



Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte WISSEN. KOMPAKT.

Ergebnisbericht

VORWORT

WISSEN. KOMPAKT.

Mobilität und Logistik stehen vor der großen Herausforderung einer wirtschaftlichen, nachhaltigen, inklusiven und gerechten Transformation. Steigende Mobilitätsanforderungen von Menschen und die zunehmende Wertschätzung einer hohen Lebensqualität treiben diesen Wandel voran. Gleichzeitig sollten neue Konzepte angespannte wirtschaftliche Situationen und Mobilitätsarmut ausgleichen sowie Anforderungen an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit erfüllen können. Gleiches gilt für die Förderung und Stärkung lokaler Unternehmen und Industriezweige. Unsere integrierten Mobilitätslösungen für Personen und Güter setzen auf Interdisziplinarität und Praxisnähe.

Im Forschungsprojekt „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte“ (VMO4Orte) entwickelten wir transformatorische Lösungen des Verkehrssystems für Wirtschaft und Gesellschaft. Über eine systemische Perspektive betrachteten wir die Herausforderungen nicht isoliert, sondern ihre Interaktion. Die komplexen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Faktoren können wir so verstehen und bei der Lösungsentwicklung berücksichtigen. Neben den urbanen Zentren nahm in unserer Arbeit die Vernetzung von Städten mit ihren Vorstädten sowie mit dem ländlich geprägten Umland einen hohen Stellenwert ein. Regionen können so wirtschaftlich prosperierend, lebenswert und klimarobust umgestaltet werden.

VMO4Orte konzipierte und entwickelte Lösungsbausteine für die Mobilität der Zukunft und erzielte bereits eine nachhaltige Wirkung. Sie reichen von der Verbesserung intermodaler Verkehrsnetze über die Einführung digitaler Mobilitätsmanagementsysteme und plattformbasierter Geschäftsmodelle bis hin zu neuartigen Fahrzeugkonzepten. VMO4Orte berücksichtigte hierbei auch die Bedürfnisse von Kindern bei Umgestaltungsmaßnahmen und optimierte die Umgestaltung von Quartieren durch die Modellierung der zukünftigen Situation.

Die Ansätze kamen bereits bei der Umgestaltung von Kiezen in Berlin erfolgreich zum Einsatz. Weitere Erkenntnisse sind die Integration von Lastenrädern in die Citylogistik oder die Planung und Umsetzung eines On-demand-Busbetriebs in Braunschweig. Das DLR-Fahrzeugkonzept U-Shift begeisterte die Besucher der Gartenschau in Mannheim.

Die Ergebnisse sind abgestimmte Konzepte, Mock-ups und Werkzeuge, die als Pilotprojekte praxisnah evaluiert und optimiert wurden. Sie sind so konzipiert, dass sie unterschiedliche Mobilitätsbedarfe und realistische städtebauliche sowie logistische Szenarien abdecken, um übertragbare und skalierbare Lösungen für verschiedenste städtische und regionale Kontexte zu liefern.

Die Integration der innovativen Ansätze in die Systeme der Praxis erfolgte unter Beteiligung von Projektpaten aus Verkehrs- sowie Logistikunternehmen, Kommunalverwaltungen und der Fahrzeugindustrie. Dieser Ansatz gewährleistete den schnellen Transfer wissenschaftlich technischer und organisatorischer Innovationen in die Praxis. Die praxisnahe Validierung stärkt zudem die lokale Anpassung und nachhaltige Implementierung der Lösungen.

Das Projekt VMO4Orte legte den Grundstein für zukunftsweisende Mobilitäts- und Logistikkonzepte, die Lebensqualität in urbanen Räumen verbessern und dient als Vorbild für weitere Regionen und Städte. Wichtige Schritte in Richtung nachhaltiger Mobilität sind somit getan.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

Berlin, April 2025

Prof. Dr. Meike Jipp

Bereichsvorständin Energie und Verkehr

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

WISSEN. KOMPAKT.

VMo4Orte Ergebnisbericht

Der Ergebnisbericht teilt sich in sieben thematisch abgeschlossene Kapitel. Die Kapitel bieten zunächst einen kurzen Überblick auf das Thema und stellen die einzelnen Teilthemen vor. Diese Teilthemen werden in jeweils zweiseitigen „Wissen.Kompakt.“ kurz und bündig vorgestellt. Zunächst werden Thema und Ziel erläutert, anschließend zentrale Ergebnisse vorgestellt. In einem blauen Kasten am Ende jedes Teilthemas finden Sie eine Kurzzusammenfassung des jeweiligen „Wissen.Kompakt.“.

In den Kapiteln dieses Ergebnisberichts werden folgende zentrale Themen adressiert:

- 1 Verhalten & Anforderungen: Personen, Gewerbe, Logistik und kommunale Stakeholder
- 2 Konzepte, Anforderungen & Szenarien von Verkehrsmitteln & Mobilitätsinnovationen für lebenswerte Orte
- 3 Wirkungsanalyse von Mobilitäts- und Logistikkonzepten und ihren Auswirkungen für Stadt und Umland
- 4 Intermodale Mobilitäts- und Logistikverkehre
- 5 Intermodale Knoten und Attraktivierung des Reisens
- 6 Digitale Technologien für die Reise und Reisekette
- 7 Integrierte und ökonomische Betrachtungen des Verkehrssystems

1	Verhalten & Anforderungen: Personen, Gewerbe, Logistik und kommunale Stakeholder	8
	Vulnerable Nutzergruppen miteinbeziehen für angepasste Verkehrssysteme	9
	City Logistics - Onlinebestellverhalten und Maßnahmen zur nachhaltigen Gestaltung der letzten Meile	11
	Kommunale Stakeholder	13
2	Konzepte, Anforderungen & Szenarien von Verkehrsmitteln & Mobilitätsinnovationen für lebenswerte Orte	16
	Konzeptualisierung & Implementierung von Verkehrsmitteln	17
	Nutzeranforderungen & Akzeptanz von Verkehrsmitteln & Mobilitätsinnovationen	19
3	Wirkungsanalysen von Mobilitäts- und Logistikkonzepten und ihren Auswirkungen für Stadt und Umland	22
	Inklusions- und Diversitätsmaße für Stadt und Umland	23
	Wirkungsanalysen von Umgestaltungsmaßnahmen	25
	Abschätzen des Effektes von Umgestaltungen im Straßenraum auf die lokale Ökonomie	27
	Fernerkundung zur Erfassung von Verkehrsflächen	29
	Leistungsfähigkeit von On-Demand Verkehr im kleinstädtischen und ländlichen Raum	31

4	Intermodale Mobilitäts- und Logistikverkehre	34
	Intermodaler Personenfernverkehr inkl. Rail/Road & Fly	35
	Steigerung der Leistungsfähigkeit des intermodalen Güterverkehrs	37
5	Intermodale Knoten und Attraktivierung des Reisens	40
	Gepäck- und KEP-Transportsystem für den Schienenpersonenfernverkehr	41
	Mikrobielles Inventar des öffentlichen Nahverkehrs	43
	Entwicklung VR-basierter Methoden für die Informationsbedarfsermittlung zur Unterstützung menschenzentrierter Gestaltung für intermodale Knoten	45
	Intermodale Knoten	47
6	Digitale Technologien für die Reise und Reisekette	50
	Digitale Mobilitätsplattformen – Geschäftsmodelle, aktuelle Trends und mögliche Folgen künftiger Regulierungsansätze	51
	Mobilitätsmanagement	53
	Volkswirtschaftliche Effekte von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz des Verkehrssystems	55
7	Integrierte und ökonomische Betrachtungen des Verkehrssystems	58
	Volkswirtschaftliche Effekte von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz des Verkehrssystems	59
	Innovationshemmnisse von und Lösungsmöglichkeiten für ePkw in Deutschland	61
	Einführung von Wasserstoff an mittelgroßen Flughäfen	63

Die nachfolgenden Abschnitte zeigen eine themenübergreifende Auswahl der Analysen und Ergebnisse mit hoher Praxisrelevanz.

Im Einzelnen sind dies:

Vulnerable Nutzergruppen

Um die Bedarfe von Personen mit besonderen Anforderungen zu berücksichtigen, sind partizipative, auf ihre Bedürfnisse ausgerichtete Methoden unerlässlich; durch ein mehrstufiges Verfahren, das Best-Practice-Analysen, Beteiligungsworkshops und Expertenbewertungen umfasst, wurden kreative Lösungsideen zur Barrierefreiheit entwickelt, die prototypisch umgesetzt und mit Betroffenen weiter verfeinert werden können

Logistik

In praxisnahen Untersuchungen wurde erforscht, wie nachhaltige, umweltfreundliche Lieferkonzepte städtische Verkehrsprobleme lösen und das Bestellverhalten effizienter gestalten könnten.

Kommunale Stakeholder

Kommunale Stakeholder stehen vor der Herausforderung, eine Mobilitätswende zu gestalten, insbesondere in ländlichen Regionen, wo die Dominanz des Autos, ein unzureichendes öffentliches Verkehrsnetz und Personalmangel in den Verwaltungen sowohl Transformationspotenziale als auch Hindernisse schaffen; vor diesem Hintergrund wurde eine umfassende Analyse des Status Quo, mit dem Ziel geeignete Lösungen für die Mobilität von morgen zu entwickeln und erfolgreich zu gestalten, durchgeführt.

WISSEN. KOMPAKT.

1 Verhalten & Anforderungen: Personen, Gewerbe, Logistik und kommunale Stakeholder

Der städtische Verkehr stellt Städte weltweit vor zunehmende Herausforderungen. Insbesondere Emissionen wie Lärm, Stickoxide (NOx), Kohlendioxid (CO₂) und Feinstaub (PM₁₀) belasten die (ur-bane) Umwelt. Hinzu kommen Flächenkonkurrenzen, steigende Unfallzahlen und die Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität in urbanen Räumen.

Das stetig wachsende Verkehrsaufkommen führt zu Staus, Effizienzverlusten und Zeitverlusten, die die Lebensqualität der städtischen Bevölkerung beeinträchtigen. Verkehrsstrukturen sind dabei eng mit gesellschaftlichen und räumlichen Gegebenheiten verknüpft. Für eine nachhaltige Stadtentwicklung ist es unerlässlich den Verkehr ganzheitlich zu betrachten und neben dem Mobilitätsverhalten von Personen auch den innerstädtischen Wirtschaftsverkehr in den Blick zu nehmen.

Im Projekt VMo4Orte wurden das Mobilitätsverhalten und die Anforderungen verschiedener Nutzergruppen wie Personen, Gewerbe, Logistikakteure und kommunale Stakeholder unter Nutzung verschiedener Methoden wie Interviews, Workshops, quantitativen Erhebungen und der Modellierung von Maßnahmen untersucht

WISSEN. KOMPAKT.

Autorinnen: Heike Marquart, Ariane Kehlbacher, Kerstin Stark, Alexandra König

1.1 Vulnerable Nutzergruppen miteinbeziehen für angepasste Verkehrssysteme

Thema und Ziel

Für die Gestaltung eines sozial gerechten und inklusiven Verkehrssystems ist eine Betrachtung von Personen mit besonderen Anforderungen, die häufig nicht oder nur unzureichend berücksichtigt werden, zwingend notwendig. Um das zukünftige Verkehrssystem sozial gerechter und inklusiver und damit nachhaltiger zu gestalten, wurden Chancen partizipativer Methoden untersucht, Maßnahmen zur Miteinbeziehung vulnerabler Nutzergruppen entwickelt und das Thema Mobilitätsarmut in den Fokus gerückt.

In einer Studie zur Erhöhung der Barrierefreiheit für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen wurde mittels Best-Practice-Analyse bestehende Lösungen und futuristischer Ideen recherchiert, Workshops mit Betroffenen (Rollstuhlfahrenden und sehbehinderte und blinde Menschen) durchgeführt um eigene Lösungsvorschläge zu sammeln sowie Expert/innenevaluation (Verkehrsexpert/innen und Human-Factors-Spezialist/innen) zur Auswahl der vielversprechendsten Ideen hinsichtlich Innovationsgrad und Machbarkeit durchgeführt (Abb. 1).



Abbildung 1: Teilnehmende Workshop mit Betroffenen mit Mobilitätseinschränkung

Zudem wurde eine Methoden-Toolbox entwickelt, in der partizipative Methoden zur Miteinbeziehung schwer zu erreichender Personengruppen systematisch identifiziert und für die Praxis anwendbar zusammengestellt wurden. Ein Schwerpunkt lag auf partizipativen Methoden zur Berücksichtigung von z.B. Kindern, älteren Menschen, mobilitätseingeschränkten Personen und sonstigen marginalisierten Gruppen. Dabei wurden 60 Studien untersucht und die Methoden für eine Toolbox systematisiert (Abb. 2).

Mapping



[Source: Winkl 2020, S. Fintel 2020, p. 1276, Lehtinen et al. 2016, p.4]

At which step of the process this can be helpful?				Researchers			
x	x		x	Time/effort preparation	Time/effort applying	Financial resources	Personal resources
Analysis	Design	Implementation	Sustainability	Technical/digital support	Worksheet		
Characteristics of the method:				Participants			
Modes of engagement for participation:				Degree of participation	Resources		
On-site				Virtual	Hybrid	Time	Digital knowledge required
Other considerations				Competences needed			
accompanying person needed?				Reading competence	Mobility competence		
Recommended to facilitate the participation of:				Writing competence	Communication skills		

Quelle: DLR (2024)

Abbildung 2: Beispiel eines Methoden-Steckbriefs der Methoden-Toolbox

Eine weitere Studie beschäftigte sich mit den Unterschieden bei der Mobilitätsarmut in Deutschland. Das Ziel ist es, vulnerable Gruppen in Deutschland zu identifizieren und das Ausmaß ihrer Mobilitätsarmut zu quantifizieren. Dabei wurden die Mobilitätsausgaben unterschiedlicher Gruppen untersucht. Die Gruppen unterscheiden sich nach den folgenden Merkmalen:

Pkw-Besitz, Berufstätigkeit der Haupteinkommensperson, Haushaltseinkommen, Region und ob Kinder im Haushalt sind. Der Datensatz „Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (2018)“ wurde mit Hilfe von statistischen Methoden analysiert, um zu messen, wie hoch die durchschnittlichen Mobilitätsausgaben der Gruppen sind.

Zentrale Forschungsergebnisse

In der Studie der Mobilitätseingeschränkten wurden insgesamt je neun Best-Practice-Beispiele bewertet. Der kreative Lösungsfindungsprozess der Workshops wurde durch die LEGO Serious Play-Methode® unterstützt. Die Ergebnisse wurden in einer Vierfeldermatrix dargestellt. Die vielversprechendsten Lösungsideen sind Kupplung von Kinderwagen /Kindersitz, schwebender Rollstuhl, Zugwaggon für alle durch Universal Design, Nahfeld-Orientierung über NFC, digitaler Blindenhund oder zoomende Brille.

Die Ergebnisse der Studie zur Mobilitätsarmut zeigen, dass die unteren Einkommensgruppen relativ zu ihrem Einkommen viel mehr für Mobilität ausgeben, als Haushalte mit mittleren oder höheren Einkommen. Außerdem sind nicht erwerbstätige Haushalte mit Auto ohne Kinder in ländlichen Räumen und in Agglomerationen stark benachteiligt (z.B. Rentner oder Arbeitslose). Genauso stark benachteiligt sind aber auch z.B. erwerbstätige Haushalte mit Auto und Kindern in verdichteten Regionen. Zusammenfassend führen mehrere Merkmale dazu, dass ein Haushalt vulnerabel bezüglich Mobilitätsarmut ist. Maßnahmen, die möglichst mehrere dieser Merkmalskombination adressieren, sind zielführend für die Reduzierung von Mobilitätsarmut. Im Rahmen des Projekts werden Empfehlungen gemacht, wie diesen Gruppen zu helfen ist.

An Lösungsideen für die besonderen Anforderungen vulnerabler Nutzergruppen fehlt es häufig. Die Berücksichtigung dieser Gruppen ist daher zentral. Partizipative Methoden und statistische Analysen helfen, Anforderungen zu adressieren sowie Mobilitätsarmut aufzudecken.

Beteiligte Partner

Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband (DBSV),
Blinden- und Sehbehindertenverband Niedersachsen (BVN),
Niedersächsischer Inklusionsrat von Menschen mit Behinderungen (NIR),
Behindertenbeirat Braunschweig e.V.

Wissen. Kompakt.

Für die Miteinbeziehung vulnerabler Nutzergruppen ergeben sich Handlungsempfehlungen:

- Partizipative Methoden könnten verstärkt in Verkehrsplanungsprozessen angewendet werden, indem Workshops mit Gruppen wie mobilitätseingeschränkten Personen durchgeführt werden, um ihre Bedürfnisse bei der Verkehrsgestaltung zu berücksichtigen.
- Die Toolbox zur Einbeziehung schwer erreichbarer Gruppen, wie Kinder und ältere Menschen, kann systematisch Anwendung finden werden, um ihre Anforderungen von Beginn an einzubeziehen.
- Entscheidungstragende können die Mobilitätsausgaben unterschiedlicher Gruppen analysieren um gezielte Maßnahmen zu ergreifen, um den Zugang zu Mobilität für einkommensschwache Haushalte zu verbessern.

Weiterführende Referenzen

- Marquart, Heike; Stark, Kerstin; Altmann, Carolin; Khoi, Ngo Manh (2023) How to involve special needs groups in mobility research? A review of participatory methods concerning their contribution to accessibility, social inclusion and wellbeing. European Transport Conference (ETC) 2023, 2023-09-06 - 2023-09-08, Mailand, Italien. <https://elib.dlr.de/202512/>
- Method-Toolbox for involving hard-to-reach groups (in development; will be accessible on: <https://www.dlr.de/de/vf>)

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autor/innen: Saskia Seidel, Robert Seiffert, Ibraheem Adeniran, Carina Kehrt, Michael Behrisch

1.2 City Logistics - Onlinebestellverhalten und Maßnahmen zur nachhaltigen Gestaltung der letzten Meile

Thema und Ziel

Der Wirtschaftsverkehr, der Lieferungen, Dienstleistungen und städtische Ver- und Entsorgung umfasst, trägt erheblich zur Verkehrsbelastung bei, ist jedoch für die Versorgung der Städte unverzichtbar. Daher stellt sich die Frage, mit welchen Maßnahmen der Wirtschaftsverkehr generell nachhaltiger gestaltet werden und wie Verhaltensänderungen insbesondere beteiligter Akteure im innerstädtischen Güterverkehr angestoßen werden können. Der urbane Wirtschaftsverkehr umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure mit teils stark variierenden Anforderungen und Verhaltensweisen. Für eine gezielte Untersuchung wird daher der Kurier-, Express- und Paketdienstsektor (KEP) priorisiert. KEP-Verkehre, die durch den stark wachsenden Onlinehandel geprägt sind, tragen wesentlich zu innerstädtischen Problemen wie Unfallgefahr und Beeinträchtigung des Verkehrsflusses durch Zweite-Reihe-Parken sowie Emissionen durch steigendes Fahrtenaufkommen und häufiges Start-Stopp-Fahren bei. Die derzeit dominierende Praxis der Heimbelieferung zeigt dabei deutliche Effizienz- und Nachhaltigkeitsdefizite. Daher stellt der KEP-Sektor ein zentrales Handlungsfeld dar und die Entwicklung umweltfreundlicherer und effizienterer städtischer Lieferkonzepte ist unerlässlich. Ziel des Forschungsvorhabens war es, Nachhaltige umweltfreundliche Konzepte für den städtischen Güterverkehr, insb. Lieferverkehr zu identifizieren, das aktuelle Bestellverhalten von Kunden sowie deren Akzeptanz alternativer Zustellmethoden zu analysieren und Maßnahmen zu einer nachhaltigen Gestaltung des Lieferverkehrs mithilfe einer modellgestützten Wirkungsanalyse zu bewerten.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde besonderer Wert auf Praxisnähe gelegt. Die Zusammenarbeit mit Vertretern des städtischen Wirtschaftsverkehrs (Stakeholdern) war daher ein zentraler Bestandteil bei der Maßnahmenanalyse, während zur Untersuchung des Bestellverhaltens gezielt Kundenbefragungen durchgeführt wurden.

Zentrale Forschungsergebnisse

Maßnahmen im städtischen Lieferverkehr

Zunächst wurden 11 Maßnahmen (vgl. Abbildung) für einen nachhaltige Gestaltung des städtischen Güterverkehrs identifiziert. Die Maßnahmen lassen sich in 3 Gruppen einteilen: logistisch, politisch, technologisch.

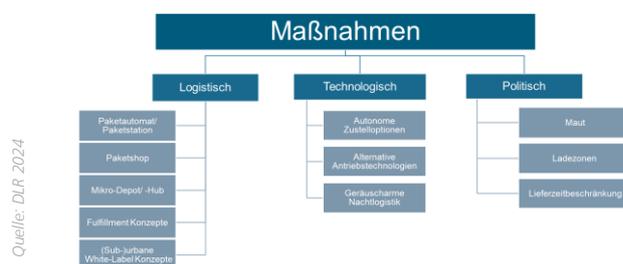


Abbildung 1: Darstellung der Maßnahmen im städtischen Lieferverkehr

Mit den Stakeholdern des städtischen Wirtschaftsverkehrs wurden die Maßnahmen in Workshops diskutiert. Dabei wurde deren potenzielle Wirkung und Nutzen von ihnen bewertet und vier priorisierte Optionen für eine tiefere Analyse ausgewählt: die Nutzung von Mikro-Depots, White-Label-Zustellungen, Paketshops und Ladezonen. Anschließend wurden für diese priorisierten Maßnahmen gemeinsam mit den Stakeholdern Szenarien entwickelt.

Die Szenarien wurden modelliert, um die potenziellen Effekte zu quantifizieren. Die Ergebnisse wurden mit den Stakeholdern analysiert und diskutiert.

Im Rahmen der Untersuchung wurden Zustelloptionen analysiert, die Kunden aktiv nutzen könnten. Dabei wurden eine Kundenbefragung zum Bestellverhalten und zur Bereitschaft für zukünftige Alternativen durchgeführt.

Erhebung: der Kunde im Fokus

Mit einer repräsentativen Befragung von 1.015 Personen in Deutschland wurden sowohl das aktuelle Bestellverhalten als auch hypothetische Präferenzen für acht alternative Lieferoptionen analysiert.

