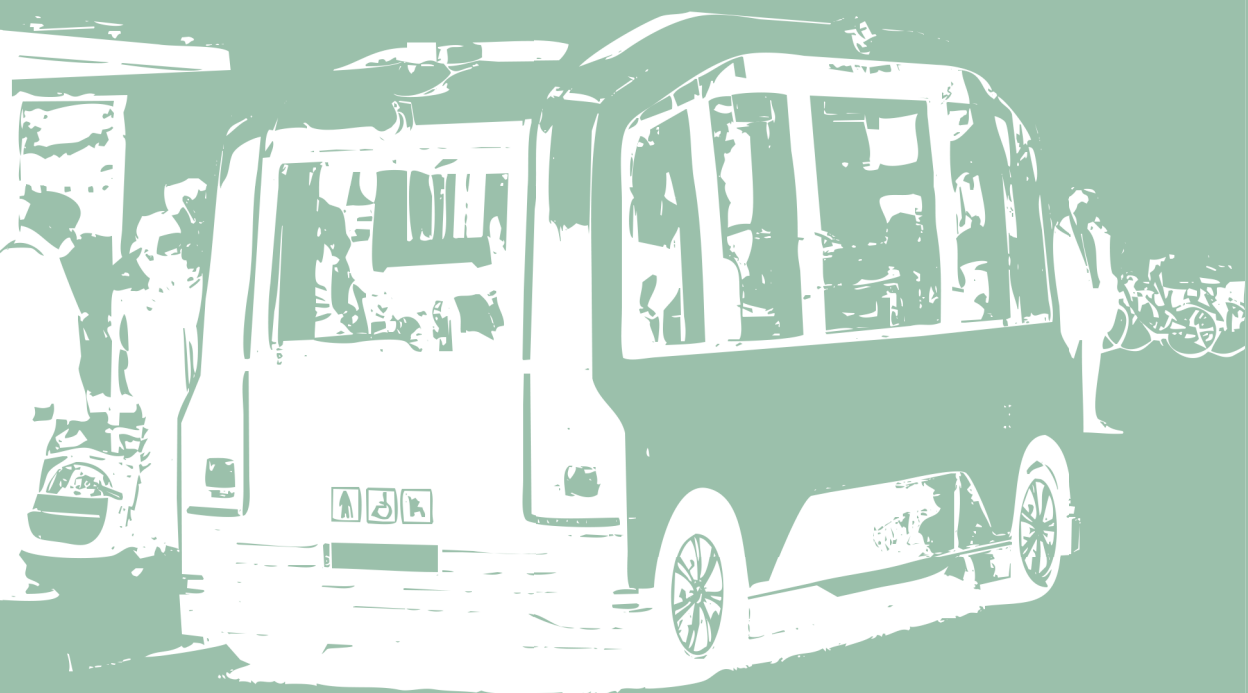



HANDBUCH

Einsatz automatisierter und vernetzter Fahrzeuge für den öffentlichen Verkehr







Darstellung relevanter Projektergebnisse des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Forschungsprojektes “Räumlich und zeitlich hochauflösende Evaluation und Optimierung automatisierter und vernetzter Bedienkonzepte im öffentlichen Verkehr” (AVÖV)

ZIELGRUPPE

Dieses Handbuch wendet sich an **Städte und Gemeinden**, an **Verkehrsunternehmen** ebenso wie an **privatwirtschaftliche Betreiber von neuen Mobilitätsangeboten** – insbesondere vor dem Hintergrund, dass diese Akteure die wesentlichen Entscheidungen über eine nachhaltige, klimagerechte Mobilität treffen. Zugleich spricht dieses Handbuch aber auch die **interessierte Bevölkerung** an: Gerade vonseiten der Bürger*innen können praxisnahe und wichtige Anstöße kommen, um die oft festgefahrenen Diskussionen zur Umsetzung zeitgemäßer und bedarfsge-rechter Mobilität in den Ballungszentren ebenso wie im ländlichen Raum zu beleben.

> INHALT

	Begriffserklärungen	S. 6
1.	EINFÜHRUNG	S. 8
2.	TECHNISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE ENTWICKLUNGEN	S. 10
	Vollautomatischer Fahrzeugbetrieb	
	Digitalisierung	
	Elektromotoren	
	Homeoffice	
	AUSWIRKUNGEN	S. 11
	Konsequenzen für Bürger*innen	
	Konsequenzen für Politik und Verwaltung	
	Konsequenzen für Verkehrsunternehmen	
3.	NEUE MOBILITÄTSKONZEPTE, NACHHALTIGKEIT UND DIE VERKEHRSWENDE.....	S. 14
	Verlagerung von Wegen auf den ÖPNV	
	Technische Verbesserung der Fahrzeuge: elektrischer Betrieb	
4.	NEUE MOBILITÄTSKONZEPTE IN DER PRAXIS	S. 17
5.	PLANUNG NEUER MOBILITÄTSKONZEPTE	S. 22
	Allgemeiner Planungsprozess	
	Raumspezifische Besonderheiten	
	Auswirkung neuer Bedienkonzepte auf Gesellschaft, Stadtstruktur und Raumnutzung	
6.	MODELLGESTÜTZTE VORSTUDIEN	S. 31
	Abschätzung von Nachfragepotenzialen	
	Dynamische und agentenbasierte Verkehrssimulation mit MATSim	
	Modellierung von "Mobility-as-a-service"	
	Regulierungsrahmen	
	Relevante Input-Kenngrößen: Zahlungsbereitschaften	
	Relevante Analyse-Kenngrößen	
7.	UMSETZUNG VON PILOTPROJEKTEN	S. 44
8.	FAZIT / SCHLUSSBEMERKUNG	S. 46
	Literatur- und Abbildungsverzeichnis	S. 50
	Kontext und Ansprechpartner	S. 54

› Begriffserklärungen

Agenten	in der Simulation individuell betrachtete Personen oder Fahrzeuge
AVÖV	automatisierter und vernetzter öffentlicher Verkehr; auch Akronym des Forschungsprojektes "Räumlich und zeitlich hochauflösende Evaluation und Optimierung automatisierter und vernetzter Bedienkonzepte im öffentlichen Verkehr"
Bediengebiet	räumliche Abgrenzung, innerhalb derer Fahrgäste von Fahrzeugen eines Fahrdienstes eingesammelt bzw. abgesetzt werden können
Dispatch	Zuordnung, welches Fahrzeug welche Fahrgastfahrten in welcher Reihenfolge bedienen soll
DRT	demand responsive transit: Nachfrageabhängiger öffentlicher Personenverkehr. In diesem Handbuch bezieht sich DRT auf neue, flexible, bedarfsabhängige ÖV-Angebote wie vernetzte Sammeltaxis, Ridehailing und Ridepooling und nicht auf die heutigen Anrufli-entaxis und Rufbusse mit ihren Vorbestellzeiten von meist 30 min oder mehr.
MIV	motorisierter Individualverkehr (Pkw, Motorrad, ...)
ÖV	(konventioneller) öffentlicher Verkehr
ÖPNV	(konventioneller) öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	(konventioneller) öffentlicher Personenverkehr
Pooling	siehe Ridesharing
Ridehailing	Fahrdienst mit oder ohne geteilte Fahrten; meist Bestellung der Fahrzeuge mittels Smartphone-Anwen-dungen ohne lange Vorbestellzeiten
Ridepooling	siehe Ridesharing

Ridesharing	Fahrdienst mit geteilten Fahrten; durch Bündelung von Beförderungswünschen teilen sich Personen mit unterschiedlichem Start- und Zielort gleichzeitig dasselbe Fahrzeug
Sammeltaxis	Fahrdienst mit geteilten Fahrten
Simulationslauf	Modellgestützte Berechnung der erwarteten Verkehrsnachfrage und des erwarteten Verkehrsablaufes für eine bestimmte Einstellung der Eingangsgrößen
Vehicle Sharing	Teilen eines Fahrzeugs innerhalb verschiedener Fahrten durch verschiedene Personen
Taxi	Fahrdienst, der Einzelpersonen oder eine Gruppe von Personen mit identischem Start- und Zielort bedient



1. EINFÜHRUNG

Vor dem Hintergrund des Klimawandels gerät der motorisierte Individualverkehr (MIV) mehr und mehr unter Druck, die mit ihm verbundenen CO₂-Emissionen der Verbrennungsmotoren zu reduzieren: In den vergangenen 30 Jahren ist es trotz aller Anstrengungen nicht gelungen, die durch die Mobilität entstehenden CO₂-Emissionen zu reduzieren – im Gegenteil! Vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Politik steht zu befürchten, dass die beschlossenen Klimaziele auch nicht bis 2030 erreicht werden: Bis dahin sollten die CO₂-Emissionen des Verkehrs im Vergleich zu 1990 um ca. 40% sinken. Dies entspricht dem deutschen Klimaschutzplan 2050 und den im Pariser Klimaschutzabkommen vereinbarten Zielen für das Jahr 2050. Der öffentliche

Personennahverkehr mit Bus und Bahn, der Rad- und Fußverkehr, das Car Sharing sowie alternative Antriebe wie die Elektromobilität sollten dieses ermöglichen. Die Bundesrepublik Deutschland ist von diesen Zielen weit entfernt: Zwar sind die Fahrzeuge allgemein ein wenig umweltfreundlicher geworden, sie stoßen auch weniger Schadstoffe aus, doch der Anstieg des Verkehrsaufwands hat diese Gewinne wieder wettgemacht.¹ Die CO₂-Emissionen des PKW-Verkehrs haben dementsprechend sogar leicht zugenommen und tragen bisher nichts zum Klimaschutz bei.

Die COVID-19-Pandemie hat im Jahr 2020 den Primärenergieverbrauch hierzulande voraussichtlich erheblich

¹ Vgl. UBA (2020)

gesenkt (minus 8,7 %²) und die CO₂-Emissionen dementsprechend um ca. 7%³ reduziert. Das mag auf den ersten Blick ein Lichtblick sein, doch sollte dies nicht darüber hinwegtäuschen, dass alle Anstrengungen unternommen werden müssen, um die Mobilität grundsätzlich umweltverträglicher zu machen. Dafür muss der motorisierte Individualverkehr (MIV) radikal reduziert werden. Nur so werden die Klimaziele in Deutschland und weltweit entsprechend dem Pariser Klimaabkommen von 2015 erreichbar. Eine Reduzierung des MIV und den damit verbundenen Emissionen hat weitere positive Konsequenzen für die gesundheitliche Belastung der Bevölkerung in Ballungsräumen, die heute auch infolge von Feinstaub und Lärm erheblich eingeschränkt ist.

Die mit der Pandemie angestoßene Diskussion um die Neuordnung der Mobilität – sei es in der Stadt, sei es im ländlichen Raum – hat weite Kreise gezogen. Bilder von leeren Straßen führen vor Augen, wie sehr der individuelle Autoverkehr den öffentlichen Raum dominiert. Diese Erfahrungen gibt es gleichermaßen in der Stadt und auf dem Land. Und mehr noch: Die Pandemie hat gezeigt, dass das Homeoffice dazu führen kann, den ländlichen Raum wieder zu einem attraktiven Wohnstandort aufzuwerten. Diese Beobachtungen zeigen rückblickend überdeutlich, dass die Pandemie aufgedeckt hat, was vorher nur in Ansätzen erkennbar war.. Und mehr noch: Der MIV wird mehr und mehr zurückgedrängt, die aktive Mobilität (Radfahrer, Fußgänger, etc.) rückt allmählich in den Vordergrund. Der öffentliche Nahverkehr wird nicht mehr nur auf den Bus, die Straßenbahn, den Nahverkehrszug

oder die Regionalbahn beschränkt sein. Es werden neue Formen entwickelt werden, die den klassischen, bisher gewohnten ÖPNV ergänzen. Ein Teil davon sind autonome und vernetzte Fahrzeuge. Mobilität „on demand“, Ruftaxis oder vernetzte Sammeltaxis haben das unbedingte Potenzial, auch dem privaten Auto Konkurrenz zu machen.

Vor diesem Hintergrund sind auch die Diskussionen in verschiedenen Arbeitsfeldern und auf unterschiedlichen Ebenen zu betrachten, sowohl in Metropolregionen als auch im ländlichen Raum die Mobilität technisch neu auszurichten, organisatorisch anders zu strukturieren sowie die Inter- und Multimodalität zu stärken. Die Politik ist allerdings dazu aufgefordert, zusammen mit der jeweils zuständigen Verwaltung den Rahmen dazu schaffen. Die lokalen bzw. regionalen Verkehrsunternehmen sind wiederum dazu aufgerufen, die entsprechenden Angebote im öffentlichen Nahverkehr zu überprüfen und gegebenenfalls innovative, nachhaltige Elemente für eine multi- und intermodale Mobilität zu schaffen und so eine Verkehrswende anzustoßen. Nicht zuletzt können damit Impulse gegeben werden für neue urbane und rurale Mobilitätsmuster – und in der Folge mehr Lebensqualität in Stadt und Land. Sowohl technische als auch gesellschaftliche Entwicklungen können diesen grundsätzlichen Diskussionen neue Impulse geben.

² Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2020)

³ Vgl. UN Environment Programme (2020), S. XV



2. TECHNISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE ENTWICKLUNGEN

Die folgenden technischen und gesellschaftlichen Entwicklungen tragen zu einer Umgestaltung vorhandener Mobilitätsangebote bei.

VOLLAUTOMATISCHER FAHRZEUGBETRIEB

Es steht die Möglichkeit im Raum, dass Fahrzeuge künftig vollautomatisch betrieben werden können. Noch ist dieses eine langfristige Perspektive und es ist nicht zu erwarten, dass dies kurzfristig und ohne Übergang geschieht (siehe auch Kapitel 5). Da die durch Fahrer*innen bedingten Personalkosten bei Bussen häufig circa die Hälfte⁴ der

Gesamtkosten ausmachen, könnten derartige Mobilitätsangebote **dramatisch kostengünstiger** werden. Gleichzeitig müssten die durch Fahrer*innen bedingten Personalkosten nicht mehr auf möglichst viele Passagiere umgelegt werden, sodass **wenige große durch viele kleine Fahrzeuge** ersetzt werden können, welche dann z.B. Punkt-zu-Punkt Verbindungen anbieten können.

DIGITALISIERUNG

Mobilität und Verkehr werden zunehmend **digitalisiert** werden: Transportdienstleistungen können kurzfristig per App gebucht werden und zentrale

⁴ Vgl. Frank et al (2008) und Jefferies et al (2020)

Optimierungsalgorithmen können Flotten von Fahrzeugen in Echtzeit steuern. Diese neue Art des Betriebs geht mit gesteigertem Komfort und größerer Flexibilität einher, die bisherige MIV-Nutzer*innen dazu bringen könnten, dem öffentlichen Verkehr den Vorzug zu geben. Die in diesem Handbuch betrachteten neuen, flexiblen, nachfrageabhängigen Bedienungsformen im ÖV grenzen sich von den weniger flexiblen, klassischen, bisher existierenden Anrufsammeltaxis und Rufbussen ab. Diese erfordern meist eine Vorbestellzeit von mindestens 30 Minuten unterliegen häufig Einschränkungen auf bestimmte Abfahrtszeiten oder Fahrtrouten und sind meist mit dem Telefon, teilweise auch über eine Webseite, aber nur selten über eine benutzerfreundliche Smartphone-App buchbar. Die kurzfristige Buchung über eine App könnte Wartezeiten und Hemmschwellen zur Nutzung reduzieren.

ELEKTROMOTOREN

Gleichzeitig können diese Flotten recht einfach **elektrisch betrieben** werden. Falls fossil betriebene Fahrzeuge im Einsatz sind, so werden diese wegen höherer Laufleistungen sehr viel häufiger ausgetauscht. Die Ladeproblematik ist bei zentral gesteuerten Flotten oft einfacher lösbar als bei privat betriebenen Fahrzeugen, weil – vereinfacht gesagt – bei Entladung eines Fahrzeugs dies durch ein anderes ausreichend geladenes Fahrzeug ersetzt werden kann. Im Unterschied dazu muss beim privat betriebenen Fahrzeug in einer solchen Situation die Nachladung organisiert und abgewartet werden.

HOMEOFFICE

Die infolge von COVID-19 angestoßenen Verhaltensmuster, schon aus gesundheitlichen Gründen mehr im Homeoffice zu arbeiten, spiegelt sich auch in der Alltagsmobilität. Fragen der individuellen Gesundheit in dicht gedrängten Bahnen und Bussen und des Zeitverlustes infolge von gravierenden Verkehrsstörungen führen dazu, dass die Menschen darauf drängen werden, auch nach der Pandemie mehr im Homeoffice zu arbeiten. Generell geht man davon aus, dass das Reisezeitbudget auch bei Änderungen der Umstände - wie hier durch die Pandemie - konstant bleibt. Verringerter Arbeitsverkehr könnte beispielsweise durch steigenden Freizeitverkehr ausgeglichen werden. Dennoch kann man davon ausgehen, dass vermehrte Arbeit im Homeoffice den Verkehr zumindest in den Spitzenstunden entspannen kann. Das könnte allerdings auch zur Folge haben, dass bestimmte Grenzwerte unterschritten werden und die Wirtschaftlichkeit des öffentlichen Verkehrs infrage stellen. Dann rückt gegebenenfalls auch das in diesem Projekt im Mittelpunkt stehende System des AVÖV in den Vordergrund. Mobility on Demand wird damit ebenfalls eine neue Wertigkeit bekommen.

