bedürfnis nach kurzen Umsteigezeiten durch die simultane Zugehörigkeit zur Zielgruppe Pendler abgedeckt.

Tabelle 10: Definitionen der Zielgruppen und zugehörige Bedarfe

Zielgruppe (Abkürzung)	Kurzdefinition
Kinder mit Begleitung (Kind)	Können Familien oder auch Kinder in der Begleitung größerer Geschwister sein. Umfasst Kinder im niedrigen Alter welche noch nicht alleine im ÖPNV fahren.
SchülerInnen (Schul)	Fokus auf Bus-SchülerInnen, welche zur Schule mit dem ÖPNV fahren. Zusätzlich werden hier auch SchülerInnen miteinbezogen, welche nach der Schule noch in die Nachmittagsbetreuung gehen.
Jugendliche (Jung)	Junge Erwachsene zwischen 14 und 18 Jahren, welche bereits ihre Freizeit selbst und unabhängig gestalten, jedoch noch keine Fahrerlaubnis besitzen.
Studierende (Stud)	Studierende an den umliegenden Universitäten, welche aus Präferenz oder Wohnungsknappheit in das Universitätsumland gezogen sind. Oft durch niedrige Einkommen abhängig vom ÖPNV.
Touristen (Tour)	Größere Gruppen an Tourist:innen sind durch die Anreise mit der Bahn ÖV-gebunden falls Sie auch die Ortsteile besuchen wollen. Zusätzlich gibt es viele Fahrradtouristen welche ein ähnliches Interesse haben.
Pendler:innen (Pend)	Termingebundene Arbeiter:innen, welche gerne auf das Auto für den Arbeitsweg verzichten würden.
Mobilitätseingeschränkte (MobE)	Personen welche aufgrund körperlicher, geistiger oder altersbedingter Behinderungen mobilitätseingeschränkt sind.
Rentner:innen (Rent)	Nicht-termingebundene, flexible Nutzergruppe im höheren Alter. Nicht mobilitätseingeschränkt jedoch nicht-Pkw-affin.

Zielgruppen								
Bedarfe	Kind	Schul	Jung	Stud	Tour	Pend	MobE	Rent
Anbindung POIs	x	x	x	x	x		x	x
Ausflüge (Umland)	x	x	x	x	x		x	x

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



Arbeitsweg						x		
Behördengänge							x	x
Einkaufen				x	x	x	x	x
Gesundheitsversorgung							x	x
Grenzverkehr (Sachsen)			x	x	x	x	x	x
Klimafreundliche Mobilität		x	x	x	x	x	x	x
Komfort				x	x	x	x	x
Kurze Fußwege							x	x
Kurzer Umstieg (Verzahnung)	x	x	x	x	x	x		
Querverbindungen zw. OTs	x	x	x			x	x	x
Rückfahrt bis 21:00 Uhr			x	x	x			
Sicherheit (Klare Kennzeichnung)	x	x			x		x	x
Soziale Kontakte	x	x	x	x			x	x
Verspätungsinformationen			x	x	x	x	x	x
Mitnahme (Fahrrad etc.)	x	x	x	x	x	x	x	x

## Priorisierung der Bedarfe

In der aufbauenden spielerischen Bewertung der identifizierten Bedarfe wurden zunächst in der Gruppe die wichtigsten Bedarfe aus den vorangegangenen Schritten gesammelt und anschließend die bereits vorgegebenen Beispiele um die weiteren Bedarfe ergänzt. Alle identifizierten Bedarfe wurden anschließend von allen Gruppenmitgliedern subjektiv auf einer Skala von 1 (unwichtig für mich / betrifft mich nicht) bis 10 (wichtig für mich / betrifft mich stark) bewertet. In einer anschließenden Diskussion zwischen der Person mit der niedrigsten und der Person mit der höchsten Wertung wurde sich in der Gruppe auf eine gemeinsame Wertung festgelegt. In folgender Tabelle sind die Wertungen der einzelnen Gruppen zu den verschiedenen Bedarfen aufgeschlüsselt.

In der Tabelle sind zwei Gruppen von Bedarfen separat zu bewerten: Die grau hinterlegten Bedarfe wurden zur Bewertung aus Projektinteresse bereits vorgegeben, während die anderen von den einzelnen Gruppen selbst identifiziert wurden. Dies führt in der Auswertung dazu, dass die bereits vorgegebenen Bedarfe von allen Gruppen bewertet wurden und die selbst identifizierten nur von den Gruppen, welche den gleichen Bedarf erkannt haben. Es ist somit eine weitere Dimension der Priorisierung, wenn ein nicht bereits vorgegebener Bedarf von mehreren Gruppen erkannt und hoch bewertet wurde. Dies betrifft beispielsweise den Bedarf "Sicherheit". In den Spalten ist der Median der Gruppenwertungen angegeben, während die letzte Spalte die Summe aller Wertungen angibt, nach welcher auch die Tabelle absteigend sortiert ist.