Aktuelles Bestellverhalten im Online-Handel

Rund ein Viertel der Befragten bestellt einmal pro Woche oder häufiger online, rund 70% gaben an 1-3 mal im Monat oder seltener bestellen. Nur 2% der Befragten gaben an Online-Shopping (fast) nie zu nutzen. Dabei zeigt sich ein konstanter **Alterseffekt**: je jünger eine Person, desto häufiger wird online bestellt. Ältere Personen bestellen deutlicher weniger online. Die deutlich prominenteste **Produktgruppe** im Online-Shopping ist Bekleidung, aber auch Drogerieartikel, medizinische Artikel, Bücher/Schreibwaren sowie Haushaltswaren und Elektroartikel werden von Online-Shopper/innen bestellt.



Abbildung 2: Bereitschaft der Nutzung alternativer Zustelloptionen

Von den genutzten Versandarten wird Produktgruppen übergreifend mit Abstand am häufigsten der Standardversand genannt (83%). Die weiteren Formen der Heim-Belieferung (Premium-Versand, Expressversand, Same-Day-Lieferungen

und Instant Versand) nutzen 27% der Befragten. Die umweltfreundlichere Option „Bündelung“ wird immerhin von rund 15% der Befragten genutzt.

Nutzungsbereitschaft alternativer Zustelloptionen

Gut zwei Drittel der Befragten kann sich die Nutzung von alternativen Zustelloptionen generell vorstellen (vgl. Abbildung). Allerdings davon ein Drittel nur, wenn die Optionen als kostenlose Versandoptionen angeboten würden. Ein Fünftel würde Alternativen nutzen, wenn diese nicht mit Mehrkosten verbunden sind. Weniger als 5% wären auch bereit einen Aufpreis zu zahlen. Am höchsten ist die Bereitschaft zur Nutzung eines klimaneutralen Versands. Dessen generelle Nutzung ist für Drei Viertel der Befragten vorstellbar, zudem ist auch die Zahlungsbereitschaft für diese Option etwas höher.

Beteiligte Partner

SenMVKU, DHL, WfBB, LNC, BPEX, BDKEP, WISTA GmbH, Berlin Partner, HTW, Kiezbote, Bringmeister, LNBB

Die Erhebung wurde durch Ariadne (03SFK5B0) unterstützt

Wissen. Kompakt.

Der Wirtschaftsverkehr erfüllt vielfältige essenzielle Funktionen im urbanen Raum, trägt aber ebenso zu verkehrsbedingten Problemen bei. Maßnahmen für eine nachhaltige Gestaltung des Verkehrs und Verhaltensänderungen unter allen Akteuren sind notwendig. Auch zunehmende KEP-Verkehre sind eine Herausforderung, die mit einer Vielfalt von Maßnahmen adressiert werden müssen – auf Unternehmens- und auf Kundenseite. Alternative Zustellungskonzepte können ein Teil der Lösung sein, fordern jedoch betriebliche Prozesse und Gewohnheiten von Konsumenten gleichermaßen heraus. Kundenseitig dominiert die Heimbelieferung mit bekannten verkehrlichen Auswirkungen. Die Bereitschaft der Konsumenten zur Nutzung umweltfreundlicherer, logistisch-effizienterer Alternativen ist bisher aber nur vergleichsweise gering ausgeprägt.

Weiterführende Referenzen

- Weiterführende Referenz 1: Seiffert, Robert; Seidel, Saskia, Dubernet, Ilka. Exploring Customer Preferences for Alternative Last-Mile Delivery in E-commerce: A Stated Preference Approach with Payment Considerations; under review

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMO4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autor/innen: Isabel Seiffert, Ella Eisemann,
Catharina Wasić, Jan Wegener

1.3 Kommunale Stakeholder

Thema und Ziel

Die Gestaltung einer Mobilitätswende im Allgemeinen ist ein großer Kraftakt für Kommunen. Vor allem für ländliche Kommunen stellt die Transformation des Verkehrs eine besondere Herausforderung dar. Eine starke Dominanz des Autos als Fortbewegungsmittel und ein unzureichendes öffentliches Verkehrsnetz führt, gemeinsam mit der niedrigen Siedlungsdichte und erschwerten Planungsbedingungen durch Personalmangel in den Verwaltungen, zu Transformationspotenzialen und -hindernissen gleichzeitig (Rupprecht Consult 2021). Um passende Lösungen für die Mobilität von Morgen zu finden, sind daher zwei Schritte notwendig: 1. Analyse des Status Quo und Identifikation von Potenzialen und Hindernissen und 2. Aufzeigen individueller Möglichkeiten und Lösungen.

Im Rahmen von VMo4Orte wurden beide Schritte beleuchtet. Einerseits fand eine Untersuchung der spezifischen Herausforderungen kleiner Kommunen in Hinblick auf eine nachhaltigere Gestaltung der Mobilität statt. Als Untersuchungsgegenstand wurde dabei das Berliner Umland ausgewählt, da die Kommunen in Verflechtungsräumen zwischen dem städtischen und ländlichen Raum mit zusätzlichen Herausforderungen konfrontiert sind: Ihre Mobilität ist stark von Pendelverkehren geprägt und auch die Anbindung oder Nicht-Anbindung an das städtische ÖPNV-Netz und die administrativen Grenzen der Stadt beeinflussen den Verkehr in, aus und durch die Kommunen stark. Dennoch ist die Mobilität dort wenig erforscht und die Datenlage dünn, weshalb qualitative Interviews mit kommunalen Vertreter/innen wichtige Erkenntnisse für zukünftige Forschung liefern sollten.

Andererseits wurde ein Serious Boardgame entwickelt, das kommunalen Akteuren ermöglichen soll, unterschiedliche Mobilitätslösungen und deren Auswirkungen kennenzulernen, um ihr Handlungsfeld zu erweitern. Basierend auf verschiedenen Datensätzen zu Städten und Kommunen in Deutschland wurden Merkmale ländlicher Regionen zu einem mathematischen Modell vereint. Zusammen mit abwechslungsreichen Mobilitätsprojekten werden die Spielenden so zu kommunalen Entscheider/innen, die die Entwicklung ihres Ortes lenken können.



Quelle: DLR (2024)

Abbildung 1: Spielenden-Tableau mit Ressourcen

Zentrale Forschungsergebnisse

Die durchgeführten Interviews offenbarten: Während die Gemeinden Visionen für eine weniger umweltbelastende, weniger MIV-abhängige Mobilität haben, fehlt es an klaren Handlungsanweisungen. Die Planung konzentriert sich vor allem auf die Attraktivitätssteigerung, Verbesserungen oder Schaffung nachhaltiger Mobilitätsangebote (sog. Pull-Maßnahmen), wie der Ausbau von Fahrradwegen oder Carsharing-Angeboten, und weniger auf restriktive Maßnahmen, wie die Verknappung von Parkplätzen (sog. Push-Maßnahmen), oder eine Kombination von beidem. Zudem endet die Planung oft an Gemeindegrenzen - eine stärkere Vernetzung zwischen den Gemeinden wird als essenziell angesehen, jedoch oft als unzureichend empfunden. Die Nähe zum Berliner Verkehrsnetz beeinflusst das Pendeln aus dem Berliner Umland nur bei guter Erreichbarkeit positiv.

Gleichzeitig behindert ein hoher Personal- und Leistungsdruck und die Abhängigkeit von Fördermitteln die Planungsprozesse. Dies führt auch dazu, dass die Planung häufig auf Erfahrungswerten statt auf fundierter Datenerhebung und Wirkungsabschätzung basiert. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer stärkeren Vernetzung, eines ganzheitlichen Ansatzes und einer Abkehr von automobilfokussierter Planung, um nachhaltige Mobilität erfolgreich umzusetzen.

Diese Erkenntnisse werden auch im Serious Boardgame aufgegriffen. Dort lernen Spielende neue Maßnahmen, Aspekte und Anforderungen an Mobilität kennen und können sich vernetzen.

Die erfolgreiche Entwicklung des Serious Boardgames „Landpartie“ basiert auf einem, aus Statistiken abgeleiteten, mathematischen Modell und einer iterativen Begleitung mit Testspielen. Als Grundlage für das Modell dienten Daten des statistischen Bundesamtes, des Deutschlandatlas, des allgemeinen deutschen Fahrrad-Club und der Bundesvereinigung deutscher Apothekerverbände. Für die Modellierung wurden nur Orte betrachtet, die nicht die nötige Infrastruktur haben, um die Grundversorgung der Bürgerinnen und Bürger sicherzustellen. An diesen Orten besteht somit bereits im Alltag die Notwendigkeit für Mobilität. Die Auswahl der Mobilitätsprojekte orientierte sich daran, welche Projekte bereits in Deutschland, aber auch international, umgesetzt oder beforscht werden. Dabei wurden unterschiedliche Fortbewegungsmittel, wie Rad, Auto, Bus, aber auch mobilitätsvermeidende Lösungen wie ein fahrender Supermarkt, berücksichtigt. Sowohl das Modell des ländlichen Raums als auch die Mobilitätsprojekte sollen sicherstellen, dass das Brettspiel eine reelle Ausgangsbasis hat. Um überhaupt erst ein Spielerlebnis zu ermöglichen, musste die Komplexität der ineinander wirkenden Faktoren für die Spielenden jedoch reduziert werden.

So werden Kosten und Gewinne durch Mobilitätsprojekte über die Dimensionen Geld, Ökologie, und Bürger/innen-Zufriedenheit dargestellt.

Im Serious Boardgame finden sich die bis zu drei Spielenden, in einem kooperativen Umfeld wieder. Sie müssen für ihre Kommunen die Mobilität gestalten und Projekte entweder alleine oder gemeinsam mit anderen umsetzen. Jede Person hat dabei ein individuellen Satz an Siegbedingungen, für deren Erfüllung sie bestimmte Projekte umsetzen muss. Um die nötigen Ressourcen dafür zu sammeln, treten Spielende eine Erkundungstour durch verschiedene Mobilitätsprojekte an. Die Wirkung von „Landpartie“ konnte im Rahmen eines Akteursworkshops evaluiert werden.

Beteiligte Partner

Kommunen im Berliner Umland:

- Dallgow-Döberitz
- Wandlitz
- Werneuchen und
- Zeuthen

Wissen. Kompakt.

Für ländliche Kommunen stellt die Transformation der Mobilität eine besondere Herausforderung dar. Denn während für den urbanen Raum bereits zahlreiche Konzepte und Maßnahmen erarbeitet sowie im Rahmen von Pilotprojekten oder dauerhaft etabliert wurden, fehlen für den ländlichen Raum noch umsetzbare Konzepte und Leitbilder.

Die kommunalen Stakeholder sind dabei zentrale Akteur/innen für die Gestaltung einer Mobilitätswende. Für die Planung und Umsetzung von Maßnahmen können sie, auch mit Blick auf ihre meist begrenzten personellen Ressourcen, von einer forschungsseitigen Unterstützung profitieren. Gleichzeitig liefern ihre praktischen Erfahrungen wertvollen Input, um bestehende Forschungslücken zu schließen.

Gemeinsam kann es so gelingen, die besonderen Herausforderungen und Potenziale ländlicher Kommunen bei der Transformation der Mobilität zu meistern.

Quelle: DLR (2024)



Abbildung 2: Spielfeld mit Projekt- und Bedürfniskarten

Weiterführende Referenzen

- DLR Verkehrssystemtechnik Informationsflussmodellierung. 2024. <https://www.dlr.de/de/ts/ueber-uns/abteilungen/informationsflussmodellierung-in-mobilitaets-systemen>
- Rupprecht Consult (eds.). 2021. Topic Guide: Sustainable Urban Mobility Planning in Smaller Cities and Towns. https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/sustainable-urban-mobility-plans/expert-corner-sump-reference-materials_en

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMO4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

Die folgenden Beiträge zeigen die thematische Bandbreite im Projekt VMo4Orte zu Konzepten, Anforderungen & Szenarien von Verkehrsmitteln & Mobilitätsinnovationen für lebenswerte Orte:

Entwicklung von Fahrzeugkonzepten und Methoden für deren Einführung

Neuartige Fahrzeugkonzepte von Elektroleichtfahrzeugen bis hin zu automatisierten Nutzfahrzeugen für die Straße und einem automatisierten, modularen Schienenfahrzeug wurden technologisch weiterentwickelt. An Hand der Konzepte U-Shift, NGC-Zero, Dualmover, UMV, Robotruck, LEV und NGT Taxi wurden Themen wie Kreislaufwirtschaft, Emissionsreduzierung, automatisiertes Fahren und Barrierefreiheit adressiert. Zudem wurden Einführungskonzepte und Nutzungsszenarien untersucht sowie methodische Ansätze weiterentwickelt.

Akzeptanz von Mobilitätsinnovationen

Anforderungen von Nutzer/innen und Gesellschaft: Die gesellschaftliche Akzeptabilität im Zusammenhang mit der Entwicklung und Implementierung von innovativen Mobilitätslösungen wurde anhand ausgewählter Mobilitätsinnovationen am Beispiel von Pilotprojekten bzw. Praxisbeispielen untersucht. Anforderungen an Fahrzeuge seitens unterschiedlicher Interessensgruppen wurden unter anderem für Elektroleichtfahrzeuge (Light Electric Vehicles - LEV) und das hochautomatisierte, modulare Fahrzeugkonzept „U-Shift“ beforcht.

WISSEN. KOMPAKT.

2 Konzepte, Anforderungen und Szenarien von Verkehrsmitteln und Mobilitätsinnovationen für lebenswerte Orte

Eine erfolgreiche Verkehrswende, die ökologischen, sozialen und ökonomischen Erfordernissen gerecht wird, benötigt neue Konzepte für unsere Mobilität und als Baustein dieser Mobilitätskonzepte auch innovative Fahrzeuge und Technologien. Dabei besteht zwar gesellschaftlich weitgehend Einigkeit, dass eine nachhaltigere Ausgestaltung der Mobilität notwendig ist, bezüglich der konkreten Umsetzung finden sich jedoch unterschiedliche und teils widersprüchliche Ansprüche und Wünsche verschiedener Akteure. Das Spannungsfeld zwischen gesellschaftlichen Zielen einerseits und Präferenzen von Individuen und Interessensgruppen andererseits stellt eine große Herausforderung dar.

Für die notwendige Akzeptanz von Veränderungen müssen Wege und Technologien gefunden werden, die Interessen bestmöglich in Einklang bringen und dabei gleichzeitig gegebene Ziele der Nachhaltigkeit erreichen. Vor diesem Hintergrund beforschen wir im Projekt VMo4Orte in interdisziplinären Teams einerseits Anforderungen unterschiedlicher Interessensgruppen an Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepte und entwickeln andererseits Lösungsansätze für beide Bereiche.

Dies beinhaltet auch die Bewertung verschiedener Konzepte bezüglich des Potenzials für eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen, Material- und Flächenverbrauch, Zugang zu Mobilität und des wirtschaftlich tragfähigen Einsatzes neuartiger Mobilitätsangebote und Fahrzeugkonzepte.

2.1 Entwicklung von Fahrzeugkonzepten und Methoden für deren Einführung

Thema und Ziel

Am DLR werden neuartige Fahrzeugkonzepte und Methoden für deren Einführung entwickelt. Im Folgenden beleuchten wir Forschung für die Verkehrsträger Schiene und Straße. Durch die Zusammenarbeit vieler Fachdisziplinen adressieren wir technologiespezifische Themen im jeweiligen systemischen Kontext um Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichsten Detaillierungs-Leveln und Technologiereifegraden zu erstellen. Zentral ist bei unseren Arbeiten eine bedarfsgerechte Auslegung von Verkehrsmitteln: passend zum jeweiligen Einsatzzweck und nutzerorientiert (mehr dazu, siehe Kapitel 2.2). Darüber hinaus sollen verschiedene Verkehrsträger effizient nutzbar und miteinander verknüpfbar sein. So leisten wir auch einen Beitrag für intermodale Verkehre.

Die Forschungsarbeiten leisten einen Beitrag zur technologischen Entwicklung von sicheren und funktionalen Fahrzeugen, die ökologisch und wirtschaftlich attraktiv sind sowie soziale Aspekte wie Zugang zu Mobilität, Gerechtigkeit und Inklusion berücksichtigen. Ebenso zeigt das DLR Wege auf, wie diese neuartigen Fahrzeuge in die Praxis eingeführt werden können und welche Rahmenbedingungen hierfür benötigt werden. Um beispielsweise erforderliche Infrastruktur für das Laden von Elektrofahrzeugen oder benötigte Sensorik für automatisierte Systeme abschätzen zu können, werden digitale Methoden wie Simulationsmodelle weiterentwickelt und angewendet. Dies geschieht unter anderem in Form des virtuellen Werkzeugkastens „Migrationstoolbox“, die dazu dient,

erforderliche Voraussetzungen für den Einsatz von U-Shift in einem Quartier zu untersuchen. Unterschiedliche Entwicklungsstadien der Fahrzeugkonzepte reichen dabei von grundlegenden Lastenheften und Designstudien, wie beim nachhaltigen Fahrzeugkonzept NGC-ZERO, bis hin zu fortschrittlichen Prototypen mit Erprobungsgenehmigung wie beim modularen U-Shift.



Abbildung 1: Untersuchte Fahrzeugkonzepte

Zentrale Forschungsergebnisse

Im Projekt VMo4Orte forschen wir an sechs spezialisierten Fahrzeugkonzepten:

Im Bereich der Eisenbahn ist dies das kleine, leichte, automatisiert fahrende **Schienefahrzeug NGT-TAXI** mit alternativem Antrieb für die Belebung und Reaktivierung von Nebenstrecken im ländlichen Raum. Um die einsatzspezifischen Anforderungen möglichst optimal bedienen zu können, wurde ein neuartiges, bedarfsoptimiertes, multi-modulares Fahrzeugkonzept entwickelt, das durch die Anpassbarkeit,

Verfügbarkeit und Kosteneffizienz eine signifikante Attraktivitätssteigerung des SPNV im ländlichen Raum für alle Stakeholder verspricht. Hierfür werden die DLR-Expertisen unterschiedlicher Disziplinen eingebunden.

Das **NGC-ZERO** konnte als nachhaltiges Fahrzeugkonzept mit emissionsoptimierter und geschlossener Kreislaufwirtschaft in grundlegenden Lastenheften und Designstudien erstmals definiert und visualisiert werden. Nachhaltige Materialien und DLR-eigene Technologien wurden interdisziplinär in einem Technologieschaukasten aufbereitet und erste ökologische Bewertungen durchgeführt. Analysen zu sogenannten **Light Electric Vehicles (LEV)** zeigen ein großes Potenzial für die Einsparung von Treibhausgasemissionen und die Flächennutzung im urbanen Raum. Ein **modularer Dualmover**, für den automatisierten Transport von Personen als auch Gütern konnte konzipiert und dessen Modularisierungsprinzipien untersucht werden. Für den automatisierten Transport von schweren Gütern wurden mit dem **Heavy Duty Robo Truck (HDRT)** Designstudien und Packagemodelle entwickelt. Diese zeigen ein vielversprechende Konzepte für den wichtigen Schwerlastverkehr auf.



Quelle: DLR (2024)

Abbildung 2: Schienenfahrzeug „NGT-Taxi“ zur Belebung und Reaktivierung von Nebenstrecken

Projektbezüge

Das DLR ist Teil des Europe's Rail Joint Undertakings und arbeitet unter anderem in den Projekten FP6-FutuRe und FP7-01 PODS4RAIL mit, die im direkten Zusammenhang mit VMo4Orte stehen.

Wissen. Kompakt.

- Zukunftsfähige, praxistaugliche, nachhaltige Konzepte wurden für Fahrzeuge für die Straße und Schiene aufgezeigt und teils mit fahrfähigen Prototypen getestet.
- NGC-ZERO: Lastenhefte und Designstudien wurden zur Definition und Visualisierung des emissionsreduzierten und kreislaufgerecht optimierten Konzepts erstellt.
- Light Electric Vehicles (LEV) zeigen ein großes Potenzial für die Einsparung von Treibhausgasemissionen.
- U-Shift: Das autonome und modulare Fahrzeugkonzept U-Shift wurde weiterentwickelt und Prototypen im Realbetrieb getestet. Ergänzend wurde mit der „Migrationstoolbox U-Shift“ eine digitale Werkzeugkette zur Beurteilung von Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Infrastrukturbedarf bei der Einführung einer Flotte von U-Shift Fahrzeugen entwickelt.
- NGT Taxi: Für die Belebung von Nebenstrecken durch Attraktivitätssteigerung wurde ein an den Einsatzzweck anpassbares Schienenfahrzeugkonzept entwickelt, das ein effizientes Beförderungsangebot 24/7 ermöglicht.

Weiterführende Referenzen

- Münster, Marco und Scheibe, Sebastian und Osebek, Manuel und Kopp, Gerhard und Hahn, Robert und Siefkes, Prof. Dr. Tjark (2022) Fahrzeugkonzepte für die Mobilität von morgen Vehicle concepts for the mobility of tomorrow. In: ATZlive Automatisiertes Fahren 2022. Springer. 8. Internationaler ATZ-Kongress: ATZlive Automatisiertes Fahren 2022, 2022-04-05 - 2022-04-06, Wiesbaden, Deutschland. Volltext nicht online.
- Hahn, Robert (2022) New exterior design options for improving the efficiency of fully autonomous heavy duty vehicles. Second International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology, 2022-11-23 - 2022-11-25, Italien.
- Sigle, Sebastian und Hahn, Robert (2023) Energy Assessment of Different Powertrain Options for Heavy-Duty Vehicles and Energy Implications of Autonomous Driving. Energies. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/en16186512. ISSN 1996-1073.
- Castelino, Redge Melroy und Rothemann, Karina und Lamm, Arne und Hahn, Axel (2024) Connected Vehicle Perception Monitoring: A Runtime Verification Approach for Enhanced Autonomous Driving Safety. In: Proceedings of the 10th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, Seiten 402-409. SCITEPRESS. VEHITS 2024, 2024-05-02 - 2024-05-04, Angers, France. doi: 10.5220/0012696400003702. ISBN 978-989-758-703-0.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

2.2 Akzeptanz von Mobilitätsinnovationen: Anforderungen von Nutzer/innen und Gesellschaft

Thema und Ziel

Die Gestaltung der Verkehrswende erfordert Fahrzeuge und innovative Mobilitätskonzepte, die Umweltzielen entsprechen, wirtschaftlich tragfähig sind sowie Teilhabe ermöglichen und zugleich akzeptiert werden – und das von unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Fahrzeuggestaltung sowie die Auswirkungen neuer Mobilitätsangebote in öffentlichen Räumen. Ziel unserer Forschungsarbeiten war es, ein tiefgreifendes Verständnis der vielfältigen Anforderungen unterschiedlicher Interessensgruppen und möglichen Widersprüchen zu erlangen und Möglichkeiten aufzuzeigen, gesellschaftliche Akzeptabilität neuer Mobilitätslösungen zu erhöhen. In diesem Kontext untersuchten wir Fahrzeuganforderungen am Beispiel des fahrerlosen, modularen U-Shift, das sowohl im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) wie auch in der Logistik genutzt werden kann. Ein weiterer Forschungsgegenstand waren sogenannte Elektroleichtfahrzeuge (Light Electric Vehicles, LEVs), die leichter und kleiner als Pkw sind.