AUSWIRKUNGEN

Betrachtet man das Zusammenspiel der im vorangehenden Kapitel dargestellten Entwicklungen, haben diese durchaus das Potenzial, disruptive Wirkungen und unerwartet neue Ansätze zu entfalten: Im günstigen Fall führen die neuen

Möglichkeiten zu mehr Nachhaltigkeit, höherer Nutzung und geringeren Kosten für den Betrieb des ÖPNV. Im schlechten Fall können sie aber auch zu deutlich mehr „fossil“ zurückgelegten Fahrzeugkilometern, zu mehr Stau, und damit zu längeren Fahrzeiten führen als heute. Der überlegte und vernünftige Einsatz von neuen Mobilitätsoptionen sollte dazu genutzt werden, die oben genannten Entwicklungen positiv zu nutzen.

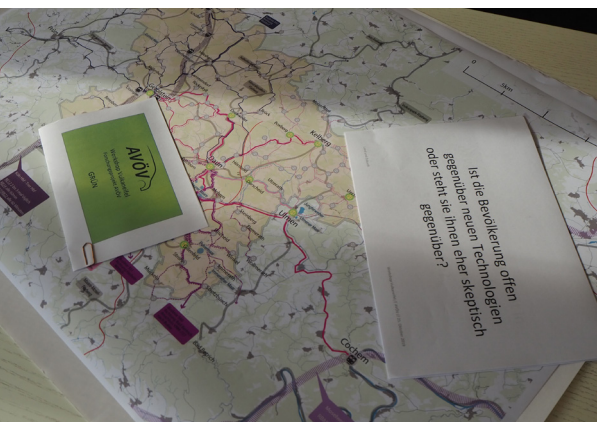


Abb. 1: Bürgerbeteiligung im Rahmen des AVÖV-Projekts (Bildquelle: eigene Darstellung)

KONSEQUENZEN FÜR BÜRGER*INNEN

Als potenzielle Gewinner*innen neuer, flexibler Mobilitätsangebote sollte es Anliegen der Bürger*innen sein, sich über **Beteiligungsprozesse** derart in den politischen Prozess einzubringen, damit individuelle Interessen berücksichtigt werden. Ein konkretes Ziel könnte beispielsweise sein, dass die oben dargestellten technischen und gesellschaftlichen Entwicklungen auf Seiten der Nutzer*innen zu Verbesserungen der verkehrlichen Daseinsvorsorge und/oder zu finanziellen Entlastungen führen.

Nicht im Interesse aller Bürger*innen ist es, wenn Anbieter neuer Mobilitätsangebote z.B. ausschließlich gewinnmaximierend vorgehen und dabei strukturschwache oder bevölkerungsarme, ländliche Regionen vernachlässigen. Genau aus diesem Grund ist das Engagement der Bevölkerung erforderlich, um an der Umorganisation und Neuausrichtung des öffentlichen Personenverkehrs mitzuwirken. Die Hoffnung besteht zudem darin, dass neue Mobilitätsformen leichter durch die Bevölkerung angenommen werden, wenn sie vor der Umsetzung in den Umgestaltungsprozess integriert und mit den Vor- und Nachteilen der neuen Systeme vertraut gemacht werden.

KONSEQUENZEN FÜR DIE POLITIK UND VERWALTUNG

Die größte Herausforderung für Politik und Verwaltung ist es, die oben dargestellten technischen und gesellschaftlichen Entwicklungen so zu kombinieren, dass die Potentiale genutzt werden können, um Mobilität im Sinne der Daseinsvorsorge zu gewährleisten, Klimaschutzziele zu erreichen und Verkehrsentwicklungspläne und damit die Interessen der Bürger*innen umzusetzen. Ein entscheidendes Mittel stellen dabei regulatorische Maßnahmen dar. Diese können sehr weitreichend sein und sich z.B. in Genehmigungsprozessen für neue Mobilitätsangebote oder in Form finanzieller Anreizwirkungen (Steuern, Subventionen) konkretisieren.

KONSEQUENZEN FÜR VERKEHRSUNTERNEHMEN

Auch Verkehrsunternehmen müssen sich auf mögliche grundlegende Auswirkungen des autonomen Verkehrs auf das bestehende System vorbereiten. Entgegen den ersten Visionen eines kompletten Ersatzes des konventionellen ÖV werden wahrscheinlich die mit Schienenverkehrsmitteln bedienten Verbindungen und stark nachgefragte Buslinien (ggf. in modifizierter Form) bestehen bleiben. Eine Abwicklung dieser Nachfrage mit kleinen autonomen Einheiten würde eher einem sogenannten 'Horizontalpaternoster' mit entsprechenden Überlastungen als dem uns bekannten Straßenverkehr gleichen. Dennoch wird ein kostengünstiges Punkt-zu-Punkt-Angebot eine Verlagerung vieler Fahrgäste weg vom klassischen ÖV auslösen. Um die Fahrgäste (und die Einnahmen) im System zu halten und ein nachhaltiges neues Produkt mit hoher Integration in den bestehenden ÖV zu etablieren, wird

es für Verkehrsunternehmen essenziell werden, sich frühzeitig mit dem Thema auseinanderzusetzen und das Feld nicht privaten Unternehmen zu überlassen.

Wenn sich Verkehrsunternehmen grundsätzlich als Mobilitätsdienstleister verstehen, liegen in der Digitalisierung und der zukünftigen Verbreitung autonomer Fahrzeuge große Chancen. Sie können die Entwicklung nutzen, um auf die Bedürfnisse und Wünsche potenzieller Fahrgäste zugeschnittene bessere Angebote zu gestalten. Mit der Anpassung konventioneller Angebote in Zeiten und Räumen schwacher Nachfrage und damit geringer Auslastungen im klassischen ÖV können sowohl Kostensenkungen realisiert als auch die Wünsche nach mehr Komfort erfüllt werden. Um die in diesem Handbuch besprochenen Potenziale zu nutzen, ist es wichtig, frühzeitig Erfahrungen zu sammeln. Dabei können von Verkehrsunternehmen durchgeführte Pilotprojekte helfen (siehe Kapitel 7).



3. NEUE MOBILITÄTSKONZEPTE, NACHHALTIGKEIT UND DIE VERKEHRSWENDE

Nachhaltigkeit im Mobilitätssektor lässt sich auf drei Strategien herunterbrechen: (1) Die **Vermeidung von Wegen**, (2) die **Verlagerung von Wegen** auf umweltfreundliche Verkehrsträger und (3) die **technische Verbesserung der Fahrzeuge**. Der in diesem Handbuch behandelte Verkehrsmodus gehört zum öffentlichen Verkehr und fällt damit in die zweite Strategie. Durch die angestrebte Antriebstechnologie - die Fahrzeuge sollen elektrisch fahren - finden sich auch Anteile der dritten Strategie in den Konzepten.

VERLAGERUNG VON WEGEN AUF DEN ÖPNV

Wege sollen möglichst mit umweltfreundlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden, so die zweite Strategie der nachhaltigen Mobilität. Der öffentliche Verkehr (ÖV) spielt hier eine große Rolle, denn er ist im Vergleich zu Verkehrsmodi wie Rad- und Fußverkehr in der Lage größere Distanzen zu überbrücken und erlaubt die Mitnahme größerer Objekte. Die Sicherung von Mobilität ist Bestandteil der Daseinsvorsorge, die Bereitstellung von öffentlichem Verkehr dadurch Aufgabe der Kommunen. Ob der ÖV jedoch als Mobilitätsoption von

der Bevölkerung angenommen wird, hängt von vielen Faktoren ab - nicht zuletzt davon, ob das bestehende Angebot den Bedürfnissen der (potenziellen) Nutzer*innen entspricht. Je nach Stadt, Region oder Bundesland bestehen unterschiedliche Herausforderungen in Bezug auf die Nutzerfreundlichkeit und den Komfort des ÖVs. Fest steht jedoch, dass für das existierende System das Potenzial zur Optimierung besteht. Vernetzt fahrende Sammeltaxis können eine Option sein, den ÖV in dieser Hinsicht zu verbessern.

Wie oben bereits erwähnt, stehen je nach Situation und Ort unterschiedliche Fragen und Möglichkeiten der Verbesserung der ÖV-Angebots zur Diskussion. In Kapitel 5 befindet sich eine Beschreibung der im Forschungsprojekt behandelten Beispielräume und die im Projekt gefundenen Ansatzpunkte und Lösungsmöglichkeiten. Fest steht, dass Sammeltaxis, wie sie hier behandelt werden, in unterschiedlichen Räumen mögliche Defizite ausgleichen und jeweils spezifische Bedarfe ansprechen können. Vernetzte bzw. auch automatisierte oder autonome Mobilität mit Kleinbussen kann beispielsweise als Zubringer für den konventionellen ÖV, vor allem U- oder Stadtbahn betrieben werden. Auch bietet sich ein Betrieb in Zeiten und an Orten an, bei denen durch geringe Nachfrage die Wirtschaftlichkeit großer Fahrzeuge nicht gegeben ist.

Die Option, ein Fahrzeug individuell zu bestellen und von "Tür zu Tür" nutzen zu können, kann im Idealfall das eigene Auto ersetzen. Damit entspräche der AVÖV-Betrieb genau der zweiten Strategie. Weitere Möglichkeiten sind sowohl

Abhol- als auch Bring-Fahrten im privaten Kontext, die der hohen Flexibilität der Systeme entsprechen.

Es bestehen jedoch auch Verlagerungseffekte, die man im Auge behalten muss, wenn nachhaltige Mobilität gefördert werden soll. Die umweltfreundlichsten Verkehrsarten, das Fahrrad und das Zufußgehen gilt es zu fördern. Verlagerungen von diesen beiden Verkehrsarten auf den ÖPNV sind nicht im Sinne der Nachhaltigkeit. Genauso steht auch der Umstieg von den klassischen Massenverkehrsträgern U-Bahn, Straßenbahn und Bus auf die hier behandelten Sammeltaxis der Idee der nachhaltigen Mobilität entgegen. Im Vergleich zu den Sammeltaxis sind diese Verkehrsträger normalerweise umweltfreundlicher. Weitere Gründe für die Vermeidung solcher negativer Verlagerungseffekte sind zudem die individuellen Gesundheitsvorteile durch die Nutzung aktiver Verkehrsmodi und die Gestaltung und Nutzung des öffentlichen Raums. Sammeltaxis können ein bestehendes ÖPNV-Netz um einen hochflexiblen und effizienten Service ergänzen, sie stehen dadurch aber in Konkurrenz mit anderen, umweltfreundlicheren Modi.

Technische Verbesserung

Verlagerung von Wegen

Vermeidung von Wegen

Abb. 2: Die 3 Strategien der nachhaltigen Mobilität (Bildquelle: eigene Darstellung)

TECHNISCHE VERBESSERUNG DER FAHRZEUGE: ELEKTRISCHER ANTRIEB

Die hier behandelten Fahrzeugflotten werden als Teil des Öffentlichen Verkehrs betrachtet. Damit unterliegen sie der Regulierung durch den Aufgabenträger. Per Regulierung kann ein hoher elektrischer (oder allgemeiner: CO₂-freier) Fahrzeuganteil vorgeschrieben werden. Da gleichzeitig die Fahrleistungen solcher Flottenfahrzeuge viel höher sind als diejenige von Privatfahrzeugen, werden sie auch häufiger ausgetauscht. Dies ermöglicht es, Innovationen schneller zu folgen, weil solche, wenn es bezahlbar bleiben soll, in aller Regel zusammen mit einem Austausch der Fahrzeuge erfolgen.

Wie oben bereits erwähnt, reduziert sich bei vollautomatischen Fahrzeugen eine mögliche Ladeproblematik, weil die Fahrzeuge selbstständig zu Ladestationen fahren können. Wenn die Fahrzeuge als Flotte betrieben werden, kann der Betreiber auch die Ladestationen managen. Dies vermeidet räumliche und zeitliche Überlastungen und hilft, die Flotte jeweils vor Belastungsspitzen voll aufzuladen. Dieses ermöglicht es, solche Flotten ausschließlich mit vollelektrischen Fahrzeugen zu betreiben. Das gilt auch für Situationen, die für Elektroautos im Privatbesitz Probleme darstellen können. Der Betreiber kann sich beispielsweise darauf verlassen, dass sich am jeweiligen Zielort eine verfügbare Ladestation befindet.



4. NEUE MOBILITÄTSKONZEPTE IN DER PRAXIS

Es ist bereits heute zu beobachten, dass **neue Mobilitätsdienstleistungen** angeboten werden, die aufgrund ihrer Attraktivität Reisende von allen anderen Verkehrsmitteln gewinnen, einschließlich vom öffentlichen Verkehr. Während dieser Trend in Deutschland noch nicht stark auftritt, gibt es außerhalb von Deutschland Regionen und Städte, in denen private Fahrdienst-Vermittler wie Uber und Lyft zunehmend mit gut ausgebauten ÖPNV-Angeboten in Konkurrenz treten. Ein prominentes Beispiel hierfür ist New York City, wo seit dem Jahr 2017 die Anzahl der U-Bahn- und Busfahrgäste gegenüber den Vorjahren abnahm⁵ und gleichzeitig die Nutzung von Fahrdienst-Vermittlern

stark zunahm⁶. Aber auch sehr viel kleinere Städte - wie beispielsweise die kanadische Kleinstadt Innisfil - zeigen derartige Phänomene. Dort verzichtet die Stadt im Jahr 2017 auf den Aufbau eines eigenen Busbetriebs und hat einen Vertrag mit Uber abgeschlossen. Das Unternehmen erhält für jede von ihm vermittelte (ggf. geteilte) Fahrt im Stadtgebiet einen Zuschuss von der Stadt und soll so als kostengünstiger Ersatz eines traditionellen ÖPNV-Systems dienen. Mittlerweile ist die Nachfrage so groß, dass eine maximale Anzahl bezuschusster Fahrten je Nutzer eingeführt wurde und das ursprünglich geplante Budget überschritten wurde.

⁵ Vgl. MTA (2020)

⁶ Vgl. Schaller (2018), S. 7ff

In Deutschland sind in den letzten Jahren verschiedene Pilotprojekte umgesetzt worden, in denen **öffentliche Verkehrsunternehmen mit**

Fahrdienstleitern kooperieren und ergänzend zum fahrplangebundenen Verkehr On-demand Mobilitätsdienstleistungen anbieten.

APP-GESTÜTZTE BEDARFSVERKEHRE MIT KOOPERATION ZWISCHEN ÖFFENTLICHEN VERKEHRСУNTERNEHMEN UND FAHRDIENST-UNTERNEHMEN

Für Bedarfsverkehre mit App-Unterstützung gibt es mittlerweile eine Reihe von Projekten in Deutschland, wovon einige hier beispielhaft aufgeführt sind:⁷

Name / Ort	Betriebszeit	Betriebsform	Tarif	Besonderheiten
„Netliner“ Monschau	2016 -	Vollflexibler Rufbus, reguläre und Rufbus-Haltestellen	Verbundtarif des Verkehrsverbunds	-
„myBus“ Duisburg	2017 -	Vollflexibler Rufbus, Tür-zu-Tür	Verbundtarif des Verkehrsverbunds	Betriebszeit Freitag- und Samstagnacht sowie sonntags ganztägig
„Reallabor Schorndorf“ Schorndorf	2018 - 2019	Vollflexibler Rufbus, reguläre und virtuelle Haltestellen	Verbundtarif des Verkehrsverbunds	Betriebszeit Freitagnachmittag bis Sonntagabend anstelle der Linienbusse, auch telefonische Buchung
„ILSE Bus“ Peenetal / Loitz, Jarmen / Tutow	2017 -	Vollflexibler Rufbus, reguläre Haltestellen	regionaler Bustarif	-
„EcoBus“ Bad Gandersheim	2018 - 2018	Vollflexibler Rufbus, Tür-zu-Tür	Verbundtarif des Verkehrsverbunds	Betriebszeit nur während der Bad Gandersheimer Domfestspiele

⁷ Die Beispiele stammen z.T. aus einer Auflistung im Nahverkehrsplan Berlin 2019-2023 (Vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (2020), S. 304f)

„SSB Flex“ Stuttgart	2018 -	Vollflexibler Rufbus, virtuelle Haltestellen	besonderer Tarif, Rabatt für Zeitkarten-Besitzer	SSB-Flex-App zeigt alle verfügbaren ÖPNV-Angebote sowie Kombinationen von konventionellem ÖPNV und Rufbus
„MVG IsarTiger“ München	2018 -	Vollflexibler Rufbus, Start an regulären Haltestellen, Ziel virtuelle Haltestellen ⁸	zunächst kostenlos	-
„BerlKönig“ Berlin, östliche Innenstadt	2018 -	Vollflexibler Rufbus, reguläre und virtuelle Haltestellen	Unabhängiger Tarif	Näheres zum Projekt im Kapitel 7.
“KEXI” Kelheim	2020 -	Vollflexibler Rufbus, reguläre Haltestellen	Unabhängiger Tarif	Betriebszeit nur Montag bis Samstag 6.00 - 21.00 Uhr
“RMV On-Demand-Shuttle” Rhein-Main-Verkehrsverbund ⁹	2021 (geplant) -	Keine Angabe	Aufpreis zum Verbundtarif des Verkehrsverbunds	elektro- oder wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, über mehrere Landkreise und Kommunen hinweg
“Bussi” Kerngebiet rund um die Essener Innenstadt	2021 (geplant) -	Vollflexibler Rufbus, reguläre und virtuelle Haltestellen	Unabhängiger Tarif zw. VRR-Tarif und Taxi-Gebühren, Rabatt für Ruhrbahn Abo-Kunden	-

Alle in der Tabelle genannten Beispiele werden bzw. wurden von lokalen Verkehrsunternehmen betrieben, in wenigen Fällen jedoch in Kooperation mit einem externen Partner wie z.B. ViaVan in Berlin und ioki im Rhein-Main-Verkehrsverbund.