Die zehn wichtigsten Bedarfe über alle Ortsteile hinweg sind somit Arbeitsweg, Sicherheit (Klare Kennzeichnung), Rückfahrt bis 21:00 Uhr, Kurze Fußwege, Soziale Kontakte / Austausch, Ausflüge (Umland) Wochenende, Verspätungsinfo (Livekarte), Einkaufen, Pünktlichkeit und Flexibilität. Die größten Unterschiede

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



in den Wertungen (Varianz) zwischen den Ortsteilen besteht in absteigender Reihenfolge in den Bedarfen Komfort (W-Lan), Einkaufen, Verspätungsinfo (Livekarte), Soziale Kontakte / Austausch und Kurze Fußwege.

Tabelle 11: Bedarfpriorisierung

#	Bedarfe	Bewertung (Bedürfnispoker)					
		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Summe
1	Arbeitsweg	8	10	8	9	8	43
2	Sicherheit (Klare Kennzeichnung)	10	10		10	10	40
3	Rückfahrt bis 21:00 Uhr	6	9	7	9	8	39
4	Kurze Fußwege	8	5,5	9	6	2	30,5
5	Soziale Kontakte / Austausch	3	5	7	4	10	29
6	Ausflüge (Umland) Wochenende	7	4	8	4	5	28
7	Verspätungsinfo (Livekarte)	2	7,5	9	5	4	27,5
8	Einkaufen	7	3	4	8	1	23
9	Pünktlichkeit	10		10			20
10	Flexibilität		9	10			19
11	Komfort (Bspw. Internet im Bus)	5	1	3	8	1	18
12	Verspätungsinfo (Haltestelle)	9			8		17
13	Anbindung POIs					10	10
14	Anschlusssicherheit			10			10
15	Grenzverkehr (Sachsen)			10			10
16	Mitnahme (Fahrrad etc.)	10					10
17	Mobilitätsplattform			10			10
18	Kurzer Umstieg (Verzahnung)	9					9
19	Querverbindungen zw. OTs					6	6

## Ideenskizzen

Zum Abschluss der Bedarfpriorisierung wurde in allen ortsteilbezogenen Kleingruppen in einer gemeinsamen Diskussion ein Hauptbedarf herausgestellt. Anschließend konnten sich alle Personen ortsteilunabhängig den

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Digitales  
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



herausgearbeiteten Bedarfen zuordnen. Folgende Bedarfe wurden als Hauptprobleme als Basis der Lösungsfindung identifiziert:

1. Verspätungs-Anzeigen bzw. Push-Nachrichten
2. Arbeitsweg ohne Auto
3. Intermodale Mobilitätsplattform
4. Sicherheit

Gegeben durch hohe Überschneidungen in den erarbeiteten und priorisierten Bedarfen ergaben sich lediglich vier Hauptbedarfe aus den fünf Gruppen zur weiteren Bearbeitung.

Zu den identifizierten Bedarfen wurden die Gruppen neu gemischt und gemeinsam Mobilitätslösungen zur Deckung der Bedarfe erarbeitete. Die Lösungsansätze werden im Folgenden kurz zusammengefasst und sind auf den Postern auch als Skizzen verfügbar.

### Verspätungsanzeigen

Grundgedanke ist die Verfügbarkeit von weiteren Informationen zum bestehenden Mobilitätsangebot. Zusätzlich wird in der Lösungsskizze das bestehende Angebot durch einen flexiblen On-Demand-Service erweitert. Das Hauptaugenmerk liegt aber auf den zur Verfügung stehenden Informationen zu beiden Angeboten. Dies umfasst digitale Fahrgastinformationen an den Haltestellen, welche über Verspätungen, Ausfälle oder Änderungen Auskunft geben sollen und so bei den Nutzer:innen die Sicherheit generieren sollen, dass auch ein Verkehrsmittel kommt.