Die Betrachtung der gesellschaftlichen Akzeptabilität im Zusammenhang mit der Entwicklung und Implementierung von innovativen Mobilitätslösungen haben wir anhand ausgewählter Mobilitätsinnovationen am Beispiel von Pilotprojekten bzw. Praxisbeispielen untersucht. Um gesellschaftliche Akzeptabilität untersuchbar zu machen, haben wir sie in die Dimensionen Finanzierung und Verteilung der Kosten, soziale Teilhabe und Gerechtigkeit, Flächennutzungskonflikte sowie Nachhaltigkeit und umwelt- und klimarelevante Aspekte heruntergebrochen und eine Checkliste mit Gütekriterien entwickelt. Als Mobilitätsinnovationen haben wir Automatisiertes Fahren, Elektromobilität und sicheres und bequemes Radfahren untersucht. Jede Mobilitätsinnovation wurde in Bezug auf die Dimensionen analysiert und bewertet.

Zentrale Forschungsergebnisse

Das hochautomatisierte, modulare Fahrzeugkonzept „U-Shift“ wurde auf der Bundesgartenschau in Mannheim erfolgreich getestet und transportierte über einen Zeitraum von sechs Monaten mehr als 10.000 Personen. Den Feldtest begleiteten innovative partizipative Methoden und umfassende Erhebungen mit Interessensgruppen wie Fahrgästen, Kommunen, Verkehrsbetreibern und Automobilzulieferern. Die gesammelten Rückmeldungen zeigen eine sehr positive Rezeption des U-Shift und geben wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung in Bezug auf Barrierefreiheit, Fahrgastinteraktion, Einsatzmöglichkeiten und die Fahrzeuggestaltung insgesamt.

Quelle: DLR (2024)



Abbildung 1: Erhebung von Anforderungen für eine barrierefreie Gestaltung des U-Shifts.

Für Elektrolichtfahrzeuge (LEV) zeigen unsere Analysen hohe Potenziale für den Substitution von Pkw-Fahrten und die Einsparung von Treibhausgasemissionen mit bis zu 50 % weniger Pkw-km und 44 % weniger Emissionen. Vor diesem Hintergrund wurden in Workshops mit ausgewählten Interessensgruppen (Pendler/innen und Pflegekräfte) Anforderungen gesammelt. Dabei zeigte sich zum Beispiel, dass die befragten Pflegekräfte für den Einsatz im mobilen Pflegedienst Vorteile in den kompakten Abmessungen und Kostenpotenzialen von LEVs sehen. Sie beschrieben jedoch auch Verbesserungsbedarf auf Basis von Praxis-Erfahrungen. Auffällig bei den Workshops war, dass die Diskussionen zu der Fahrzeugkategorie stark durch eine teils kritische Einstellung gegenüber Elektromobilität überlagert wurde. Um in Zukunft für Erhebungen ein Nutzungserlebnis anbieten zu können, wurde ein Mixed Reality (MR) Fahrzeugkonfigurator aufgebaut, mit dem Anforderung intuitiv über Gamification-Ansätze untersucht werden können.

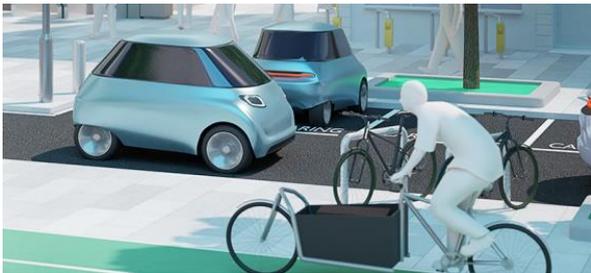


Abbildung 2: Elektrolichtfahrzeuge (LEVs) bieten Potenzial zur Substitution von Pkw und Reduzierung von Treibhausgasemissionen

Die Bezifferung der Kosten von Mobilitätsinnovationen anhand von konkreten Einzelmaßnahmen stellen aufgrund der Intransparenz der Kostenstruktur sowie der lokalen Variabilität eine Herausforderung dar, zudem sind die jeweiligen Kosten kaum übertragbar. Unter den beteiligten Akteuren kommt eine umfassende Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen der jeweiligen Technologie/Innovation zu kurz, sie wird oft sehr einseitig und als positiv wahrgenommen und mögliche Zielkonflikte weniger beachtet.

Quelle: DLR (2023)

Dimension	Checkliste für Akzeptabilität von Mobilitätsinnovationen
Finanzierung und Verteilung der Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Transparenz der Kosten/Haushaltsposten ✓ Nachhaltigkeit der Finanzierung ✓ Nutzen- und Lastenverteilung zwischen Öffentlicher Hand und Privatunternehmen
Soziale Teilhabe und Gerechtigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Orientierung an verschiedenen, auch benachteiligten Zielgruppen ✓ Teilhabe an Innovationen durch breite räumliche Verteilung der Projekte/Maßnahmen
Flächennutzungs-konflikte	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Anerkennung und Offenlegung bestehender Flächennutzungskonflikte ✓ Transparente Priorisierung von Flächennutzungen
Nachhaltigkeit und umwelt- und klimarelevante Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Berücksichtigung von umwelt- und klimaschädlichen Auswirkungen von Mobilitätsinnovationen ✓ Vermeidung von umwelt- und klimaschädlichen Auswirkungen

Abbildung 3: Checkliste zur gesellschaftlichen Akzeptabilität von Mobilitätsinnovationen

Barrierefreiheit wird zudem vernachlässigt und soziale Gerechtigkeit spielt eine untergeordnete Rolle. Die an der Einführung einer Innovation beteiligten Akteure haben wenig Einblick in andere Innovationen/Pilotprojekte.

Wissen. Kompakt.

- Fahrerloses Fahrzeug U-Shift: erfolgreiche Erprobung auf der BUGA Mannheim mit sehr positiven Rückmeldungen von Fahrgästen und befragten Stakeholdergruppen
- Elektrolichtfahrzeuge (LEVs):
 - Einsparpotenzial von bis zu 50 % Pkw-km und 44 % Pkw-bedingter Treibhausgasemissionen
 - Haltung zu Elektromobilität überlagert Diskussionen zu LEVs
 - Für die mobile Pflege sehen Befragte Potenzial durch kompakte Abmessungen und geringe Kosten von LEVs
- Für mehr gesellschaftliche Akzeptabilität wird empfohlen:
 - Einführung einer Checkliste für die Planung von Pilotprojekten/Maßnahmen zur Einführung von Mobilitätsinnovationen
 - Mehr Kostentransparenz bei Einzelmaßnahmen
 - Bei Mobilitätsinnovationen sollte eine verkehrsmittelübergreifende strategische Planung zur rechtzeitigen Identifizierung und Adressierung von Ziel- und Raumnutzungskonflikten stattfinden.

Weiterführende Referenzen

- Brost, Mascha und Gebhardt, Laura und Ehrenberger, Simone und Dasgupta, Isheeka und Hahn, Robert (2022) The Potential of Light Electric Vehicles for Climate Protection through Substitution for Passenger Car Trips - Germany as a Case Study. [Projektbericht](#).
- Gebhardt, Laura und Brost, Mascha und Seiffert, Robert (2023) What Potential Do Light Electric Vehicles Have to Reduce Car Trips? Future Transportation (3), Seiten 918-930. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/futuretransp3030051. ISSN 2673-7590.
- Dreßler, Annika und Höfer, Emma und Brost, Mascha und Gebhardt, Laura und Böhm, Michael (2024) Car commuters' requirements for using light electric vehicles (LEV). In: Advances in Human Factors of Transportation - Proceedings of the 2024 AHFE Conference, Seiten 278-285. AHFE International. AHFE 2024 International Conference, 2024-06-24 - 2024-07-27, Nizza, Frankreich. doi: 10.54941/ahfe1005218.
- Thorben Brandt, Marc Wilbrink, Michael Oehl, Transparent internal human-machine interfaces in highly automated shuttles to support the communication of minimal risk maneuvers to the passengers, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 107, 2024, Pages 275-287, ISSN 1369-8478, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.09.006>.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

Die folgenden Beiträge zeigen die thematische Bandbreite im Projekt VMo4Orte zu Wirkungsanalysen von Mobilitäts- und Logistikkonzepten und ihren Auswirkungen für Stadt und Umland:

Inklusions- und Diversitätsmaße für Stadt und Umland

Die im Projekt entwickelten Inklusions- und Diversitätsmaße zeigen am Beispiel der Region Berlin-Brandenburg, inwieweit Angebotsvielfalt und Reisezeiten in einem Gebiet der Idee der 15-Minuten-Stadt entsprechen.

Wirkungsanalysen von Umgestaltungsmaßnahmen

Mit Verkehrs- und Lärmmodellierung wurde untersucht, welche Auswirkungen die vom Berliner Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg geplanten Umgestaltungsmaßnahmen auf die Verkehrsmittelwahl und die Lärmbelastung in einem Quartier haben. Die Ergebnisse zeigen einen Rückgang der Pkw-Nutzung zugunsten des Umweltverbundes sowie positive Effekte auf die Lärmbelastung.

Abschätzen des Effektes von Umgestaltungen im Straßenraum auf die lokale Ökonomie

Mobilitätsdaten aus Mobiltelefonen wurden genutzt, um die Fußgängerfrequenz zu messen und die Auswirkungen von Straßenumgestaltungen auf die Attraktivität des Standorts zu bewerten.

Fernerkundung zur Erfassung von Verkehrsflächen

Mit einem neuen Ansatz wurden Verkehrsflächen aus Fernerkundungsdaten flächendeckend erfasst, in Karten dargestellt und analysiert. Damit können Fernerkundungsdaten als Datenquelle für die Verkehrsplanung erschlossen werden, z.B. um vielfältige Fragestellungen zu Parkflächen zu beantworten.

Leistungsfähigkeit von On-Demand Verkehr im kleinstädtischen und ländlichen Raum

In Kooperation mit dem Regionalverband Großraum Braunschweig wurde die Leistungsfähigkeit von On-Demand-Verkehren untersucht. Mittels mikroskopischer Verkehrsmodelle konnte gezeigt werden, dass mit On-Demand-Verkehren höhere Effizienzen erreicht werden können als im Taxi- und privaten PKW-Verkehr, insbesondere im ländlichen Raum und als Zu- und Abbringer zu zentralen Orten.

WISSEN. KOMPAKT.

3 Wirkungsanalysen von Mobilitäts- und Logistikkonzepten und ihren Auswirkungen für Stadt und Umland

Um den Verkehr zukunftsfähig zu machen und die Verkehrswende vor Ort in Städten und Regionen zu gestalten, werden eine Vielzahl innovativer Mobilitäts- und Logistikkonzepte realisiert, die oftmals auch mit Umgestaltungen im öffentlichen Raum einhergehen. Da es sich um neuartige Konzepte handelt, fehlen häufig Erfahrungswerte, ob eine Umsetzung der Konzepte die erwarteten Effekte erzielt.

Wirkungsanalysen helfen dabei, die Auswirkungen von Umgestaltungsmaßnahmen oder neuen Angeboten abzuschätzen. Sie können sowohl vor der Umsetzung sinnvoll sein – beispielsweise um verschiedene Alternativen gegeneinander abzuwägen – oder auch im Nachhinein, um zu überprüfen, ob die erwarteten Effekte tatsächlich eingetreten sind.

Im Rahmen des Projektes VMo4Orte wurden Wirkungsanalysen von Mobilitäts- und Logistikkonzepten für verschiedene Anwendungsfälle und mit einer Vielzahl unterschiedlicher Methoden durchgeführt, beispielsweise Berechnung von Diversitäts- und Inklusionsmaßen, Verkehrs- und Lärmmodellierung, mikroskopische Verkehrssimulation, Analyse von Mobilitätsdaten aus Mobilfunkdaten sowie Analyse von Fernerkundungsdaten.

Einige Arbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus der Praxis und für konkrete räumliche Anwendungsfälle, beispielsweise mit dem Berliner Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg oder dem Regionalverband Großraum Braunschweig. So konnte eine besonders hohe Praxisrelevanz der Ergebnisse erzielt werden.

WISSEN. KOMPAKT.

Autor: Daniel Krajzewicz

3.1 Inklusions- und Diversitätsmaße für Stadt und Umland

Thema und Ziel

Ein aktuell oft angeführter Ansatz für das Erreichen einer Verkehrswende ist die 15-Minuten-Stadt. Innerhalb von Städten der 15 Minuten sollen alle Orte von zentralen Aktivitäten innerhalb von 15 Minuten Reisezeit zu Fuß oder mit dem Rad erreichbar sein, unterstützt vom ÖPNV.

Städte der 15 Minuten sollen damit durch die Reduktion des motorisierten Individualverkehrs Luftschadstoffe und andere negative Auswirkungen aktuellen Verkehrs reduzieren. Durch die Förderung aktiver Mobilität tragen sie außerdem zur Gesundheit bei, steigern den sozialen Zusammenhalt durch die gemeinsame Nutzung des Straßenraums und erhöhen die Lebendigkeit von Städten, die aktuell auch durch den zunehmenden Online-Handel unter Druck stehen.

Das Ziel unserer Arbeiten war die Herleitung von Indikatoren (Bewertungsmaßen), die helfen festzustellen, welche Städte oder Gebiete die Anforderungen an eine Stadt der 15 Minuten erfüllen. Ein Zwischenergebnis hierbei ist die Definition eines Diversitätsmaßes, das angibt, wie unterschiedlich die Angebote vor Ort sind. Hierauf aufbauend können die Bedarfe verschiedener Personengruppen nach Orten, die es aufzusuchen gilt, gegen das Angebot – die Verteilung der entsprechenden Orte innerhalb der Stadt – gestellt werden.

Bei den berechneten Inklusionsmaßen sind lediglich die Einflüsse der Verfügbarkeit von Orten, an denen Aktivitäten durchgeführt werden können, betrachtet worden. Anzumerken bleibt, dass Inklusion viele andere Themen beinhaltet, wie z.B. Sprachbarrieren, sozialer Status, Mobilitätseinschränkungen oder familiäre Umstände, die hier nicht berücksichtigt wurden.

Herangehensweise

Der Raum Berlin-Brandenburg ist mithilfe des Programms zum Berechnen von Erreichbarkeitsmaßen „UrMoAC“ [1] untersucht worden. Ausgehend von einzelnen Gebäuden innerhalb dieses Raums wurden die Zugangszeiten zu Orten berechnet, an denen eine der fünf Hauptwegzwecke der Befragung „Mobilität in Deutschland“ (MiD) (Arbeit, Ausbildung, Einkauf, private Erledigungen sowie Freizeit) durchgeführt werden kann. Die Ergebnisse werden beispielhaft für den Zugang zu Schulen in Abbildung 1 gezeigt.

Quelle: DLR (2023)

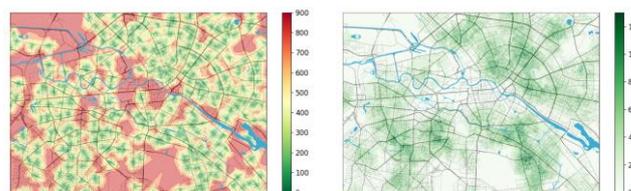


Abbildung 1: Zugang zu Schulen in Berlin; links: Reisezeit zur nächsten Schule in Sekunden, rechts: Anzahl innerhalb von 15 Minuten zu Fuß erreichbarer Schulen.

Erreichbarkeitsmaße zeigen auch die allgemeine Versorgung mit nahräumlichen Angeboten auf. Abbildung 2 zeigt, welcher Anteil der Bevölkerung in Berlin-Brandenburg wie lange für das Erreichen bestimmter Infrastrukturen zu Fuß benötigt.

Quelle: DLR 2023

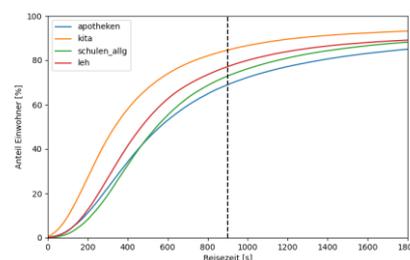


Abbildung 2: Kumulierte Zugangszeit zu Apotheken, Kitas, allgemeinen Schulen und Lebensmittelhändlern zu Fuß.

Zentrale Forschungsergebnisse

Angebotsdiversität

Die Angebotsdiversität eines Raumes zeigt, wie durchmischt dieser mit Angeboten verschiedener Art ist. Die Anzahl innerhalb von 15 Minuten erreichbarer Orte, unterteilt nach den fünf MiD-Wegezwecken, fließt in den Entropie-Index nach Shannon ein. Dieser Index liefert Werte zwischen 0 (keine Angebote vor Ort) und 1 (alle Angebote vor Ort in gleicher Anzahl). Der Index zeigt Orte mit geringerer Durchmischung auf - wie z. B. den Kurfürstendamm in Berlin innerhalb dessen Einkauf dominiert - oder gewachsene Strukturen mit starker Angebotsdiversität wie z. B. Rangsdorf. [2]



Abbildung 3: Darstellung des Diversitätsindex für den S-Bahn-Ring der Stadt Berlin.

Inklusion

Die Erreichbarkeit der Orte täglicher Erledigungen kann auch mit dem tatsächlichen Mobilitätsverhalten verknüpft werden. Auf Grundlage der MiD-Befragung können Aussagen zu den in Deutschland durchgeführten Wegen samt Zweck für verschiedene Bevölkerungsgruppen getroffen werden. Ziel unserer Untersuchung war festzustellen, welche Personengruppen an welchen Orten in der Lage sind, die über eine Woche aufgesuchten Ziele möglichst umweltfreundlich zu erreichen.

Im folgenden wird angenommen, dass Verkehrsmittel in der Reihenfolge zu Fuß, Rad, öffentlicher Verkehr und Pkw gewählt werden. Ein Verkehrsmittel wird genutzt, wenn es erlaubt, die Aktivitätsorte in unter 15 Minuten zu erreichen. Ansonsten wird der nächste Verkehrsmodus genutzt.

Mobilitätsverhalten einer Personengruppe pro Woche können verschiedene Kennwerte berechnet werden, wie z.B. die benötigte wöchentliche Reisezeit oder das Verkehrsmittel, das mindestens notwendig ist, um die Ziele innerhalb der formulierten Zeitspannen zu erreichen.

So genügt, aufgrund der hohen Dichte und Vielfalt an Aktivitätsorten, innerhalb des S-Bahn-Rings in Berlin ein Fahrrad um alle Ziele innerhalb von 15 Minuten zu erreichen. Außerhalb des Rings muss der ÖPNV genutzt werden, was jedoch nur auch möglich ist, wenn der Zugang zu diesem kurz ist. Wer in einer Seitenstraße lebt oder außerhalb Berlins kann alle alltäglich besuchten Ziele nur mit einem eigenen Pkw innerhalb von 15 Minuten erreichen – oder benötigt eine längere Zeit.

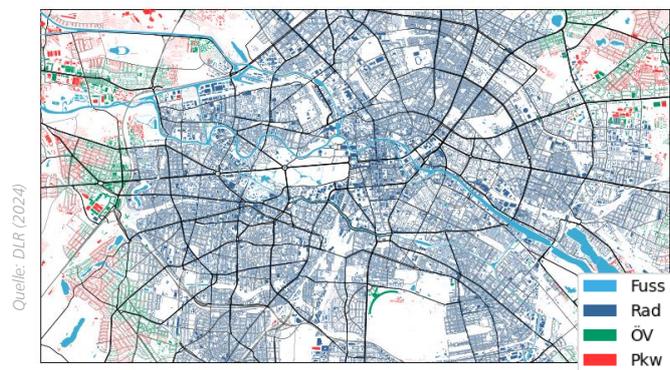


Abbildung 4: Das mindestens benötigte Verkehrsmittel mit dem alle Ziele innerhalb der festgesetzten Reisezeit erreicht werden können.

Wissen. Kompakt.

Im Konzept der 15-Minuten-Stadt sind alle Orte zentraler Aktivitäten innerhalb von 15 Minuten mit aktiven Modi oder dem ÖPNV erreichbar. Um zu veranschaulichen und messbar zu machen, inwieweit ein Gebiet der Idee der 15-Minuten-Stadt entspricht, wurden Inklusions- und Diversitätsmaße entwickelt.

Die Indizes ermöglichen vielfältige Fragestellungen zu Angebotsvielfalt und Reisezeiten differenziert für verschiedene Aktivitäten, Verkehrsmittel und Personengruppen zu beantworten. Dies wurde exemplarisch für die Region Berlin-Brandenburg gezeigt.

Weiterführende Referenzen

- [1] D. Krajzewicz, D. Heinrichs, R. Cyganski: *Intermodal Contour Accessibility Measures Computation Using the 'UrMo Accessibility Computer'*. In: International Journal On Advances in Systems and Measurements, 10 (3&4), Seiten 111-123.
- [2] T. Friedrich (2024) *Entwicklung eines Diversitätsindicators zur Planung nahräumlicher Versorgungsinfrastrukturen am Beispiel Berlin-Brandenburg*. Bachelorarbeit, Technische Hochschule Wildau

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autorinnen: Simon Nieland, Ella Eiseemann, Rebekka Oostendorp, Daniel Krajzewicz, Tobias Müller

3.2 Wirkungsanalysen von Umgestaltungsmaßnahmen

Thema und Ziel

Um die Verkehrswende lokal zu realisieren, verwenden Kommunen Maßnahmen mit denen Verkehrsflächen umgestaltet und umgewidmet werden. Bevor solche Maßnahmen durchgeführt werden, sollten die erwarteten Auswirkungen auf die Bevölkerung, deren Mobilität und die Straßenlärmbelastung untersucht werden. Diese Auswirkungen können vorab mit Hilfe von Verkehrs- und Lärmmodellierung abgeschätzt werden. Für eine soziale Verkehrswende sollte auch beachtet werden, wie die Maßnahmen unterschiedliche Personengruppen beeinflussen.

