

MaaS L.A.B.S.: Schlussbericht des DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik



© FH Potsdam

NutzerInnen-zentrierte **M**obility-**as-a**-Service-Plattform: **L**ebendig, **A**utomatisiert, **B**edarfs- & **S**haring-orientiert

Autoren:

Anke Sauerländer-Biebl, Institut für Verkehrssystemtechnik

Johannes Rummel, Institut für Verkehrssystemtechnik

Teil I: Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Ablauf des Vorhabens

Das Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR kam erst nach Projektstart, am 19. Februar 2020 zum Projektkonsortium dazu. Durch den personellen Wechsel von Prof. Michael Ortgiese vom Projektpartner FH Potsdam zum DLR wurden Teilaufgaben aus den Aufgabenpaketen der FH Potsdam zum DLR transferiert und hier weiterbearbeitet. Das umfasste im Wesentlichen die folgenden Aufgaben:

- Entwicklung eines Planungsmoduls für die Kombination von bedarfsorientierten Verkehren mit dem Linienverkehr (MaaS-Planer: Routing in Kombination mit Simulation) zusammen mit Partner highQ
- Mitarbeit an der Systemkonzeption für Potsdam sowie bei der Prüfung der Einsatzmöglichkeiten automatisierter Shuttles (mit Partner ViP) für die letzte Meile.
- Entwicklung eines integrierten MaaS-Ökosystem auf allen relevanten Ebenen mit den Projektpartnern des Living-Lab Potsdam:
 - Geschäftsmodelle mit Integration der Angebote in das kommunale Verkehrsmanagement,
 - Entwicklung eines dynamischen und intermodalen Routings in Kombination mit der Fahr- und Dienstplanung, auch mittels simulative Bewertungen
- Mitarbeit an der Bewertung der betrieblichen Integration (ViP) der stufenweise automatisierten Mikrobusse am Beispiel des Bornstedter Feld im Norden von Potsdam (Federführung durch ViP Verkehrsbetrieb Potsdam).

Im Juni 2021 wurde dem DLR und highQ eine Aufstockung des Budgets bewilligt, um inhaltliche Lücken, die durch den Ausstieg des Partners FREE2MOVE entstanden sind, zu kompensieren. FREE2MOVE hätte umfassende Basistechnologie im Bereich des Sharing in das Projekt eingebracht. FREE2MOVE verfügt über eine Vielzahl von Vertragsbeziehungen zu Carsharing-Unternehmen, die eine Grundlage für das Serviceangebot dargestellt hätten. Alternativ sollte nun ein Servicedesign entwickelt werden, das stärker auf die lokalen Anforderungen im Quartier zugeschnitten ist. Neben der Integration lokaler Sharingangebote sowie der Verknüpfung von bedarfsorientierten Shuttles mit dem ÖPNV sollte eine Servicequalität geschaffen werden, die mit Blick auf die Interaktion mit dem Verkehrsteilnehmer ähnliche Qualitäten aufweisen. Insbesondere sollte die Serviceumgebung die Entwicklung neuer Mobilitätsprodukte durch die Bereitstellung flexibler Bezahl- und Abrechnungsfunktionen unterstützen. Des Weiteren wurde eine Analyse des Mobilitätsverhaltens mit Nutzerbefragung über die Forschungsanlage *DLR Moving Lab* geplant. Diese stellt Apps zum Aufzeichner der Wege mit Verkehrsmittelerkennung und damit verbundenen digitalen Fragebögen zur Verfügung. Für das DLR bedeutete dies:

- Bereitstellung und Einrichtung einer Kampagne im DLR Moving Lab und deren technische Betreuung sowie bereitstellen der gemessenen Ergebnisse
- Bereitstellung, Anpassung und Weiterentwicklung von Backend-Diensten für die Quartiers-App. Die wesentlichen bereitzustellenden Dienste sind die On-Demand-Disposition für Test-On-Demand-Verkehre mit der ViP, ein inter- und multimedialer Router, die Verkehrsangebote sinnvoll kombiniert sowie ein Dienst zur Berechnung von Emissionen einer Reiseroute
- Die vom DLR entwickelte On-Demand-Disposition muss für den Einsatz in Potsdam-Bornstedter-Feld konfiguriert und angepasst werden (Routing, Bündelung & Reservierung). Das beinhaltet auch Webservices für externe Systeme für Reservierungen (Kundensicht) und Routenabfrage (Flottenbetreibersicht)

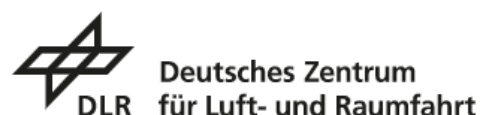
Das Projektkonsortium bestand aus einem interdisziplinären Team (Kommunikations-, Sozial- und Verkehrswissenschaftler*innen, Ingenieure und Informatiker*innen) mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie. Die Arbeiten des Instituts für Verkehrssystemtechnik des DLR fokussierten primär auf dem **Living-Lab in Potsdam** und einer engen Zusammenarbeit mit der Softwarefirma highQ, der FH Potsdam, der ViP Verkehrsbetrieb Potsdam und der Universität Siegen. Zusammen wurden öffentliche Tests, Konferenzen und On-Demand-Betriebe vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet. Im Living-Lab Potsdam wurde getestet, wie innovative Mobilitätsangebote den öffentlichen Verkehr stärken und eine klimafreundliche Stadtentwicklung unterstützen können. Übergeordnete Ziele waren die Reduktion des individuellen Autoverkehrs und von schädlichen Emissionen. Die zentralen Entwicklungsziele waren dabei:

- ein MaaS-Ökosystem für mittlere Großstädte,
- eine intermodale Mobilitäts-App mit Anreizsystem sowie
- neue Formate des Wissensaustauschs.

Übersicht der Partner im Living-Lab Potsdam mit ihren Arbeitsschwerpunkten:



Living-Lab MaaS, Ökosystem, Wissenstransfer



Institut für Verkehrssystemtechnik
DLR-Moving-Lab, Echtzeitdatendienste,
Simulation



Verkehrsbetrieb Potsdam, Flottenbetreiber



Datenschutz, Auswertung „Digitale Spuren
Potsdam“



Software, Door2door, App-Entwicklung

Das Living-Lab Potsdam wurde im Mai 2020 eröffnet. In unterschiedlichen Formaten – teilweise vor Ort, teilweise digital – wurden Ansätze der neuen Mobilität entwickelt, diskutiert und getestet. Dabei ging es um die Gegenwart, die Zukunft, um Digitalisierung, Automatisierung und Nachhaltigkeit. Das Team selbst ist interdisziplinär aufgestellt: sind beteiligt. Die Aufgabenstellungen wurden aus wissenschaftlicher und praxisorientiert Herangehensweise angegangen. Das Living-Lab Potsdam stellte über seine Studien und Aktivitäten inhaltliche Bezüge zum gesamten Stadtgebiet der Landeshauptstadt Brandenburgs her. Dabei fokussierte das Living-Lab seine lokalspezifischen Fragestellungen und Angebote jedoch auf den Norden Potsdams und hier im Besonderen auf das noch relativ junge Stadtquartier Bornstedter Feld als Beispiel eines suburban geprägten Gebietes am Rande einer kleineren Großstadt.

Bereits in der Konzeptphase hatte die FHP unter der Federführung von Prof. Ortgiese eine repräsentative Umfrage zur Bestandserfassung von Mobilitätsverhalten und -bedarfen für das Untersuchungsgebiet Potsdamer Norden (Bornstedter Feld) durchgeführt. Betreiber- und Entwickler-Bedarfe wurden analysiert und das Projekt-Netzwerk wurde erweitert. Der politische und planerische Kontext wurde sondiert und für die Projektanforderungen sensibilisiert. Das DLR hatte vor Projektbeitritt bereits in mehreren Projekten Erfahrungen bezüglich neuer Mobilitätsformen und deren technischer Umsetzung gesammelt. Insbesondere in den Projekten „HubChain“ (Aufbau einer Plattform zur Bündelung von On-Demand-Verkehren, Linienverkehren und autonomen Verkehren) und „HEAT“ (Pilotbetrieb eines autonomen Shuttles in der Hamburger Hafencity) forschte das DLR an neuen Mobilitätskonzepten für einen bedarfsgerechten ÖPNV. Das DLR hat sich dabei als Wissensträger und Ansprechpartner für Forschungsfragen im Bereich des flexiblen ÖPNV mit autonomen Fahrzeugen, der Smart Mobility und des bedarfsgerechten, flexiblen, autonom fahrenden ÖPNV etabliert. Die meisten Softwaredienste des DLR, die im Projekt genutzt und weiterentwickelt wurden sind Bausteine der Forschungsplattform „Keep Moving“ (<https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/keep-moving>) .