Problematisch ist beispielsweise eine knappe Ankunft zur Abfahrt an der Haltestelle und die Unsicherheit ob der Bus bereits abgefahren ist oder noch kommt. In Kombination mit einer einstündigen Taktung und damit einem Risiko von sehr langen Wartezeiten führt die Unsicherheit ob der Bus bereits abgefahren ist oder noch kommt bei Vielen zur Präferenz des eigenen Pkws. Auch in Bezug auf eine Erweiterung mit einer flexiblen Bedienform sollen Informationen zu Abholzeiten und eventuellen Wartezeiten eine Kernrolle einnehmen. So könnten Push-Nachrichten, welche über eine Verspätung der Abholung informieren, dabei helfen lange Wartezeiten außerhalb des Aufenthaltsorts zu vermeiden.

### Arbeitsweg ohne Auto

Der identifizierte Bedarf bezieht sich auf die Realisierung des täglichen Arbeitswegs in einen anderen Ortsteil oder auch über die Stadtgrenze Sprembergs hinaus ohne das Privatauto. Zur Motivation Pendelnder zum Umstieg auf den ÖPNV liegt der Fokus auf schnellen Umsteigezeiten sowie einer großen Varietät des Mobilitätsangebots speziell auf dem ersten und letzten Reiseschritt.

Die erarbeitete Lösung bezieht sich auf umfangreiche Mobilitätsstationen an welchen beispielsweise ein Umstieg von Fahrrad zu Bus durch Schließanlagen und Unterstellhäusern gewährleistet wird. Mobilitätsstationen beziehen sich hierauf Umsteigeplätze an welchen mehr als eine Mobilitätslösung angeboten werden. Durch die Kombinationsmöglichkeiten soll ein komfortabler Weg zum Arbeitsort sowie eine gewisse Flexibilität, um beispielsweise auf dem Heimweg noch einkaufen gehen zu können, ermöglicht werden.

### Intermodale Mobilitätsplattform

Der Bedarf nach einer intermodalen Mobilitätsplattform bezieht sich auf die breite Informationsverfügbarkeit aller möglichen Mobilitätslösungen. Es sollen über eine einzige Schnittstelle alle zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel so kombiniert werden können um die bestmögliche Route von einem zum anderen Ort errechnen zu können. Die intermodale Mobilitätsplattform erleichtert so den Zugang zu den im vorherigen Absatz aufgezeigten Mobilitätslösungen und ermöglicht eine Buchung.

Die Problemstellung umfasst zum einen die optimale Kombination der verschiedenen Verkehrsmittel als auch die Zugangsmöglichkeit für alle Nutzergruppen. Es geht darum bestehende Plattformen wie die VBB-Fahrtinfo optimal zu integrieren, um einen Mehrwert der neuen Plattform zu generieren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## Sicherheit

Die Problemstellung der Sicherheit neuer Mobilitätslösungen wurde im Workshop ausgiebig diskutiert. Grund hierfür war explizit eine bestehende Problematik im Ortsteil Hornow-Vorwerk, welcher nur durch Rufbus-Linien angebunden ist. Hier werden Rufbusse gegeben durch niedrige Auslastung und Probleme in der Bereitstellung oftmals durch unmarkierte Fahrzeuge angeboten. Dies führt in der Bevölkerung zu Sicherheitsbedenken, da Kinder nach der Nachmittagsbetreuung in nicht gekennzeichnete fremde Autos einsteigen.

Hieraus ergibt sich der Bedarf an klar gekennzeichneten, ausgeschriebenen und nachverfolgbaren Mobilitätsangebote. Diese sollten besonders für Kinder klar erkennbar sein und zudem deren Mobilitätsbedarf, beispielsweise die Heimfahrt nach der Nachmittagsbetreuung, abdecken. Hierdurch sollen sicherheitsbedenken gemindert und die Mobilität von Schüler:innen vorangebracht werden.

## Fazit

Spremborg ist gegeben durch die Siedlungsstruktur mit einer Kernstadt und den neuen und alten Ortsteilen eine repräsentative Stadt für die Ortstrukturen im Umkreis und eignet sich daher zur Evaluierung der Umsetzbarkeit eines On-Demand-Pooling-Verkehrs zur Schließung existierender Lücken im Mobilitätsangebot. Spremborg liegt im Landkreis Spree-Neiße, mit einem überdurchschnittlichen ÖPNV-Angebotsniveau (2736 Fahrplankilometern pro km<sup>2</sup>) im Vergleich zu den anderen berlinfernen Landkreisen in Brandenburg (vgl. „Gutachten: Mobilitätsgarantie Brandenburg“ 2021, 32). Trotz des überdurchschnittlichen ÖPNV-Angebots gibt es nicht-geddeckte Bedarfe. Zur Erhebung wurde in Spremborg ein Workshop mit 30 Teilnehmenden durchgeführt, welche ihre Mobilitätsbedarf ortsteilbezogen benennen und bewerten konnten. Im Ergebnis werden viele Bedarfe bereits durch das existierende Mobilitätsbedarf gedeckt. Lücken bestehen zu den Abendzeiten (18:00 bis 21:00 Uhr), in den Querverbindungen zwischen den Ortsteilen ohne einen Umstieg in der Karstadt und auf dem Weg zum Einkaufen. Hoch bewertet wurden zudem der Bedarf nach schnellen Verbindungen zum Arbeitsplatz (Pendeln) sowie zu ortsteilabhängigen „Points of Interest“ (POIs).