Im Forschungsprojekt gab es dafür eine Kollaboration mit dem Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg in Berlin. Zwei Szenarien aktueller Planungsentwürfe wurden dabei in Simulationen auf ihre erwartbaren, verschiedenen Auswirkungen vorab untersucht. Die untersuchten Umgestaltungsmaßnahmen umfassten Diagonalsperren („Modalfilter“), Fußgänger/innenzonen, Schulzonen, Nur-Bus-Straßen und Einbahnstraßen (Abb. 1). Die Ergebnisse helfen dem Bezirk dabei, angemessene, passende und zielbringende Maßnahmen umzusetzen.



Abbildung 1: Das Gebiet um den Lausitzer Platz in Berlin mit untersuchten Maßnahmen.

Vorgehensweise

Der Weg von der Planung von Maßnahmen bis zu Aussagen über die zu erwartenden Auswirkungen bezüglich Verkehrsmittelwahl, Verkehrsbelastung und Lärm läuft über unterschiedliche Verkehrs- und Lärmmodelle. Zuerst werden mit Hilfe des Verkehrsnachfragemodells TAPAS [1] auf der Basis von statistischen Daten die Bevölkerung, Verkehrsnetze und die Fahrtziele samt Zweck abgebildet. Daraus werden für jede Person die innerhalb eines durchschnittlichen Wochentages durchgeführten Fahrten errechnet. In Rückkopplung mit der Verkehrsflusssimulation SUMO [2] werden für jede der Fahrten Reisezeit und Reiseroute berechnet. Aus diesem synthetischen Verkehr ergibt sich dann einerseits die Verkehrsbelastung bzw. der Verkehrszustand. Andererseits können die einzelnen Fahrzeugpositionen über die Zeit für die Berechnung des Lärms genutzt werden. Für diese Berechnung werden im Modell entlang des Straßennetzwerks am Boden und an den Fassaden statische Emissionspunkte und statische Empfängerpunkte verteilt und die akustischen Strahlengänge dazwischen errechnet. Im letzten Schritt wird aus den von SUMO generierten Fahrzeugtrajektorien der entsprechende zeitaufgelöste Lärm der Fahrzeuge berechnet und der zeitaufgelöste Schallpegel akkumuliert.

Um die Auswirkungen der Maßnahmen zu bestimmen, wird einerseits dieser Workflow im Status quo gerechnet und andererseits in Szenarien mit den im Modell umgesetzten Maßnahmen. In einem iterativen Prozess können dadurch die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Verkehrsmittelwahl und die Verkehrsbelastung bestimmt werden.

Zentrale Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse der Verkehrsmittelwahl [3] zeigen, dass der Anteil mit motorisiertem Individualverkehr, also dem eigenen Pkw, durchgeführter Fahrten durch die Maßnahmen reduziert wird und mehr Fahrten mit dem Umweltverbund (zu Fuß, Fahrrad, ÖPNV) durchgeführt werden. Werden unterschiedliche sozioökonomische Gruppen (nach Erwerbsstatus, Alter, Gender, ökonomischer Status, Alleinerziehende) betrachtet, wird für die untersuchten Maßnahmen deutlich, dass keine Gruppe besonders betroffen ist, jedoch ein besonders hoher Fußverkehrsanteil unter den benachteiligten Gruppen herrscht (Beispiel in Abb. 2).

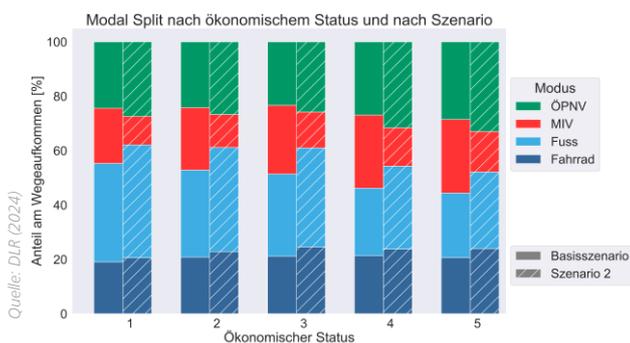


Abbildung 2: Auswirkungen der Umgestaltungsmaßnahmen auf die Wahl der Verkehrsmittel in Abhängigkeit vom ökonomischen Status (1 = niedrig, 5 = hoch).

Die Ergebnisse der Lärmmodellierung [4] zeigen, dass die Maßnahmen zu einer deutlichen Reduktion von Straßenlärm führen. Vor allem die Beeinträchtigung der Nachtruhe (23 Uhr bis 7 Uhr) wird als besondere Belästigung durch Straßenlärm angesehen. Die Maßnahmen führen nachts insbesondere in den Nebenstraßen zu einer erheblichen Reduktion der durchschnittlichen Lärmbelastung von bis zu -15 dB(A) (vgl. Abb. 3). Zusätzlich zu diesen gemittelten Resultaten ermöglicht die zeitaufgelöste Lärmkartierung auch eine Abschätzung der Aufwachwahrscheinlichkeit aufgrund einzelner Vorbeifahrten. Unsere Resultate zeigen, dass der Einfluss der Maßnahmen darauf stark variiert. Insgesamt führen die Maßnahmen zu einer Reduktion der Aufwachwahrscheinlichkeit um bis zu 20%.

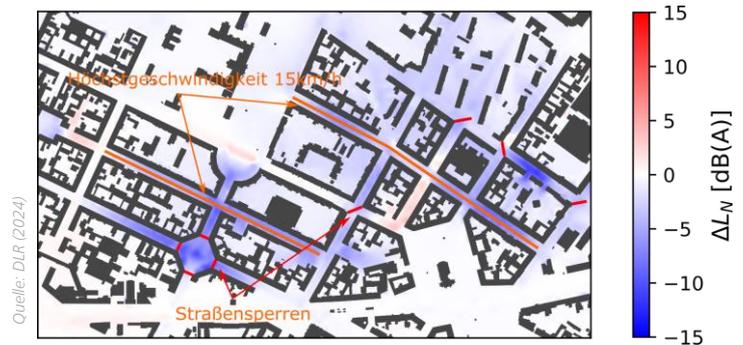


Abbildung 3: Differenz des äquivalenten Dauerschallpegels während der Nacht (23 Uhr bis 7 Uhr) aufgrund der gewählten Umgestaltungsmaßnahmen für den Straßenverkehr in der Region um den Lausitzer Platz in Berlin.

Beteiligte Partner

Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg

Wissen. Kompakt.

Für die Verkehrswende sind Umgestaltungsmaßnahmen im Straßenraum wichtig. Bevor sie umgesetzt werden, können Maßnahmen mit Hilfe von Simulation auf ihre Wirkungen untersucht werden. In unserer Forschung haben wir den Einfluss von Maßnahmen in einem Gebiet in Berlin Friedrichshain-Kreuzberg auf die Verkehrsmittelwahl und auf die Lärmbelastung untersucht. Die Maßnahmen, wie Einbahnstraßen, Diagonalsperren und Fußgänger/Innenzonen haben im Modell dazu geführt, dass Personen deutlich weniger den privaten PKW nutzen und mehr den Umweltverbund (zu Fuß, Fahrrad, ÖPNV). Außerdem wird deutlich, dass benachteiligte Gruppen besonders stark den Fußverkehr nutzen. Die Wirkung der Maßnahmen auf die durch Straßenverkehr verursachte Lärmbelastung und Aufwachwahrscheinlichkeit ist erheblich. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Maßnahmen die gewünschten Effekte erzielen sowie keine untersuchten negativen Konsequenzen erkennbar sind.

Weiterführende Referenzen

- M. Heinrichs, D. Krajzewicz, R. Cyganski, A. von Schmidt, *Disaggregated car fleets in microscopic travel demand modelling*. In: The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016) doi: 10.1016/j.procs.2016.04.111. ISSN 1877-0509, 2016.
- P. Alvarez Lopez et al., *Microscopic traffic simulation using SUMO*. In The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2018.
- E. Eisemann: Infrastrukturmaßnahmen auf dem Weg zur sozial-ökologischen Mobilitätswende, Masterarbeit, Fachhochschule Potsdam, 2023, online verfügbar: https://elib.dlr.de/203034/1/2023_Ella_Eisemann_Masterarbeit.pdf.
- T. S. Müller et al., *Applying time-resolved noise maps to assess the impact of road-traffic measures on wake-up reactions in urban environments*. In: Internoise 2023 - 52nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Seiten 2634-2639. Internoise 2023, 2023-08-20 - 2023-08-23, Chiba, Japan. doi: 10.3397/IN_2023_0386. ISSN 0736-2935.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Michael Hardinghaus,
Alejandro Prieto Mota

3.3 Abschätzen des Effektes von Umgestaltungen im Straßenraum auf die lokale Ökonomie

Thema und Ziel

In vielen Städten werden öffentliche Räume in lebenswertere Bereiche umgewandelt, die aktive Mobilität fördern und den Autoverkehr reduzieren. Einzelhändler und lokale Unternehmen äußern oft im Voraus Bedenken, da sie befürchten, Kunden zu verlieren.

Methodisch gibt es verschiedene Ansätze zur Bewertung der Auswirkungen solcher Umgestaltungen auf die lokale Wirtschaft. Diese unterscheiden sich in Methoden, Indikatoren, Stichprobengröße und betrachteter Zeitspanne. Verkaufsentwicklungen, Gewerbemieten, Passantenfrequenzen und Umfragen zur Zufriedenheit von Kunden und Unternehmen sind gängige Indikatoren. Zeitliche und räumliche Vergleichsdaten bieten dabei wertvolle Erkenntnisse. Die unterschiedlichen Methoden und Indikatoren erschweren eine wissenschaftliche Zusammenführung der Ergebnisse. Zudem können globale Trends, wie vermehrtes Online-Shopping während der Covid-19-Pandemie, die Ergebnisse beeinflussen.



Foto 1: Radfahrstreifen in der umgestalteten Bergmannstraße.

Hier soll ein vergleichbarer Bewertungsansatz entwickelt werden, der die Basis für größere statistische Analysen bildet. Dabei nutzen wir Fußgängerfrequenzen als Proxy für die Attraktivität eines Standortes und verwenden Mobilitätsdaten aus Mobilfunkdaten, um räumlich und zeitlich vergleichbare Daten zu erfassen. Wir testen die Methode, indem wir die Entwicklungen von 2019 bis 2023 in drei Berliner Stadtteilzentren untersuchen (Abb. 1). Eine der Straßen, die Bergmannstraße, wurde zugunsten aktiver Mobilität und Aufenthaltsqualität umgestaltet, während die anderen beiden unverändert blieben und als Vergleich dienen.

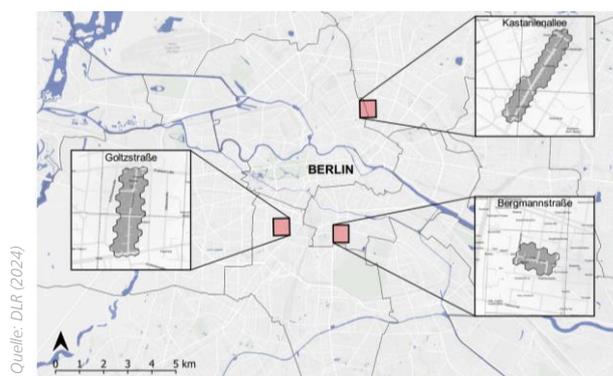


Abbildung 1: Lage der untersuchten Stadtteilzentren in Berlin..

Zentrale Forschungsergebnisse

Die wöchentlichen relativen Unterschiede in der Fußgängerfrequenz liegen zwischen -8,3 % und +62,5 %. Das Wachstum in der umgestalteten Bergmannstraße fällt deutlich höher aus als an den beiden Vergleichsstraßen (Abb. 2).

Der durchschnittliche Anstieg der Besucherzahlen pro Woche von 2019 bis 2023 beträgt in der Bergmannstraße 35,7 %, in der Goltzstraße 11,7 % und in der Kastanienallee 0,4 %. Die Ergebnisse zeigen einen starken positiven Effekt der Umgestaltungsmaßnahmen auf die Fußgängerfrequenz. Demnach besuchen nach der Umsetzung der Verkehrsberuhigungsmaßnahmen deutlich mehr Menschen die untersuchte Straße als zuvor. Daher wird angenommen, dass die angestrebte Verbesserung der Aufenthaltsqualität und Attraktivität erreicht wurde. Dies deutet darauf hin, dass auch ein positiver Effekt auf den Umsatz zu erwarten ist, da die Fußgängerfrequenz mit der Beliebtheit des Standorts und dem Zustand der lokalen Wirtschaft korreliert. Allerdings ist diese Korrelation nicht für alle Orte und lokalen Wirtschaftszweige erwiesen. Somit sind auch bei starkem Zuwachs an Passanten unterschiedliche Auswirkungen auf einzelne Gewerbetreibende möglich.

Quelle: DLR (2024)

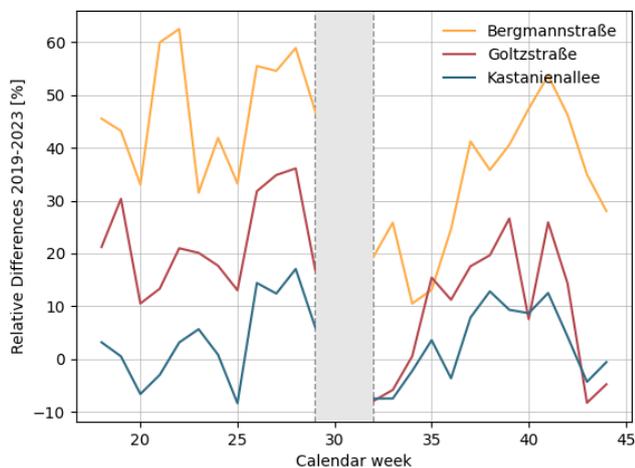


Abbildung 2: Relative Veränderungen der Fußgängerfrequenz in den drei untersuchten Stadtteilzentren zwischen 2019 und 2023.



Quelle: DLR (2024)

Foto 2: Umgestaltung der Bergmannstraße: Erhöhung der Aufenthaltsqualität.

Wissen. Kompakt.

Umgestaltungen im Straßenraum werden von lokal ansässigen Gewerbetreibenden häufig kritisch gesehen. Die Auswirkungen einer Umgestaltung auf die lokale Ökonomie lassen sich mit verschiedenen Methoden abschätzen.

Der hier vorgestellte Ansatz nutzt Mobilitätsdaten aus Mobiltelefonen, um die Fußgängerfrequenz zu messen und die Auswirkungen von Straßenumgestaltungen auf die Attraktivität des Standorts zu bewerten. Die Methode eignet sich für räumliche und zeitliche Vergleiche. Zudem ermöglicht sie aufgrund der Datenmenge großflächige Auswertungen.

Die Fallstudie zeigt, dass in allen drei untersuchten Orten die Fußgängerfrequenz gestiegen ist. Der Anstieg in der umgestalteten Straße war jedoch deutlich höher als in den beiden Vergleichsstraßen. Die Verweildauer blieb an allen Orten ähnlich und stieg leicht. Dies deutet darauf hin, dass die verbesserte Aufenthaltsqualität mehr Menschen anzieht. Dabei könnten auch andere unbekannte Faktoren ebenfalls eine Rolle spielen.

Weiterführende Referenzen

- Hardinghaus, Michael und Nieland, Simon und Schuppan, Julia und Cyganski, Rita und Prieto Mota, Alejandro (2024) Evaluating the effect of transforming public space on customer traffic – utilization of mobile phone data. 7th Conference on Sustainable Urban Mobility, 2024-09-04 - 2024-09-06, Karditsa, Griechenland.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autor/innen: Felix Rauch, Jens Hellekes
Corentin Henry, Nina Merkle, Franz Kurz

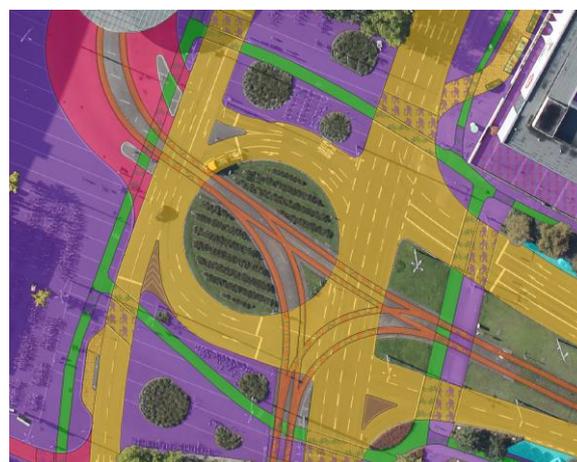
3.4 Fernerkundung zur Erfassung von Verkehrsflächen

Thema und Ziel

Angesichts der Herausforderungen des 21. Jahrhunderts wie der Klimawandelanpassung, der Verkehrswende sowie der Schaffung lebenswerter Städte ist ein tiefgreifender Eingriff in die Verkehrsinfrastruktur unverzichtbar. Für die Entwicklung, Auswahl und Umsetzung von städte- und verkehrsplanerischen Maßnahmen ist eine vollständige Inventarisierung des Verkehrsraums erforderlich – die aktuelle Datenlage zur Verkehrsinfrastruktur weist allerdings erhebliche Lücken auf. Dies ist unter anderem auf die Vielzahl an Datensätzen aus verschiedenen Quellen zurückzuführen, welche mit unterschiedlichen Methoden für zumeist kleine Gebiete erhoben wurden und zu einer eingeschränkten Vergleichbarkeit der Datensätze führen. Zudem fehlen Informationen wie jene zum Parkraum auf privaten Flächen gänzlich.

Zur Schließung dieser Lücken wurde im Rahmen des Projekts VMo4Orte ein Ansatz entwickelt, der Informationen über die Verkehrsinfrastruktur KI-basiert und vollständig automatisiert aus Luftbildern ableitet. Die Luftbilder werden im Auftrag der Bundesländer ein- bis zweijährlich flächendeckend aufgenommen und für vielfältige Nutzungen öffentlich bereitgestellt. Ein manuell erstellter Trainingsdatensatz dient als Grundlage für das Training eines KI-basierten Segmentierungsalgorithmus, der bis zu neun Verkehrsflächenklassen mit verschiedenen Attributen anhand von Luftbildern identifizieren kann. Für eine effiziente Nutzung der pixelbasierten Ergebnisse werden die Segmente nachträglich in ein Vektorformat konvertiert. Durch zusätzliche Prozessierungsschritte werden die Objekte mit weiteren Attributen angereichert, bspw. der Kapazität von erkannten Parkflächen auf öffentlichem und privatem Grund.

Dieser Ansatz zur Inventarisierung von Verkehrsinfrastruktur erzeugt eine flächendeckende und methodisch konsistente Datengrundlage, welche zur Bewältigung der zuvor genannten Herausforderungen beiträgt und bereits in der Erstellung städtischer Parkraumkataster und der Verkehrsmodellierung zur Anwendung kommt.



Quelle: DLR (2024)

Abbildung 1: Ausschnitt eines annotierten Luftbilds.

Zentrale Forschungsergebnisse

Der Trainingsdatensatz TIAS (Traffic Infrastructure and its Surroundings) bildet das Herzstück des entwickelten Ansatzes. Dafür wurden 57 großformatige Luftbilder manuell und mit hoher Präzision annotiert. Der Datensatz spiegelt neun Verkehrsflächenklassen wieder, wobei weitere Eigenschaften über fünf Attribute abgebildet werden. TIAS ist zum aktuellen Zeitpunkt einzigartig und stellt neue Herausforderungen an Algorithmen zur Segmentierung von Fernerkundungsdaten.

Indem eine Mehrfachnutzung von Flächen durch verschiedene Verkehrsteilnehmenden in TIAS abgebildet wird, ist es nicht nur möglich, Klassen separat zu segmentieren; auch kann die Topologie von Verkehrsnetzwerken rekonstruiert sowie Baustellen identifiziert werden. Die Algorithmen sind in einer Prozessierungskette eingebunden, in welcher die kachelbasierten Ergebnisse kombiniert und als Vektoren in einer Datenbank abgespeichert werden. Damit können großflächige Auswertungen zu verschiedenen Themen in kurzer Zeit durchgeführt werden. Aus den Ergebnissen ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, welche teilweise bereits an konkreten Fallbeispielen untersucht werden. So wurde eine thematische Karte abgeleitet, die den öffentlichen und privaten Parkraum in einer deutschen Großstadt zeigt.

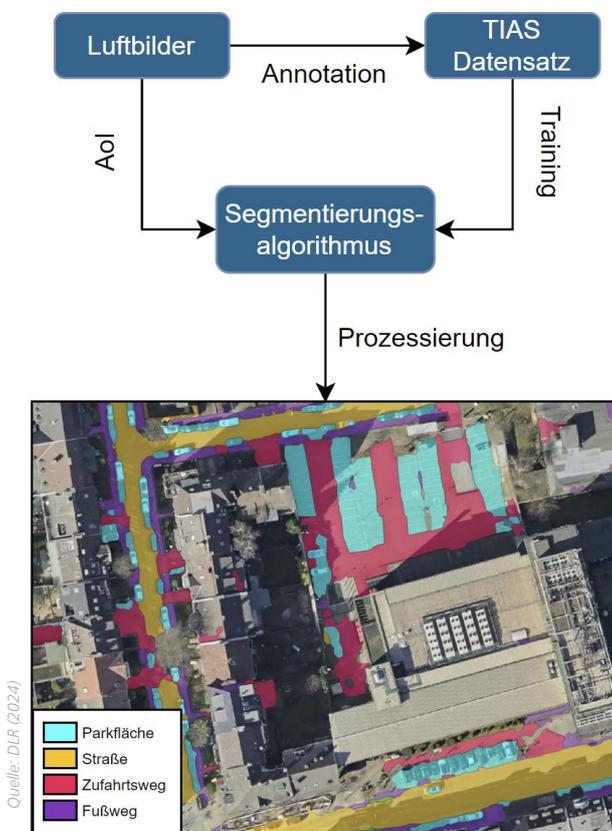


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung des Workflows für die automatisierte Generierung einer Verkehrsflächenkarte.

Eine weitere konkrete Anwendung ist die Verbesserung und Analyse der Verkehrssicherheit durch die Verknüpfung der Kartierungsergebnisse mit Unfalldaten. Die kontinuierliche Aktualisierung der Verkehrsflächenkarten mit aktuellen Luftbilddaten bietet zudem großes Potenzial für die Nutzung im Bereich des autonomen Fahrens.

Beteiligte Partner

DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung
DLR-Institut für Verkehrsforschung



Wissen. Kompakt.