Am 31.05.2022 vergab das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erneut den Innovationspreis Reallabore 2022 in Berlin. Das Living-Lab Potsdam des Projektes MaaS L.A.B.S. schaffte es in der Kategorie „Einblicke“ unter die 11 Finalprojekte und erhielt damit das Reallabor-Gütesiegel „Nominiert 2022“.

Im Projektzeitraum lag auch die Covid-Pandemie mit mehreren Lockdowns und anderen Beschränkungen, die auch Auswirkungen auf die Nutzung des ÖVs, insbesondere für kleinere Fahrzeuge, hatte. So konnten flexible Kleinbusse, in denen bis zu 8 Personen Platz hätten, nur mit maximal 4 Personen bebucht werden. Inwieweit die Bereitschaft, solche „engeren“, kleineren Fahrzeuge mit Unbekannten zu teilen und zu testen durch die Pandemieerfahrungen beeinflusst wurden, lässt sich nur schwer abschätzen.

Das Vorhaben lag insgesamt im Zeitplan. Durch die Corona-Pandemie sind Verzögerungen bei der Inbetriebnahme der Bedarfsverkehrselemente entstanden, so dass dadurch auch die geplanten öffentlichen Betriebstests betroffen waren.

Teil II: Erzielte Ergebnisse, Erfahrungen und Verwertung

Zunächst wurde gemeinsam mit den Projektpartnern ein Phasenmodell erstellt mit sich teilweise überlappenden Phasen:

- Phase 1: Kontinuierliche Lab-Architekturen (Mai19 – Juni20)
- Phase 2: Komponententests (Juli20 – August21)
- Phase 3: Systemzusammenführung (Mai 21 – Januar22)
- Phase 4: Gesamtsystemtests (Januar22- Oktober22)
- Phase 5: Evaluation/Bericht (Oktptber22 – Projektende)

In diesen Phasen wurden öffentliche Tests eingeplant. Zusammen mit den jeweils beteiligten Projektpartnern wurden die Tests in das Phasenmodell integriert, beschrieben anhand der Kriterien Dauer, Form, Zielsetzung, Ort/Raum, Partner, Co-Produktion und Deadlines. Das Phasenmodell wurde in einem Miroboard festgehalten. Ein Auszug hieraus ist in Abbildung 1: Screenshot Phasenmodell zu sehen.

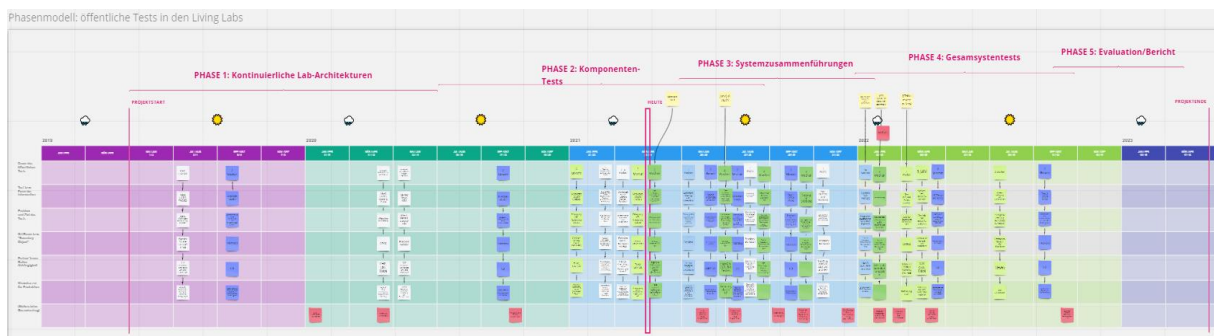


Abbildung 1: Screenshot Phasenmodell

Die **Themenschwerpunkte des DLR** waren:

- Mobilitätsplattformen
- MaaS-Pläne
- On-Demand-Verkehre als Erste/Letzte-Meile-Zubringer
- Planung und Integration von On-Demand-Verkehren in den Linienverkehr
- Umsetzung eines realen On-Demand-Verkehrs in Potsdam-Nord, Bornstedter Feld
- Einsatz des DLR Moving Lab zur Durchführung einer Mobilitätserhebung

App-Tracking Studie "Digitale Spuren Potsdam", März 2021

Im März 2021 wurde die Studie „Digitale Spuren Potsdam“ durchgeführt. Dafür wurde die Forschungsanlage „DLR Moving Lab“ benutzt. Sie fokussiert auf die Messung und Befragung von urbanem Mobilitätsverhalten und kann von Projekten und externen Firmen für Kampagnen angemietet werden, siehe: <https://movinglab.dlr.de/>. Zum Leistungsumfang gehören:

- Einrichtung einer Kampagne im DLR Moving Lab
- Android- und iOS-Mobile-Apps zur Aufnahme von Daten, Bereitstellung von Fragebögen, Anzeige verarbeiteter Wege, Korrekturmöglichkeiten
- Verarbeitung der Daten im Backend zu Wegen
- Erkennung des Verkehrsmodus (zu Fuß, Rad, Auto, Bus, Bahn, ...) anhand Sensordaten der aufnehmenden Geräte
- Bereitstellung von digitalen Fragebögen in den Apps (Mobile + Web)
- Export der Daten aus dem Backend zur weiteren Auswertung durch die Auftraggeber
- Bereitstellung von Aufnahmegegeräten, insbesondere GPS-Trackern

Die Akquise der Probanden wurde hauptsächlich von der FH Potsdam, der ViP und der Universität Siegen vorbereitet und durchgeführt. Das Datenschutzkonzept wurde vom DLR und der Universität Siegen erstellt. Die Fragebögen wurden von allen Projektpartnern im Living-Lab Potsdam zusammen entworfen. Es gab Eingangs- und Ausgangsfragebögen, sowie Fragen zum Weg insgesamt und einzelnen Verkehrsmitteln. Die zentralen Fragestellungen waren:

- Wie setzt sich das Mobilitätsverhalten von Intermodalisten zusammen?
- Was hat Intermodalisten zu ihrer aktuellen Verkehrsmittelwahl bewogen?
- Wie planen Intermodalisten ihre Mobilität?
- Welche Potentiale ergeben sich für eine nachhaltigere Mobilität mit Fokus auf den Umweltverbund?
- An welchen Stellen gibt es Verbesserungsbedarfe?

Während der Kampagne haben sich 32 Teilnehmer*innen 29 Tage tracken lassen. Dabei sind 495 Wege entstanden mit insgesamt 2034 Etappen (Etappe = Teilstück eines Weges mit einem Fortbewegungsmittel) und es wurden insgesamt 6 verschiedene Verkehrsmodus erkannt.

Als Hauptverkehrsmittel gaben 38% der Teilnehmer*innen das Fahrrad an, 31% das Auto, 25% den ÖPNV und 6% Sonstiges. Ein paar der wesentlichen Ergebnisse sollen im Folgenden geschildert werden.

Bei der Frage, warum sich die Teilnehmer *innen für das konkrete Verkehrsmittel entschieden hatten, zeigten sich Unterschiede bei den vorherrschenden Gründen: Beim ÖPNV und beim zu Fuß gehen ist die Gewohnheit der am häufigsten genannte Grund. Das Fahrrad wird neben Gewohnheitsgründen auch wegen der Reisedauer gewählt. Zudem ist das Fahrrad das einzige Verkehrsmittel, bei dem die Fahrfreude ein weiterer zentraler Grund für die Verkehrsmittelwahl darstellt. Das Auto wird ebenfalls aufgrund der Reisedauer gewählt. Zusätzlich ist der Aspekt des Komforts zentral, sowie die Möglichkeit, Dinge transportieren zu können. Die Antworten sind in Abbildung 2: Gründe für die Verkehrsmittelwahl graphisch dargestellt.