⁸ Vgl. MVG (o.J.)

⁹ Vgl. Ioki GmbH (2020)

Auch **ohne direkte Kooperation** mit öffentlichen Verkehrsunternehmen haben unterschiedliche Unternehmen On-demand-Mobilitätsangebote in verschiedenen Städten betrieben, z.B. Clever-Shuttle, allygator/door2door und MOIA. Einige dieser Fahrdienstunternehmen haben zudem gleichzeitig in verschiedenen Städten Dienstleistungen in direkter Kooperation mit den öffentlichen Verkehrsunternehmen angeboten.

In den letzten Jahren sind zudem verschiedene Pilotprojekte umgesetzt worden, in denen **automatisierte Fahrzeuge** eingesetzt werden. In einigen Anwendungen erfolgt der Betrieb dieser Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen und steht Nutzer*innen kostenfrei zur Verfügung. Der Betrieb beschränkt sich meist auf einen kurzen Korridor von weniger als 2 km mit einem Geschwindigkeitsniveau zwischen ca. 10 bis 20 km/h. Weitere Infos hierzu finden sich unter: <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/AVF-Forschungsprogramm/>.

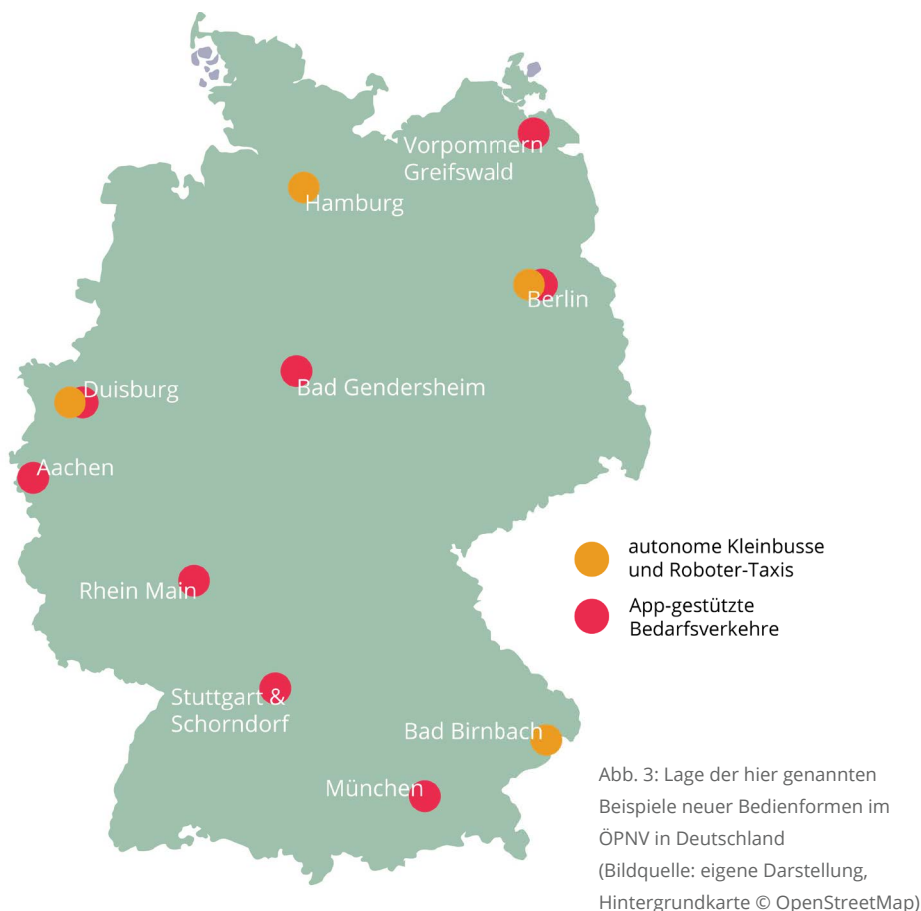


Abb. 3: Lage der hier genannten Beispiele neuer Bedienformen im ÖPNV in Deutschland (Bildquelle: eigene Darstellung, Hintergrundkarte © OpenStreetMap)

AUTONOME KLEINBUSSE UND ROBOTER-TAXIS

Bisher werden „autonome Kleinbusse“ als Shuttle über kurze Distanzen mit geringer Geschwindigkeit (meist unter 20 km/h) auf festgelegten Routen erprobt. Dabei steuert das Fahrzeug meist selbstständig, es ist aber noch eine Begleitperson anwesend, die bei Problemen eingreifen kann und die Fahrt überwacht. Derartige Projekte sind bspw.:¹⁰

Name / Ort	Betriebszeit	Betriebsform	Befahrene Straßen
„Smartshuttles“ Sitten (Schweiz) ¹¹	2016 -	Linienbetrieb	Öffentlicher Straßenraum in der Altstadt
EUREF-Campus in Berlin-Schöneberg	2016 -	Bedarfslinienbe- trieb	halböffentlich: nur EUREF- Campus
Bad Birnbach	2017 -	Linienbetrieb	öffentlich
Charité / Virchow-Kli- nikum ¹²	2018 -	Linienbetrieb	halböffentlich
Neuhausen (Schweiz)	2018 -	Linienbetrieb	Öffentlich, im normalen Straßenverkehr
„See-Meile“ Berlin- Tegel ¹³	2019 -	Linienbetrieb	Öffentlich, im normalen Straßenverkehr
„HEAT“ Hafencity Hamburg ¹⁴	2020 -	Linienbetrieb	Öffentlich, im normalen Straßenverkehr

Es ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren automatisierte Fahrzeuge verstärkt auch in der Fläche und im Kontext App-gestützter On-demand-Mobilitätsangebote eingesetzt werden. Es ist im übrigen davon auszugehen, dass sich raumspezifisch höhere Geschwindigkeitsniveaus realisieren lassen und sich damit die Attraktivität entsprechender Anwendungen signifikant steigern lässt.

¹⁰ Die Beispiele stammen z.T. aus einer Auflistung im Nahverkehrsplan Berlin 2019-2023 (Vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (2020), S. 302f)

¹¹ Vgl. PostAuto (o.J.)

¹² Vgl. Charité CFM Facility Management GmbH (o.J.)

¹³ Vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (o.J.)

¹⁴ Vgl. Hamburger Hochbahn AG (2021)



5. PLANUNG NEUER MOBILITÄTSKONZEPTE

ALLGEMEINER PLANUNGSPROZESS

Die Ziele der Verkehrsplanung sind es, die Mobilität aller Teile der Bevölkerung zu sichern und den Verkehr so verträglich wie möglich abzuwickeln. Verkehrsplanung folgt dabei immer auch den jeweils politisch gesetzten Rahmenvorstellungen bezüglich der gewollten zukünftigen Entwicklung.

Der klassische Prozess der Verkehrsplanung besteht aus fünf aufeinanderfolgenden Phasen: Vororientierung, Problemanalyse, Maßnahmenuntersuchung, Abwägung und Entscheidung sowie Umsetzung und Wirkungskontrolle. Diese Phasen laufen zwar hauptsächlich nacheinander ab, dennoch sind

Planungsprozesse nie gänzlich linear. Rückgriffe und Anpassungen finden statt. Die Wirkungskontrolle als letzter Schritt beeinflusst beispielsweise alle vorhergehenden Schritte.

Wird die Einführung eines automatisierten und vernetzt fahrenden Mobilitätsangebots angestrebt, ergeben sich in allen fünf Schritten Besonderheiten. Die Ergebnisse von Vororientierung und Problemanalyse können mögliche Chancen für einen solchen Einsatz in der untersuchten Region aufzeigen. Eine Abfrage und Analyse der Nachfrage der Mobilität ist dabei grundsätzlich sinnvoll. Im Rahmen einer Maßnahmenuntersuchung bietet sich die Durchführung modellgestützter Vorstudien (siehe Kapitel 6) an,

um die Funktionsweisen im lokal vorhandenen Kontext zu prüfen.

Geht es um die Einführung neuer Mobilitätsangebote, die wie automatisiert fahrende Fahrzeuge auch viele technische und betriebliche Besonderheiten und Bedürfnisse haben, müssen die beteiligten Institutionen und Akteure bei den Planungen – besonders in der Phase der Abwägung und Entscheidung – unbedingt mit einbezogen werden. Die Planer*innen müssen zudem das neu einzuführende Angebot in den Gesamtkontext der bestehenden Netze und Systeme einordnen und die Kompatibilität prüfen. Das gilt besonders auf Routen

mit schon bestehenden, ähnlichen Angeboten, wie Anrufsammeltaxis oder Bürgerbusse.

In der heutigen Situation müssen neben dem klassischen Prozess der Verkehrsplanung auch andere Aspekte wie zum Beispiel aus der Stadt- und Raumplanung beachtet werden. Gerade beim Thema „automatisiertes Fahren“ muss ein Fokus auf die Information und Beteiligung der Bevölkerung gerichtet werden. Eine umfangreiche Einbeziehung der Bevölkerung kann ein Projekt wie das in dieser Publikation beschriebene unterstützen und Hemmungen und Skepsis abbauen.

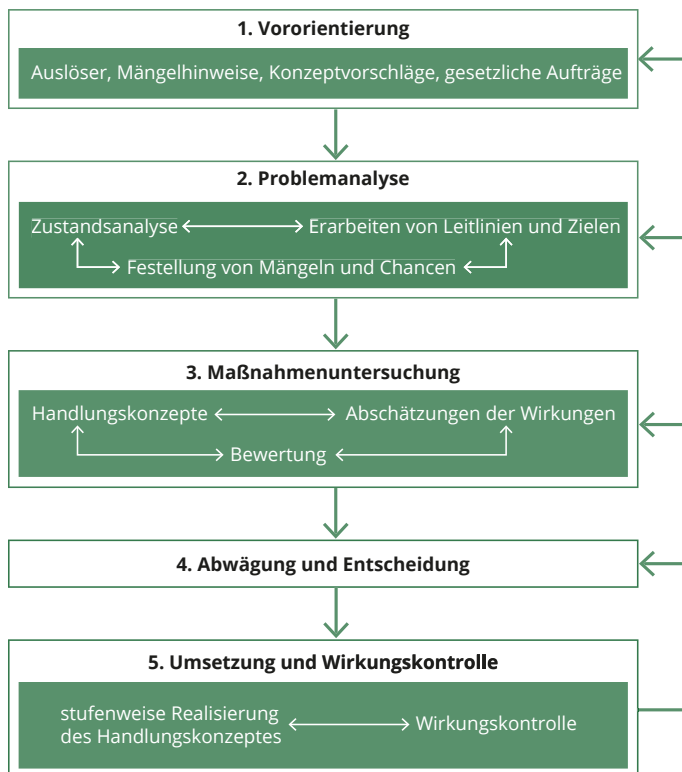


Abb. 4: Schematische Darstellung des klassischen Planungsprozesses (Bildquelle: eigene Darstellung auf Basis von FGSV e.V. 2001, S.15)

Gerade bei der Einführung der hier behandelten Mobilitätsangebote besteht auch die Notwendigkeit, das Fahrpersonal vor dem Einsatz zu schulen.



Abb. 5: Berliner Innenstadt: Untersuchungsgebiet des Pilotprojekts im AVÖV-Projekt (Bildquelle: WikiCommons)

Besteht die Möglichkeit, ist eine Einführung als zeitlich befristetes Pilotprojekt zu empfehlen. Eine solche Umsetzung hat zahlreiche Vorteile gegenüber einer Umsetzung im normalen Planungsprozess:

- Mit einem zeitlich begrenzten Projekt kann Skepsis bei den Beteiligten Institutionen abgebaut werden. Die Voraussicht auf ein Ende des Projekts führt zu mehr Offenheit gegenüber Projekten.
- Die Umsetzung eines Pilotprojekts kostet einen Bruchteil der Einführung eines realen, dauerhaften Projekts. Zudem kann es die Möglichkeit einer Unterstützung des Pilotprojekts durch Fördermittel geben.

- In einem Pilotprojekt können verschiedene Optionen des Betriebs getestet werden. Die erhöhte Flexibilität erlaubt es, neue Fragestellungen mit relativ kurzem Planungsvorlauf umzusetzen. Dies kann beispielsweise auch den Test unterschiedlicher Fahrpreis-Optionen beinhalten. Zur erfolgreichen Umsetzung gehört bei der Durchführung verschiedener Tests auch die Kommunikation mit den (potenziellen) Nutzer*innen.
- Während eines Pilotprojekts kann die Nachfrage nach dem neuen Angebot erhoben werden. Zusätzlich ist auch die Befragung der Nutzer*innen bezüglich ihrer persönlichen Bedürfnissen und Meinungen möglich. Das Pilotprojekt gewährt so einen wertvollen Einblick in das Mobilitätsverhalten sowie die Wünsche, Anregungen und Kritik künftiger Nutzer*innen.
- Zeitliche Begrenzung baut Skepsis bei der Bevölkerung ab. Die potenziellen Nutzer*innen können das Angebot ausprobieren und sich mit ihm vertraut machen. Allerdings hat sich in verschiedenen Projekten herausgestellt, dass eine Durchführungsdauer von mindestens einem Jahr zu empfehlen ist. Während dieser Zeit ist es möglich, das neue Angebot bei allen Wetterlagen und auch bei saisonal spezifischen Wegezwecken zu nutzen.

Dennoch sollte ein Pilotbetrieb in wichtigen Punkten schon dem geplanten Betrieb entsprechen. Dies betrifft beispielsweise die Servicequalität, aber auch das Fahrzeug und die Linienführung,

die zumindest teilweise der geplanten Linienführung gleichen sollte. Das Pilotprojekt soll es allen Beteiligten (Verkehrsunternehmen, Politik und Verwaltung, Bevölkerung) ermöglichen, sich ein genaues Bild von der geplanten Maßnahme zu machen. Unterscheidet sich das Pilotprojekt in essenziellen Punkten vom real geplanten Projekt, verfehlt es seinen Zweck.

Zu beachten ist außerdem, dass auch bei einem Pilotprojekt bestimmte Faktoren besonders wichtig sind. Dazu zählt beispielsweise die konkrete Festsetzung der Ziele, die mit dem Piloten erreicht werden sollen. Ebenso müssen das Gebiet und der Zeitrahmen festgelegt werden. Eine erfolgreiche Durchführung des

Pilotprojekts kann durch eine Kommunikationsstrategie und Transparenz bezüglich der Ziele, Bedingungen, Festsetzungen und Ergebnisse unterstützt werden. Zum Abschluss bedarf es einer umfangreichen Evaluation, die schon während der Durchführung durch ein Monitoring vorbereitet werden kann. Ein erfolgreiches Pilotprojekt kann für alle Beteiligten einen wichtigen Einblick in einen realen Betrieb eines neuen Mobilitätsangebots geben und für die Planung und Umsetzung des Gesamtprojekts wertvolle Daten und Erfahrungen bringen.

RAUMSPEZIFISCHE BESONDERHEITEN

Nicht jedes Mobilitätsangebot ist gleich gut für jeden Raum geeignet. Verschiedene lokale Gegebenheiten verlangen unterschiedliche Lösungen, um die Mobilität zu sichern und den Verkehr so verträglich wie möglich abzuwickeln. Im Forschungsprojekt wurde der Einsatz von automatisierten, vernetzten Sammeltaxis in drei verschiedenen Untersuchungsgebieten modelliert, die beispielhaft für drei Raumtypen in Deutschland gelten können:

- Die Berliner Innenstadt als Teil einer Metropole
- Gladbeck im Ruhrgebiet als Mittelstadt
- Der Landkreis Vulkaneifel als ländlicher Raum

Die drei Untersuchungsgebiete unterscheiden sich bezüglich ihrer Raum- und Bebauungsstruktur, ihrer Bevölkerungsdichte und der bereits vorhandenen Verkehrsinfrastruktur. Auch die Bevölkerung unterscheidet sich im Hinblick auf das Alter, die ethnischen Hintergründe und den ökonomischen Status. Das durchschnittliche Mobilitätsverhalten und die alltäglichen Mobilitätsbedürfnisse unterscheiden sich ebenfalls in den drei Gebieten.