Räumliche Datensätze zur Verkehrsinfrastruktur in Deutschland sind aktuell lückenhaft und weisen kein einheitliches Format auf – dies erschwert die Skalierung von Anwendungen, welche auf eine einheitliche Datenbasis für großräumige Untersuchungen setzen. Um diese Lücke zu schließen, wurde der neuartige TIAS-Datensatz zusammen mit einem KI-basierten Segmentierungsalgorithmus entwickelt. Eine effiziente Prozesskette ermöglicht die Extraktion von Verkehrsflächen auf Ebene von Bundesländern. Mit neun verschiedenen Verkehrsflächenklassen und weiteren Attributen wird eine bisher unerreichte Granularität erzielt. Dabei bietet der Datensatz das Potenzial, Flächen sichtbar zu machen, die von mehreren Verkehrsmodi genutzt werden und potenzielle Konfliktstellen darstellen. Indem die Verkehrsflächenkarten mit Unfalldaten und weiteren Informationsquellen verschnitten werden, können sicherheitskritische Bereiche identifiziert und Maßnahmen gezielt entwickelt werden. Ebenso ergeben sich stadt- und verkehrsplanerische Anwendungen, bspw. als Datengrundlage für die Parkraumbewirtschaftung.

Weiterführende Referenzen

- Merkle, Nina und Rauch, Felix und Henry, Corentin und Hellekes, Jens und Kurz, Franz (2024) TIAS: An aerial traffic infrastructure dataset to study transportation in urban environments. GeoDPA - International Conference on Geoinformation Data, Processing and Applications, 2024-04-23 - 2024-04-25, Oldenburg.
- Thomas, Annie (2024): Exploration of Traffic Area Segmentation on Aerial Imagery to Address the Parking Data Requirements of Travel Demand Models. Masterarbeit, Technische Universität München.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.



WISSEN. KOMPAKT.

Autor: Benedikt Scheier

3.5 Leistungsfähigkeit von On-Demand Verkehr im kleinstädtischen und ländlichen Raum

Thema und Ziel

On-Demand Verkehr (oder auch Linienbedarfsverkehr nach §44 PBefG) dient als Ergänzung zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) in zeitlich und räumlich schwächer nachgefragten Regionen. Als digitalisierter flexibler öffentlicher Verkehr (ÖV) bietet es nachfragegerecht Fahrten an und das bei hoher Qualität, da es nicht an starren Zeiten und Linien gebunden ist. Hoch automatisierte Fahrzeuge haben hier ein besonderes Potential die ökonomische Effizienz zu steigern. Im DLR-Projekt VMo4Orte untersuchen wir gemeinsam mit unserem Praxispartner Regionalverband Großraum Braunschweig (Aufgabenträger für den ÖPNV der Region), wie häufig und wo es bevorzugt genutzt wird. Das Ziel ist es bei möglichst wenig Fahrzeugeinsatz eine hohe Qualität zu erreichen und so viele Personen von A nach B zu befördern. Es soll einen Beitrag für einen attraktiven und effizienten ÖPNV sein und damit den Verkehr klimaschonender gestalten. Hierfür wurden empirischen Daten von On-Demand Verkehr ausgewertet, insbesondere um erfahren zu können, wo der Verkehr auf hohe Akzeptanz trifft. Gezielt wurden Simulationsstudien durchgeführt, um Aussagen zur optimalen Effizienz treffen zu können.

Forschungsfragen

- Wo sollte On-Demand ÖV eingesetzt werden, wo eher nicht?
- Wie leistungsfähig kann On-Demand ÖV sein?
- Wie stellt sich die Leistungsfähigkeit im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern, z.B. zu dem motorisierten Individualverkehr (MIV) oder herkömmlichen Taxiverkehren dar?

Vorgehen und Methodik

Mittels modellbasierter mikroskopischer Verkehrssimulationen mit dem open source DLR-Tool SUMO wurden Sensitivitätsanalysen zum Zusammenhang von Nachfrage, Verkehrsangebot und Leistungsfähigkeit durchgeführt und ausgewertet. Es wurden Simulationen anhand eines Modells eines ländlichen Raumes und eines kleinstädtischen Raumes durchgeführt. Dabei orientierte sich die Nachfragestruktur (zeitlich und räumlich) an realen On-Demand Verkehren unseres Praxispartners. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Simulationsumgebung mit den On-Demand Fahrzeugen (Gelb), den Haltestellen und den Reisenden (Blau):



Quelle: Simulationsstudien DLR

Abbildung 1: SUMO-Darstellung

Leistungsfähigkeit: Betriebs-/Systemeffizienz

Die Betriebseffizienz drückt die erbrachten Personenkilometer je gefahrenen Fahrzeugkilometer aus. Dieser Wert ist vergleichbar zu dem des MIV. Im On-Demand Verkehr und im Taxiverkehr müssen Leerfahrten berücksichtigt werden. Da im On-Demand Verkehr durch das Bündeln von Fahrtenfragen Umwege für einzelne Reisenden entstehen, verwendet die Systemeffizienz nicht die erbrachten Personenkilometer, sondern nur die gebuchten Personenkilometer (kürzester Weg von Abfahrts- zu Zielwunsch).

Forschungsergebnisse

Die Simulationsstudien zur Effizienz von On-Demand-Verkehr zeigten Ergebnisse, aus denen die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden konnten: Es können vergleichbare Systemeffizienzen erreicht werden, die 1,5-Fach so hoch sind wie des MIV und ungefähr doppelt so hoch wie der herkömmliche Taxiverkehr. Im ländlichen Raum können aufgrund der längeren Distanzen leicht höhere maximale Systemeffizienzen erreicht werden als im kleinstädtischen Raum (1,6 zu 1,4), vorausgesetzt die Nachfrage gibt das her.

Um hohe zeitliche Umwege zu vermeiden, sollten (virtuelle) Haltestellen nicht in Gebieten mit geringen Geschwindigkeiten eingerichtet werden (z.B. Spielstraßen, Tempo-30-Zonen). Die Systemeffizienzen sind besonders hoch, wenn besonders viele Fahrten als Zu- und Abbringer zu zentralen Orten wie Bahnhof, Gesundheits- und Bildungseinrichtung, etc. durchgeführt werden. Die folgende Abbildung zeigt den Besetzungsgrad (= Betriebseffizienz) und die Systemeffizienz in Abhängigkeit der stündlichen Personenfahrten-Nachfrage:

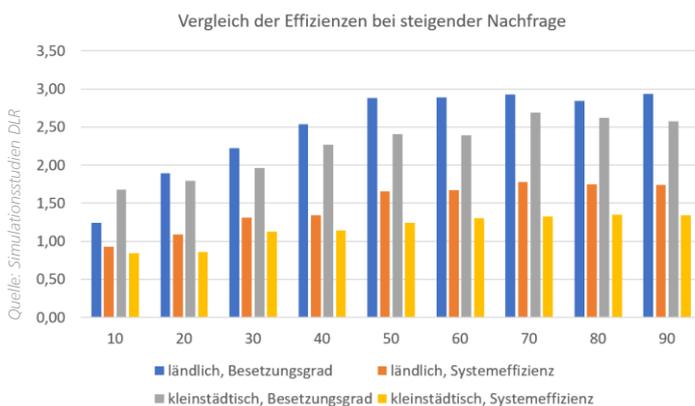


Abbildung 2: Effizienzvergleiche, eigene Berechnungen, DLR

Weiterführende Referenzen

- Scheier, Benedikt (2023) *Wie effizient ist On-Demand-Verkehr?* 14. Salzgitter Forum Mobilität "Digitalisierung in der Mobilität", 22. Sept. 2023, Salzgitter.
- Scheier, Benedikt und Wolf, Malte (2023) *Wie effizient kann On-Demand Verkehr sein - Eine Untersuchung mittels Betriebssimulation. Der Nahverkehr*, Seiten 46-49. Alba Fachverlag.
- Hamann, Magnus Lasse (2023) *Einflussfaktoren auf die Effizienz von Linienbedarfsverkehren - Untersuchung mittels mikroskopischer Verkehrssimulation*. Bachelorarbeit, Ostfalia Hochschule.
- Scheier, Benedikt und Kurt, Filiz und David, Evnika und John, Tim Ole (2023) *Analyse von On-Demand ÖPNV als Bahnhofszubringerverkehr im urbanen und ländlichen Raum*. In: Towards the New Normal in Mobility - technische und betriebswirtschaftliche Aspekte SpringerGabler. Seiten 475-486. doi: [10.1007/978-3-658-39438-7_28](https://doi.org/10.1007/978-3-658-39438-7_28).
- Scheier, Benedikt und Isberner, Alessa und David, Evnika und Wolf, Malte (2022) *Bedarfsorientierter ÖPNV im ländlichen Raum - Simulationsstudie und Potentialanalyse*. Projektabschluss DLR-Projekt MOVEMENT, 19. Mai 2022, Braunschweig.
- Wolf, Malte (2022) *Simulationsbasierte Sensitivitätsanalyse anhand von Key-Performance-Indikatoren im On-Demand Verkehr*. Masterarbeit, Ostfalia Hochschule.
- Alvarez Lopez, Pablo und Behrisch, Michael und Bieker-Walz, Laura und Erdmann, Jakob und Flötteröd, Yun-Pang und Hilbrich, Robert und Lücken, Leonhard und Rummel, Johannes und Wagner, Peter und Wießner, Evamarie (2018) *Microscopic Traffic Simulation using SUMO*. In: 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), Seiten 2575-2582. IEEE. The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2018-11-04 - 2018-11-07, Maui, USA. doi: [10.1109/ITSC.2018.8569938](https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938)

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

Beteiligter Partner

Regionalverband Großraum Braunschweig;

Aufgabenträger für den ÖPNV und SPNV in der Region Braunschweig

Wissen. Kompakt.

In Deutschland existieren zur Zeit ca. 80 flexible bedarfsorientierte ÖPNV-Angebote, so genannte On-Demand Verkehre.

Im Projekt VMo4Orte wurden mittels mikroskopischer Verkehrsmodelle Simulationsstudien zu der Leistungsfähigkeit von On-Demand Verkehren durchgeführt. Durch die Bündelung von Fahrtenanfragen können höhere Effizienzen erreicht werden als im Taxi- und privaten PKW-Verkehr; 1,5-Fach so hoch wie der private PKW und ca. doppelt so hoch wie der Taxiverkehr. Im ländlichen Raum können aufgrund höherer Distanzen höhere Effizienzen erreicht werden als im kleinstädtischen Raum. Wird der On-Demand Verkehr insbesondere als Zu- und Abbringer zu zentralen Orten eingerichtet und genutzt, werden die höchsten Effizienzen erreicht.

Im Rahmen des Projektes VMo4Orte wurden intermodale Optionen im Personenfernverkehr sowie im intermodalen Güterverkehr in den folgenden Beiträgen untersucht.

Intermodaler Personenfernverkehr

inkl. Rail/Road & Fly

Die Entwicklung nachhaltiger Verkehrssysteme erfordert die Analyse intermodaler Angebotskonzepte, einschließlich des Fernverkehrs. Im Mittelpunkt stand die Frage, ob und wie Zubringerverkehre im Luftverkehr durch bodengebundene Verkehrsträger ersetzt werden können und welche Effekte dies hätte.

Steigerung der Leistungsfähigkeit des intermodalen Güterverkehrs

Maßnahmen zur Steigerung der Umschlagskapazität in den Knoten können die Attraktivität des Kombinierten Verkehrs erhöhen und mehr Transportvolumen auf die Schiene zu verlagern. Unsere Untersuchung zeigt erste Ergebnisse.

WISSEN. KOMPAKT.

4 Intermodale Mobilitäts- und Logistikverkehre

Intermodale Knoten verbinden verschiedene Verkehrsträger wie Eisenbahn, Flugzeug, Bus sowie alle Formen des individuellen Verkehrs miteinander. Es ist diese Verflechtungsfunktion, die diesen Knoten zuteilwird, um Reisenden und Güterströmen die Nutzung verschiedener Netzabschnitte auf der Reise- bzw. Transportkette zu ermöglichen. Neben der Intermodalität, also der Benutzung verschiedener Verkehrsträger während einer Reise, existiert auch der Begriff der Multimodalität.

Intermodale Verkehrsknoten stellen oftmals auch multimodale Verknüpfungen her, denn auch der Umstieg innerhalb einer Netzform wird dort ermöglicht, obgleich andere Verkehrsträger nutzbar wären. Multimodalität bedeutet im Allgemeinen, dass eine Reise zwar mit einem (Haupt-) Verkehrsträger durchgeführt wird, jedoch andere Verkehrsträger an anderen Tagen für ähnliche Reisen genutzt werden können.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Sven Maertens, Marc Dziakowski

4.1 Intermodaler Personenfernverkehr inkl. Rail/Road & Fly

Credit: DLR-FK, Robert Hahn

Thema und Ziel

Die verschiedenen Verkehrsträger im Fernverkehr zeichnen sich durch unterschiedliche Stärken und Schwächen aus. Geschickte multimodale Kombination kann bedeutende Vorteile für Reisende und Gesellschaft schaffen, wie beispielsweise höhere Frequenzen oder geringere Betriebsemissionen durch den Ersatz kurzer Zubringerflüge durch bodengebundene Alternativen. Gleichzeitig stehen solchen Ansätzen auch Herausforderungen auf unterschiedlichen Ebenen gegenüber, etwa im Bereich Passagierrechte, Kundenfreundlichkeit und operative Zuverlässigkeit.

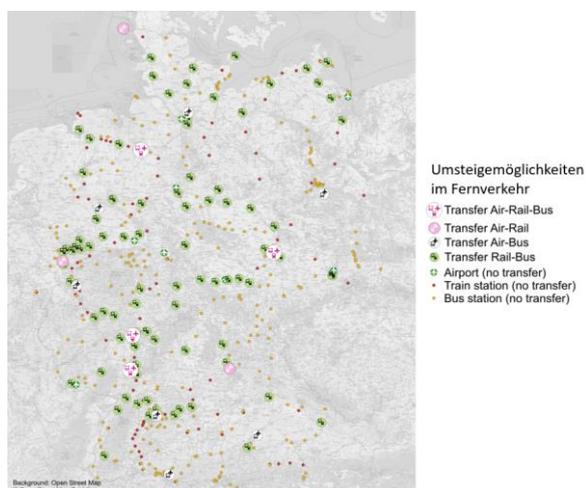
Exemplarische Forschungsfragen

- Analyse des Fernverkehrs: Simulation von Maßnahmen zur Reduzierung des Inlandsflugverkehrs in einem intermodalen Verkehrsnachfragemodell für Deutschland
- Case Study Linz-Wien: Wie verhalten sich Flugreisende, wenn eine Zubringerstrecke zu einem Hub eingestellt und durch integrierte buchbare Bahnverbindungen ersetzt wird?
- Welche Passagierrechte existieren bei intermodalen Verbindungen des Luftverkehrs (noch)?

Analyse des Langstreckenverkehrs

Die Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung des Inlandsflugverkehrs kann durch den Einsatz von Verkehrsmodellen unterstützt werden. Die Abbildung des intermodalen Verkehrs mittels umfassender Modellierungsinstrumente ist unerlässlich, um das komplexe Zusammenspiel von Angebot und Reiseverhalten zu verstehen.

Das deutsche nationale Verkehrsmodell DEMO (DEutschland MOdell) mit den Kennzahlen zum Fernverkehr bildet die Grundlage für die Untersuchung. Für das intermodale Reisen fehlt jedoch die Möglichkeit des Umsteigens. Dazu werden im ersten Schritt die Verkehrsnetze für Flugzeug, Fernverkehr und Fernbus separat erstellt. Anschließend erfolgt die Verknüpfung der erstellten Netze, um die Möglichkeit des Umsteigens zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln zu ermöglichen, die Umsteigepunkte können der Abbildung 1 entnommen werden. Das kombinierte Netz erlaubt die Umlegung der Nachfrage im Fernverkehr mit intermodalem Umsteigen. Anschließend können verschiedene politische Maßnahmen, wie beispielsweise eine Ausweitung des Angebots im Bahn- und Busverkehr oder eine stärkere Regulierung des innerdeutschen Flugverkehrs untersucht werden.



Quelle: DLR 2024

Abbildung 1: Umsteigemöglichkeiten im Fernverkehr

ermöglicht eine Analyse der Nachfragedynamik unter veränderten Bedingungen. Die Untersuchung legt dar, dass die Umleitung von Flugreisenden auf alternative Verkehrsmittel auf bestimmten Verbindungen mit besonderen Schwierigkeiten verbunden ist. Für einen effektiven Wechsel sind ein abgestimmtes Zusammenspiel von Pull- und Push-Faktoren, also attraktive Alternativen und gleichzeitig einschränkende Maßnahmen im Luftverkehr erforderlich.

Alternative Reisewege werden nach Einstellung des Hub-Zubringers Linz-Wien

Teilweise werden Kurzstreckenflugverbote als (potenzielle) Maßnahmen zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks des Luftverkehrssektors gefordert. Anhand eines Beispiels aus Österreich bewerten wir die wichtigsten Auswirkungen der Einstellung solcher Dienste. Quell-Ziel-Luftverkehrsdaten deuten darauf hin, dass etwa 25 % der ehemaligen Umsteigepassagiere auf der Strecke Linz–Wien auf Flüge über Frankfurt ausweichen, anstatt alternative Verkehrsmittel zu nutzen, um entweder Wien oder andere Abflughafen zu erreichen. Etwa 50 % der ehemaligen Passagiere auf dieser Strecke scheinen nun den Zug nach Wien als Teil ihres Flugtickets zu nutzen (AIRailRail and Fly).

Für den Betreiber des Flughafens Linz deuten diese Verschiebungen auf einen Rückgang von 31.000 abfliegenden Passagieren und etwa 1.500 Flügen pro Jahr, was einem möglichen Rückgang der Einnahmen aus dem Luftverkehr um 3,5 Millionen Euro gemäß der aktuellen Entgeltordnung entspricht.

Schließlich diskutieren wir die Auswirkungen einer (möglichen) Einstellung anderer Inlandsstrecken im Land sowie möglichen Umweltauswirkungen solcher Maßnahmen, auch vor dem Hintergrund des bestehenden EU-Emissionshandels (EU ETS).

Intermodale Passagierrechte

Die EU- Fluggastrechteverordnung 261/04 bezieht sich ausschließlich auf Flüge und Flugpassagiere, weshalb ein Schutz intermodal reisender Kunden, selbst bei durchgehender Buchung auf einem Ticket, bislang lückenhaft ist – etwa hinsichtlich der Pflicht der Leistungsträger zu finanzieller Kompensation bei starken Verspätungen und Streichungen. Bei einer derzeit niedrigen Pünktlichkeit im Schienenfernverkehr könnte der Schutz durch Passagierrechte mit für die Akzeptanz intermodaler Angebote entscheidend sein. Inwieweit dieser Schutz in der Praxis besteht, ist weiter zu untersuchen.

Empfehlungen

Politische Maßnahmen sind in ihren verkehrlichen, ökologischen, ökonomischen und sozialen Konsequenzen möglichst ganzheitlich untersuchen – dies betrifft auch Maßnahmen zur Intermodalität, wo insbesondere Kurzstreckenluftverkehr Potenziale zur Kooperation mit Bodenverkehrsträgern offenkundig sind. Des Weiteren ist die Wechselwirkung verschiedener Maßnahmen zu berücksichtigen, um das System in seiner Gesamtheit zu optimieren.

Beteiligte Partner

Einige Analysen im Rahmen dieses Arbeitspakets gehen auf ein Drittmittelprojekt im Auftrag des österreichischen Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie zurück.

Wissen. Kompakt.

Die Entwicklung, Potentialanalyse und Wirkungsabschätzung intermodaler Angebotskonzepte stellt einen wesentlichen Faktor in der Entwicklung eines nachhaltigeren Verkehrssystems dar, wobei auch der Fernverkehr zu berücksichtigen ist. Die Verwendung von Modellen, welche die genannten Aspekte abbilden können, ist dabei nachdrücklich zu empfehlen.

Weiterführende Referenzen

- Maertens, S., Grimme, W. (2024). The discontinuation of domestic flights in Austria: a case study on the impact on passenger routings, regional airports and the environment. Regional Statistics Vol. 14. No. 5., doi 10.15196/RS140504, <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/terstat/online-first/rs140504.pdf>

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Elija Deineko, Tilman Matteis

4.2 Steigerung der Leistungsfähigkeit des intermodalen Güterverkehrs

Credit: DLR-FK, Robert Hahn

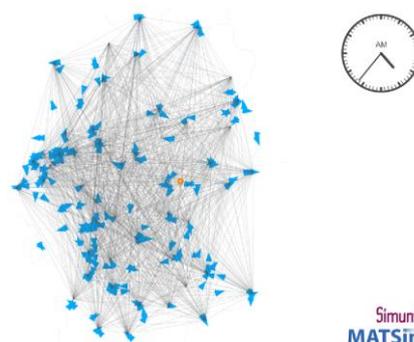
Thema und Ziel

Durch die Substitution von Lkw-Transporten durch den Schienengüterverkehr (SGV) besteht das große Potenzial, Emissionen einzusparen, den Güterverkehr zu reduzieren und somit zu den aktuellen Zielen der Verkehrs- und Umweltpolitik maßgeblich beizutragen. Die Umsetzung von Verkehrsverlagerungsmaßnahmen ist allerdings sehr herausfordernd und aufgrund der Komplexität intermodaler Systeme schwer quantifizierbar. Eine mögliche Lösung bietet die Steigerung der Leistungsfähigkeit und Attraktivität des kombinierten Verkehrs (KV). Die ganzheitliche Gestaltung und Bewertung der KV-Angebote ist entscheidend, um den Modal-Split zugunsten der Schiene zu fördern. Im Rahmen des Projektes VMo4Orte wurde eine simulationsgestützte Bewertung der Schnellumschlagtechnologien im nationalen KV-Netzwerk durchgeführt. Diese technologische Maßnahme hat das Potenzial, die Umschlagszeiten pro Container-Einheit zu reduzieren und somit die Kapazitäten der Knoten (Terminals) zu vergrößern. Zusätzlich ermöglichen die verkürzten Umschlagszeiten die Einführung neuer KV-Angebote und die Verlagerung neuer Gütersegmente auf den KV, wie beispielsweise Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP).

Zentrale Forschungsergebnisse

In dieser Studie wurde der Paketmarkt als ein relevantes Gütersegment identifiziert, da dieser trotz hoher Anforderungen an Transportzeiten und Zuverlässigkeit aufgrund seines hohen Straßentransportanteils und kontinuierlichen Wachstums ein signifikantes Verlagerungspotenzial aufweist.