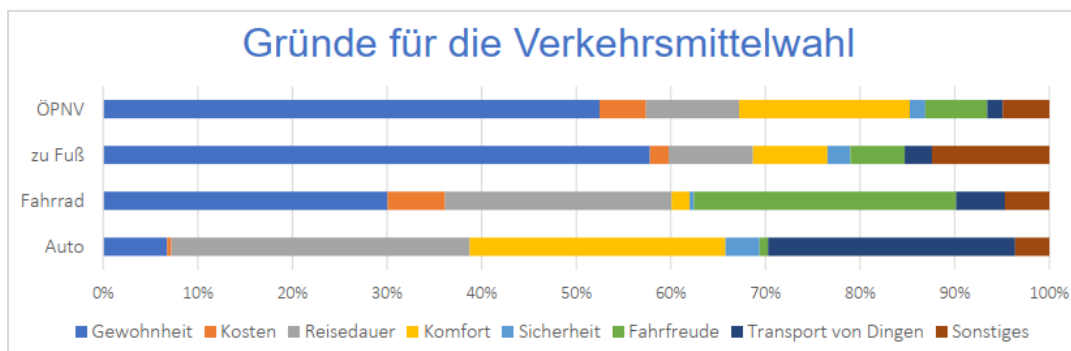


Abbildung 2: Gründe für die Verkehrsmittelwahl

Auf die Frage zur Beziehung zum Auto wurde wie folgt beantwortet: (siehe Abbildung 3: Beziehungen zum Auto)

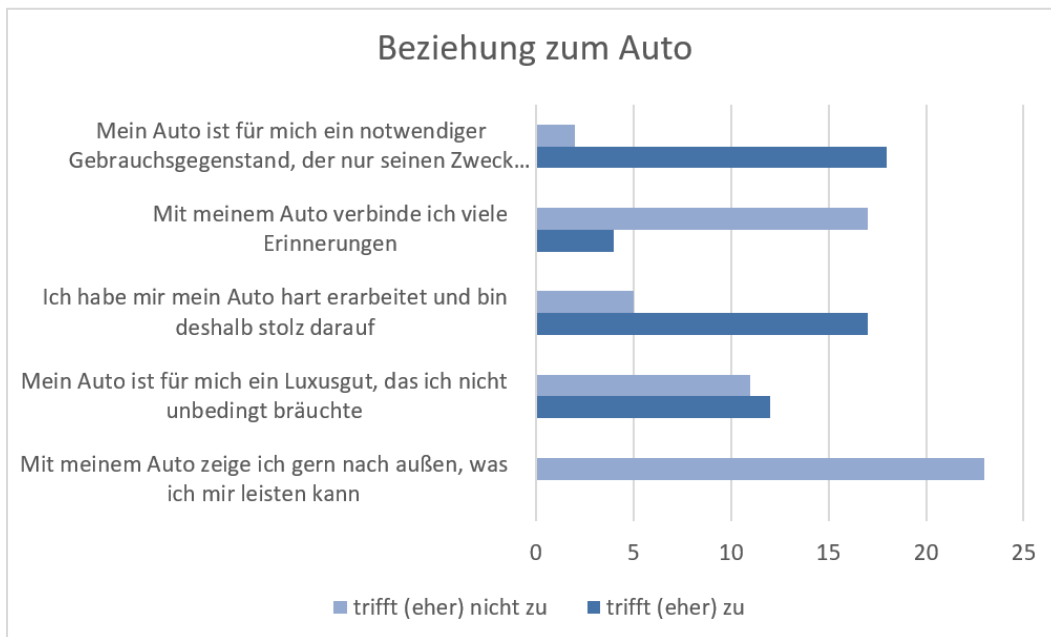


Abbildung 3: Beziehungen zum Auto

Die Teilnehmer *innen wurden auch gefragt, ob es Alternativen zu ihrem genutzten Verkehrsmittel auf einem Weg gegeben hätte. Bei den Antworten fällt auf, dass überwiegend keine Alternativen in Frage gekommen wären und dass Sharing-Angebote ausschließlich von Fußgängern oder ÖPNV-Nutzer*innen als Alternative genannt wurden. Hingegen scheint das Auto für Etappen, die mit dem ÖPNV zurückgelegt wurden, keine nennenswerte Alternative zu sein. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 zu sehen. Hier sind horizontal die Anzahl Wege nach Verkehrsmittel gruppiert und vertikal die genannten Alternativen dazu abgebildet.

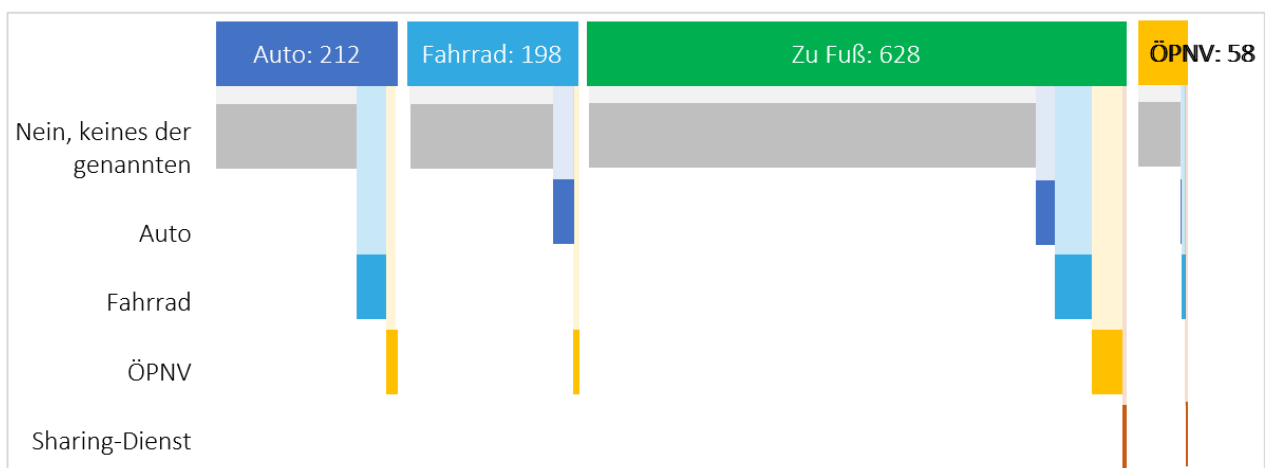


Abbildung 4: Mögliche Alternativen auf Wegen, © Universität Siegen

Die Teilnehmer*innen wurden auch gefragt, ob es sich bei einem Weg um einen Routineweg handelt oder nicht und wieweit vorher dieser geplant wurde. Egal, ob die Wege geplant oder spontan waren, ist die deutlich überwiegende Mehrheit der Wege ohne vorige Planung durch Auskunftstools durchgeführt worden. Auch bei Nicht-Routinewegen wurden über 70% ohne vorige Befragung von Auskunftstools durchgeführt. Details sind in Abbildung 5: Routinefahrten und vorige Planung“ zu sehen.

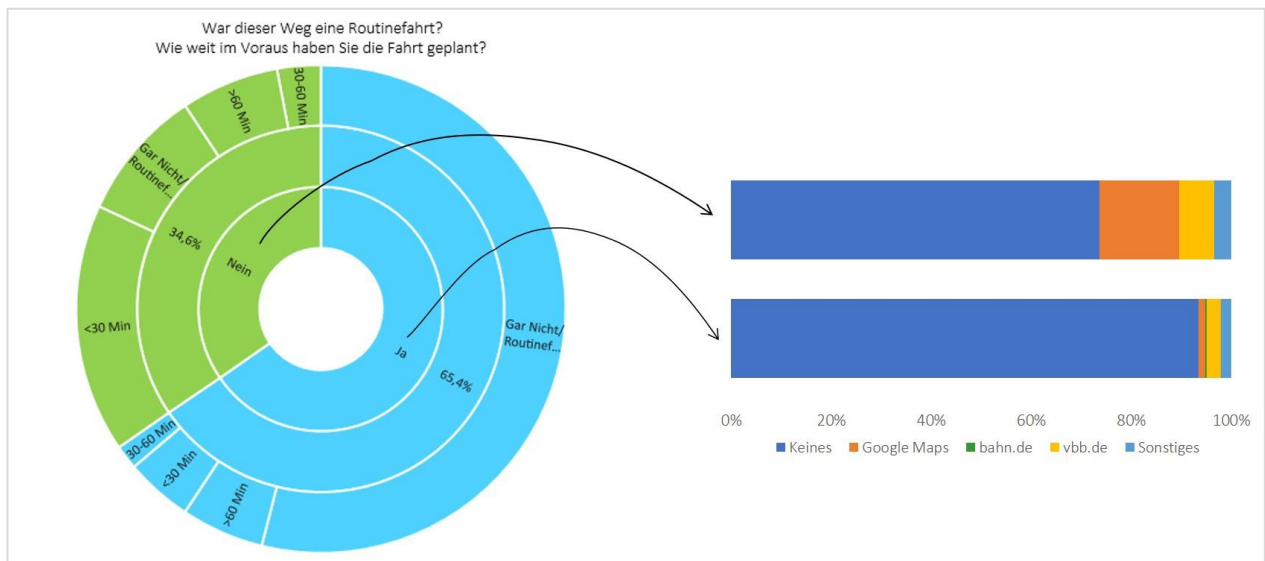


Abbildung 5: Routinefahrten und vorige Planung, © Universität Siegen

Abschließend wurden die Teilnehmer*innen auch zu Wünschen nach Standorten für Mobilitätstationen gefragt. Da der Teilnehmerakquirierungsschwerpunkt im Bornstedter Feld und im Umfeld der Fachhochschule stattfand, gibt es erwartungsgemäß in diesem Gebiet die Wunschstandorte mit den meisten Nennungen (max. 6). In Abbildung 6 wurden die Wunschstandorte in einer Karte verortet.