Ein Einsatz der oben genannten Sammeltaxis kann, angepasst an die örtlichen Gegebenheiten und die Bedürfnisse der Bevölkerung, unterschiedliche Aufgaben erfüllen. In einer Metropole, in der bereits ein dichtes ÖPNV-Netz besteht, können Sammeltaxis das System in den

Zeiten ergänzen, in denen der ÖPNV mit niedrigerer Taktung fährt. In einer Mittelstadt ergänzt AVÖV den bestehenden ÖPNV als Zubringer zu Massentransportmitteln wie Stadtbahn oder Tram. Im Gegensatz zur ÖPNV-affinen Bevölkerung einer Großstadt ist die Bevölkerung auf dem Land auf ihr eigenes Auto bzw. Bring- und Abholdienste im privaten Kontext angewiesen. Dies spiegelt sich in den Quoten für PKW-Besitz, der im Vergleich zwischen den beiden anderen Raumtypen auffällt. In diesem Fall kann AVÖV den bestehenden ÖPNV vor allem für diejenigen ergänzen, die kein eigenes Auto besitzen. Damit spricht AVÖV im ländlichen Raum vor allem Personen jüngerer und höheren Alters an.

Wie oben beschrieben können die Sammeltaxis in jedem der drei unterschiedlichen Untersuchungsgebiete unterschiedliche Aufgaben erfüllen. In diesem



Abb. 6: Gladbeck, eines der Untersuchungsgebiete
(Bildquelle: Wiki Commons)

Handbuch können nur beispielhaft für die drei oben genannten Raumtypen Aussagen über die Herangehensweise und die Potenziale von Sammeltaxis gemacht werden. In den folgenden Absätzen werden Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt bezüglich der Herangehensweise in den beiden Untersuchungsgebieten Gladbeck (Mittelstadt) und Vulkaneifel (ländlicher Raum) vorgestellt. Auf den dritten Untersuchungsraum, Berlin, in dem ein Pilotbetrieb stattfand, wird in Kapitel 7 ausführlich eingegangen. Andere Raumtypen ebenso wie Varianten innerhalb der drei behandelten Raumtypen werden sich diesbezüglich unterscheiden. Wird die Umsetzung eines Sammeltaxi-Angebots geplant, müssen jeweils fallspezifische Untersuchungen durchgeführt werden.

Im Fall Gladbeck hat sich herausgestellt, dass die optimalen Bedienegebiete nicht vor administrativen Grenzen Halt machen. So kann es sein, dass sich ein potenzielles Bedienegebiet als zu groß oder zu klein für einen bedarfsorientierten oder wirtschaftlichen Betrieb herausstellt. Für Gladbeck besteht zusätzlich die Besonderheit der Lage im Ruhrgebiet mit ineinander übergehenden städtischen Siedlungsgebieten. Hier muss die Möglichkeit gegeben sein, nach ersten Versuchen Anpassungen vorzunehmen. Im Planungsprozess und bei den beteiligten Institutionen und Akteuren bedarf es dafür einer hohen Offenheit und Flexibilität. Auch aus diesem Grund bieten sich modellgestützte Vorstudien an (siehe Kapitel 6). Mit ihrer Hilfe können derartige ortsspezifische Aspekte herauskristallisiert und Lösungsansätze gefunden werden.

In ländlichen Räumen wie der Vulkaneifel bestehen oft schon Ergänzungsformen des konventionellen ÖPNV. Soll dort ein Sammeltaxi-Angebot in einem bestehenden ÖPNV-Netz eingeführt werden, muss den bereits bestehenden Sonderformen öffentlicher Verkehrsangebote Rechnung getragen werden. Besonders in ländlichen Räumen können die ÖPNV-Netze komplex sein und beispielsweise Modi wie Anrufsammeltaxis oder Bürgerbusse beinhalten. In solchen Fällen gilt es, diese besonderen Realitäten des ÖPNV in Vorstudien zu integrieren. Nur so können nutzbare Modelle erstellt und mögliche Potenziale und Anwendungsbereiche der hier besprochenen Sammeltaxis herausgefunden werden. Neue Sammeltaxis können in Betrieb und Nutzung in Konkurrenz zu anderen Verkehrsangeboten treten. Hier bietet sich die vorläufige Umsetzung in einem Pilotprojekt an (siehe Kapitel 7). Während des gesamten Prozesses ist eine gute Kommunikation zwischen allen Beteiligten und der Bevölkerung notwendig. So können besondere Bedürfnisse, Skepsis, Anregungen und Kritik geäußert und Kompromisse gefunden werden. Geht es an die Umsetzung, kann eine schrittweise Einführung sinnvoll sein. Existieren im Umsetzungsgebiet beispielsweise bereits Anrufsammeltaxis, können diese als ein erster Schritt durch vernetzte Sammeltaxis relativ einfach ersetzt werden. In weiteren Schritten folgen die Linien von Kleinbussen und wenig stark



Abb. 7: Landkreis Vulkaneifel, der dritte Untersuchungsraum (Bildquelle: WikiCommons)

genutzten Buslinien. Im Idealfall können Sammeltaxis im ländlichen Raum ein effizientes Bussystem ergänzen und so einerseits zu mehr Fahrkomfort führen und andererseits auch zu niedrigeren Betriebskosten beitragen.

Ziel soll es sein, ein möglichst effizientes und nutzer*innenfreundliches ÖPNV-Gesamtangebot zu schaffen. Sammeltaxis können Teil eines solchen Angebots sein, ihre Konzeption und mögliche alternative Umsetzungen gilt es jedoch während des Planungsprozesses zu prüfen. Die Modellierungsergebnisse für die oben genannten Untersuchungsgebiete Gladbeck und Vulkaneifel sind auf einer im Rahmen des AVÖV-Projektes erstellten Website visualisiert und öffentlich zugänglich (<https://vsp.berlin/avoev>)

Über die QR-Codes in diesem Handbuch gelangen Sie auf die Ergebniswebsite des Forschungsprojekts.



AUSWIRKUNGEN NEUER BEDIENKONZEPTE AUF GESELLSCHAFT, STADTSTRUKTUR UND RAUMNUTZUNG

Aus Gründen der Nachhaltigkeit, aber auch aus ökonomischen Gründen bieten sich neue Bedienformen wie die hier besprochenen vernetzten Sammeltaxis als Ergänzung des bestehenden, konventionellen ÖPNV an. In unterschiedlichen räumlichen Strukturen können sie jeweils vorhandene Angebotslücken füllen oder sogar ganz den Besitz eines eigenen PKW ersetzen. In Bezug auf die COVID-Pandemie und die damit einhergehenden Nutzungsrückgänge in den Massenverkehrsmitteln Bus, Straßenbahn und U-Bahn können Sammeltaxis in angepasstem Betrieb (z.B. mit weniger Fahrgästen, eingehaltenen Abständen und regelmäßiger Reinigung der Fahrzeuge) ebenfalls Vorteile haben.

Obwohl autonome Mobilität schon seit einigen Jahren in aller Munde ist, wird die Umstellung des Fahrzeugpools noch längere Zeit dauern. Die Automatisierung und "Autonomisierung" des ÖPNV liegt jedoch näher als die Entwicklung und Zulassung bzw. der damit verknüpfte Austausch privater PKWs. In Bezug auf das private autonome Fahren wird oft das Risiko angeführt, dass die effiziente Nutzung der Fahrzeit dazu führen kann, dass diese Zeit nicht mehr als negativ angesehen wird. Dadurch kann es sein, dass längere Strecken im Alltag, zum Beispiel als Arbeitsweg, akzeptiert werden. Dies kann unter Umständen zu einer weiteren Zersiedlung der Siedlungsstrukturen und zu längeren Pendlerstrecken führen.

Nicht nur der gestiegene Flächenverbrauch und die schädlichen Umweltfolgen des zusätzlichen Verkehrs können als ungewollte Konsequenzen einer solchen Entwicklung angeführt werden. Darüber hinaus haben mehrere Studien nachgewiesen, dass regelmäßige lange Pendlerstrecken die Gesundheit negativ beeinflussen.

Dieses Risiko entfällt beim ÖPNV insofern, als die Nutzung der Fahrzeit für andere Aktivitäten heute schon möglich ist. Zwar kann in einem Bus, einer Straßenbahn oder einer U-Bahn nicht jede Tätigkeit durchgeführt werden, die etwa in einem privaten autonomen Sammeltaxi möglich wäre (z.B. Telefon- und Videokonferenzen, private Gespräche), aber die Fahrzeit im konventionellen ÖPNV wird schon heute aktiv genutzt. Wenn in Zukunft der konventionelle ÖPNV beispielsweise mehr und mehr mit WLAN ausgestattet wird, wird es zunehmend Möglichkeiten geben, die Zeit in Bus oder Bahn produktiv zu nutzen.

Ob automatisierter oder autonomer ÖPNV dieselben Folgen im Hinblick auf Siedlungsentwicklung und Verkehrsgenerierung haben wie privater autonomer Verkehr, bleibt zu erforschen.

Ein weiteres Vorteil des konventionellen ÖPNVs ist die offene Nutzungsmöglichkeit. Um den ÖPNV zu nutzen, muss man keinen Führerschein und kein eigenes

Auto (oder Fahrrad) besitzen. Dadurch steht der ÖPNV vielen Bevölkerungsgruppen offen, die keine Möglichkeit haben, andere Verkehrsmittel zu nutzen. Oft sind Kinder und Jugendliche ebenso auf den ÖPNV angewiesen wie ältere Menschen, die eventuell aus gesundheitlichen Gründen nicht mehr Autofahren wollen oder sollen. Die Hemmschwelle des Ticketpreises ist für beide Altersgruppen zusätzlich niedriger, wenn auf sie und ihre Bedürfnisse zugeschnittene Angebote wie Schüler- und Seniorentickets entwickelt werden. Der ÖPNV ist auch für Personen wichtig, die in Haushalten leben, in denen nur ein PKW vorhanden ist, der beispielsweise von einem Familienmitglied täglich für den Arbeitsweg benötigt wird. Auch können mit dem ÖPNV größere Strecken zurückgelegt werden als mit dem Fahrrad und es können Gepäck und Einkäufe ohne großen Aufwand mitgenommen werden. Der ÖPNV ist wichtiger Teil der Daseinsvorsorge, die vonseiten der Kommunen der Bevölkerung zur Verfügung gestellt wird. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit stehen die ÖPNV-Angebote vieler Gemeinden jedoch unter Druck; das Angebot wird daher oft auf das absolute Minimum verringert und es bildet sich ein Teufelskreis aus noch weniger Nutzer*innen und einem weiter verringerten Angebot.

Die in diesem Handbuch besprochenen Sammeltaxis können durch ihren flexiblen Einsatz und zukünftig eventuell autonomen Betrieb diesen Teufelskreis durchbrechen. Sie nehmen damit den Weg, den schon bestehende Mobilitätsangebote auf Anrufbasis nehmen, haben aber eine erhöhte Effizienz durch ihre Vernetzung. Die Vorteile des ÖPNV



Abb. 8: Barrierefreiheit ist auch bei Sammeltaxis notwendig und inzwischen technisch machbar. (Bildquelle: Pexels)

bleiben bestehen. Einzubeziehen sind auch die entfallenden langen Wege zu Haltestellen, wenn die Sammeltaxis bis an die Haustür kommen. Für Ältere, Personen mit Gepäck oder Kinder wird das ÖPNV-Angebot dadurch noch komfortabler. Selbst bei einem Betrieb mit festgelegten Haltestellen können Sammeltaxis ein engeres Netz bedienen als konventionelle, größere Fahrzeuge des ÖPNV. Die Funktion als Teil der Daseinsvorsorge kann durch kommunale Unternehmen oder entsprechende Verträge mit Betreibern gesichert werden.

Generell kann eine erhöhte Nutzung von Angeboten des ÖPNV dazu führen, dass insgesamt weniger PKW auf den Straßen unterwegs sind. Diese Verlagerungen vom MIV auf den ÖPNV - unabhängig von den jeweiligen Bereichen des ÖPNV - sind aus Gründen der Nachhaltigkeit zu begrüßen. Bei einer geringeren Nutzung von privaten PKW kann mit der Zeit auch davon ausgegangen werden, dass sich die Zahl der parkenden PKW verringern

wird. Dieser ruhende Verkehr ist besonders in Städten ein großes Problem, denn hier parkt ein großer Prozentsatz der Autobesitzer den Wagen im öffentlichen Raum. Im ländlichen Raum besteht diese Problematik nicht in solch großem Maße, da dort die meisten Haushalte über Garagen oder Carports auf den Grundstücken verfügen. Dennoch nimmt auch hier der ruhende Verkehr zum Beispiel in Ortszentren oder im Umkreis von Institutionen wie Schulen oder Krankenhäusern Teile des öffentlichen Raums in Anspruch. Sind weniger Autos fahrend oder parkend auf den Straßen, können andere Verkehrsteilnehmer*innen, wie Fußgänger*innen, Fahrradfahrer*innen und der ÖPNV mehr Platz einnehmen. Der öffentliche Raum würde gerechter verteilt, die negativen Folgen des motorisierten Verkehrs würden verringert und die Lebensqualität der Anwohner*innen würde verbessert. Von einem solchen Erfolg würden im Idealfall auch die neuen Bedienformen profitieren, denn mit weniger PKW-Verkehr hätten auch diese mehr Straßenraum und könnten vermutlich störungsfreier und noch effizienter fahren.



6. MODELLGESTÜTZTE VORSTUDIEN

ABSCHÄTZUNG VON NACHFRAGEPOTENZIALEN

Die Nachfrage im Verkehr besteht typischerweise aus Punkt-zu-Punkt Verbindungen zu bestimmten Zeiten. Individualverkehr wie zu Fuß gehen, das Fahrrad oder das Auto erfüllen dies recht gut. Motorisierte Individualverkehrsmittel führen insbesondere in Ballungsräumen zu einer Überlastung des Straßenraums. Massenverkehrsmittel wie Busse und Bahnen erfordern immer eine Bündelung, und damit mehrfach unterbrochene Wege wie "Zugang – Busfahrt zum Bahnhof – Bahnfahrt – ...". Nachfragepotenziale für fahrerlose Shuttles, wie hier betrachtet, entstehen also mindestens aus folgenden Gründen:

1. Es findet bereits eine Fahrt von A nach B zum Zeitpunkt T statt, aber sie würde durch einen fahrerlosen Shuttle besser (also schneller/preiswerter/bequemer/...) bedient. Hier würde also ein **Verkehrsmittelwechsel** stattfinden.
2. Es findet derzeit keine solche Fahrt statt, sie würde also neu entstehen. Dies wird in der verkehrlichen Literatur als **induzierte Nachfrage** teilweise kontrovers diskutiert.

Um modellgestützt die Auswirkungen eines neuen Angebots an fahrerlosen Shuttles auf die Verkehrsnachfrage zu modellieren und zu messen, sind gewisse Anforderungen an das Verkehrsmodell gegeben.

Im Modell müssen unter anderem die folgenden Aspekte dargestellt werden:

- Multimodale Nachfrage: Verkehrsnachfrage für zumindest die Hauptverkehrsmittel Auto, ÖPNV, Fahrrad und zu Fuß
- Dynamische Nachfrage: Verkehrsnachfrage im Tagesverlauf
- Tagesgänge je Verkehrsmittel
- Einzelweg-Nachfrage von A nach B zum Zeitpunkt T
- Die einzelnen Wege in räumlich hoch aufgelöster Form: Hierbei spielen die Umsetzung und Auswirkungen der Zu- und Abgangswege (resp. deren Wegfallen) sowie zusätzliche Wartezeiten für die Bewertung eines Weges eine wesentliche Rolle

Agentenbasierte Verkehrsmodelle erfüllen aufgrund ihres Modellierungskonzeptes (d.h. das personenfeine Abbilden einer Bevölkerung und ihrer Wegeketten-basierten Nachfrage) diese Anforderungen. Für die modellgestützten Vorstudien wird die Verkehrssimulationssoftware MATSim¹⁵ verwendet.

DYNAMISCHE UND AGENTENBASIERTE VERKEHRSSIMULATION MIT MATSIM

MATSim wird von der TU Berlin in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich entwickelt. MATSim-Modelle sind detaillierte, räumliche und zeitliche Abbilder des Verkehrs und deren Verkehrsnachfrage einer Region im Computer, wobei die gesamte Infrastruktur sowie die Bevölkerung in statistisch hoher Auflösung repräsentiert werden. So sind zum Beispiel alle Gebäude/Baublöcke modelliert, ebenso Straßenabschnitte, Haltestellen, Bahnhöfe, Busse, Trams und Züge mitsamt dem gesamten Fahrplan. Alle wohnhaften Personen sind als synthetisches Abbild in hoher räumlicher und demografischer Auflösung repräsentiert und agieren als autonome Individuen (sogenannte «Agenten») in der Simulation, die ihren Tag bestreiten: Sie gehen zur Arbeit oder zur Ausbildung, gehen Einkaufen oder verbringen ihre Freizeit an unterschiedlichen Orten. Dazu nutzen sie das gegebene Verkehrsangebot (Auto, öffentlicher Verkehr, das Fahrrad oder zu Fuß). Ganz nach dem Motto »Carpe Diem« optimiert

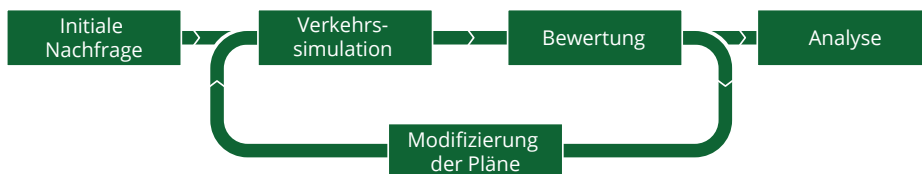


Abb. 9: Iterationsschleife (Bildquelle: eigene Darstellung)

¹⁵ Multi Agent Transport Simulation, <https://matsim.org>

jede Person dabei ihren Tag: Sie maximiert ihre Zeit für Aktivitäten (zum Beispiel Einkaufen) und minimiert dabei Zeiten und Kosten für die Wege. Der Ansatz beinhaltet eine iterative Schleife (siehe Abb. 9 auf Seite 32), welche die Schritte

1. Aktivitätenbasierte Nachfragemodellierung,
2. Verkehrsflusssimulation,
3. individuelle Bewertung der simulierten individuellen Verkehrsnachfrage und
4. Umplanen der Agenten beinhaltet.