Die Studie fokussierte sich auf das deutschlandweite KEP-Netzwerk mit 50 intermodalen Terminals. Die Standortwahl der KV-Terminals erfolgte anhand der Attraktivitätsindex nach Hecht & Liedtke (2020). Diese Umschlagsknoten stellen 50 optimierte Standorte in nachfragestarken Regionen Deutschlands dar und gewährleisten die gute Anbindung der Versender an das KV-Netzwerk. Als Verkehrsnachfrage (Paketvolumen) wurden die Nachfrageprognosen für das Jahr 2030 erzeugt. Dieses Zukunftsszenario mit prognostizierten Paketvolumina von 13,9 Millionen Sendungen täglich wurde mithilfe des Nachfragemodells DEMO-GV für Deutschland modelliert. Das makroskopische Güterverkehrsmodell DEMO-GV erstellt jährliche Prognosen für die relevanten Gütergruppen in Form von Quelle-Senke-Relationen und liefert die Transportmengen zwischen einzelnen Verkehrszellen und deren Verteilung auf verschiedene Verkehrsmodi („Modal Split“). Die Verkehrszellen in Deutschland entsprechen in etwa der NUTS-3-Ebene (Landkreise, Großstädte und Überseehäfen).“



Quelle: DLR (2025)

Abbildung 1: Transportnetzwerk und die Agenten in mikroskopischer agentenbasierter Verkehrssimulation MATSim mit Erweiterung auf Kombinierten Verkehr.

Für diese Studie wurden die Zentren der jeweiligen Verkehrszellen als Quellen und Senken für die Paketströme definiert. Diese werden entweder direkt über die Straße oder im KV-Netzwerk über die Direktverbindungen zwischen den 50 betrachteten KV-Terminals transportiert. Zur Simulation der Verkehrsmittelwahl wurde das mikroskopische, agentenbasierte Verkehrssimulationsmodell MATSim (Horni et al. 2016) weiterentwickelt und für die Bewertung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung des Umschlagsprozesses eingesetzt. Die Simulation bildet einen typischen Betriebstag ab, wobei pro Relation ein Zug mit einer Kapazität von 70 Wechselbrücken berücksichtigt wurde. Untersucht wurden zwei Szenarien. In Szenario A wurden alle Terminals mit Umschlagsanlagen ausgestattet, die eine Umschlagskapazität von 30 Containern pro Stunde aufweist. Daraus ergibt sich eine Umschlagsdauer von etwa zwei Stunden für die Verladung von 70 Einheiten auf einen Zug. Die Abfahrtszeit der Züge wurde auf 8:00 Uhr festgelegt, während die einzelnen Straßenverkehrsagenten ihre Fahrten bereits ab 6:00 Uhr aufnehmen. In Szenario B wurden die betrachteten Terminals mit innovativen Umschlagstechnologien ausgestattet, die eine kontinuierliche Abfertigung mit einer Umschlagskapazität von 120 Containern pro Stunde ermöglichen.

Wie oben ersichtlich, führte die Einführung der Schnellumschlagsanlagen zu einer Erhöhung des Modal-Splits von 6 % auf 15 %. Dies ist auf die gesteigerte Effizienz der Umschlagprozesse zurückzuführen, die eine effizientere Nutzung intermodaler Verbindungen ermöglichten. Zusätzlich verringerte sich die Wartezeit für die Umschlagprozesse, was die Attraktivität des Schienengüterverkehrs im Vergleich zum Straßentransport für die Simulationsagenten erhöhte.

Ausblick

In den nachfolgenden Projekten wird die Simulation weiterentwickelt und um zusätzliche Szenarien erweitert. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die folgenden Forschungsfragen gelegt: Wie viele Terminals sind erforderlich und an welchen Standorten sollten diese platziert werden, um die Verlagerungspotenziale optimal auszuschöpfen? Was ist die optimale Anzahl der Züge per Relation? In welcher Weise können bestehende Netzkapazitäten, etwa der Deutschlandtakt, in die Simulation integriert werden? Diese und weitere relevante Forschungsfragen werden in den folgenden Projekten vertieft und untersucht.

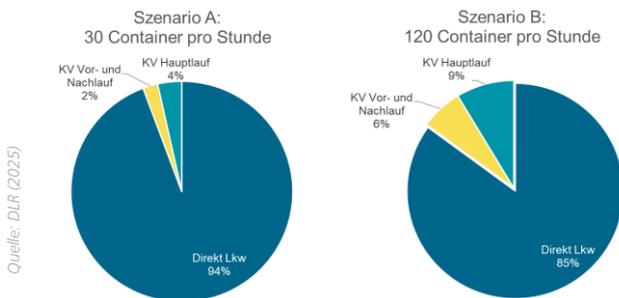


Abbildung 2: Vergleich von zwei Szenarien: Szenario A mit Umschlagsleistung von 30 WB/h und Szenario B mit 120 WB/h. Ergebnisse der simulationsgestützten Bewertung.

Wissen. Kompakt.

Für viele Gütersegmente, die heute traditionell mit Lkw auf der Straße transportiert werden, bietet der Kombinierte Verkehr eine nachhaltige Alternative. Dabei müssen die Güter zunächst zu den Umschlagsknoten transportiert und dort auf den umweltfreundlichen Verkehrsträger Schiene umgeschlagen werden. Um diese Transportalternative für die Akteure des Verkehrsmarktes attraktiver zu gestalten und mehr Transportvolumen auf die Schiene zu verlagern, sind verschiedene Maßnahmen denkbar. Wir analysieren die Wirkung dieser Maßnahmen und zeigen, dass eine Steigerung der Umschlagskapazität in den Knoten direkt zu einem höheren Schienenanteil im Modal Split führt.

Weiterführende Referenzen

- Hecht M., Liedtke G., (2020). CO2-Minderung im Güterverkehr durch deutlichen Modal Shift. Bericht Nr.23/2020. TU Berlin.
- Horni, A., Nagel, K., Axhausen, K.W. (Eds.), 2016. The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Ubiquity, London. doi:10.5334/baw.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

Die folgenden Beiträge zeigen die thematische Bandbreite im Projekt VMo4Orte zu Intermodalen Knoten und der Attraktivierung des Reisens.

Gepäcktransportsystem

Für den Bahnhof der Zukunft wurden innovative Lösungen gesucht, um den Gepäcktransport effizient und automatisiert zu gestalten.

Mikrobielles Inventar des öffentlichen Nahverkehrs

Unsere Forschung zeigt, wie das alltägliche Mikrobiom im Nahverkehr zu bestimmen ist und trägt bei, geeignete Maßnahmen zu erforschen, um die mikrobielle Belastung zu verringern.

Entwicklung VR-basierter Methoden für die Informationsbedarfsermittlung an intermodalen Knoten

Es wurde untersucht, wie Nutzende durch Virtual Reality in den Prozess der menschzentrierten Gestaltung partizipativ eingebunden werden können.

Intermodale Knoten

Intermodale Knoten verbinden verschiedene Verkehrsangebote miteinander. Hierzu gehören individualisierte Fahrgastinformationen, Fahrgastassistenzsysteme und gemanagte Anschlüsse.

WISSEN. KOMPAKT.

5 Intermodale Knoten und Attraktivierung des Reisens

Verkehrsknoten spielen bei der Attraktivierung des öffentlichen Verkehrs eine herausragende Rolle. Sie verknüpfen die verschiedenen Verkehrsangebote miteinander und sorgen so für ein breites Angebot an Quelle-Ziel-Verknüpfungen. Daneben haben Verkehrsknoten weitere Funktionen und beherbergen Gastronomie, Dienstleister und Serviceeinrichtungen. Um die zukünftigen Anforderungen sicher und zuverlässig zu gewährleisten, wird die Nutzung der bestehenden Infrastrukturen den individuellen Kundenbedürfnissen entsprechend angepasst und mit den Mitteln der Digitalisierung optimiert. So wurde im Zusammenspiel mit einem innovativen Zugkonzept ein automatisiertes Gepäcktransportsystem entworfen, welches auch für Kurierdienste nutzbar ist. Es entlastet Reisende am Verkehrsknoten von der Gepäckbeförderung und lässt Reisenden mehr Zeit und Komfort für die Nutzung des Bahnhofes.

Aus einem anderen Blickwinkel als dem Komfort schaut die Forschung zur mikrobiellen Belastung des öffentlichen Nahverkehrs auf den Verkehrsknoten. Wo Menschen vorbeikommen, bringen sie auch Mikroben aller Art mit und verteilen diese an den unterschiedlichsten Stellen. Um das Ansteckungsrisiko zu minimieren, werden insbesondere krank machende Keime erfasst und in einer Art Kataster zugänglich gemacht. Hiermit wiederum lassen sich beispielsweise Reinigungsvorgänge optimal planen. Für die Reisenden unmittelbar wichtig sind neben der Hygiene und der Entlastung beim Gepäck aber auch die am Verkehrsknoten angebotenen Informationen, wie z.B. Fahrgastinformationen und Wegeleitsysteme.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Mathias Böhm,
Andrei Popa, Stephan Kintzel

5.1 Gepäck- und KEP-Transportsystem für den Schienenpersonenfernverkehr

Thema und Ziel

Für den Bahnhof der Zukunft werden neue Ansätze und innovative Lösungen gesucht, um den Gepäcktransport grundlegend zu revolutionieren. Dabei steht die Frage im Vordergrund, wie ein effizientes, automatisiertes und ganzheitliches Transportsystem für Gepäck und Kurier-, Express- und Paketdienste am Verkehrsknotenpunkt Bahnhof realisiert werden kann.

Im Kern geht es darum, ein System zu entwickeln, das nicht nur den Gepäcktransport vereinfacht, sondern auch spürbare Vorteile für den gesamten Schienenverkehr bietet. Durch eine optimierte Handhabung des Gepäcks kann mehr Platz für Fahrgäste geschaffen werden, was zu einer höheren Effizienz führt. Ein reibungsloser und schnellerer Gepäcktransport kann die Zeit, die für das Ein- und Aussteigen benötigt wird, signifikant reduzieren, was sich positiv auf die Pünktlichkeit und den gesamten Reiseablauf auswirkt. Ein automatisiertes Gepäcksystem entlastet die Reisenden, erhöht den Komfort und macht Bahnreisen insgesamt angenehmer und stressfreier, was die Attraktivität der Bahn als Verkehrsmittel weiter steigert. Im Rahmen der Entwicklung werden zudem potenzielle Hemmnisse und Hürden ermittelt, die der Einführung eines solchen Systems entgegenstehen könnten, um von Anfang an Lösungsansätze für deren Überwindung zu erarbeiten.

Quelle: DLR (2023)

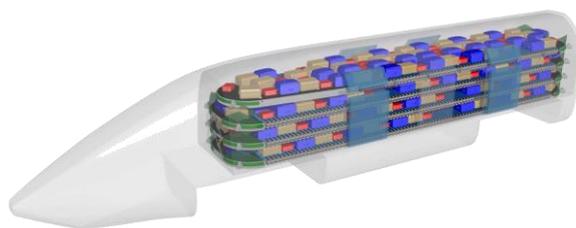


Abbildung 1: Gepäcksystem Zug.

Zentrale Forschungsergebnisse

Basierend auf den Anforderungen wesentlicher Stakeholder wurde ein automatisiertes Gepäckabfertigungssystem für Bahnhöfe entwickelt, welches die Sortierung, Pufferung, Förderung und Ladungsvorbereitung von der Gepäckaufgabe bis hin zum Zug eigenständig übernimmt. Es ist in der Lage, mehrere Züge parallel zu bedienen und erfüllt die Anforderungen für den automatisierten Gepäcktransfer zu Umsteigeverbindungen.

Die Gepäckaufgabe erfolgt an Aufgabeautomaten. Anschließend wird das Gepäck zusammengeführt und in eine zusätzliche Sortierebene transportiert, die eine klare Trennung von Passagier- und Gepäckströmen ermöglicht.

Quelle: DLR (2023)



Abbildung 2: Gepäckaufgabe.

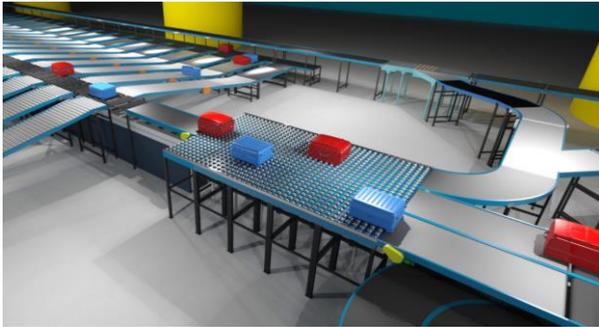


Abbildung 3: Sortierung / Puffer

Zur zügigen Beladung während kurzer Zughaltezeiten stehen Pufferbahnen zur weiteren Ladungsvorbereitung bereit, wobei die Ladung beidseitig auf vier Ebenen verteilt wird. Die Gepäckaufgabezeit beträgt zwischen 45 und 15 Minuten vor Abfahrt des Zuges.

Zur Rückgabe werden Ausgabestationen genutzt oder Möglichkeiten zur Zwischenlagerung angeboten. Für das Transfergepäck erfolgt die Rückführung in die Sortierebene über einen weiteren Spiralförderer, der an Schnittstellen zu anderen Teilsystemen angebunden ist.

Die anschließenden Gepäckflusssimulationen verliefen erfolgreich und bestätigten die Leistungsfähigkeit des Systems. Bei kürzeren Zeitfenstern für die Gepäckaufgabe vor Zugabfahrt wird empfohlen, Fast-Bag-Drop-Automaten sowie Bypass-Bänder zu integrieren, die das Gepäck direkt zum Zug leiten, um eine rechtzeitige Verladung sicherzustellen.

In Summe bilden die Arbeiten die Grundlage für zukünftige Untersuchungen zur Implementierung eines automatischen Gepäcksystems für den Schienenfernverkehr, auch im Kontext intermodaler Reiseketten.



Abbildung 4: Be-/Entladung.

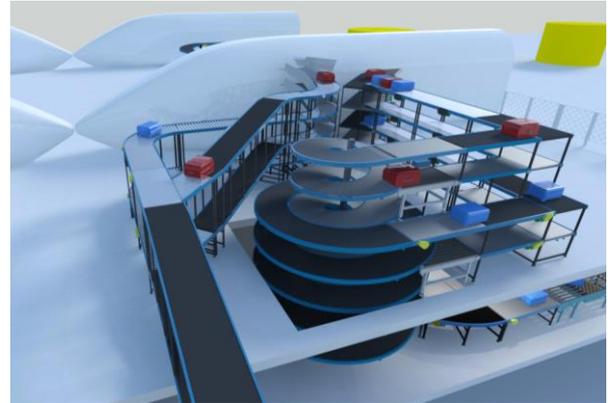


Abbildung 5: Be-/Entladung.

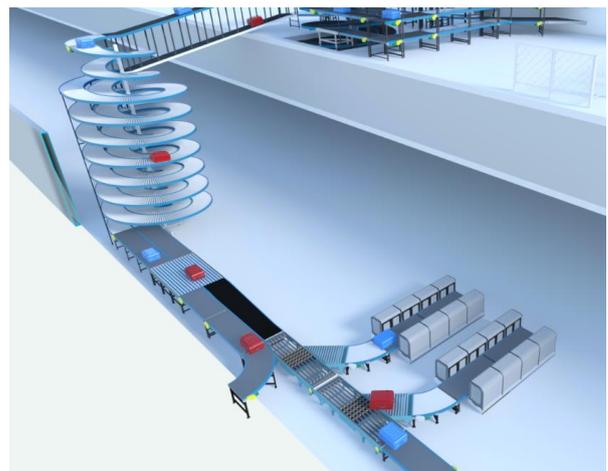


Abbildung 6: Rückgabe und Transfer.

Wissen. Kompakt.

Für den Bahnhof der Zukunft wurden innovative Lösungen gesucht, um den Gepäcktransport effizient und automatisiert zu gestalten. Im Rahmen der Arbeiten wurde ein automatisches Gepäcktransportsystem entwickelt, das die Sortierung, Pufferung, Förderung und Ladungsvorbereitung für einen doppelstöckigen Hochgeschwindigkeitszug ermöglicht.

Weiterführende Referenzen

- Popa, Andrei und Milbredt, Olaf und Böhm, Mathias und Glaser, Florian (2024) *Analysis and evaluation of passenger flow at the Next Generation Station using microscopic simulations*. Transport Research Arena, 2024-04-15 - 2024-04-18, Dublin, Ireland.
- Kintzel, Stephan und Böhm, Mathias und Popa, Andrei und Hansen, Lasse (2023) *Automatisches Gepäcksystem für den Bahnhof der Zukunft - Entwicklung einer automatisierten Sortieranlage für einen durchgängigen Gepäcktransport*. Internationales Verkehrswesen, 3/2023, Seiten 33-37. Deutscher Verkehrs Verlag Media Group, Hamburg.
- Popa, Andrei und Milbredt, Olaf und Böhm, Mathias (2022) *Study on optimizing the number of self-service bag drop kiosks for rail using the example of the Next Generation Station*. Elsevier. Fifth International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, 2022-08-22 - 2022-08-25, Montpellier, France.
- Arendt, Marc und Böhm, Mathias und Malzacher, Gregor und Eursch, Andreas (2022) *Flexibles, automatisches Gepäcksystem für komfortable Zugreisen*. El - Der Eisenbahningenieur, Seiten 47-50.
- Patent System und Verfahren zum Lagern von Frachteinheiten sowie ein Transportmittel rechtskräftig erteilt und in Kraft seit 06/2022: DE 10 2021 205 512.5
- Erfindungsmeldung System und Verfahren zum Sortieren und Verladen von Frachteinheiten in ein Schienenfahrzeug in Anspruch genommen und beim Patentamt eingereicht (05/2023)

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autor: Stefan Leuko

5.2 Mikrobielles Inventar des öffentlichen Nahverkehrs

Thema und Ziel

Wo immer Menschen sind, da sind auch Bakterien (einzellige Lebewesen). Die meisten Bakterien (auch Mikroben genannt) sind für den Menschen harmlos, doch einige Mikroben können Krankheiten verursachen. Daher untersuchen wir im Kontext des Projekts VMo4Orte die mikrobielle Belastung von Oberflächen sowie der Umgebungsluft im ÖPNV, um die Gesundheit der Passagiere zu erhalten.

Die Bestimmung der mikrobiellen Belastung beinhaltet die Überwachung und Beobachtung vorhandener Mikroorganismen. Dies ermöglicht eine Einschätzung der Risiken sowie die Entwicklung und Kontrolle von Gegenmaßnahmen. Im Jahr 2021 veröffentlichte Danko et al. [1] eine Studie, in der die Autoren öffentliche Verkehrsmittel in 60 verschiedenen Städten untersuchten und das mikrobielle Ökosystem bewerteten. In dieser Studie wurde der Begriff "Core Urban Microbiome" geprägt, der aus 31 verschiedenen Mikrobenarten besteht, die an allen untersuchten Orten nachgewiesen wurden [1]. Dies umfasst typische Hautbakterien wie *Staphylococcus epidermidis*, *Cutibacterium acnes* sowie Bakterien aus der Umwelt wie *Kocuria rhizophila* oder *Brevundimonas* sp. Neben den "normalen" Mikroben, die keine Bedrohung für den Menschen darstellen, gibt es auch eine Kategorie von Organismen, die Krankheiten verursachen können: die sogenannten "multi-resistenten" Mikroorganismen. Sowohl in Japan [2] als auch in Guangzhou und Peking [3] könnten in Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs antibiotikaresistente

Mikroben nachgewiesen respektive isoliert (Peking) werden. Im Rahmen des Projekts VMo4Orte wurde und wird der Nahverkehrszug der Linie RE6 alle 2 Monate beprobt und das mikrobielle Inventar mittels Next-Generation-Sequencing (NGS) bestimmt.

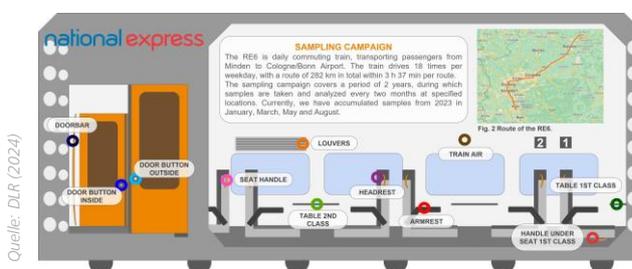


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Messkampagne im Regionalzug

Zentrale Forschungsergebnisse

Um einen praktischen Einblick in diese Form der Untersuchung zu geben, wurde der Regionalexpress (RE6) des National Express in Nordrhein-Westfalen beprobt und die mikrobiologische Diversität analysiert. Zu diesem Zweck wurden 10 verschiedene Orte in diesem Zug mittels Tupfer beprobt (siehe oben), die DNA mit Hilfe von kommerziell verfügbaren Kits extrahiert und die Proben mit Hilfe von NGS im Detail analysiert. Mit Hilfe dieser Methode ist es möglich, einen sehr detaillierten Einblick in das mikrobielle Inventar zu erhalten. Die meisten identifizierten Organismen sind human-assoziiert wie z.B. *Staphylococcus* spp, und *Corynebacterium* spp.

Mit dieser Methode können auch Organismen nachgewiesen werden, die in kleineren Mengen vorhanden sind und bei verschiedenen Temperaturen sowie Nährstoffbedingungen wachsen. So erhält man einen sehr genauen Einblick in das mikrobielle Inventar und kann ggf. mit den folgenden beschriebenen Maßnahmen die Anzahl der Bakterien etwas verringern.

Gegenmaßnahmen

Eine der ältesten und bekanntesten Maßnahmen zur nachhaltigen Entfernung von Mikroben und Viren ist die Reinigung mit Reinigungsmitteln. Dies hilft, die mikrobielle Belastung zu reduzieren, allerdings werden niemals alle Mikroben und Viren dadurch vollständig entfernt. Um spezifische, häufig frequentierte Umgebungen noch besser zu schützen, sind verschiedene Ansätze denkbar:

1. **Antimikrobielle Oberflächen:** Antimikrobielle Oberflächen verhindern aktiv die Vermehrung und Verbreitung von Mikroben durch Abtöten bei Kontakt. Das bekannteste antimikrobielle Material ist Kupfer.
2. **UV-C und Blaulicht:** Eine weitere Desinfektionsmethode ist die Verwendung von UV-C-Strahlung oder Blaulicht. Beide Arten induzierten reaktiven Sauerstoff und töten dadurch die Zellen.