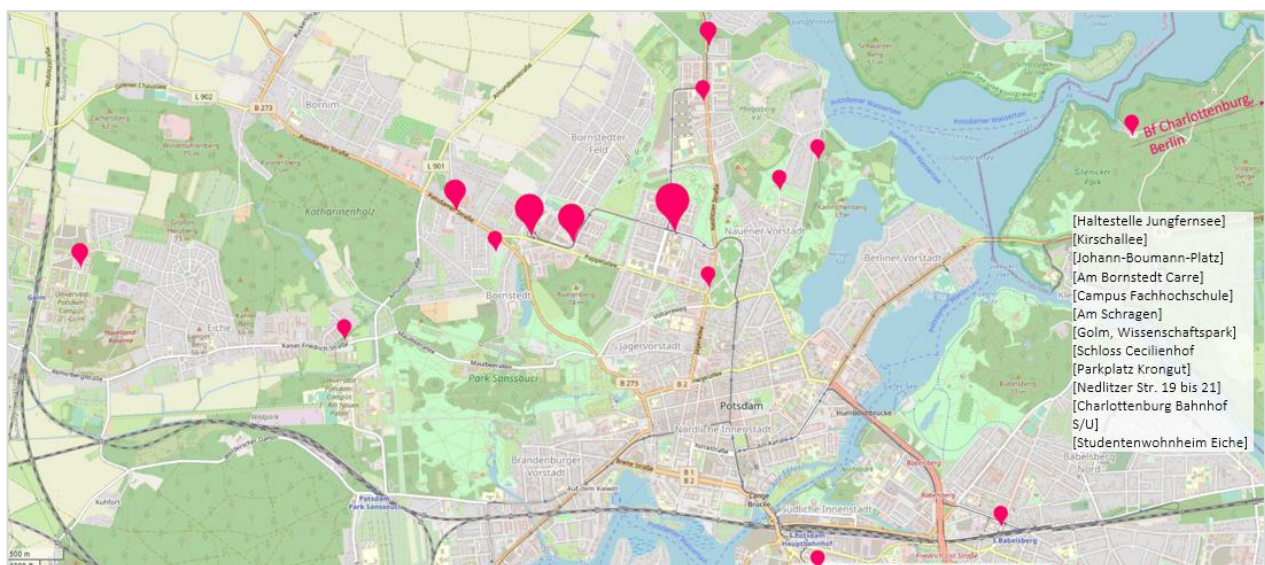


Abbildung 6: Wunschstandorte Mobilitätsstationen

Die über diese Studie erhaltenen Erfahrungen wurden bei der Planung der On-Demand-Verkehre für den Potsdamer Norden berücksichtigt. So wurden z.B. die Umstiegspunkte vom Linienverkehr in den On-Demand-Shuttle auf die gewünschten Standorte für Mobilitätsstationen gelegt.

Entwicklung des MaaS-D2D-Planners zur (modellbasierten) Prognostizierung verkehrsmittelübergreifender Nachfragemuster und zur Ausgestaltung integrierter Mobilitätsprodukte mit Wirkungs- und Wirtschaftlichkeitsanalysen

In regelmäßigen Meetings haben das DLR und highQ die Integration von On-Demand-Verkehren in die Planung traditioneller ÖV-Angebote diskutiert. Daraus ist ein Prozessmodell entstanden, das die

Schritte und Abhängigkeiten darstellt. Für die praktische Umsetzung wurde das highQ-Produkt „PlanB“ zur Planung von Linienbusverkehren erweitert und von der Open Source Software *Eclipse SUMO* (<https://sumo.dlr.de>) vom DLR unterstützt. In diesem Kapitel wird von „DRT“ = Demand-Responsive-Transport gesprochen. Darunter wurde hier ein Flächen-On-Demand-Verkehr mit einem oder mehreren Fahrzeugen verstanden, dessen einzelnen Fahrtrouten sich anhand der eingehenden Anfragen der Passagiere bilden.

Für die Planung eines DRT-Angebots liefert das highQ-Produkt PlanB einen Vorschlag für die Umsetzung eines DRT-Einsatzes. Um diesen genauer zu analysieren, wird eine mikroskopische Verkehrssimulation durchgeführt und wichtige KPIs untersucht. Wie bei der Planung selbst, werden für die Erstellung der Simulation bestimmte Informationen oder Annahmen benötigt:

- Die zu erwartende Nachfrage
- Das Bedienegebiet
- Die Funktion des Angebots (z.B. als Zubringer zum Linienverkehr)
- Die vorhandene Flotte (Anzahl und Kapazitäten der Fahrzeuge)

Für die Simulation wird die Software *Eclipse SUMO* verwendet, welche hauptsächlich durch das DLR entwickelt wird. PlanB liefert die für die Simulation benötigten Informationen in Form von Eingabedateien. Ein spezielles Tool von *Eclipse SUMO* gibt in Abhängigkeit von der Nachfrage den Fahrzeugen die Bedienreihenfolge vor, so dass diese möglichst viele Anfragen effizient bedienen kann. Dieses Tool heißt *drtOrtools* und wurde im Rahmen von MaaS L.A.B.S weiterentwickelt und ist ebenfalls Open Source in den Tools von SUMO enthalten. Es nutzt Standardalgorithmen aus der Bibliothek Google *OR-Tools*. *Google OR-Tools* ist eine kostenlose Open-Source-Software-Suite, die von Google entwickelt wurde, um lineare Programmierung, gemischte ganzzahlige Programmierung, Constraint-Programmierung, Fahrzeug-Routing und verwandte Optimierungsprobleme zu lösen.

Die durchgeführte mikroskopische Simulation kann je nach gewünschten KPIs mit weiteren Informationen angereichert werden, wie z.B. ÖV-Fahrpläne, um die Bedienung bzgl. Linienanschlüsse zu untersuchen oder eine realistische Nachfrage für den Umgebungsverkehr, um die Auswirkungen von möglichen Stauungen zu untersuchen. Im Rahmen des Projekts wurden die folgenden KPIs als relevant erachtet:

- Die Flottenauslastung, die repräsentiert wird durch z.B.:
 - Zeitlicher Besetzungsgrad
 - Betriebliche Effizienz
 - Systemeffizienz
- Die Kosten, die geprägt sind durch:
 - Die Fahrzeugkilometer je Fahrzeug

Das untersuchte Gebiet des Bornstedter Feldes im Norden Potsdams wurde mit einem Fahrzeug mit einer Kapazität von 12 Plätzen bedient, welches als Zubringer zur Tramhaltestelle dient. Die für die KPIs benötigten Informationen wurden den Ausgabedateien der Simulation entnommen.

Einige Erfahrungen, die hierbei gemacht wurden sind:

- Bei geteilten Fahrten, wie sie hier untersucht wurden, nehmen die Ein- und Ausstiege einen großen Teil der Betriebszeit ein. Deshalb ist es dringend erforderlich neben den Fahrten selbst auch die Ein- und Ausstiege zu bündeln. Dies wird üblicherweise durch die Einführung von virtuellen Haltestellen realisiert, welche verteilt über das Bedienegebiet platziert werden. Dadurch können Zeiten gespart und das Angebot weiter optimiert werden.
- Im Untersuchungsgebiet Bornstedter Feld befinden sich einige verkehrsberuhigte Straßen. Diese spielen bei einer Optimierung basierend auf kurze Wegstrecken der Fahrzeuge keine Rolle. Allerdings verzögert sich bei Nutzung dieser Straßen die Fahrdauer aller aktuellen Insassen, so dass es zu einem schlechten zeitbezogenen Wirkungsgrad kommen kann.

Zusätzlich zu den Strecken bezogenen KPIs macht also die Untersuchung von zeitbezogenen Größen durchaus Sinn. Zusätzlich lässt sich der Algorithmus zur Berechnung der Bedienreihenfolge statt auf die benötigten Wegstrecken auch in Bezug auf die benötigten Wegedauern anwenden.

Das Zusammenspiel von PlanB und SUMO soll in Zukunft noch ausgebaut werden. highQ als Softwarehersteller für den ÖV-Betrieb will dafür mit dem DLR weiter zusammenarbeiten.