Das wiederholte Ausführen dieser Iterationsschleife ermöglicht, dass sich die Agenten über viele Iterationen verbessern, bis ein stabiler Zustand erreicht ist.

Für die Anwendung ist es notwendig, den "Basisfall" zu erstellen - also ein möglichst reales Abbild der aktuellen

Verkehrsnachfrage. Die Senozon betreibt seit einigen Jahren ein MATSim-Basismodell für ganz Deutschland. Somit steht für die Vorstudien ein "Off-The-Shelf"-Modell für die zu untersuchenden Regionen zur Verfügung.

Damit die Simulation das typische Mobilitätsverhalten der Bevölkerung widerspiegelt, basiert das Modell auf sehr detaillierten und qualitativ hochwertigen Eingangsdaten. Diese werden teils jährlich nachgeführt, um das Modell auf dem aktuellen Stand zu halten. Zur Validierung der Simulation werden zudem Drittdaten (z.B. Querschnittszählungen an Straßenabschnitten oder Reisezeitverteilungen nach sozioökonomischen Gruppen) mit den Modell-Resultaten kalibriert und validiert. Somit liefert das Mobilitätsmodell eine räumlich, zeitlich, demografisch und soziodemografisch hoch aufgelöste Verkehrsnachfrage.

METHODEN DER VERKEHRSMODELLIERUNG

Die Modellierung der aktivitätenbasierten Nachfrage geschieht in 4 grundlegenden Schritten und wird anschließend mit der «Relaxierung» der Mobilitätsnachfrage im Sinne einer Rückkopplung von Nachfrage und Angebot abgeschlossen.

ANGEBOTSMODELLIERUNG

Als Erstes wird das Angebot des Untersuchungsgebiets erstellt:

Aktivitätenangebot: Die Grundlage bilden die Microm-Geodaten zu Arbeitsplätzen, Zentrentypologie und POI/

POS auf Haus-, Straßenabschnitts- und PLZ-Ebene. Die Ausbildungsstandorte basieren auf Openstreetmap. Die Daten werden auf 20,5 Millionen Gebäude detailliert abgebildet.

Straße: Im Modell wird das gesamte Straßennetz (Navigationsnetz) abgebildet inkl. den entsprechenden Verkehrskenngrößen (max. Geschwindigkeit, Anzahl Fahrspuren etc.)

ÖPNV: Der gesamte Fahrplan wird fahrtenfein im Modell abgebildet (Züge, Busse, Trams, Schiffe).

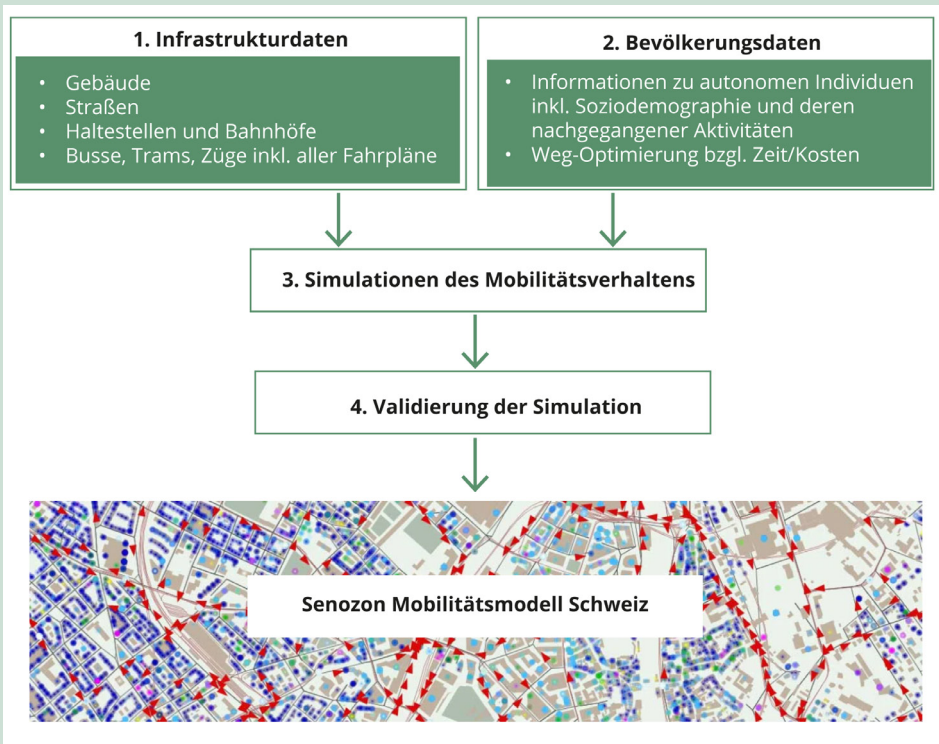


Abb. 10: Modellerstellung (Bildquelle: eigene Darstellung auf Basis von Senozon AG (2020), <https://senozon.com/modell-aufbau>)

MODELLIERUNG DER BEVÖLKERUNG

Im nächsten Schritt wird die Bevölkerung am Wohnort auf Basis von Register- und Strukturserhebung (Microm-Daten) als Agenten modelliert mit der entsprechenden Vielfalt an demografischen und soziodemografischen Attributen. Diese «synthetische Bevölkerung» ist ein statistisch repräsentatives Abbild der realen Wohnbevölkerung eines Untersuchungsgebiets. Die Randsummen von demographischen Merkmalen (z.B. Altersverteilung) pro Raumeinheit (PLZ) der Region entsprechen bestmöglich den realen Randsummen. Das Synthetisieren der Bevölkerung innerhalb der Raumeinheit geschieht durch Minimierung des Fehlerterms der Randsummen im n-dimensionalen Merkmalsraum. Typische Methoden hierzu sind IPF («Iterative Proportional Fitting»), «Bayesian networks» u.a. Ergänzend können so generierte synthetische Personen durch weitere Erhebungsmerkmale angereichert werden (räumlich und/oder nach Merkmalsklassen), für die es typischerweise keine vollumfängliche Randsummenstatistiken gibt (z.B. Nutzungstypisierungen).

AKTIVITÄTEN-BASIERTE NACHFRAGE

Folgend wird für jede verhaltenshomogene Gruppe eine Aktivitätenkette (die Abfolge der Aktivitäten eines Werktages) aus den Aktivitätenketten-Verteilungen von Mobilitätsbefragungen zugewiesen. Diese Zuweisung geschieht gewichtet nach den Gruppen und der räumlichen Nähe.

Die Grundlagen der Aktivitäten-basierter Nachfrage liefern typischerweise

Mobilitätsbefragungen wie die MiD¹⁶ oder SrV¹⁷, bei denen die Befragten ihren Tagesablauf eines bestimmten Stichtags berichten - zusammen mit ausführlicher Beschreibung der demografischen und soziodemografischen der Person. Dies liefert zwar ein sehr detailliertes Bild der Verkehrsnachfrage verschiedener Bevölkerungsgruppen, hat aber andererseits den Nachteil, dass nur ein sehr kleiner Teil der Bevölkerung befragt werden kann und dies typischerweise nur alle 5 bis 10 Jahre.

Hier bieten anonymisierte Auswertungen auf der Grundlage der Mobilfunkdaten die Möglichkeiten, diese Einschränkungen in der Form von «Quasi-Befragungen» möglichst aktuell und in sehr großer Zahl täglich zu analysieren. Die Senozon hat dazu in den letzten Jahren ein Verfahren zur Erkennung und Anonymisierung von Aktivitätenketten auf der Basis der Signalisierungsevents von Mobilfunkgeräten entwickelt, das für die Modellierung der aktivitätenbasierter Nachfrage für das hier verwendete Basismodell zur Anwendung kam. Die Details dieses Verfahrens («Mobility Pattern Recognition», MPR) sind im Whitepaper «Mobility Pattern Recognition (MPR) und Anonymisierung von Mobilfunkdaten» einzusehen.¹⁸

WAHL DER AKTIVITÄTEN-STANDORTE ("ZIELWAHL")

Typischerweise werden zur Ermittlung von primären (Arbeit und Ausbildung) und sekundären (Einkauf, Freizeit) Aktivitäten Kombinationen aus Gravitations- und Zeitbudgetmodellen verwendet.¹⁹ Da hier jedoch das MPR-Verfahren angewendet wurde, liefert dieser - zusätzlich

¹⁶ Vgl. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (o.J.)

¹⁷ Vgl. TU Dresden. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr (o.J.)

¹⁸ Vgl. Senozon (2020)

zu den oben beschriebenen Aktivitätsketten - dynamische Start-Ziel Matrizen. Dies erlaubt es, ein matrixbasiertes Zielwahlverfahren, auf der Grundlage der aktuell verarbeiteten Tage des MPR aus den Mobilfunkdaten, anzuwenden.

RELAXIERUNG: ERMITTLUNG DES NASH-EQUILIBRIUM (U.A. WAR-DROP-EQUILIBRIUM)

Diese ersten vier Schritte bilden den Rahmen der Relaxierung der Verkehrsnachfrage in MATSim. Auf der Grundlage einer co-evolutionären Optimierung werden Zeit-, Verkehrsmittel- und Routenwahl integrativ und synchron für die gesamte aktivitätenbasierte Nachfrage berechnet. Diese Nutzenoptimierung basiert grundsätzlich auf dem Vickery Modell²⁰, erweitert für die

aktivitätenbasierte Nachfrage²¹ mit zusätzlichen Erweiterungen für monetäre und sonstige (nicht-monetäre und nicht-zeitliche) Nutzenanteile.

Das Modell wird in diesen drei Dimensionen unter Verwendung von Verkehrs- und Fahrgastzählungen, Reisedistanz- und -zeitverteilungen pro Verkehrsmittel kalibriert und validiert, wobei zur Berechnung 25% der gesamten Agentenpopulation genutzt wird. Dazu wird eine Versuchsplanung im Parameterraum der Nutzenfunktion definiert und durch 50 bis 200 Modellläufe umgesetzt (je nach Modellkomplexität).

Das relaxierte und kalibrierte Modell bildet somit die Basis für die Auswertungen.

MODELLIERUNG VON "MOBILITY-AS-A-SERVICE"

Mittlerweile können einige Verkehrsmodellierungswerkzeuge auch "Mobility-as-a-service", also bedarfsabhängig verkehrende Verkehrsmittel wie Taxis, (geteilte) Sammeltaxis, Uber oder Rufbusse abbilden. Dazu gehört kommerzielle Software wie "PTV MaaS Modeller"²² und "Aimsun Ride"²³ sowie open-source-Software wie "SUMO"²⁴ (entwickelt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt) sowie das im Forschungsprojekt verwendete MATSim.

REGULIERUNGSRAHMEN

AVÖV-Systeme können sowohl eigenwirtschaftlich als auch gemeinwirtschaftlich betrieben werden. Vereinfacht gesagt bedeutet *eigenwirtschaftlich* "ohne Zuschuss" und *gemeinwirtschaftlich* "mit Zuschuss".* Die eigenwirtschaftlich betriebenen Fahrzeuge differenzieren sich in Mietwagen und Taxen. Mietwagen haben keine Beförderungspflicht, müssen dafür jedoch, wenn sie keinen Auftrag haben, zum Betriebssitz zurückkehren. Bei Taxen ist es umgekehrt.

¹⁹ Vgl. unter anderem Horni et al (2021) und Pendyala et al (2002)

²⁰ Vgl. Vickrey (1963)

²¹ Vgl. Charypar, Nagel (2005)

²² Vgl. PTV (2019)

²³ Vgl. Aimsun (2020)

²⁴ Vgl. SUMO (2021)

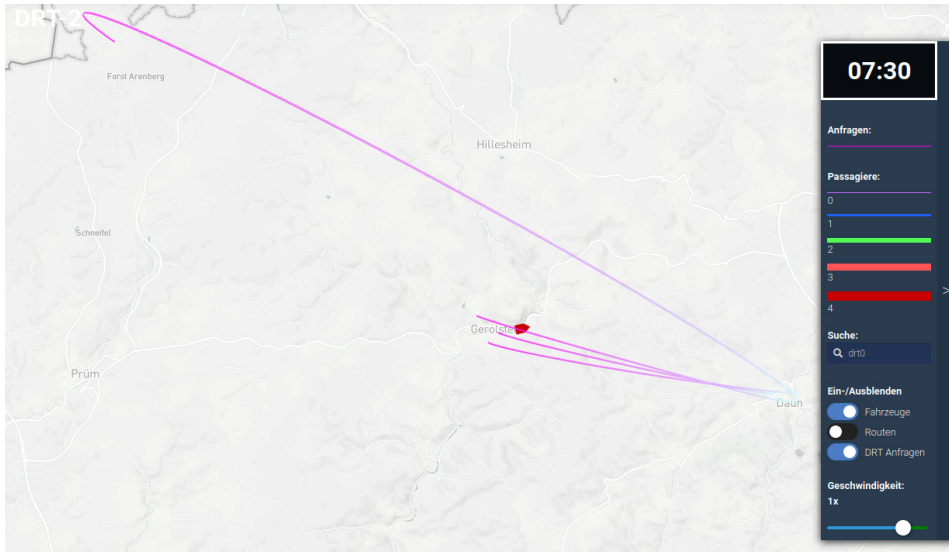


Abb. 11: Visualisierung der Fahrzeug- und Fahrgastbewegungen. Dargestellt ist ein Fahrzeug mit seiner Position auf dem Straßennetz und als Kurven vom Startort zum Zielort die 4 Fahrgäste, die sich das Fahrzeug teilen. (Bildquelle: eigene Darstellung, Hintergrundkarte © Mapbox, © OpenStreetMap)

Im Sinne dieser Klassifizierung handelt es sich bei Anbietern wie Uber um Mietverkehr. Die Fahrzeuge müssen also, wenn sie keinen Auftrag haben, zum Betriebssitz zurückkehren. Dies dient der Abgrenzung zum Taxiverkehr, weil ansonsten die Mietverkehre alle unattraktiven Beförderungen ablehnen und sie an die Taxen abschieben könnten, ohne dadurch einen Nachteil zu erfahren. Unter Umweltgesichtspunkten jedoch ist die Rückkehrpflicht offensichtlich kontraproduktiv, weil sie zusätzliche Fahrzeugkilometer erzeugt. Heutige Pilotprojekte werden z.T. als atypischer Linienverkehr gemäß Experimentierklausel § 2 Abs. 7 in Verbindung mit § 42 PBefG konzessioniert, die jedoch zeitlich begrenzt ist und keine Dauerlösung darstellen kann. Offenbar muss hier gesetzlich nachgesteuert werden, vergleiche z.B. das Projekt Easyride in München.²⁵ Die derzeit geplante Novellierung des

Personenbeförderungsgesetzes reagiert auf dieses Problem, schafft es aber nach jetzigem Stand nicht aus der Welt.

In den Simulationen wurde für die Sammeltaxis von einer Beförderungspflicht ausgegangen, da sie als Teil des öffentlichen Verkehrs betrachtet werden, die z.B. auch schlecht ausgelastete Buslinien

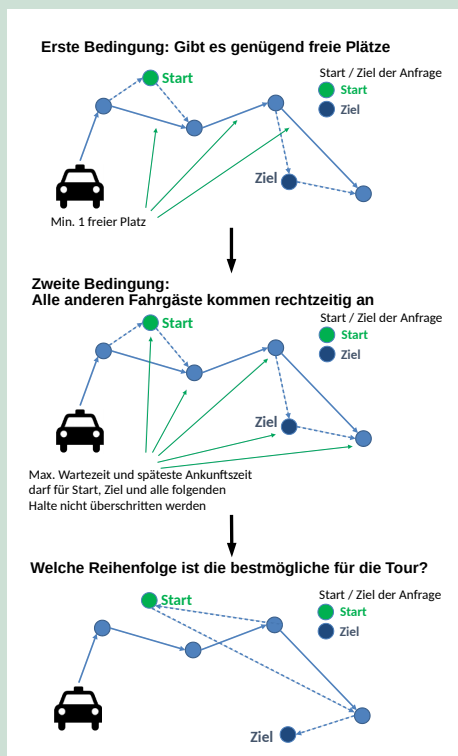
* "Eigenwirtschaftlich sind solche Verkehre, bei denen der Aufwand nur durch Beförderungserlöse (Fahrausweisverkauf), allgemeine Finanzierungsregelungen, die für alle gelten („allgemeine Vorschriften“ z. B. für Schwerbehinderten-Freifahrt) und sonstige Erträge (z.B. aus Werbung an den Fahrzeugen) gedeckt wird. Gemeinwirtschaftlich sind Verkehre, bei denen das einzelne Unternehmen einen individuellen Zuschuss des Aufgabenträgers erhält (...) bzw. ein ausschließliches Recht gewährt wird." VDV (o.J.)