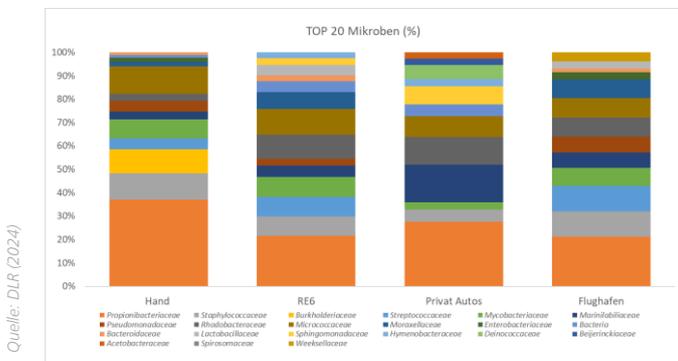


Abbildung 2: Darstellung der wichtigsten Mikroben der Messungen im Regionalverkehr

3. **Plasma:** Plasma ist eine Methode zur Dekontamination, die gleichzeitig Oberflächen und Luft reinigen kann. Der antimikrobielle Effekt von Plasma entsteht durch die Wechselwirkung von geladenen Partikeln (Ionen, Elektronen), ROS, UV-C- und VUV-Strahlung (<200 nm) sowie thermischer Erwärmung

Beteiligte Partner

National Express
GoRheinland

Wissen. Kompakt.

Mikroben sind essentielle Bestandteile des menschlichen Körpers sowie unserer Lebensumgebung. Sie begleiten uns überall hin und spielen eine wichtige Rolle in unseren Lebensräumen. Die meisten Mikroben sind für uns nützlich und ungefährlich. Dennoch können bestimmte Viren, Bakterien oder Pilzsporen sowohl bei kranken als auch bei gesunden Menschen Schaden anrichten. Aus diesem Grund ist es notwendig, die mikrobielle Belastung im Nah- und Fernverkehr zu bewerten. Der Ausbruch von COVID-19 hat gezeigt, dass ein Virus jederzeit eine weltweite Pandemie auslösen kann.

Unsere Forschung trägt dazu bei, das alltägliche Mikrobiom im Nahverkehr zu bestimmen und geeignete Maßnahmen zu erforschen um die mikrobielle Belastung zu verringern. Mit innovativen Ansätzen (z.B. neuartige anti-mikrobielle Oberflächen) wollen wir so die Sicherheit für die Passagiere erhöhen.

Weiterführende Referenzen

- Danko, D. et al.: A global metagenomic map of urban microbiomes and antimicrobial resistance. Cell 184 (2021), S. 3376-3393.
- Iwao, Y.; Yabe, S.; Takano, T.; Higuchi, W.; Nishiyama, A.; Yamamoto, T.: Isolation and molecular characterization of methicillin-resistant Staphylococcus aureus from public transport. Microbiol. Immunol. 56 (2012) S. 76-82.
- Cao, T.; Liu, Y.; Li, Y.; Wang, Y.; Shen, Z.; Shao, B.; Walsh, T.R.; Shen, J.; Wang, S.: A public health concern: emergence of carbapenem-resistant Klebsiella pneumoniae in a public transport environment. J. Antimicrob. Chemother. 75 (2020), S. 2769-2772.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

5.3 Entwicklung VR-basierter Methoden für die Informationsbedarfsermittlung zur Unterstützung menschenzentrierter Gestaltung für intermodale Knoten

Thema und Ziel

Motivation

Um eine Nutzung neuer Systeme und innovativer Angebote im Verkehrssystem zu gewährleisten, ist eine menschenzentrierte Gestaltung dieser Systeme und Angebote unabdingbar. Die Integration partizipativer Elemente in den Designprozess, bei denen Endnutzer/innen oder andere Stakeholder frühzeitig aktiv in die Gestaltung einbezogen werden, können dabei einen Mehrwert bieten. Digitale Werkzeuge, wie Virtual Reality (VR), haben das Potential, um partizipative Methoden wiederholbar und immersiv umzusetzen. Durch solche Methoden können Nutzer/innen bessere Möglichkeiten erhalten, Designs auszuwählen, anzupassen, zu bewerten und neu zu generieren. Folglich gingen wir hier der Frage nach, wie durch VR-basierte Methoden die Einbindung von Nutzer/innen in Gestaltungsprozesse im Mobilitätsbereich verbessert werden kann. Aus evaluierten Verfahren sollen Softwaremethoden zur stetigen Erweiterung und Entwicklung neuer Features entwickelt und anwendungsfallbasiert erprobt werden. Die Entwicklungen und Erprobungen fanden dabei in einem VR-Modell des Kölner Hauptbahnhof als Beispiel für einen intermodalen Knoten statt. Die Weiterentwicklung dieser Methodentoolbox ermöglicht die Erfassung und Ausgestaltung von Informationsbedarfen zukünftiger Nutzer/innen für neue Mobilitätslösungen, -services und -produkte.

Ziel

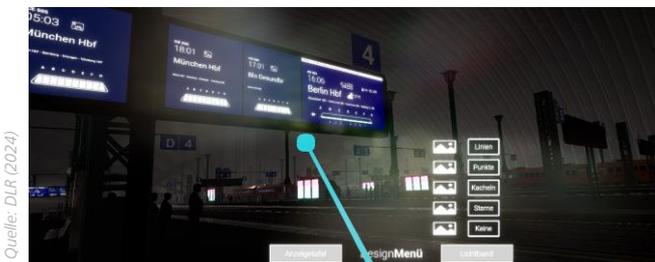
Der zentrale Aspekt des Arbeitspakets ist die Umsetzung partizipativer Gestaltungsmethoden in VR, die neuartige Handlungsspielräume für Nutzer/innen im Designprozess schaffen sollen. Hierbei liegt der Forschungsgegenstand in einem menschenzentrierten Designprozess, der die Nutzer/innen in mehreren Phasen einbezieht (Gestaltung, Szenario, Validierung, Bewertung). Die Nutzer/innen können diese Phasen eigenständig mehrfach durchlaufen, Varianten gestalten, in VR-Szenarien immersiv erleben, objektiv validieren und die Varianten bewerten bis sie mit ihren Anpassungen zufrieden sind und die Gestaltung abschließen. Der Forschungsschwerpunkt liegt in der Konzeption und Erprobung von VR-basierten Methoden für die verschiedenen Phasen, die zu einer Verbesserung der Einbindung von Nutzer/innen in den Designprozess führen.

Zentrale Forschungsergebnisse

In zwei Untersuchungen wurden in verschiedenen Szenarien mit Fokus auf intermodale Knoten betrachtet, wie der Handlungsspielraum für Nutzende in den genannten Phasen erhöht werden kann. Die erste Studie widmete sich dabei der Gestaltungsphase und untersuchte, wie diese durch **Interaktivität** verbessert werden kann.

Die zweite Studie untersuchte wie eine **objektive Validierung** der gestalteten Elemente integriert und visualisiert werden kann. Ziel der Forschung ist eine involvierende Simulation für Nutzer/innen zu schaffen, die Ihnen in effizienter Zeit ermöglicht, zu ihren Wunschdesigns zu gelangen.

Zunächst wurde untersucht, wie ein interaktives Menü, das in die VR integriert ist, die partizipative Gestaltung von Informationsanzeigen in Virtual Reality (siehe z.B. Abbildung 1 für ein Beispiel am Bahnhof) unterstützen kann. Die Proband/innen könnten dabei in der Gestaltungsphase verschiedene Anzeigen auf einem Display anpassen und unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen erleben. Die umgesetzte Strategie zeichnete sich durch hohe Usability- und User-Experience-Bewertungen aus [1].

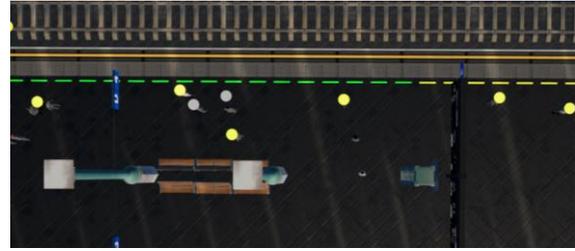


Quelle: DLR (2024)

Abbildung 1: Interaktive Gestaltung von Informationsdisplays in VR am Beispiel eines Bahnsteiginformationssystems.

Untersucht wurde auch die Teilautomatisierung einer Expertenrolle oder Validierungsphase durch einen agentengetriebenen Prozess, der über ein stetiges Verhaltensbaummodell durch die verschiedenen Designs beeinflusst werden kann (siehe Abbildung 2). Diese Beeinflussung sollte so eine objektive Bewertung beisteuern, die es den Nutzenden ermöglicht, die Designs nicht nur individuell, sondern in einem Kompromiss zwischen individueller und objektiver Präferenz zu verstehen.

Die Ergebnisse der durchgeführten Studie [2] deuten darauf hin, dass die Nutzer/innen von der objektiven Validierung profitieren und ihre Gestaltung entsprechend anpassen und verbessern können. So können in der partizipativen Gestaltung objektiv bessere Designs erarbeitet werden.



Quelle: DLR (2024)

Abbildung 2: Visualisierung der automatisierten Validierung in VR als Draufsicht (Vogelperspektive). Die Agenten (gelbe Kreise) verteilen sich entsprechend des Informationsdisplays am Bahnsteig und warten auf die Einfahrt des Zuges).

Fazit und Ausblick

Menschzentrierte Gestaltung zur Entwicklung von Informationsdarstellung und -services im Mobilitätskontext kann über VR-basierte Methoden zur Einbindung von Nutzer/innen verbessert und erweitert werden. Hier wurden Konzepte erarbeitet, wie durch Interaktivität und die Möglichkeit zur objektiven Validierung Nutzer/innen mehr Möglichkeiten gegeben werden können. Zukünftig soll untersucht, wie der Gestaltungsspielraum für die Nutzer/innen durch Integration generativer künstlicher Intelligenz sowie das modellbasierte Verständnis der Bedarfe und Präferenzen der Nutzer/innen verbessert werden kann.

Wissen. Kompakt.

Im Projekt Vmo4Orte wurde am Beispiel eines intermodalen Verkehrsknoten untersucht, wie Nutzer/innen durch Virtual Reality in den Prozess der menschzentrierten Gestaltung partizipativ eingebunden werden können. Unterschiedliche Konzepte und Methoden wurden entwickelt und in die bestehende Design-Werkzeugkette integriert. Der Schwerpunkt lag dabei auf virtual-reality-basierten Methoden zur Steigerung der Interaktivität bei der Gestaltung sowie zur Ermöglichung einer objektiven Validierung. So können implizite Anforderungen von Nutzer/innen für die Gestaltung von Informations- und Assistenzsystemen nutzbar gemacht und menschzentrierte Lösungen geschaffen werden.

Weiterführende Referenzen

- Le DH, Ihme K, and Köster F. Involving users in Automotive HMI design: Design evaluation of an interactive simulation based on participatory design. 6th International Conference on Intelligent Human Systems Integration: Integrating People and Intelligent Systems (IHSI 2023), Venice, Italy, 22-24 February, 2023. [1]
- Le DH, Köster F, Ihme K. Integrating validation into VR: An in-simulation validation approach to support participatory design processes in virtual reality. Poster presented at HFES 2024, 17-19 April 2024, Lübeck, Germany, 2024. [2]

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (Vmo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Erik Grunewald, Thomas Christ

5.4 Intermodale Knoten

Thema und Ziel

Wir erforschen am Beispiel eines Bahnhofs die Möglichkeiten zur besseren Nutzung bestehender Infrastrukturen für intermodale Reiseketten. Hierfür werden in einem Managementsystem digitale Zwillinge des Verkehrsangebotes und der Verkehrsnachfrage verwendet, um die Anslusserreichung aktiv steuern zu können.

Es wird hierfür eine Passagiererfassungssensorik simulativ abgebildet, die die Ankunft von Reisenden am Verkehrsknoten, das Verweilen sowie das Verlassen des Knotens erfasst. Dabei werden Fahrgäste nicht kontinuierlich getrackt, sondern datensparsam punktuell im Meilensteinkontext erfasst. Die Reiseketten werden als Folge zu erreichender Etappen dargestellt, wobei vereinheitlichte Prozessschritte zur Anwendung kommen. So beinhalten Umsteigeorte die gleichen Prozessschritte, die Passagiere durchlaufen und erfasst werden können. Erreichte Prozessschritte bilden die Meilensteine der Passagiertrajektorien. Zu diesen Meilensteinen werden die zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Informationen zusammengetragen und als Grundlage für die erwartbare Erreichung der weiteren Etappen verwendet.

Zur Sammlung der Informationen kommt das SCEROTA Datenformat zum Einsatz, welches die verschiedenen Datentypen verarbeiten kann und darüber hinaus auch den vorgesehenen Managementloop informationstechnisch abbildet. Die so erhobenen Daten bilden das Fundament für Vorhersagen, die es gestatten,

den individuellen Reiseverlauf abzuschätzen. Durch die Darstellung der wesentlichen Kennwerte lassen sich Handlungsbedarfe für das Verkehrsmanagement identifizieren. In der Toolsuite RouteMinder können so z.B. die einzelnen Reisendenbeziehungen am Knoten visualisiert werden. Dabei stehen die Verweilzeit am Knoten und die Erreichbarkeit von Anschlüssen im Fokus.

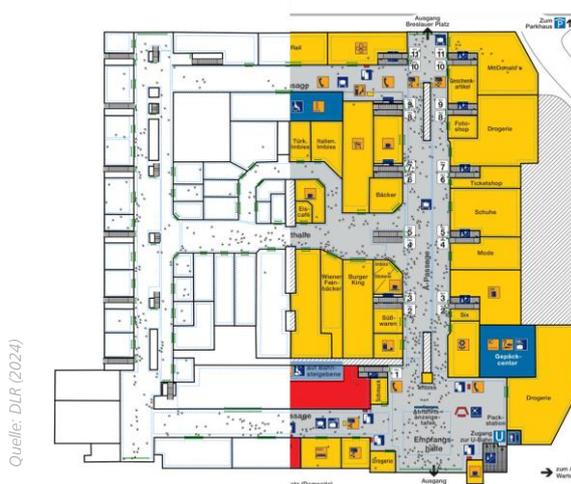
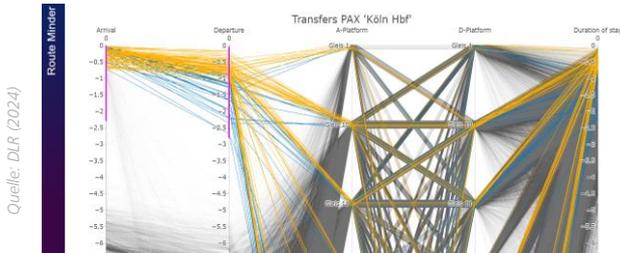


Abbildung 1: Simulationsmodell der Passagierbereiche des Hbf Köln

Zentrale Forschungsergebnisse

Für das Verkehrsmanagement ergibt sich aus der Verfügbarkeit von individuellen Passagiermeilensteinen eine völlig neue Möglichkeit zur Abbildung der Leistungsfähigkeit von Verkehrsknoten.



Quelle: DLR (2024)

Abbildung 2: Passagiergenaue Anschlussüberwachung im „RouteMinder“, dem Forschungstool zum Verschneiden von Trajektorien

So können mithilfe der Passagiertrajektorien die wesentlichen Ansprüche an einen Bahnhof vorgeplant, überwacht und wissensbasiert beeinflusst werden. Ob Fahrgäste ihren Anschluss erreichen, kann so überwacht werden. Die Verweilzeit von Reisenden kann gezielt für die Attraktivierung der Serviceangebote eines Bahnhofes Verwendung finden [1]. Fahrgästen kann eine Assistenz zur Orientierung angeboten werden, die von personalisierter Ansprache über digitale Medien bis hin zu Assistenzlösungen für die Wegefindung reicht [2].



Quelle: DLR (2024)

Abbildung 3: Nutzerinteraktion mit dem Haltestellensensor (grün) über das Smartphone (rot)

Mit dem aus dem Projekt VMo4Orte heraus kofinanziertem Projekt Stadt:Up [3] arbeiten wir derzeit an einer Forschungslösung für ein System zum automatisierten Erfassen von Meilensteinerreichungen von Fahrgästen. Funktional verbindet es verschiedene sensorische Plattformen, insbesondere Standortdienste der Mobilfunkanbieter sowie eine eigene Anwendung auf Basis von BLE (Bluetooth Low Energy). Hierüber können teilnehmende Fahrgäste im System kontextbasiert lokalisiert werden. Die Vorteile der BLE Technologie liegen in der günstigen Verfügbarkeit und im Datenschutz, da die infrastrukturseitig verbauten Sender keine Daten sammeln. Das Forschungssystem wurde in Braunschweig im Stadtteil Schwarzer Berg erfolgreich erprobt und soll zukünftig für Nutzertests zum Digitalen Zwilling des Reisenden genutzt werden.

Wissen. Kompakt.

Intermodale Knoten verbinden verschiedene Verkehrsangebote miteinander. Reisende und Waren wechseln hier zwischen diesen Verkehrsmitteln und nutzen ggfs. Serviceangebote während ihrer Verweilzeiten. Für Nutzende des öffentlichen Verkehrs (ÖV) sind sie Zugangspunkt und Abgangspunkt und daher von besonderer Bedeutung, wenn neue Kundengruppen gewonnen werden sollen. Insbesondere für Kund/innen, denen motorisierter Individualverkehr zur Verfügung steht, sollen attraktive Zugänge zum ÖV mit niedrighwelligen Angeboten ermöglicht werden. Hierzu gehören individualisierte Fahrgastinformationen, Fahrgastassistenzsysteme und gemanagte Anschlüsse.

Weiterführende Referenzen

- [1] Grunewald, Erik und Maertens, Sven und Viergutz, Kathrin Karola und Wegener, Jan und Scheier, Benedikt (2024) SnackTrack: Digitaler Zwilling für Turbo-Umstiege – Imbissbestellung leicht gemacht! 16. Wissenschaftsforum Mobilität, 2024-06-13, Duisburg, Deutschland.
- [2] <https://www.dlr.de/de/ts/aktuelles/nachrichten/2024/gesamtlagebild-am-hub>
- [3] STADT:up | SOLUTIONS AND TECHNOLOGIES FOR AUTOMATED DRIVING IN TOWN: AN URBAN MOBILITY PROJECT - Startseite (stadtup-online.de)

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

Die folgenden Beiträge zeigen die thematische Bandbreite im Projekt VMo4Orte zu digitalen Technologien für die Reise und Reisekette:

Digitale Mobilitätsplattformen

Digitale Plattformen haben das Potenzial, Mobilitätsmärkte grundlegend zu verändern. Zukünftige Mobilitätsmärkte werden auch von der Ausgestaltung der Regulierung dieser Plattformen abhängen.

Optimierung der Verkehrsmittelerkennung

Ein innovativer Ansatz zur Verkehrsmoduserkennung nutzt Smartphone-Sensordaten, um den Verkehrsmodus zu schätzen und den Wegverlauf aufzunehmen.

Mobilitätsmanagement

Mit KeepMoving wird ein modulares Baukasten-System entwickelt, das Mobilitätsdaten empfängt, speichert und aufbereitet, sowie darauf aufbauend Mobilitätsdienste bereitstellt. Es unterstützt bei der Verkehrsmoduserkennung und ermöglicht Reisenden die Nutzung von OnDemand-Haltestellen.

Optimierung der Verkehrsmittelerkennung zur Unterstützung intermodaler Reiseketten & Nutzerzentrierte Navigation in Verkehrsknoten und Verkehrsnetzen

Im Rahmen des Projekts wurden auch Algorithmen für eine Smartphone-basierte Navigation entwickelt, deren Ziel es ist, die Präzision der Fahrgastlokalisierung auch in Innenräumen oder in Tunnelsituationen erheblich zu verbessern.

WISSEN. KOMPAKT.

6 Digitale Technologien für die Reise und Reisekette

In der heutigen vernetzten Welt spielen digitale Technologien eine immer wichtigere Rolle bei der Gestaltung und Optimierung der Reisekette. Um die Wege von Reisenden besser zu verstehen, optimieren und beeinflussen zu können, ist es entscheidend, präzise Informationen über deren Reisegewohnheiten zu sammeln, wie etwa womit, wie lange und woher sie im Alltag reisen.

Dabei kommen innovative Ansätze zur Verkehrsmoduserkennung in Smartphones zum Einsatz, die Routing auch über Verkehrsmittel hinweg auf intermodalen Wegen und an Umsteigepunkten ermöglichen.

Parallel dazu wandelt die Digitalisierung Märkte durch Plattformtechnologien grundlegend. Plattformen ermöglichen einen anbieter- und transportmodiübergreifenden Vertrieb unterschiedlicher Dienstleistungen und treiben neue Mobilitätskonzepte wie Sharing oder Pooling voran. Sowohl die technologische Entwicklung als auch die Regulierung digitaler Plattformen beeinflussen die Strukturen und Dynamiken von Verkehrsmärkten nachhaltig.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Marc Hasselwander, Sven Maertens, David Ennen, Klaus Lütjens

6.1 Digitale Mobilitätsplattformen – Geschäftsmodelle, aktuelle Trends und mögliche Folgen künftiger Regulierungsansätze

Thema und Ziel

Plattformen als zentrale Orte des Austauschs dienen der Verknüpfung von (Markt-)Akteuren – der traditionelle Wochenmarkt mag als illustratives Beispiel dienen. Durch Digitalisierung und Diffusion mobiler Applikationen konnten Plattformen in verschiedenen Branchen durch Netzwerkeffekte und entsprechende Skalierung teils dominierende Bedeutung gewinnen – von Airbnb über eBay bis Zalando.

Diese Entwicklung macht auch vor dem Mobilitätssektor nicht halt: Plattformen ermöglichen einen anbieter- und transportmodiübergreifenden Vertrieb und verändern Angebot und Nachfrage über neue Mobilitätskonzepte wie Sharing- oder Pooling grundlegend. Nicht nur diese Entwicklung an sich, sondern auch die Regulierung digitaler Plattformen hat entscheidende Auswirkungen auf Verkehrsmärkte.

Exemplarische Forschungsfragen

- Welche Dienste bzw. Geschäftsmodelle bieten sogenannte Mobilitätsplattformen, und wie grenzen sie sich vom klassischen öffentlichen Personenverkehr ab?
- In welche Richtung entwickeln sich diese Plattformen?
- Welche Konsequenzen können geplante Regulierungsansätze etwa der EU haben?

Sharing, Ride-Hailing und Pooling

Digitale Geschäftsmodelle für Mobilitätsdienste wie Ride-Hailing (z.B. Uber, Freenow), Carpooling (z.B. BlablaCar) oder Vehicle Sharing (z.B. Lime, Miles, Tier) sind insbesondere aus der Mikromobilität nicht mehr wegzudenken – sowohl in Konkurrenz zueinander als auch ergänzend zum öffentlichen Personenverkehr.