Entwicklung einer MaaS-Plattform

Die Projektpartner des Living-Lab Potsdam haben eine gemeinsame MaaS-Plattform entwickelt mit dem Fokus auf Potsdam-Nord. Dabei sollte das vorhandene Angebot genutzt werden und durch einen vom Projekt durchgeführten On-Demand-Testverkehr im Bornstedter Feld ergänzt werden. Der klassische ÖPNV in Potsdam konnte durch den Projektpartner ViP Verkehrsbetrieb Potsdam vertreten werden. Es konnte das ganze VBB-Gebiet und -angebot beauftragt werden. Mit den im fokussierten Gebiet vorhandenen Sharing-Anbietern hat das Team Gespräche geführt um ihre Integration in die zu entwickelnde Mobile-App für die Fahrgäste zu diskutieren. Die Ergebnisse der Gespräche mit TIER, Miles und nextbike by TIER waren sehr ähnlich: Grundsätzlich ist das Interesse da. Sie können aber kein Testsystem zur Verfügung stellen oder etwas in ihrer Preispolitik ändern (die Idee war, Auto-Umsteigern ein vergünstigtes Sharing-Umstiegs-Paket anzubieten, siehe Abschnitt MaaS-Pläne). Nextbike konnte indirekt über die VBB-Online-Schnittstelle mit beauftragt werden, aber nicht gebucht. Es wurde entschieden zunächst das VBB-Angebot mit den eigenen, geplanten On-Demand-Verkehren zu kombinieren. Der On-Demand-Verkehr führt mit unterschiedlichen Szenarien (Einkaufsshuttle, Nachtverkehr, Berufsverkehr) im Bornstedter Feld.

Der technische Teil wurde von der Firma highQ und dem DLR realisiert. Die Frontends, also die Anwendungen mit Benutzeroberfläche für Fahrgäste, Busfahrer und Leitstelle wurden von highQ entwickelt. Das Backend für Berechnungen, wie z.B. die Routenführung für On-Demand-Verkehre, und Datenspeicherung wurde vom DLR und von highQ bereitgestellt. Die beiden Backends von DLR und highQ ergänzen sich dabei. Die Zusammenarbeit ist in Abbildung 7 skizziert:

Alle Verbindungsanfragen kommen zunächst über die App im highQ-Backend, im Modul „Verbindungsanfrage“. Dort wird die Anfrage weiter an das DLR-Backend geleitet, an den „Intermodalen Router“. Dieser berechnet Verbindungen, je nach Anfrageparametern, für PKW, ÖPNV, On-Demand-Verkehr, Fahrrad oder Kombination daraus. Ist ÖPNV gefragt und Start oder Ziel liegen im Einsatzgebiet des projekteigenen On-Demand-Verkehrs, dann wird auch dieser nach einer möglichen Verbindung für die ganze Strecke oder Teilstrecken (Erste- oder Letzte-Meile) angefragt. Ist das möglich, wird eine vorläufig Reservierung im Modul Reservation-Service angelegt, die auf Bestätigung wartet. Die resultierenden Verbindungsmöglichkeiten werden an das highQ-Backend zurück geliefert. Dies hat zwischenzeitlich auch andere angebundene Anbieter, wie Bike-Sharing beauftragt. Alle Verbindungen zusammen werden dem User in der App angezeigt und er wählt eine aus. Beinhaltet die ausgewählte eine Fahrt mit dem projekteigenen On-Demand-Verkehr, so gibt das highQ-Backend wiederum Rückmeldung an den Reservierungsdienst im DLR-Backend, dass die Fahrt gebucht wurde. Damit ist sie fest in einer Route des On-Demand-Fahrzeugs eingeplant. Die Stopps werden nur nicht weiter berücksichtigt, wenn die Fahrt vom Kunden wieder storniert wird. Die Reservierung wird zurück an das highQ-Backend gesendet und im Ticketing-Modul weiter verarbeitet zu einem Ticket für den Fahrgast.

Damit Fahraufträge an den Fahrer eines On-Demand-Busses oder in ein automatisiertes Fahrzeug gesendet werden können, bietet das DLR-Backend einen Journey-Service an. Dieser besitzt eine Webservice-Schnittstelle über die externe Systeme Routen abfragen können. Das externe System ist in diesem Fall das Modul Fahraufträge im highQ-Backend. Das Modul Fahraufträge kommuniziert wiederum mit einer Leitstellen-App und einer Fahrer-App für die On-Demand-Bus-Fahrer. Die

Leitstellen-App reichert die geplanten Routendaten aus dem DLR-Backend mit Echtzeitdaten aus den Fahrzeugen an.

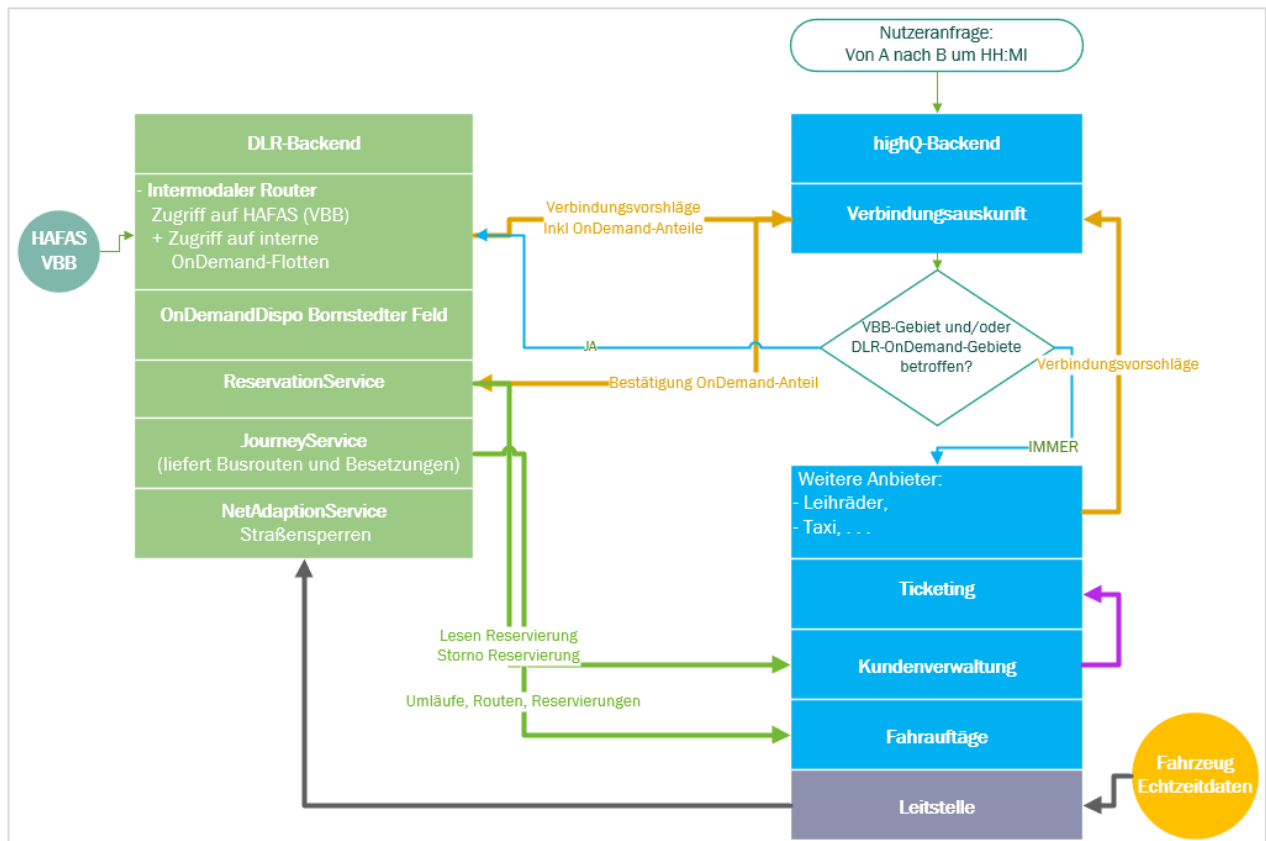


Abbildung 7: MaaS-Plattform: Backends und Datenflüsse

Die vom DLR bereitgestellten und entwickelten „Services“ stammen aus dem Keep-Moving-Dienste-Repertoire (siehe <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/keep-moving/dienste>). Um von externen Anwendungen genutzt werden zu können, wurden Webservices (reiner Datentransfer, keine Oberflächen) für den Datentransfer bereitgestellt:

- **Routing-Service** (Verbindungsauskunft/Intermodaler Router)
SOAP-Webservice, mit dem multi- und intermodale Verbindungen angefragt werden können. Response: Liste mit möglichen Verbindungen (Linien-ÖV, On-Demand-Verbindung oder Kombination aus beiden)
- **Emission-Service**
SOAP-Webservice, der zu einem gegebenen Routenverlauf und vorgegebenen Verkehrsmodus (PKW, Bus, Bahn, Tram) verschiedene Emissionen berechnet (CO₂, CO, NO_x, ...). Dieser Service wurde im Projekt neu erstellt, siehe Abschnitt Öko-Bilanzierung.
- **Reservation-Service**
SOAP-Webservice der Bestätigungen, Aktualisierungen und Stornierungen von Reservierungen für On-Demand-Fahrten ermöglicht
- **Journey-Service** (Umläufe)
Jason-REST-Webservice zum Abrufen von Umläufen (Routenverlauf, Stopps, Zu- und Ausstiege)
Wird für die Fahrer-App und Leitstelle/Betreiber benötigt.
- **NetAdaption-Service**
Nimmt Straßensperrungen entgegen (relevant für das On-Demand-Routing)

Durchführung von Test-On-Demand-Verkehren in Potsdam im Bornstedter Feld und in Babelsberg

Im Projekt wurden zwei verschiedene reale On-Demand-Verkehre implementiert und getestet. Sie unterscheiden sich im Bediengebiet, in der Zielgruppe und in den Dispositionsparametern. In beiden Fällen wurden die Fahrzeuge und Fahrer von der ViP bereitgestellt. Die App zum Anfragen und Reservieren von Fahrten wurde jeweils von highQ erstellt. Die Disposition (Einsatz- und Routenbildung der Fahrzeuge) wurde vom DLR betrieben.