²⁵ Vgl. München (o.J.)

METHODIK: SIMULATION DER FAHRZEUG- ZUWEISUNG UND FAHRTENBÜNDELUNG

Im Rahmen des Projektes AVÖV wurde MATSim eingesetzt, das mittels der Programmpakete "DVRP" und "DRT" in der Lage ist, geteilte und bedarfsabhängig verkehrende Sammeltaxis abzubilden. Individuelle Reisende (Agenten) haben die Möglichkeit, Fahrtenwünsche zu äußern, werden dann je nach Verfügbarkeit von einem automatisierten Fahrzeug abgeholt und ans Ziel gebracht. Die

Fahrzeugzuweisung erfolgt dabei dynamisch der aktuellen Verkehrslage sowie Nachfrage angepasst. Über zahlreiche Angebots- bzw. Betriebsparameter (z.B. vehicle sharing vs. privater Besitz, die Flottengröße, Dispatch-Strategien, pooling vs. non-pooling) lassen sich Mobilitätskonzepte detailliert umsetzen.²⁶ Bei Verwendung der Pooling-Funktion (Ride-Sharing, geteilte Fahrten) kann der maximale Umweg, den ein einzelner Fahrgast gegenüber einer Direktverbindung auf sich nehmen muss, flexibel eingestellt werden, z.B. auf das maximal 1,5-fache der Fahrtdauer auf direktem Wege gesetzt werden. Die genauen Einstellungen für den Pooling-Algorithmus sind dabei frei konfigurierbar.



Der Verkehr von Sammeltaxis kann auf ein bestimmtes Bediengebiet beschränkt werden. Zudem können auch Fahrpreise und intermodale Reiseketten mit Sammeltaxis als Zu- und Abgang zum konventionellen Öffentlichen Verkehr abgebildet werden. Im Rahmen von AVÖV noch nicht angewendet wurde die Abbildung des Ladeverhaltens batteriebetriebener Sammeltaxis und sogenanntes Rebalancing, also das präventive Verlegen leerer Sammeltaxis mit dem Ziel, die Wartezeiten für zukünftige Fahrten gering zu halten.

Abb. 12: DRT Insertion Ablauf (Bildquelle: eigene Darstellung)

²⁶ Vgl. unter anderem Bischoff et al (2016a), Bischoff et al (2016b) und Bischoff et al (2017)

ersetzen können. Offenbar könnte ein Dispatch dennoch unattraktive Anfragen implizit ablehnen, indem diese erst nach einer sehr langen Wartezeit bedient werden. In der Simulationen wird daher davon ausgegangen, dass

- die Flottengröße so bemessen wird, dass bestimmte Maximalwartezeiten für 95 oder 99% der Anfragen nicht überschritten werden.
- der Dispatchalgorithmus keine implizite Ablehnung betreibt, also nicht die verbleibenden 5% oder 1% der Anfragen zur Effizienzoptimierung einsetzt.

Es ist denkbar, weitere Analyse-Kenngrößen in die Regulierung aufzunehmen, um eine bestimmte Bedienqualität je nach Tageszeit und Teil des Bedienegebietes einzufordern und implizite Ablehnung durch unattraktiv hohe Wartezeiten zu verhindern (siehe Abschnitt zu relevanten Analyse-Kenngrößen in diesem Kapitel).

Es ist zu erwarten, dass sich der Regulierungsrahmen aufgrund unterschiedlicher Ziele in städtischen, nachfragestarken Räumen einerseits und ländlichen, nachfrageschwachen Räumen andererseits stark unterscheiden wird. Während in den Stadtzentren Ridehailingverkehre beschränkt werden müssen, damit sie den Straßenraum nicht übernutzen und umweltfreundlichere Verkehrsmittel nicht verdrängen, ist diese Gefahr in ländlichen Räumen deutlich geringer. Dort steht die Einrichtung und Finanzierung eines Ridehailingverkehrs im Vordergrund, während in den Stadtzentren spätestens mit dem Einsatz von autonomen Fahrzeugen ein profitabler,

eigenwirtschaftlicher Betrieb wahrscheinlich scheint.

In wenig regulierten Märkten wie den USA bedienen die Ridehailinganbieter heute vor allem nachfragestarke, großstädtische Räume. Dort ziehen sie Verkehre von umweltfreundlicheren Verkehrsmitteln wie dem Fahrrad, dem Fußverkehr und dem konventionellen ÖPNV ab. Dies ist insofern bedenklich, als dadurch der Straßenverkehr zunimmt und das vorhandene Straßennetz dieser Zunahme nicht gewachsen sein könnte. Zudem steht dies erwünschten Umwidmungen von heutigen MIV-Fahrestreifen in Radwege, Grünflächen und andere Nutzungen entgegen. Gleichzeitig werden nachfrageschwache Gebiete am Stadtrand und im ländlichen Raum von eigenwirtschaftlichen Verkehren bisher schlechter oder gar nicht bedient. Im Sinne der Daseinsvorsorge und des Klimaschutzes ist jedoch gerade dort eine verbesserte Anbindung und eine Reduktion des MIV erforderlich. Möglicherweise sind dazu auch bei Einsatz fahrerloser Fahrzeuge noch Subventionen nötig während Gewinne in den Stadtzentren den eigenwirtschaftlichen Betreibern zugutekommen würden. Unregulierte Ridehailingverkehre könnten also unerwünschte Wirkungen in städtischen Räumen haben und durch Rosinenpickerei bei der Auswahl des Bedienegebietes bzw. der Bedienzeiten Fahrscheinerlöse des konventionellen ÖPNV reduzieren ohne ein vergleichbares, kostengünstiges Ersatzangebot im Sinne der Daseinsvorsorge in der Fläche zu schaffen. Erstrebenswert erscheint hier eine Regulierung, die die Gewinne in den nachfragestarken Räumen entweder durch Steuern, Maut, Konzessionsgebühren o.ä.

abschöpft oder direkt zur Quersubventionierung nutzt, indem Konzessionen nur für gemischte Bedienggebiete mit nachfragestarken und nachfrageschwachen Teilgebieten vergeben werden. Darüber hinaus sind ggf. weitere Maßnahmen nötig, um Ridehailingverkehre in den Stadtzentren auf ein stadtverträgliches Maß zu beschränken.

Für den technischen und betrieblichen Rechtsrahmen des Einsatzes fahrerloser Fahrzeuge gibt es bereits erste Überlegungen, jedoch muss auch hier die Rechtsgrundlage noch angepasst werden.²⁷ Insgesamt ist zu erwarten, dass sich der Regulierungsrahmen aufgrund unterschiedlicher Ziele in städtischen, nachfragestarken Räumen einerseits und ländlichen, nachfrageschwachen Räumen andererseits stark unterscheiden sollte. Während in den Stadtzentren Ridehailingverkehre beschränkt werden

müssen, damit sie den Straßenraum nicht übernutzen und umweltfreundlichere Verkehrsmittel nicht verdrängen, ist diese Gefahr in ländlichen Räumen deutlich geringer. Dort steht die Einrichtung und Finanzierung eines Ridehailingverkehres im Vordergrund, während in den Stadtzentren spätestens mit dem Einsatz von autonomen Fahrzeugen ein profitabler, eigenwirtschaftlicher Betrieb wahrscheinlich scheint.

RELEVANTE INPUT-KENNGRÖSSEN: ZAHLUNGSBEREITSCHAFTEN

Eine Erkenntnis aus den Workshops ist, dass Zahlungsbereitschaften regional stark variieren können und dies einen starken Einfluss auf die Nutzung eines möglichen Sammeltaxi-Betriebes haben kann, insbesondere wenn Zuschläge zusätzlich zum normalen ÖPNV-Tarif erhoben werden. Die Zahlungsbereitschaft

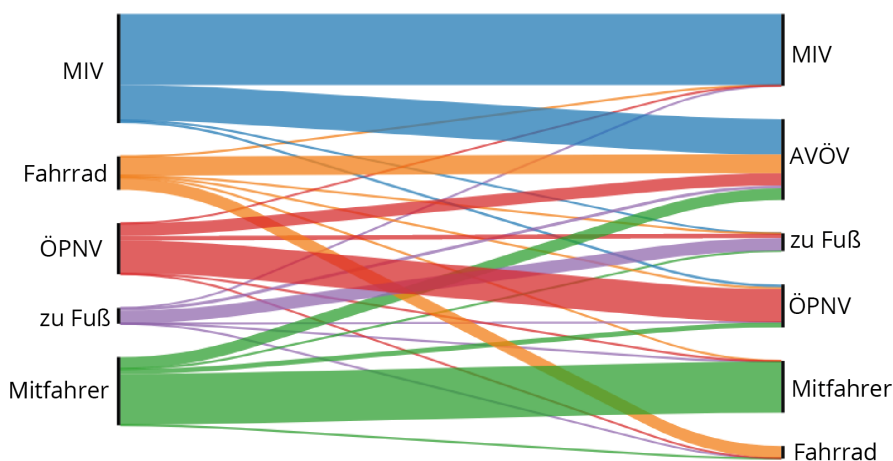


Abb. 13: Beispiel für ein Wechslerdiagramm zwischen Verkehrsmodi nach Einführung eines AVÖV Sammeltaxi-Angebots (Bildquelle: eigene Darstellung)

²⁷ Vgl. unter anderem VDV (2020)

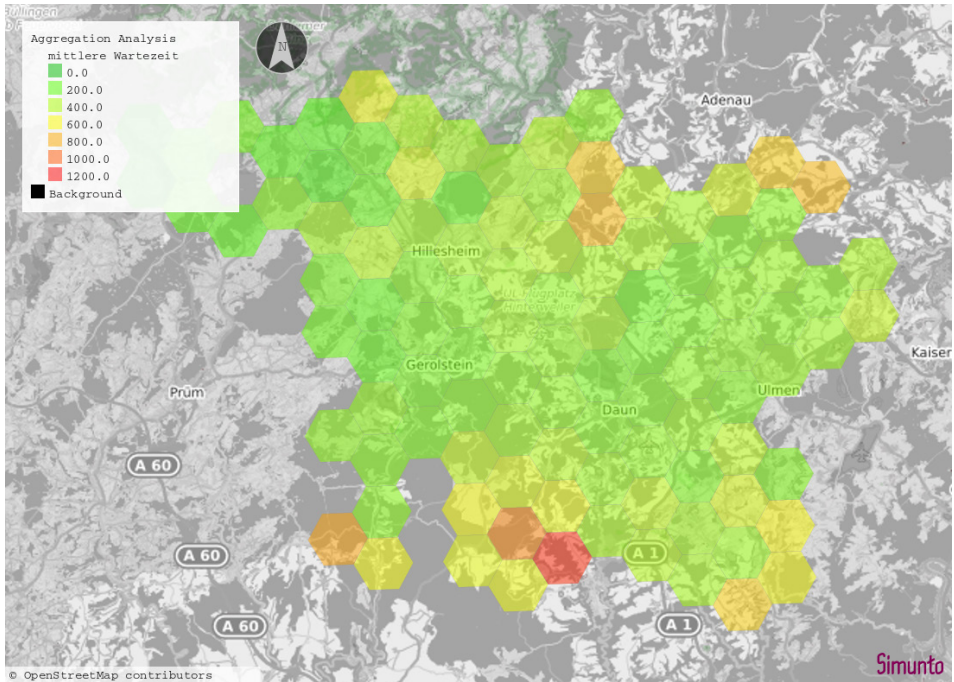


Abb. 14: Räumliche Darstellung der mittleren realisierten Wartezeit auf ein Sammeltaxi (Bildquelle: eigene Darstellung, Hintergrundkarte © OpenStreetMap)

für eine Sammeltaxi-Fahrt in Berlin kann nur schwer auf andere Raumtypen wie Gladbeck oder die ländliche Vulkaneifel übertragen werden. Für die Bestimmung individueller Zahlungsbereitschaften können z.B. das Haushaltseinkommen, die Haushaltsgröße, sowie ggf. die Lebenshaltungskosten berücksichtigt werden.

RELEVANTE ANALYSE-KENNGRÖSSEN

Werden die on-demand-Verkehre als Linienverkehre betrieben, unterliegen sie dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG). Sowohl die Genehmigung als typengemischte Beförderung (§2 Abs. 6

PBefG) als auch die maximal für vier Jahre mögliche Genehmigung eines Erprobungsverkehrs (§2 Abs. 7 PBefG) stehen unter dem Vorbehalt, dass dem Betrieb öffentliche Verkehrsinteressen nicht entgegenstehen. Im Nahverkehrsplan Berlin 2019-2023 sind die öffentlichen Verkehrsinteressen aus PBefG und Berliner Mobilitätsgesetz und die Kenngrößen zur Messung dieser wie folgt dargestellt:²⁸

- "Verhältnis zwischen neuer Nachfrage und substituierter Nachfrage des ÖPNV/ Taxiverkehrs ► Zahl und Länge der substituierten Fahrten sowie Angabe der substituierten Verkehrsleistung (Pkm)

²⁸ Vgl. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (2020), S. 98 (Abb. 44)

- Verringerung Verkehrsaufwand ► Verhältnis Fahrzeugkilometer Neuverkehr/ substituierter Verkehr
- Förderung Klima- und Umweltschutz ► Verhältnis Ausstoß von klimaschädlichen Gasen und Luftschadstoffen Neuverkehr/ substituierter Verkehr
- Förderung Verkehrssicherheit ► Verhältnis Anzahl der Unfälle Neuverkehr/ substituierter Verkehr
- Stärkung Umweltverbund:
 - durch Zu- oder Abbringerfunktion ► Fahrten/ Personenkm./ Fahrtleistung mit unmittelbarer Verknüpfung zu Verkehrsmitteln des Umweltverbundes
 - keine Behinderungen der Verkehrsmittel des Umweltverbundes ► Ermittlung von

Beeinträchtigungen der Nutzbarkeit der Verkehrswege des Umweltverbundes

- kein unerwünschter Parallelverkehr ► Ermittlung, ob zusätzliches Fahrgastpotenzial erschlossen wird“

Zur Erfüllung dieser Kennwerte reicht es nicht aus, die Daten aus dem Betrieb des on-demand-Verkehrs zu generieren. Zusätzlich müssen Nutzerbefragungen durchgeführt werden.

Das Feedback der Workshops im Rahmen des AVÖV-Projektes zielt in eine ähnliche Richtung. Dort wurde ebenfalls Interesse an den prognostizierten Umweltwirkungen geäußert. Dazu wurde vereinfachend insbesondere auch die

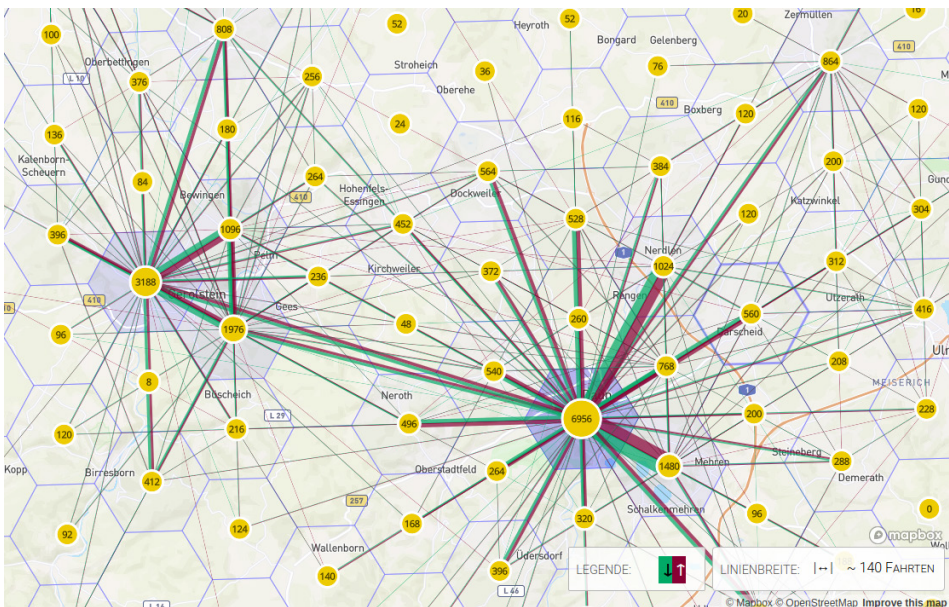


Abb. 15: Anzahl Fahrten am Tag nach Start-Ziel-Relation (Bildquelle: eigene Darstellung, Hintergrundkarte © Mapbox, © OpenStreetMap)

Veränderung des Modal-Splits, also der Aufteilung des Verkehrs auf verschiedene Verkehrsmittel betrachtet. Hilfreich ist dazu insbesondere ein Verkehrsmittelwechslerdiagramm (siehe in diesem Kapitel auf Seite 44).