Aus der Analyse können drei Kern-Anwendungsfälle für einen On-Demand-Pooling-Verkehr zu unterschiedlichen Tageszeiten abgeleitet werden. Morgens die Ermöglichung eines zeitlich effizienten Arbeitswegs durch Schließung der Lücke auf der ersten oder letzten Meile. Mittags und nachmittags ortsteilbezogene Strecken welche in einem kleineren Radius stattfinden, wie beispielsweise Einkaufswege oder der Spielplatzbesuch am See. Abends können Lücken im ÖPNV Angebot zu den Randzeiten gedeckt werden, wie beispielsweise die mögliche Heimfahrt nach einem Abendessen in der Kernstadt in den jeweiligen Ortsteil. Die möglichen Anwendungsfälle am Beispiel Spremborg werden in der weiteren Analyse spezifiziert und in einem separaten Dokument zur Verfügung gestellt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ein Verbund aus



## Literaturverzeichnis

- “DB Regio Bus Ost - Fahrpläne, Angebote, Ticketinfos.” n.d. Accessed January 3, 2023. <https://www.dbregiobus-ost.de/>.
- “Geoportal Der Stadt Spremberg.” n.d. Accessed December 21, 2022. <https://geoportal.stadt-spremberg.de:3443/spremberg/>.
- Gerike, Regine, Stefan Hubrich, Frank Ließke, Sebastian Wittig, and Rico Wittwer. 2020. *Sonderauswertung „Mobilität in Städten – SrV 2018“: Städtevergleich (Comparison of the Results for the Participating Cities in the 2018 Round of the German HTS “Mobility in Cities - SrV”)*.
- Gies, Jürgen, and Victoria Langer. n.d. “Mit On-Demand-Angeboten ÖPNV-Bedarfsverkehre modernisieren.”
- “Gutachten: Mobilitätsgarantie Brandenburg.” 2021. Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Brandenburger Landtag. October 8, 2021. <https://gruene-fraktion-brandenburg.de/publikationen/mobilitaetsgarantie-brandenburg>.
- Harz, Jonas, and Carsten Sommer. 2022. “Erfolgsfaktoren Und Hemmnisse Des Integrierten Ridesharing in Ländlichen Räumen (Straßenverkehrstechnik 06/22),” June. <https://doi.org/10.53184/SVT6-2022-1>.
- Klinge, Alexander, Lukas Torliene, and Nils Pöstges. 2020. “Betreiber Und Geschäftsmodelle Digitaler Mobilitätsplattformen Zur Verzahnung von On-Demand-Und Taktverkehr.”
- “Ortsteile - Spremberg.de - Immer Aktuell.” n.d. Accessed March 28, 2023. <https://spremberg.de/rathaus/stadtportraet-und-ortsteile/ortsteile/detail/2129>.
- “Pendleratlas Deutschland - Statistische Ämter Der Länder.” n.d. Accessed December 29, 2022. <https://pendleratlas.statistikportal.de/>.
- Sommer, Carsten, and Assadollah Saighani. 2019. “ÖPNV-Angebotsformen Im Ländlichen Raum.” In , 1–29.
- “Stadtplan Spremberg.” n.d. Accessed December 21, 2022. <https://www.unser-stadtplan.de/stadtplan/spremberg/kartenstartpunkt/stadtplan-spremberg.map?appmode=0>.
- “Standortprofil: Die größten Unternehmen in Spremberg.” n.d. Accessed February 24, 2023. <https://die-deutsche-wirtschaft.de/standort/spremberg/>.
- VBB Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg, GmbH. n.d. “Fahrinfo.” Accessed December 20, 2022. <https://www.vbb.de/fahrinfo/>.

Gefördert durch:

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Ein Verbund aus