On-Demand-Verkehr „ViP Werksverkehr“

- nur für Mitarbeiter der Stadtwerke Potsdam
- Bediengebiet: Babelsberg/Drewitz
- Haltestellen: Im System vordefinierte Haltestellen, größtenteils an öffentlichen ViP-Haltestellen
- Durchgehende Betriebszeit von 8:00 bis 17:00, Montag bis Freitag
- Depot/Wartehaltestelle: Werksgelände der ViP
- Anschlussicherung: Keine weiteren Einschränkungen für die Routenbildung (keine zeitlich vorgeplanten Stopps an Haltestellen, um Umstiege vom und zum Linienverkehr zu ermöglichen)



Abbildung 8: Bediengebiet und Haltestellen, ViP-Werksshuttle, © ViP Verkehrsbetrieb Potsdam

On-Demand-Verkehr im Bornstedter Feld (juu-Limo)

- öffentlich für jeden, der sich die juu-App installiert hatte und sich registriert hatte
- Bediengebiet nördliches Bornstedter Feld, Variationen für verschiedene Szenarien
- Haltestellen: Tramhaltestellen im Bediengebiet sowie flexible Wunschadressen, keine vordefinierten, virtuellen Haltestellen

- Eingeschränkte Bedienzeiten, abhängig vom aktiven Szenario (Nachtverkehr, Einkaufsshuttle, Berufsverkehr)
- Anschlusssicherung: Der Übergang von den Tram-Haltestellen wurde für jede x-te Verbindung sichergestellt, indem Umläufe disponiert wurden mit festen Abfahrts- und Ankunftszeiten an bestimmten Tram-Stationen, die wiederum den Szenarien angepasst waren.



Abbildung 9: Bedienggebiet juu-Limo, Werbeflyer des Projekts

Die getesteten Szenarien sind im Flyer, siehe Abbildung 10 , dargestellt.

Testen Sie unsere juu-Limo

1 Einkaufstransport

1 Unser Angebot für Seniorinnen und Einkaufende
Die juu-Limo bringt Sie vom Einkaufsareal in der Ludwig-Boltzmann-Straße wieder zu Ihrem Zuhause im Bornstedter Feld.

12.–17.09.2022
jeweils 10.00–13.00 Uhr
Buchung vor Ort
Buchung per App

2 Umweltfest

Hin und weg vom Umweltfest
Lassen Sie sich abholen von der juu-Limo. Wir chawieren Sie zum Umweltfest im Volkspark Potsdam – und auch wieder zurück.

18.09.2022
09.30–18.00 Uhr
Buchung per App

3 Basisangebot Tag und Nacht

Tag und Nacht immer mobil
Innerhalb des Bedienggebietes bringt Sie die juu-Limo zu Ihrem Ziel.

19.–30.09.2022
Mo–Fr 06.30–09.00 Uhr
15.00–19.00 Uhr
Sa+So 10.00–19.00 Uhr
Buchung per App

16./17./18.09.2022
23./24./25.09.2022
jeweils 19.00–03.00 Uhr

1		2		3		September	
Mo	Di	Mo	Di	Mo	Di	12	13
Mi	Do	Mi	Do	Mi	Do	14	15
Fr	Sa	Fr	Sa	Fr	Sa	16	17
So	Mo	So	Mo	So	Mo	18	19
Di	Mi	Di	Mi	Di	Mi	20	21
Do	Fr	Do	Fr	Do	Fr	22	23
Sa	So	Sa	So	Sa	So	24	25
Mo	Di	Mo	Di	Mo	Di	26	27
Mi	Do	Mi	Do	Mi	Do	28	29
Fr	Sa	Fr	Sa	Fr	Sa	30	

Abbildung 10: Bedienszenarien der juu-Limo, Werbeflyer des Projekts

Die vom DLR gestellte On-Demand-Disposition konnte für alle Szenarien passend konfiguriert werden. Dazu hält die On-Demand-Dispo Parameter bereit, die je Flotte angepasst werden können. Im Wesentlichen sind das:

- das geographische Bediengebiet
- die Vorlaufzeit für Buchungen (wie spontan kann eine Fahrt gebucht werden)
- Zeitfenster, in dem Ein- und Ausstiege noch angepasst werden dürfen, um die Gesamtroute des Busses zu optimieren
- der Zeitraum vor Abfahrt, ab dem eine Buchung fixiert ist (keine zeitliche Verschiebung mehr möglich)
- Festlegung eines Start- und Zielstopps für die Fahrzeugumläufe
- Definition von Startzeiten und Endzeiten für Umläufe (Anschlusssicherung an Hubs)
- Haltestellenmanagement: Entweder
 - (a) Definition von vordefinierten Haltestellen (virtuelle und klassische)
 - oder
 - (b) möglichst adressgenaue Wunschstopps, keine vordefinierten Haltepunkte im System, außer Umlaufstart und -ziel und Umstiegshaltepunkte

Reservierungen einer On-Demand-Fahrt sind nach der ersten Anfrage zunächst „vorläufig“. Das bedeutet, dass sie nur für eine gewisse Zeit, standardmäßig 2 Minuten, in einem Umlauf eingeplant sind. Kommt innerhalb der Frist keine Bestätigung vom Kunden, dass er diese Fahrt verbindlich buchen möchte, wird die vorläufige Reservierung im System wieder storniert und nicht mehr in der Route berücksichtigt. Dies hat den Vorteil, dass der Kunde seine Fahrt genauso bestätigt bekommt, wie er sie in der Auskunft angezeigt bekommen hat. Der Nachteil ist, dass gegebenenfalls unnötig viele vorläufige Reservierungen entstehen durch Verbindungsanfragen, die nur zu Informationszwecken oder ohne Buchungsabsicht gemacht wurden. Das konnte bei den realen Testbetrieb aber nicht als Problem festgestellt werden. In Abbildung 11 ist das Handling der Reservierungen im DLR-Backend dargestellt.

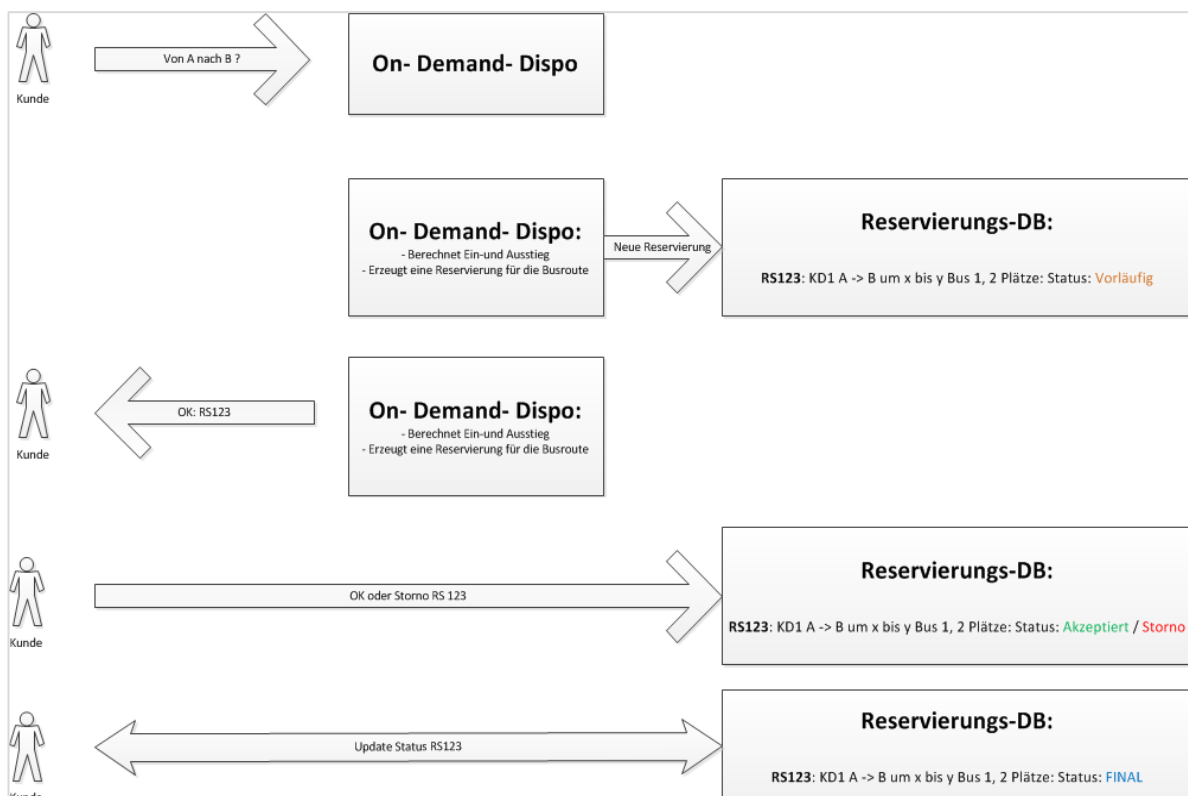


Abbildung 11: Ablaufdiagramm Reservierung On-Demand-Fahrt

Das Angebot im Bornstedter Feld wurde nicht wie erwartet angenommen, trotz intensiver Bewerbung vor Ort und digital in der Tram. Befragungen vor und während des Testbetriebs haben gezeigt, dass das Angebot an sich positiv aufgenommen wurde. Die retrospektive Selbstreflexion des Projektteams dazu kam zu den Ergebnissen:

1. Verhaltensänderungen brauchen Zeit:
19-tägiger Testzeitraum ist deutlich zu kurz, um Verhaltensänderungen im Alltag von Menschen zu bewirken
2. Technische Rahmenbedingungen als Herausforderung für Living-Lab-Konzepte:
Akzeptanz der Probanden für notwendige Auseinandersetzung mit Technik im Entwicklungsstadium ist notwendig. Vor allem ältere Menschen nutzen keine Apps und würden eine Hotline zur Buchung der „juu“-Limo bevorzugen.
3. Living-Lab-Szenario gibt guten Einblick in die realen Bedürfnisse:
Der Test unter Realbedingungen konnte viele detaillierte Ergebnisse zu Bedarfen und Verhaltensweise liefern.
4. Wahrscheinlich war auch das Bediengebiet nicht optimal ausgewählt:
Tram-Linien waren zu Fuß und per Rad immer noch gut zu erreichen, bei Befragungen wurde der Wunsch nach Anbindung weit mehr abgelegener Quartiere im Potsdamer Norden geäußert (z.B. Marquard, Neu-Fahrland).

Zielgruppenspezifische Mobilitätspakete (MaaS-Pläne) mit Quartiersbezug

Das DLR war auch beteiligt an den prototypischen Entwürfen für MaaS-Pläne. Unter solch einem Plan ist ein umfassendes Angebot für Endkunden zu verstehen, dass es ihnen ermöglicht, für einen Zeitraum (z.B. monatlich oder für ein Quartal) einen Preis zu zahlen und dafür ein für seine Bedürfnisse zugeschnittenes Mobilitätsangebot seiner Region nutzen zu können. Dabei geht es nicht nur um reine Transporte, sondern auch um „Add-Ons“ wie reservierte Fahrradstellplätze in der Bahnhofsgarage oder kostenlose Bereitstellung von Kindersitzen beim Carsharing, ...). Ziel der MaaS-Pläne ist es, attraktive Mobilitätspakete für Kund*innen zu schnüren, die ökologisch und sozial nachhaltige Mobilitätsformen fördern. Im Projekt entwickelte Beispiele adressieren z.B. die Nutzer*innen-Segmente Pendler*innen, Autofahrer*innen, Student*innen, Wahl*Familien oder Personen, die gerne spontan bleiben möchten mit spezifischen Angeboten. In Abbildung 12 sind die Ergebnisse dargestellt. Diese MaaS-Pläne wurden auch in der juu-App hinterlegt (nicht aktiviert, aber als Beispiele die auch in Befragungen zur App herangezogen wurden).

Außerdem wurde diskutiert, wer MaaS-Pläne erstellen und verantworten sollte. Um möglichst diskriminierungsfrei und nicht rein profit-unabhängig handeln zu können, wären Städte/Kommunen dafür am geeignetsten (nicht als Mobilitätsanbieter, sondern als MaaS-Plan-Angebotsgestalter). Sie könnten so die Richtung von Mobilitätsentwicklungen lenken und den ÖPNV in ihrem Gebiet mit zusätzlichen Angeboten besser verknüpfen. In einigen Großstädten kooperieren die Verkehrsverbände schon mit privaten Sharing-Anbietern und die Angebote sind über eine App zugänglich, aber nicht als MaaS-Plane wie in Abbildung 12 dargestellt. Die privaten Angebote werden separat abgerechnet, maximal sind wenige Freiminuten für Sharing-Angebote für Zeitkarteninhaber im Angebot (Stand Recherche 2022).

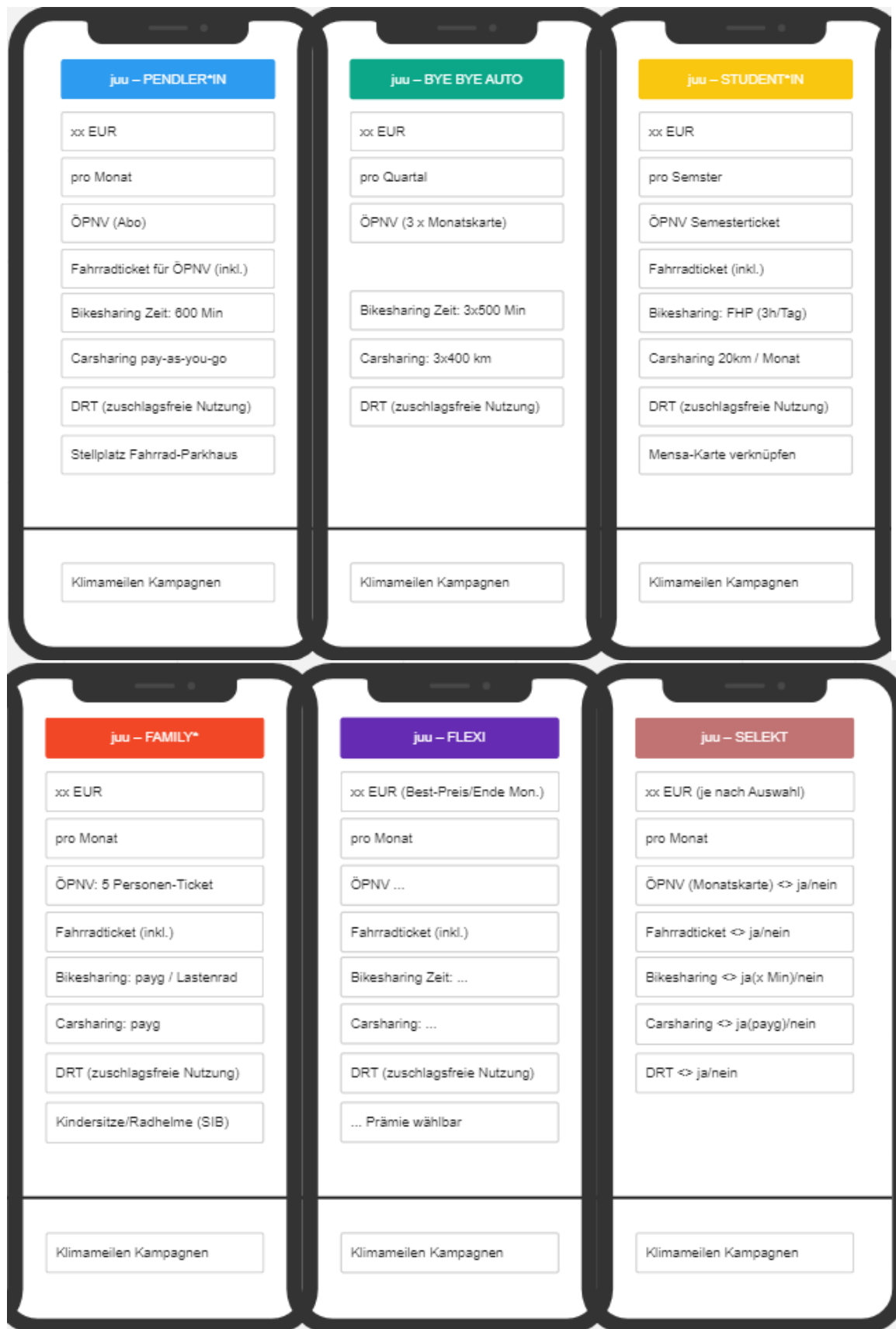


Abbildung 12: Entwurf prototypischer MaaS-Pläne

Öko-Bilanzierung

Eine weitere Komponente der Quartiers-App *juu* war die „Ökobilanzierung“. Sie soll die Nutzer*innen bei der ökologischen Bewertung der zur Auswahl stehenden Verkehrsmittel unterstützen. Das DLR berechnet dafür je Verkehrsmittel verschiedene Verbrauchs- bzw. Emissionswerte. Das sind z.B. der Verbrauch von Benzin und Energie, sowie der Ausstoß von CO₂, NO_x und die Erzeugung von Feinstaub. Die zu berechnenden Werte hängen nicht nur vom Fahrzeugtyp, sondern auch von der Geschwindigkeit und Beschleunigungen ab. Für eine erste Schätzung bei der Routenplanung, wird der Fahrzeugtyp berücksichtigt, sowie die Straßentypen und deren Reisezeiten, die aus der zulässigen Geschwindigkeit und Extrazeit für Kreuzungen abgeleitet werden. Lässt die Nutzer*in ihre tatsächlich durchgeführte Reise von der App nachverfolgen (engl. tracken), dann können die Werte im Nachhinein noch einmal genauer bestimmt werden.