Aus Sicht des Betreibers und des Aufgabenträgers ergeben sich weitere relevante Kenngrößen für den Betrieb:

- Anzahl Fahrten am Tag insgesamt und nach Start-Ziel-Relation
- Anzahl benötigte Fahrzeuge in der Spitzenstunde und im Tagesverlauf
- Mittlere realisierte Wartezeit
- Realisiertes 95%-Perzentil der Wartezeit als obere Grenze dessen, was den Kunden zugemutet wurde.²⁹
- Pooling-Betrieb: Maximal zumutbarer Umweg bzw. maximal zumutbare Verlängerung der Fahrzeit zur Fahrtenbündelung mit anderen Fahrgästen mit anderen Start- oder Zielorten sowohl als Eingabeparameter für den Dispatch-Algorithmus als auch die realisierten mittleren Umwege bzw. Fahrzeitverlängerungen.
- Realisierte Reisezeit, d.h. Summe aus Wartezeit und Fahrzeit im Fahrzeug, im Verhältnis zur direkten Fahrzeit ohne Umwege

Insbesondere die Statistiken zur Wartezeit, zu maximalen Umwegen bzw. Fahrzeitverlängerungen zur Fahrtenbündelung und zur realisierten Reisezeit im Verhältnis zur theoretischen direkten Fahrzeit können als Maßstäbe für die Bedienqualität genutzt werden. Dazu könnte der Aufgabenträger Zielgrößen vorschreiben und zum Gegenstand des Verkehrsvertrages mit dem Betreiber machen.

Sofern ein Betreiber sehr heterogene Raumtypen bedient, also z.B. eine Großstadt und den ländlichen Raum rings um die Großstadt, kann es Sinn ergeben unterschiedliche Grenzwerte für die Bedienqualität im städtischen bzw. ländlichen Raum zu definieren. Es erscheint jedoch wichtig, auch die Einhaltung dieser Kriterien für die Menge aller Fahrten im ländlichen Raum getrennt zu kontrollieren, damit der Betreiber nicht allein durch gute Bedienung der vermutlich kostengünstig zu bedienenden städtischen Nachfrage die geforderte Bedienqualität erfüllen und den kostenintensiver zu bedienenden ländlichen Raum mit hohen Wartezeiten vernachlässigen kann.

Die im Rahmen des AVÖV-Projektes erstellte Website zur Visualisierung von Simulationsergebnissen für Gladbeck und die Vulkaneifel befindet sich hier: <https://vsp.berlin/avoev>. Sie können auch den QR-Code scannen.



²⁹ Hier besteht die Gefahr, dass der Kunde ein Fahrtangebot ablehnt und ein anderes Verkehrsmittel wählt, wenn ihm nur eine Fahrt mit einer sehr hohen Wartezeit angeboten wird. Diese hohen Wartezeiten würden dann nicht in die Statistik eingehen. Daher könnte man erwägen, auch solche abgelehnten Fahrtanfragen in der Berechnung des 95%-Perzentils zu berücksichtigen.



7. UMSETZUNG VON PILOTPROJEKTEN

Die Kompetenzen von Verkehrsunternehmen liegen meist in der Gestaltung langfristiger Dienstpläne und Fahrpläne sowie dem Management des Fuhrparks. Neue Mobilitätskonzepte benötigen hingegen ein anderes, unter anderem auf Batteriekapazitäten ausgerichtetes Flottenmanagement und zudem sehr flexible, auf die sich ändernde Nachfrage reagierende Dienstpläne. Fahrpläne werden unter Umständen obsolet.

Pilotprojekte stellen eine Möglichkeit dar, neue Angebotskonzepte zu erproben und sowohl nachfrageseitige Wirkungen zu untersuchen als auch betriebliche Kompetenzen zu erwerben. Die folgende Beschreibung orientiert sich stark am Beispiel der Umsetzung

des Pilotprojektes "BerlKönig" das, wie in vorangegangenen Kapiteln beschrieben, Teil des Forschungsprojekts war.

Um frühzeitig Erfahrungen zu sammeln mit dem Management dieser neuen Dienste und zu ermitteln, wie die Bevölkerung Berlins das neue Angebot annimmt, hat die BVG mit dem "BerlKönig" im September 2018 ein nachfragegesteuertes on-demand-Angebot gestartet. Verkehrliches Ziel des "BerlKönig" ist die Ergänzung des ÖPNV-Angebots, insbesondere um bisher nicht ÖV-affine Personen zur Nutzung zu überzeugen. Mit der Bündelung von Fahrten soll die stark belastete Innenstadt entlastet werden. Zudem werden zwei Gebiete besser erschlossen, in denen die

Erschließungsstandards nicht umfangreich erfüllt wurden.

Bei digitalen Bedarfsverkehren handelt es sich um ein Angebot, das keiner der üblichen Verkehrsarten des PBefG entspricht, sodass eine Genehmigung entweder als „typengemischte“ Beförderung auf Grundlage von §2 Abs.6 PBefG oder als zu erprobende neue Verkehrsart (§2 Abs.7 PBefG) möglich ist. Die genehmigungsrechtliche Grundlage für den “BerlKönig” ist eine Konzession als atypischer Linienverkehr gemäß Experimentierklausel § 2 Abs. 7 in Verbindung mit § 42 PBefG. Diese praktische Erprobung nach § 2 Abs. 7 ist für die Dauer von höchstens vier Jahren möglich. Der Linienverkehr bedeutet den Ein- und Ausstieg nur an Haltepunkten sowie eine regelmäßige Verkehrsverbindung, also eine Abholung in der Regel binnen 5-10 Min. Eine Vorabstimmung des Genehmigungsantrags auf politischer Ebene und mit der Genehmigungsbehörde kann den Prozess beschleunigen. Im Projektplan sollte für den Schritt der Genehmigung ein ausreichender Zeitpuffer vorgesehen sein.

Auch bei der Wahl des Projektpartners sollte ausreichend Zeit eingeplant werden. Nach einer aufwändigen Markterkundung hat die BVG als Projektpartner beim “BerlKönig” die ViaVan GmbH, ein Joint Venture von Mercedes-Benz Vans und Via, ausgewählt und mit ihr eine Forschungs- und Entwicklungskooperation vereinbart. ViaVan übernahm das Fuhrpark- und Fahrermanagement und lieferte die App samt Buchungsalgorithmus. Die BVG ist Kundenvertragspartner, d.h. sie ist Konzessionshalter, Betriebsführer und Vertragspartner gegenüber den Fahrgästen.

Als Bedienebiet wurde der östliche S-Bahn-Ring Berlins festgelegt inkl. Hauptbahnhof und die z.T. unterversorgten Kieze/Stadtbereiche Michelangelostraße, Komponisten-Viertel und Gesundbrunnen. Die Bedienung erfolgt an über 600 Haltestellen und über 4.000 virtuellen Haltepunkten.

Vor dem Start erfolgte eine Abschätzung einiger Kennzahlen wie Poolingquote, erforderliche Fahrzeuge u.ä. mit einem Verkehrsmodell. Da es aber in Deutschland nur sehr wenig Erfahrung mit diesem neuen Nahverkehrsangebot gab, wurde eine Hochlaufphase geplant. Während der ersten Phase begann der Betrieb an den Wochenendnächten Freitag und Samstag von 18:00 bis 2:00 Uhr mit rund 50 Fahrzeugen. Von Beginn an war ein Teil der Flotte elektrisch angetrieben. Schon nach wenigen Wochen wurde der Betrieb auf 24/7 ausgeweitet und die Anzahl der Fahrzeuge stetig erhöht. Nach über einem Jahr Betrieb werden über 150 Fahrzeuge eingesetzt (über die Hälfte davon elektrisch). Mehr als 80 Prozent der BerlKönig-Fahrten befördern zwei oder mehr Fahrgäste gleichzeitig im Fahrzeug, in Spitzenzeiten bis zu 97 Prozent.

Der Betrieb des “BerlKönig” ist ein Pilotprojekt. Für eine Fortsetzung nach spätestens vier Jahren muss eine Ausschreibung erfolgen. Mit den Erfahrungen des Pilotprojekts z.B. hinsichtlich des Bündelungseffekts und der erreichbaren Auslastung kann die Ausschreibung fundierter und zielgerichteter erfolgen.



8. FAZIT / SCHLUSSBEMERKUNG

Neue bedarfsorientierte Betriebsformen im ÖPNV wie geteilte Sammeltaxis, auch Ridepooling oder hier AVÖV genannt, stellen eine Chance dar, aktuelle technische Entwicklungen zu nutzen, um auf verschiedene aktuelle Herausforderungen im städtischen und ländlichen Verkehr zu reagieren. Diese technischen Entwicklungen umfassen u.a. die Digitalisierung, die es ermöglicht, geteilte Sammeltaxis online zu bestellen und automatisch in wenigen Sekunden einem Fahrzeug zuzuordnen. Das vollautomatische Fahren wird durch den Wegfall der Fahrer*innenkosten den Einsatz vieler kleiner, bedarfsorientiert verkehrender Fahrzeuge anstelle weniger großer Linienbusse wirtschaftlich möglich machen.

Zudem können diese geteilten Sammeltaxis elektrisch angetrieben und somit lokal emissionsfrei gestaltet werden.

Der Verkehrssektor trägt bisher viel zu wenig zum Klimaschutz bei. Geteilte Sammeltaxis können hier auf mehreren Wegen einen wichtigen Beitrag leisten:

Zum einen können sie im Vergleich zum MIV durch Fahrtenbündelung die gleiche Verkehrsnachfrage mit weniger gefahrenen Fahrzeugkilometern bedienen.

Zum anderen vereinfacht eine zentral gesteuerte und vor allem geteilte elektrische Fahrzeugflotte die Umstellung (von Teilen) des MIV auf klimafreundliche

Antriebe in Anbetracht der begrenzten Ladekapazitäten und Reichweiten.

Weiterhin führen Sammeltaxifahrzeuge wegen ihrer deutlich höheren Jahresfahrleistung zu einem deutlich schnelleren Fahrzeugtausch als private Pkw. Dadurch ergeben sich kürzere Innovationszyklen, d.h. sobald neuere, noch effizientere Technologien marktreif werden, vergeht weniger Zeit bis die gesamte (kleinere) Flotte umgestellt ist.

Gleichzeitig gerät der klimafreundliche ÖPNV in Bedrängnis, da aufgrund zunehmender Arbeit im Homeoffice viele Fahrgastfahrten und damit Einnahmen auch nach dem Ende der Pandemie wegfallen werden. Dies reduziert die Wirtschaftlichkeit vorhandener konventioneller Buslinien im Linienbetrieb nach Fahrplan. Hier können neue bedarfsorientierte Betriebsformen wie der AVÖV ggf. Betriebskosten reduzieren.

Außerdem bietet ein flexiblerer Betrieb ohne feste Linien und festen Fahrplan die Möglichkeit, den ÖV dort attraktiver zu machen, wo heutige ÖV-Linien nicht zur richtigen Zeit, nicht in die richtige Richtung oder nur zu weit entfernt verkehren. Das betrifft insbesondere den ländlichen Raum, in dem aus Kostengründen das ÖV-Angebot häufig sehr dünn ist und daher von vielen Bewohner*innen der private Pkw bevorzugt wird. Der AVÖV kann insbesondere dort die Mobilität von Bewohner*innen verbessern, die aufgrund des Alters oder aus wirtschaftlichen, gesundheitlichen oder anderen Gründen keinen Pkw nutzen können oder wollen. Diese sind nicht mehr auf selten verkehrende Busse oder

Bringendienste von Verwandten oder Bekannten mit Pkw angewiesenen, sondern können sich mit AVÖV viel selbstständiger bewegen. Davon profitieren auch die Pkw-Fahrer, die keine solchen Bringendienste mehr durchführen müssen. Der ländliche Raum kann dadurch und durch die Möglichkeit zum Homeoffice deutlich an Attraktivität gewinnen. Das ist bereits nach einem Jahr der Corona Pandemie zu beobachten. Ein erster Schritt könnte es sein, vorhandene Anrufsammeltaxis etc. zu flexibilisieren, d.h. fest vorgegebene Abfahrtszeiten oder Routen aufzugeben und die Vorbestellzeit von den häufig 30 min oder mehr abzusenken und stattdessen auf eine Bestellung via App und vollautomatische Zuordnung zu einem Fahrzeug zu setzen.

Gleichzeitig kann AVÖV den verbleibenden ÖV in nachfrageschwachen Räumen oder Zeiten (insbesondere Nachtverkehr) ergänzen und damit das System ÖPNV als Ganzes stärken. Insbesondere auf stark nachgefragten Verknüpfungen im städtischen Raum muss dagegen sichergestellt werden, dass vorhandene S-Bahn-, U-Bahn- und Straßenbahnlinien nicht durch AVÖV verdrängt werden, weil dies mit einer starken Zunahme des Straßenverkehrs in Form von zusätzlichen Sammeltaxis einhergehen würde, die in beengten städtischen Räumen nur schwer stadtverträglich betrieben werden können. Damit also geteilte Sammeltaxis den ÖPNV hauptsächlich in nachfrageschwachen und damit weniger gewinnbringenden Zeiten und Räumen ergänzen und nicht in den profitableren nachfragestarken Innenstädten verdrängen, erscheint eine geeignete Regulierung sinnvoll. Denkbar sind hier etwa

eine Straßenmaut, Konzessionsgebühren oder ähnliches um den Sammeltaxiverkehr in den belasteten Stadtzentren zu begrenzen und gleichzeitig AVÖV im ländlichen Raum querzusubventionieren. Diese Art der Subventionierung könnte auch in Form von gemischten Konzessionsgebieten stattfinden, die immer jeweils ein nachfragestarkes sowie ein nachfrageschwaches Gebiet zu je einer Konzession vereinen. Je nach Raum bieten sich andere Ausgestaltungsformen und Zielgruppen für den AVÖV an.

Für einen effizienten Betrieb ist eine Änderung des Regulierungsrahmens nötig. Insbesondere die Abbildung von geteilten (gepoolten) Sammeltaxiverkehren als Mietwagenverkehr mit Rückkehrpflicht ist umweltpolitisch und ökonomisch kontraproduktiv.

Es ist zu erwarten, dass sich der Regulierungsrahmen aufgrund unterschiedlicher Ziele in städtischen, nachfragestarken Räumen einerseits und ländlichen, nachfrageschwachen Räumen andererseits stark unterscheiden wird. Während in den Stadtzentren Ridehailingverkehre beschränkt werden müssen, damit sie den Straßenraum nicht übernutzen oder umweltfreundliche Verkehrsmittel nicht verdrängen, ist diese Gefahr in ländlichen Räumen deutlich geringer. Dort steht die Einrichtung und Finanzierung eines Ridehailingverkehrs im Vordergrund, während in den Stadtzentren spätestens mit dem Einsatz von autonomen Fahrzeugen ein profitabler, eigenwirtschaftlicher Betrieb wahrscheinlich scheint.

Die Novelle des Personenbeförderungsgesetzes bewegt sich in diese Richtung, ist aber nach aktuellem Stand noch nicht

ausreichend. Um Teile des konventionellen ÖPNV ersetzen zu können, müssen geteilte Sammeltaxis als AVÖV ebenfalls einer Beförderungspflicht unterliegen. Fahrtenanfragen dürfen also nicht abgelehnt werden. Gegenstand der Regulierung könnte auch die Erreichung bestimmter Qualitätskriterien wie maximale Fahrzeit oder 95%-Perzentil der Wartezeit sein. Damit kann verhindert werden, dass Betreiber die Beförderungspflicht unterlaufen, indem sie Fahrtangebote mit sehr hohen Wartezeiten unterbreiten, die die Kunden ablehnen werden, um wirtschaftlich unattraktive Fahrten fernzuhalten. Hier ist eine räumlich detaillierte Analyse nötig, insbesondere wenn der Betreiber wirtschaftlich attraktive städtische und gleichzeitig kostenintensivere ländliche Räume bedient und daher einen Anreiz hat, die ländlichen Räume zu vernachlässigen.

App-gestützte bedarfsgerechte Verkehre sind bereits heute im Einsatz, wenn auch in Deutschland bisher nur in begrenztem Umfang und meist als Pilotprojekte (siehe Tabelle auf Seite 21). Ein Beispiel für ein solches Pilotprojekt ist der BerlKönig in Berlin (siehe Kapitel 7). Derartige (und zunächst) auf ein oder wenige Jahre zeitlich begrenzte Pilotprojekte sind sinnvoll, weil sie durch die zeitliche Begrenztheit auf weniger Widerstände stoßen und auch finanziell leichter umzusetzen sind, aber trotzdem bereits eine Möglichkeit darstellen neue Angebotskonzepte zu erproben und sowohl nachfrageseitige Wirkungen zu untersuchen als auch betriebliche Kompetenzen zu erwerben.

Zur groben Abschätzung der Nachfrage im Vorfeld eines solchen Pilotprojektes eignen sich modellgestützte Vorstudien.