Nicht ganz so glatt ist die Berechnung bei der Nutzung des öffentlichen Verkehrs. Hier lieferte die ViP Durchschnittswerte für Busse und Trams. Es wurde diskutiert, welcher Besetzungsgrad für Fahrzeuge angenommen werden soll: Etwa ein Durchschnitt abhängig von der Tageszeit? Oder immer Vollbesetzung, da der Fahrgast keinen Einfluss auf die Anzahl Mitreisender hat und nicht dafür „bestraft“ werden soll, weil z.B. nachts die Busse leerer sind? Für den Einsatz in der *juu*-App hat sich das Konsortium auf 80% als Besetzungsgrad geeinigt.

Um den Lerneffekt möglichst einfach zu gestalten, wurde zu ermittelten Verbindungen nicht die absoluten Emissionswerte angegeben, sondern die CO₂-Ersparnis im Vergleich zur gleichen Start-Ziel-Beziehung, mit einem Durchschnitts-PKW zurückgelegt. Um die Nutzer*innen nicht zu frustrieren, wurde also nicht mit Verbräuchen gearbeitet, sondern mit Ersparnissen.

Zur Ökobilanzierung in der *juu*-App in Zusammenhang mit Gamification-Ansätzen fand ein zweiwöchiger öffentlicher Test statt. Proband*innen ließen ihre täglichen Wege tracken und konnten je genutztem Verkehrsmittel, einschließlich Zu-Fuß-Gehen, sogenannte Klima-Coins sammeln. Dabei wurde die jeweilige CO₂-Ersparnis zugrunde gelegt. Angesammelte Klima-Coins konnten gegen ViP- und Miles-Gutschein eingelöst werden oder an ausgewählte, gemeinnützige Projekte in Potsdam gestiftet werden.

Zusätzliche Klima-Coins konnten über das Erreichen zeitlich begrenzter „Challenges“ gesammelt werden, wie z.B. 50 km Rad in x Tagen oder ein Wochenende nur mit dem ÖPNV.

Bemerkenswert sind die Antworten der Proband*innen bei der abschließenden Befragung: Auf die Frage, „**Haben die Anreize Ihr Mobilitätsverhalten innerhalb der zwei Wochen beeinflusst**“ antworteten 50% mit „ja“ und 50% mit „nein“. Jeder zweite hat also auf die Anreize und/oder den Wettbewerbscharakter reagiert.

Auf die Frage „**Können Sie sich vorstellen, dass ein solches Anreizsystem langfristig zu einer nachhaltigeren Mobilität beitragen kann?**“ haben immerhin 66% mit „ja“ geantwortet und nur 8% mit „nein“. Der Rest war unsicher.

Mitwirkung bei Umfragen und öffentlichen Tests

Das DLR-Team hat des Weiteren unterstützt bei öffentlichen Befragungen im Bornstedter Feld und bei Werbeaktionen für den *juu*-On-Demand-Verkehr im Vorfeld und während des Realbetriebs.

Living-Lab-übergreifende Arbeiten

Cottbusverkehr plante und realisiert im Projekt neue on-demand-verkehrende Nachtbusse. Sie sollen drei Nachtlinienbusse ersetzen. Dabei können Fahrgäste an vorhandenen Haltestellen in definierten Einsatzgebieten ein- und aussteigen. Die Reihenfolge der Haltestellen ist nicht fest vorgegeben. Die Route der Busse wird anhand der eingehenden Anfragen dynamisch zusammengestellt. In Potsdam, im Bornstedter Feld wurde ein ähnlicher On-Demand-Shuttle-Verkehr im Projekt realisiert. Hier gab es keine festen Haltestellen, außer die angebundenen Tram-Haltestellen.

In Cottbus sowie in Potsdam ergeben sich damit bei einer digitalen Einbindung in eine MaaS-Plattform die gleichen Probleme: Diese On-Demand-Verbindungen müssen reserviert werden, d.h. in der Auskunft müssen Reservierungsschnittstellen hinterlegt sein. Da sowohl die ViP als auch Cottbus Verkehr (CoV) im VBB-Verbund eingegliedert sind, wurden Gespräche mit der IVU und Vertretern des VBBs geführt, inwieweit die man diese Schnittstellen vereinheitlichen kann. Der On-Demand-Verkehr des CoV sollte über die VBB-Auskunftsapp beauskunftbar und reservierbar sein. Das DLR hat die On-Demand-Disposition als Backendsystem für den Betrieb im Bornstedter Feld bereitstellt und die Entwicklung der Schnittstellen im Cottbusser Living-Lab mitverfolgt. Für Cottbus gab es eine spezielle Anbindung über die IVU-Systeme und die HAFAS-Auskunft. Die Cottbusser Lösung war deutlich später fertig und ließ sich mit dem Ansatz im Living-Lab Potsdam nicht vereinheitlichen. Trotzdem soll eine einheitliche Anforderung für reservierungspflichtige Angebote Dritter im VBB-Angebot im Auge behalten werden.

Verwertbarkeit und Nutzen der Ergebnisse

Die im Projekt MaaS L.A.B.S. erzielten technischen Weiterentwicklungen, wie z.B. die Emissionsberechnung und -darstellung, werden auch noch in Zukunft als nützliches Werkzeug benötigt werden. Auch am Thema des intermodalen, sinnvollen Routings über unterschiedliche Mobilitätsanbieter arbeitet das DLR weiter. Zusammen mit gewonnenen Erfahrungen aus den öffentlichen Tests in Potsdam wurden die Resultate bereits in Projektanträgen mit Schwerpunkt Mobilitätsveränderung und -verbesserung wiederverwertet.

Die Zusammenarbeit mit der Firma highQ wurde bereits in Folgeprojekten, wie GAIA-X 4 ROMS, Support und Remote-Operation automatisierter und vernetzter Mobility Services in der europäischen Cloud-Plattform, fortgesetzt.

Es laufen weitere Projektanträge mit lokalen Partnern im ländlichen und kleinstädtischen Umfeld, die auf den Erfahrungen aus MaaS L.A.B.S. aufsetzen.

Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Parallel mit dem Projektzeitraum wurde das Thema „Alle Mobilitätsangebote einer Region aus einer Hand“ insbesondere in den Großstädten weiterverfolgt, wie z.B. in Berlin durch Jelbi oder in Hamburg durch HVV-Switch. Eine sogenannte „Tiefenintegration“ mit einem Login und buchbaren Paketen wie in Abschnitt „MaaS-Pläne“ beschreiben ist den Autor*innen nicht bekannt.

Die Anzahl der On-Demand-Flotten im ländlichen Raum und am Stadtrand wächst. Die Integration oder der Anschluss an einen angrenzenden Linienverkehr ist aber oft nicht nahtlos für die Nutzer*innen. Mehr und mehr On-Demand-Flotten mit gesicherter Finanzierung, auch über Förderprojekte hinaus, sind während der Projektlaufzeit entstanden (Beispiel *ERZmobil* in Zwönitz).

Veröffentlichungen

- Artikel in Zeitschrift „Transforming Cities“, Ausgabe 4/2023:
Verhaltensveränderung durch Incentivierung und Gamification - Ein öffentlicher Test in Potsdam im Rahmen des Projekts MaaS L.A.B.S.
A. Sauerländer-Biebl, A. Michel, C. Berkes, K. Lange, J. Scherbarth, T. Wagner, T. Wanke
(angenommen, noch nicht veröffentlicht)
- Projektbroschüre *MaaS L.A.B.S. und das Living-Lab Potsdam*
(wird auf DLR-Seiten zugänglich sein, noch nicht veröffentlicht)
Anke Sauerländer-Biebl (DLR), Christian Berkes (FHP), Nikola Höffner (FHP), Katharina Lage (FHP), Antje Michel (FHP), Johannes Rummel (DLR), Johannes Scherbarth (ViP), Titus Wagner (highQ), Thomas Wanke (highQ)