Es gibt bereits Modellierungssoftware von verschiedenen privaten Softwareherstellern und auch Open-Source-Programme wie das hier verwendete MATSim, die bereits in der Lage sind, Ridehailing und/ oder Ridepooling (also geteilte Sammeltaxis) abzubilden. Es ist wichtig für eine Betrachtung von AVÖV als Ergänzung des herkömmlichen ÖPNV, dass auch der herkömmliche ÖPNV sowie intermodale Reiseketten mit ÖPNV und AVÖV im Zu- oder Abgang abgebildet werden können. Eine Herausforderung stellen dabei raumspezifische Inputgrößen wie die Zahlungsbereitschaft dar, die maßgeblichen Einfluss auf die Nutzung neuer bedarfsgerechter ÖV-Angebote hat, sofern ein Aufpreis für die Nutzung erhoben wird. Ein Beispiel für solche Vorstudien sind die im Rahmen des AVÖV-Projektes erstellten Simulationen (<https://vsp.berlin/avoev>).

Wirtschaftlich und nachhaltig wird AVÖV allerdings erst mit der Marktreife von fahrerlosen Fahrzeugen. Es handelt sich dabei nicht um Science Fiction: Vielmehr gibt es bereits heute (2021)

Versuchsprojekte mit autonomen Fahrzeugen, die mit geringer Geschwindigkeit auf kurzen, fest definierten Strecken fahren. Künftig werden derartige fahrerlose Fahrzeuge in immer größeren Gebieten mit immer größeren Geschwindigkeiten verkehren können und somit heutigen Pkw und Linienbussen in Bezug auf ihre Einsatzmöglichkeiten in nichts nachstehen. Spätestens dann bietet sich die Einführung eines AVÖV-Systems an. Auf diese Weise kann der ÖPNV als Gesamtsystem wesentlich attraktiver werden. Damit wird es möglich, den derzeit laufend zunehmenden motorisierten Individualverkehr einzudämmen. Mit einem intelligenten AVÖV-Konzept kann auch verhindert werden, dass sich dann fahrerlos verkehrende private Pkws auf den Straßen stauen. Vielmehr kann erreicht werden, dass die notwendige Mobilität gebündelt und infolgedessen Stadtraum für die Menschen zurückgewonnen wird. Dies wird außerdem zur Folge haben, dass der nur begrenzt zur Verfügung stehende Stadtraum wieder Platz für die aktive Mobilität und Aufenthaltsqualitäten bietet.

› Literatur

Aimsun (2020): Aimsun.ride. Model Mobility as a Service. Why use Ride? Verfügbar unter: <https://www.aimsun.com/aimsun-ride/> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2020): Energieverbrauch sinkt auf historisches Tief. Deutliche Auswirkungen der Corona-Pandemie / Anteil fossiler Energien sinkt. Pressemeldung 17.12.2020. Verfügbar unter: file:///Users/paula/Downloads/ageb_pressedienst_07_2020.pdf (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Bischoff, J und Maciejewski, M (2016a): Autonomous taxicabs in Berlin - a spatiotemporal analysis of service performance. Transportation Research Procedia. Vol. 19, 2016, S. 176–186

Bischoff, J. und Maciejewski, M (2016b): Simulation of City-wide Replacement of Private Cars with Autonomous Taxis in Berlin. Procedia Computer Science. Vol. 83, 2016, S. 237-244

Bischoff, J, Maciejewski, M, Nagel, K (2017): City-wide Shared Taxis: A Simulation Study in Berlin. Conference Paper. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.14279/depositonce-7734> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Charité CFM Facility Management GmbH (o.J.): Projekt. Verfügbar unter: <https://www.wir-fahren-zukunft.de/projekt/> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Charypar, D und Nagel, K (2005): Generating complete all-day activity plans with genetic algorithms. Transportation. Vol. 32, Issue 4, S. 369-397

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (2001): Leitfaden für Verkehrsplanungen. FGSV Verlag. Köln, S 15

Frank, P., Friedrich, M., Schlaich, J. (2008): Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln. Der Nahverkehr 26 (11), S 15-22

Hamburger Hochbahn AG (2021): Die Zukunft fährt autonom. Das HOCHBAHN-Forschungsprojekt HEAT. Verfügbar unter: https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Naechster_Halt/Ausbau_und_Projekte/projekt_heat (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Horni, A (2013): Destination choice modeling of discretionary activities in transport microsimulation. PhD Dissertation. IVT. ETH Zürich. Zürich.

Horni, A, Nagel, K and Axhausen, K W (Hrsg.) (2016): The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Ubiquity Press. London. Verfügbar unten: <http://dx.doi.org/10.5334/baw> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

ioki GmbH (2020): Anschluss per App: RMV und ioki starten europaweit einmaliges On-Demand-Projekt. Verfügbar unter: <https://ioki.com/anschluss-per-app-rmv-und-ioki-starten-europaweit-einmaliges-on-demand-projekt/> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (o.J.): Mobilität in Deutschland MiD. Verfügbar unter: [www.http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/) (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Jefferies D, Göhlich, D (2020): A Comprehensive TCO Evaluation Method for Electric Bus Systems Based on Discrete-Event Simulation Including Bus Scheduling and Charging Infrastructure Optimisation. World Electric Vehicle Journal. Vol. 11. No 3

Metropolitan Transportation Authority (2020): Subway and bus ridership für 2019. Verfügbar unter: <https://new.mta.info/agency/new-york-city-transit/subway-bus-ridership-2019> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

München (o.J.): Easyride. Verfügbar unter: <https://www.easyridemuennen.info> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Münchener Verkehrsgesellschaft mbH MVG (o.J.): MVG Service on Demand. MVG Ridepooling Service on Demand – Isar Tiger. München. Verfügbar unter: <https://www.mvg.de/ueber/mvg-projekte/mvg-sod.html> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Pendyala, R M, Yamamoto, T und Kitamura, R (2002) On the formulation of time-space prisms to model constraints on personal activity-travel engagement. Transportation. Vol. 29, Issue 1. S. 73-94

PostAuto (o.J.): Testbetrieb Sitten. Erfahren Sie die Mobilität von Morgen hautnah. Verfügbar unter: <https://www.postauto.ch/de/testbetrieb-uvrier> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

PTV (2019): MaaS of the Month: PTV Maas Modeller. Scenario analysis to support integration of ride-pooling in a mobility ecosystem. Verfügbar unter: <https://maas-alliance.eu/wp-content/uploads/sites/7/2019/11/MaaS-of-the-Month-PTV.pdf> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Schaller, B (2018): New Automobility: Lyft, Uber and the Future of American Cities. Verfügbar unter: <https://www.eltis.org/sites/default/files/automobility.pdf> (letzter Aufruf: 15.03.2021), S. 7ff

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (2020): Nahverkehrsplan 2019-2023. Berlin, S. 98, 302f, 304f

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (o.J.): Projekt See-Meile. Verfügbar unter: <https://www.see-meile.com/> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Senozon (2020): Whitepaper. Mobility Pattern Recognition (MPR) und Anonymisierung von Mobilfunkdaten. Verfügbar unter: https://senozon.com/wp-content/uploads/Whitepaper_MPR_Senozon_DE-3.pdf (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Simulation of Urban Mobility SUMO (2021): Taxi. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR. Verfügbar unter: <https://sumo.dlr.de/docs/Simulation/Taxi.html> (letzter Aufruf: 15.03.2021)



TU Dresden. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr (o.J.): Projekt Mobilität in Städten SrV.
Verfügbar unter: <https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Umweltbundesamt UBA (2020): Emissionen des Verkehrs. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

UN Environment Programme (2020): Emissions Gap Report 2020. Nairobi. Verfügbar unter: <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020> (letzter Aufruf: 15.03.2021), S. XV

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. VDV (o.J.): Mobi-Wissen. Eigenwirtschaftlichkeit. Köln.
Verfügbar unter: <https://www.mobi-wissen.de/Finanzierung/Eigenwirtschaftlichkeit> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. VDV (2020): Eckpunkte zum Rechtsrahmen für einen vollautomatisierten und fahrerlosen Level 4 Betrieb im öffentlichen Verkehr. Positionspapier/September 2020. Köln. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/20201016-vdv-positionspapier-eckpunktepapier-fuer-rechtsrahmen-zum-autonomen-fahren-im-oev.pdf> (letzter Aufruf: 15.03.2021)

Vickrey, William S. (1963): Pricing in Urban and Suburban Transport. The American Economic Review. Vol. 53, No. 2

› Abbildungen

- Titelseite: eigene Darstellung auf Basis von Phuoc Anh Dang über Unsplash (<https://unsplash.com/photos/bziZP52xxnU>)
- Seite 8 Kapitelseite 1: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/zeitrafferfoto-der-bushaltestelle-136739/>)
- Seite 10 Kapitelseite 2: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/zeitrafferfotografie-der-stadt-1494582/>)
- Seite 12 Abb. 1: Bürgerbeteiligung im Rahmen des AVÖV-Projekts, eigene Darstellung
- Seite 14 Kapitelseite 3: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/silhouette-der-baume-39553/>)
- Seite 15 Abb. 2: Die 3 Strategien der nachhaltigen Mobilität, eigene Darstellung
- Seite 17 Kapitelseite 4: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/zeitrafferfoto-fahrzeugverkehr-auf-der-autobahn-bei-nacht-2958065/>)
- Seite 20 Abb. 3: Lage der hier genannten Beispiele neuer Bedienformen im ÖPNV in Deutschland, eigene Darstellung, Hintergrundkarte: Open Street Map
- Seite 22 Kapitelseite 5: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/eine-vielzahl-von-schreibheften-5191390/>)
- Seite 23 Abb. 4: Schematische Darstellung des klassischen Planungsprozesses, eigene Darstellung auf Basis von FGSV e.V. 2001, S 15
- Seite 24 Abb. 5: Berliner Innenstadt: WikiCommons, attribution: A.Savin, Nutzungslizenz: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported, Link: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Siegessaeule_Aussicht_10-13_img4_Tiergarten.jpg
- Seite 26 Abb. 6: Gladbeck: WikiCommons, attribution: Magnus Manske, Nutzungslizenz: Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic, Link: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gladb1.jpg>
- Seite 27 Abb. 7: Landkreis Vulkaneifel: WikiCommons, attribution: Rodrigo.Argenton, Nutzungslizenz: Creative Commons Attribution 3.0 Unported, Link: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vulkaneifel_Germany_\(88744429\).jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vulkaneifel_Germany_(88744429).jpeg)
- Seite 29 Abb. 8: Barrierefreier Sammeltaxiservice: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/foto-des-pwd-zeichens-3095954/>)
- Seite 31 Kapitelseite 6: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/graustufen-fotografie-des-wartenden-schuppens-nahe-offener-strasse-bei-nacht-2371013/>)
- Seite 32 Abb. 9: Iterationsschleife, eigene Darstellung
- Seite 34 Abb. 10: Modellerstellung, eigene Darstellung auf Basis von Seonzon AG 2020
- Seite 37 Abb. 11: Visualisierung der Fahrzeug- und Fahrgastbewegungen, eigene Darstellung, Hintergrundkarte: Open Street Map
- Seite 38 Abb. 12: DRT Insertion Ablauf, eigene Darstellung
- Seite 40 Abb. 13: Beispiel für ein Wechslerdiagramm zwischen Verkehrsmodi nach Einführung eines AVÖV Sammeltaxi-Angebots, eigene Darstellung
- Seite 41 Abb. 14: Räumliche Darstellung der mittleren realisierten Wartezeit auf ein Sammeltaxi, eigene Darstellung, Hintergrundkarte: Open Street Map
- Seite 42 Abb. 15: Anzahl Fahrten am Tag nach Start-Ziel-Relation, eigene Darstellung, Hintergrundkarte: Mapbox und Open Street Map
- Seite 44 Kapitelseite 7: Unsplash mit Unsplash-Lizenz (Mauro Sbicego, <https://unsplash.com/photos/PhnEJ-J6lwvo>)
- Seite 46 Kapitelseite 8: Pexels mit Creative Commons Lizenz (<https://www.pexels.com/de-de/foto/stadtstrasse-mann-metall-5408715/>)

KONTEXT UND ANSPRECHPARTNER

Dieses Handbuch entstand im Rahmen des Forschungsprojektes "Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Evaluation und Optimierung automatisierter und vernetzter Bedienkonzepte im öffentlichen Verkehr – AVÖV" mit Förderung durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI, FKZ: 16AVF2160). Am Projekt AVÖV beteiligt sind die Technische Universität Berlin, die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), die Universität Duisburg-Essen und die Senozon Deutschland GmbH.

Das Fachgebiet Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik der Technischen Universität Berlin, vertreten durch Prof. Dr. Kai Nagel, Ihab Kaddoura, Gregor Leich und William Charlton, koordiniert das Projekt und implementierte notwendige Modellerweiterungen in der verwendeten Modellierungssoftware MATSim. Zudem modellierte und analysierte das Fachgebiet die Wirkungen von Sammeltaxis bzw. AVÖV in den drei Untersuchungsräumen Berlin, Gladbeck und Vulkaneifel und erstellte die Webseite mit Visualisierungen der Simulationsergebnisse.

Prof. Dr. Kai Nagel

Fachgebiet Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik

Technische Universität Berlin
Salzufer 17-19, 10587 Berlin
sekretariat@vsp.tu-berlin.de
Tel: +49 30 314-23308
Fax: +49 30 314-26269
www.vsp.tu-berlin.de

- Weiterführende Forschung im Bereich der Simulation von Ride-sharing und anderen innovativen Mobilitätskonzepten



Die Berliner Verkehrsbetriebe, vertreten u.a. durch Stefan Geier, fungierten als Betreiber der BerKönig-Testflotte und steuerten Praxiserfahrungen und Daten zum realen Nutzungsverhalten in diesem Testbetrieb bei. Diese Nutzungsdaten wurden auch zur Kalibrierung der Verkehrsmodelle genutzt.

Alexander Diel

Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)
Vorstandsstab Neue Mobilität (B-M)
Holzmarktstraße 15-17, 10179 Berlin
alexander.diel@bvg.de
Tel: +49 30 256-29018
Fax: +49 30 256-4929018
www.bvg.de

- Betrieb eines on-demand-Angebots in einem öffentlichen Verkehrsunternehmen
- Abstimmungen mit Aufgabenträger und Genehmigungsbehörden



Das Institut für Mobilitäts- und Stadtplanung der Universität Duisburg-Essen, vertreten durch Paula Ruppert und J. Alexander Schmidt, untersuchte gesellschaftliche Transformationen, die die Einführung von AVÖV begünstigen oder aus der Einführung von AVÖV resultieren können. Sie waren außerdem für die Kommunikation mit den Untersuchungsgebieten Gladbeck und Vulkaneifel sowie die Durchführung von lokalen Workshops während des Projekts verantwortlich.

Prof. Dr.-Ing. Dirk Wittowsky
Prof. em. Dr.-Ing. J. Alexander Schmidt, M.Arch

Institut für Mobilitäts- und Stadtplanung
imobis (ehem.: Institut für Stadtplanung
und Städtebau ISS)

Abteilung Bauwissenschaften
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Universität Duisburg-Essen
Universitätsstraße 15, 45141 Essen
imobis@uni-due.de

Tel: +49 201 183 - 2800
Fax: +49 201 183 - 4218
www.uni-due.de/imobis

- Weiterführende Forschung im Bereich urbaner Entwicklungen und Interaktionen von Raumstruktur und Verkehr



Offen im Denken

imobis
INSTITUT FÜR MOBILITÄTS- UND STADTPLANUNG

Die Senozon, vertreten durch Michael Balmer und Andreas Neumann, stellte die Verkehrsmodelldaten für die drei Untersuchungsgebiete Berlin, Gladbeck und Vulkaneifel zur Verfügung. Andreas Neumann nahm zudem an der Analyse der Modellergebnisse teil.

Thomas Haupt
Senozon Deutschland GmbH
Geschäftsführer/CEO
Leidingerplatz 8, 80992 München
thomas.haupt@senozon.com
Phone +49 (0)89 55278405
c/o Next-Level-Offices
Franklinstr. 11, D-10587 Berlin
Tel: +49 (0)30 555789939
Senozon AG
Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich
www.senozon.com

- Bereitstellung räumlich und zeitlich disaggregierter Mobilitätsnachfragedaten
- Verkehrsplanerische Fragestellungen und modellgestützte Potenzialanalysen

senozon





Offen im Denken



senozon

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Forschungsprojekt "Räumlich und zeitlich hochauflösende Evaluation und Optimierung automatisierter und vernetzter Bedienkonzepte im öffentlichen Verkehr" (AVÖV, Förderkennzeichen: 16AVF2160) wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Automatisiertes und vernetztes Fahren“ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur mit einer Fördersumme von 1,2 Mio Euro gefördert.

Autoren: Ihab Kaddoura, Gregor Leich, Paula Ruppert, Andreas Neumann, Stefan Geier, Michael Balmer, J. Alexander Schmidt, Kai Nagel
Layout: Paula Ruppert

Bildquellen Logos: AVÖV ©BVG, TU Berlin und VSP ©TU Berlin, Uni DUE und imobis ©Uni DUE,

BVG ©BVG, Senozon ©Senozon, BMVI ©BMVI

Das Handbuch wurde unter der Lizenz CC BY 4.0 veröffentlicht und ist unter der

DOI <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-11985> verfügbar.

Die im Rahmen des AVÖV-Projektes
erstellte Website zur Visualisierung von
Simulationsergebnissen für Gladbeck und
die Vulkaneifel befindet sich hier:
<https://vsp.berlin/avoev>.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