Entwicklungstrends bei digitalen Mobilitätsplattformen

Die meisten dieser Geschäftsmodelle konnten nach dem Jahr 2010 aufgrund der rasanten Entwicklung mobiler Anwendungen und der Verbreitung von Smartphones expandieren (Mitropoulos et al., 2021) und ihre Nutzerzahlen, teilweise weltweit, erheblich steigern. Die größten Mobilitätsplattformen sind in bis zu 70 Ländern tätig und integrieren bis zu sechs verschiedene (Verkehrs)dienste in ihre mobilen Apps. Im Einklang mit diesem Prozess verschwimmen die Grenzen zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern immer mehr. Hinzu kommt ein zuerst in Asien beobachteter Trend, Mobilitätsdienste mit verkehrsfremden Dienstleistungen in so genannten „Super-Apps“ zu kombinieren. Diese Veränderungen haben weitreichende Auswirkungen auf das Reiseverhalten, den Wettbewerb zwischen den Dienstleistern und den Bedarf an regulatorischen Anpassungen.

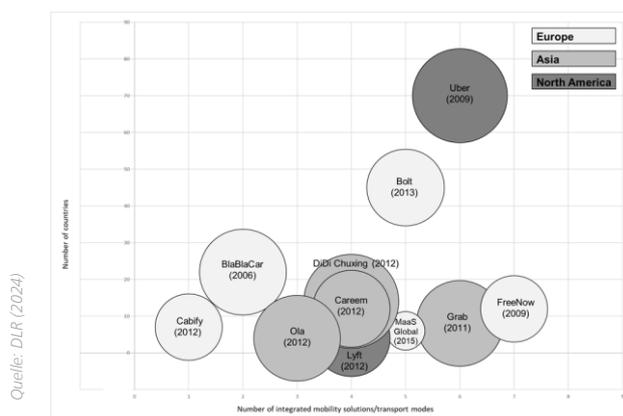


Abbildung 1: Größten Plattformanbieter von Super-Apps, eigene Darstellung

Plattformgetriebene Transformationspfade im Verkehrssektor

- „Mobility platform driven“: Große Mobilitätsplattformen übernehmen die Führung bei der Entwicklung umfassender Super-Apps, die sich über ihren ursprünglichen Fokus auf Mobilitätsdienstleistungen hinaus entwickeln und zu zentralen Anlaufstellen für die täglichen Bedürfnisse der Nutzer werden.
- „Super-App driven“: Plattformen außerhalb des Verkehrssystems integrieren Mobilitätsdienstleistungen und andere ergänzende Angebote nahtlos in ihr Ökosystem.
- „Public-Private driven“: Der öffentliche Sektor übernimmt eine proaktive Rolle bei der Regulierung von Super-Apps und fördert die Entwicklung von Super-Apps, die auf die lokalen Bedürfnisse zugeschnitten sind.

Mögliche Auswirkungen einer EU-Verordnung zur Erleichterung multimodalen Reisens (z. B. der MDMS-Initiative) auf Stakeholder

Eine geplante EU-Verordnung über multimodale digitale Mobilitätsdienste (MDMS) könnte Mobilitätsanbieter zwingen, den Vertrieb ihrer Dienste über Drittanbieterplattformen zuzulassen. Durch diese Stärkung von Plattformen würden auch Mobilitätsanbieter profitieren, denn ihnen entstehen zusätzliche Vertriebskanäle, wenn ihrer Produkte auf Plattformen Dritter angeboten werden, und sie können ihre eigenen Mobilitätsdienste mit denen anderer Anbieter zu sogenannten Tür-zu-Tür-Mobilitätslösungen kombinieren. Problematisch könnte hingegen die Entstehung marktbeherrschender Drittplattformen mit überhöhten Transaktionsgebühren oder möglicherweise diskriminierenden Praktiken sein.

Für öffentliche Mobilitätsanbieter besteht die zusätzliche Gefahr, durch die EU-Eingriffe Einfluss auf die lokale Verkehrspolitik zu verlieren. Plattformbetreiber profitieren hingegen von guten Wachstumschancen.

Empfehlungen

Grundsätzlich sollte die Verkehrspolitik möglichst gleiche Wettbewerbsbedingungen für alle Mobilitätsdienstleister und Plattformbetreiber ermöglichen und mit dem Ziel eines attraktiven öffentlichen Verkehrssystems sowohl Wettbewerb als auch Multimodalität fördern. Da der aktuelle EU-Vorschlag zu relativ deutlichen Vorteilen für Mobilitätsplattformen führen würde, die selbst keine Mobilitätsdienste anbieten, besteht hier die grundsätzliche Gefahr, dass marktbeherrschende Plattformen entstehen, mit negativen Konsequenzen auf Wettbewerb, Preise und Auswahl für Reisende. Es kann notwendig sein, eine mögliche EU-Verordnung um zusätzliche Elemente zu erweitern, etwa einem Zugangsrecht für Mobilitätsanbieter zu marktbeherrschenden Plattformen oder eine Preisregulierung für Provisionen. Darüber hinaus empfehlen wir, klare Regelungen der Fahrgastrechte einzuführen, wenn Reisende - möglicherweise sogar unwissentlich - Tickets verschiedener Anbieter kombinieren und bspw. Anschlüsse verpassen.

Beteiligte Partner

Im Rahmen des Projekts VMo4Orte wurden ausgewählte Ergebnisse mit Anbietern wie Flix SE und Wolt diskutiert.

Wissen. Kompakt.

Digitale Plattformen haben das Potenzial, Mobilitätsmärkte grundlegend zu verändern. Besonders im Bereich der Mikromobilität ist ein starker Anstieg an Sharing-, Pooling- und Ride Hailing-Diensten zu beobachten – sowohl konkurrierend als auch komplementär zum öffentlichen Verkehr. Die größten Mobilitätsplattformen sind in bis zu 70 Ländern tätig und integrieren bis zu sechs verschiedene Verkehrsdienste in ihre mobilen Apps. Zukünftige Mobilitätsmärkte werden auch von der Ausgestaltung der Regulierung dieser Plattformen abhängen.

Weiterführende Referenzen

- Ennen, D., Frieske, B., Hasselwander, M., Kumar, S., Lütjens, K., Maertens, S., Scheelhaase, J., & Scheier, B. (2024). Digital platforms for mobility services: Analyzing recent trends and regulatory efforts from a business and policy perspective. eingereicht
- Mitropoulos, L., Kortsari, A., & Ayfantopoulou, G. (2021). A systematic literature review of ride-sharing platforms, user factors and barriers. *European Transport Research Review*, 13, 1-22. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00522-1>
- Hasselwander, M., Lütjens, K., Scheier, B., Frieske, B., Ennen, D., Scheelhaase, J., Kumar, S., & Maertens, S. (2024). Digital platforms, multimodal transport, and super apps. 26th Euro Working Group on Transportation Meeting (EWGT 2024). akzeptiert

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Alexander Sohr, Elmar Brockfeld, Kim Jannik Eggers, Xiaoxu Bei

6.2 Mobilitätsmanagement

Thema und Ziel

Um aktuelle, verkehrsbedingte Umweltprobleme zu reduzieren, müssen Mobilitätsabläufe an urbanen Straßenknoten und in Straßennetzen neugestaltet und in einem verkehrsträgerübergreifenden, klimaverträglichen und sicheren Mobilitätsmanagement vom lokalen Straßenknoten bis zum übergeordneten Netz reichen. Auf den verschiedenen Ebenen dieses Gesamtsystems wurden Strategien und Dienste erarbeitet und umgesetzt sowie Szenarien in Simulationen getestet und im KeepMoving System erprobt. KeepMoving ist das modulare Baukasten-System, welches Mobilitätsdaten empfängt, speichert und aufbereitet, sowie darauf aufbauend Mobilitäts-Dienste bereitstellt (siehe Abbildung-1).

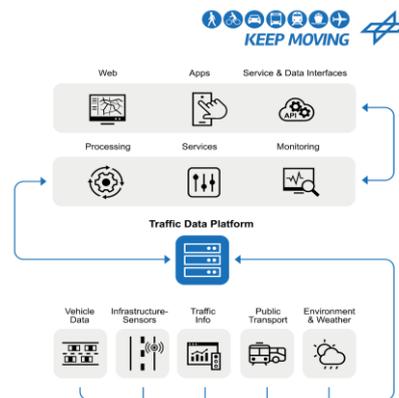
Unsere Forschungsfragen

- Wie können vernetzte und intermodale Verkehrssysteme durch KeepMoving gemeinsam betrachtet, geplant und für eine optimale Lösung erreicht werden?
- Wie kann mit begrenzter Smartphonesensorik der aktuelle Transportmodus in Echtzeit erkannt werden?
- Wie kann Künstliche Intelligenz dazu beitragen, übergeordnete Verkehrsmanagementstrategien geeignet auf lokale Steuerungsalgorithmen herunter gebrochen werden?
- Wie können Schutzsysteme für Vulnerable-Road-User (VRU) in KeepMoving integriert werden?



Abbildung 1: Verkehrslagekarte und Dashboard für die wichtigsten Verkehrs- und Schadstoffwerte

Quelle: DLR (2024)

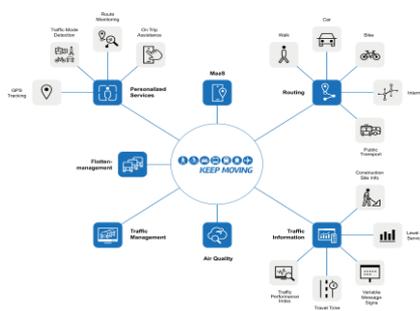


Quelle: DLR (2023)

Abbildung 2: KeepMoving Systemarchitektur

Zentrale Forschungsergebnisse

Werkzeuge für die Bewertung und die Unterstützung des Betriebs von Mobilitätssystemen, zum Beispiel Demand-Responsive-Routing-Algorithmen, KI-Dimensionierung von Verkehrsmanagement Maßnahmen, sowie Vorher-/Nachher-Vergleiche hinsichtlich verkehrlicher Wirkungen (siehe Abbildung-2). Der Nutzen dieser Werkzeuge besteht in ihrer Flexibilität, Nutzerspezifität und Modularität (siehe Abbildung-3,-4,-5 und-6) . Mit diesen Modulen gestaltet sich die Integration neuer Mobilitätskonzepte unkompliziert. Anwender sind Verkehrsmanager, -Forscher, BOS, kommerzielle Softwareanbieter und KMUs der Branche.



Quelle: DLR 2023

Abbildung 3: Ausgewählte KeepMoving Dienste

Anwendung von KeepMoving zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von VRU

Quelle: DLR (2024)



Abbildung 4: KeepMoving Darstellung von Reisezeitschonen



Abbildung 5: KeepMoving Darstellung für Variable Message Signs (VMS)

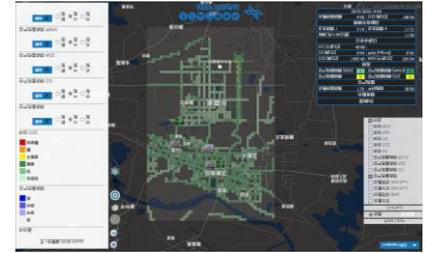


Abbildung 6: KeepMoving Darstellung von Emissionen / Immissionen

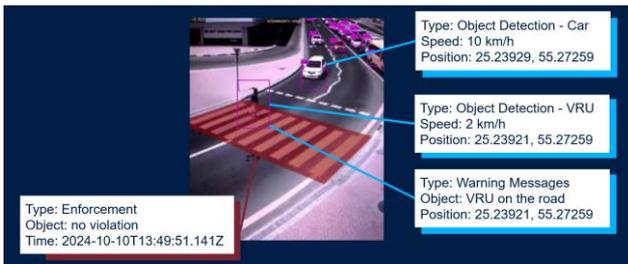


Abbildung 7: Gemeinsam mit VITRONIC wurde in KeepMoving ein Modul zur VRU-Warnung am Fußgängerüberwegen und OnDemand-Haltestellen entwickelt.

Quelle: DLR & VITRONIC (2024)

Beteiligte Partner

VITRONIC Machine Vision GmbH

Wissen. Kompakt.

Verkehrssicherheit ist ein wichtiger Aspekt der städtischen Mobilität (Vision Zero). Hohe Verkehrsaufkommen erhöhen das Risiko von Unfällen, sowohl für Autofahrer als auch für vulnerable Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Radfahrer. Die Integration von Mobilitätsdiensten sowie die Steigerung der Sicherheit im Fuß- und Radverkehr erfordert auch neue Ansätze der städtischen Mobilitätsplanung. Gemeinsam mit dem Paten VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH wurden neue Ansätze für ein sicheres, verkehrsteilnehmerübergreifendes und klimafreundliches Mobilitätsmanagement von morgen entwickelt, u.a. im Hinblick auf die Kopplung einer übergeordneten Netzsteuerung (KeepMoving) mit der lokalen Knotensteuerung (VITAL) (siehe Abbildung-7).

Weiterführende Referenzen

- Brockfeld, Elmar und Bei, Xiaoxu und Sohr, Alexander und Gong, Qian (2023) Experiences Building an Environment friendly its in the City of Huainan. In: 29th ITS World Congress, Suzhou, China, 29. International Organization of Intelligent Transportation in America, Europe, and the Asian-Pacific region. 29th ITS World Congress, 2023-10-16 - 2023-10-20, Suzhou, China, <https://elib.dlr.de/198086/>
- Flötteröd, Yun-Pang und Behrisch, Michael und Brockfeld, Elmar und Sohr, Alexander und Bei, XiauXu (2024) Exploring the environmental potential of battery electric vehicles using the case study ITS Huainan. In: Proceedings of the 30th ITS World Congress. 30th ITS World Congress, 2024-09-16 - 2024-09-20, Dubai, UAE.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

6.3 Optimierung der Verkehrsmittelerkennung & Nutzerzentrierte Navigation in Verkehrsnetzen

Thema und Ziel

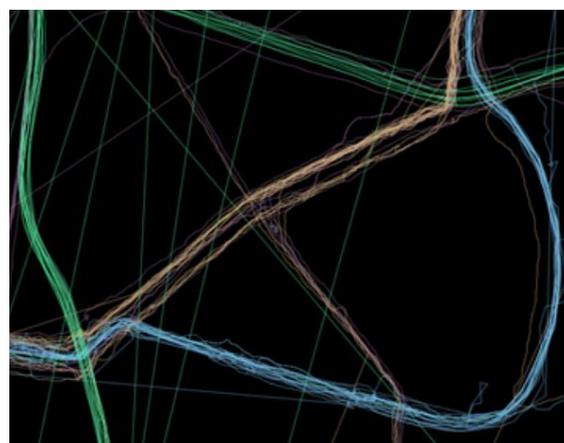
Verkehrsmittelerkennung

Um die Mobilitätsmuster von Reisenden besser zu verstehen und zu optimieren, ist es wichtig zu wissen, mit welchen Verkehrsmitteln, wie lange und von wo aus Menschen reisen. Um Details wie Umstiege und Wartezeiten im ÖPNV zu erfassen, entwickeln wir eine Verkehrsmoduserkennung, die Smartphone-Sensordaten nutzt, um den Verkehrsmitteltyp zu bestimmen und den Wegverlauf aufzuzeichnen. Neben der Positionsbestimmung über den GNSS-Sensor (Global Navigation Satellite Systems) verwenden wir auch Beschleunigungs- und Magnetfeldsensoren sowie andere verfügbare Sensoren. Zusätzlich arbeiten wir an einem Ansatz, der ohne GNSS-Sensor auskommt und stattdessen verstärkt den Magnetfeldsensor nutzt, da jedes Verkehrsmittel eine charakteristische Magnetfeldsignatur hinterlässt. Die Sensordaten werden mit Methoden wie Fuzzy-Regelwerken oder neuronalen Netzen sowie durch Nachbearbeitungsverfahren verarbeitet und kontinuierlich optimiert [1,2]. So können wir zuverlässig verschiedene Verkehrsmittel wie Busse, Straßenbahnen oder Züge erkennen.



Abbildung 1: Automatische Erkennung des Transportmittels basierend auf Smartphone-Sensoren

Die Verkehrsmittelerkennung findet auch Anwendung in der Forschungsumgebung „Keep Moving“ (<https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/keep-moving>), wo sie als Backend-Dienst von Apps genutzt wird, um Nutzungsmuster zu analysieren oder situationsspezifisches Nutzerfeedback zu verstehen.



Quelle: DLR (2024)

Abbildung 2: Wegeverläufe mit verschiedenen Verkehrsmitteln innerhalb eines Stadtteils: Braun = Fußwege, Blau = Tram, Grün = PKW, Pink = Fahrrad

Zentrale Forschungsergebnisse

Ein optimierter Algorithmus auf Basis von Erschütterungsdaten wird bereits in der DLR-Forschungsanlage „DLR Moving Lab“ (<https://movinglab.dlr.de/>) eingesetzt. Hier können Firmen oder Projekte Probandengruppen über die MovingLab-App tracken und mithilfe individuell gestalteter Fragebögen zu ihren Wegen befragen.

Nutzerzentrierte Navigation

Im Zeitalter der digitalen Mobilität ist eine präzise und benutzerfreundliche Navigation in Verkehrsknotenpunkten unerlässlich, um Fahrgästen eine optimale Nutzererfahrung zu bieten. Im Rahmen dieses Projekts wurden innovative Algorithmen für eine Smartphone-basierte, nutzerzentrierte Navigation entwickelt und erfolgreich demonstriert. Ziel dieser Entwicklungen ist es, die Genauigkeit der Fahrgastlokalisierung deutlich zu steigern – insbesondere in komplexen Umgebungen wie Bahnhöfen und U-Bahnstationen.

Quelle: Microsoft Designer, KI-generierte Darstellung



Abbildung 3: Präzise Passagier-Lokalisierung unter Verwendung alternativer Sensoren in GNSS-freien Umgebungen

Die Lokalisierung in Innenräumen stellt dabei eine besondere Herausforderung dar, da GNSS-Signale in solchen Umgebungen, etwa in unterirdischen U-Bahnhöfen, häufig nur eingeschränkt verfügbar sind. Um diese Einschränkungen zu überwinden, wird auf alternative Sensordaten zurückgegriffen, wie beispielsweise Daten von Beschleunigungssensoren und Magnetometern. Diese Sensoren ermöglichen es, die Bewegungen der Nutzer präzise nachzuvollziehen und so eine zuverlässige Navigation auch ohne GNSS-Signal zu gewährleisten.

Ein herausragendes Beispiel für die Umsetzung dieser Technologien ist die U-Bahnstation Münchner Freiheit. Hier wurden KI-basierte Methoden entwickelt und implementiert, um stationäre Elemente wie Rolltreppen und Fahrstühle zu erkennen. Diese Elemente dienen als wichtige Landmarken und sind in einer digitalen Karte hinterlegt. Durch die Integration dieser Landmarken in die Navigationsalgorithmen kann eine besonders hohe Lokalisierungsgenauigkeit erzielt werden, selbst in Umgebungen ohne GNSS-Signal.

Die entwickelten Lösungen ermöglichen es den Fahrgästen, sich intuitiv und effizient durch die Station zu bewegen. Dadurch wird nicht nur die Orientierung erleichtert, sondern auch die gesamte Nutzererfahrung erheblich verbessert.

Quelle: DLR (2024)

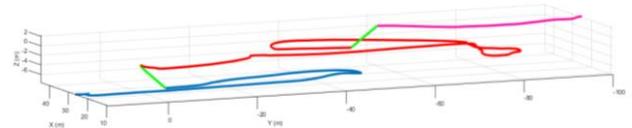


Abbildung 4: Lokalisierung in Verkehrsknoten U-Bahn Station Münchner Freiheit

Wissen. Kompakt.

Die Verkehrsmittelerkennung mittels Smartphone-Sensordaten bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten: von der Erfassung von Weeginformationen und der Analyse von Nutzungsmustern bis hin zur situationsabhängigen digitalen Unterstützung von Reisenden oder gezielten Befragungen zu einzelnen Wegabschnitten. Die zugrunde liegenden Algorithmen werden kontinuierlich weiterentwickelt, um sich an neue Smartphone-Betriebssysteme und Verkehrsmittel wie beispielsweise E-Mobilitätslösungen anzupassen und zu optimieren.

Kampagnen des DLR Moving Lab mit Verkehrsmittelerkennung: <https://movinglab.dlr.de/kampagnen>

Weiterführende Referenzen

- [1] A. Sauerländer-Biebl, E. Brockfeld, D. Suske, E. Melde, Quality analysis of a transport mode detection service using fuzzy rules, World Conference on Transport Research (WCTR), 2016-07-10 - 2016-07-15, Shanghai, China
- [2] D. B. Ahmed and E. M. Diaz, Survey of Machine Learning Methods Applied to Urban Mobility, IEEE Access, vol. 10, pp. 30349-30366, 2022, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3159668>
- [3] F. Juado Romero, E. Munoz Diaz, & D.B. Ahmed, D. (2022). Smartphone-Based Localization for Passengers Commuting in Traffic Hubs. Sensors, 22(19), 7199., 2022, <https://doi.org/10.3390/s22197199>

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

Im Rahmen von VMO4Orte wurden verschiedene Methoden zur Datengewinnung, Datenanalyse und verkehrlichen, ökonomischen und sozialen Bewertung angewandt, beispielsweise Literaturlauswertungen, Fachgespräche und Interviews, KI-gestützte Auswertungen, SWOT-Analysen, Kosten-/Nutzenrechnungen, agentenbasierte Modelle, Input-Output-Modellierungen, Verkehrsangebots- und Nachfrageuntersuchungen und ökonomische Verfahren.

Die nachfolgenden Abschnitte zeigen eine themenübergreifende Auswahl ökonomiebasierter Ergebnisse des Projekts VMO4Orte mit hoher Praxisrelevanz. Im Einzelnen sind dies:

Resilienzmaßnahmen aus volkswirtschaftlicher Perspektive

Bei Resilienzmaßnahmen im Schienenverkehr stehen vergleichsweise geringe Kosten potenziell hohen Nutzen gegenüber. Diese Projekte sind häufig relativ schnell umsetzbar und gehen mit einem überschaubaren Fachkräftebedarf einher.

Transformations- und Migrationsstrategien

Innovationsökonomische Analysen am Beispiel des ePkw helfen, den frühen Markthochlauf besser zu verstehen, Hemmnisse zu identifizieren und passende Lösungsvorschläge anzubieten. Die Ergebnisse können nun in eigenen Simulationsmodellen integriert werden, um deren Aussagekraft zu verbessern.

Neue Mobilitätsangebote und politische Maßnahmen

Eine Wasserstoff-Roadmap zeigt Flughäfen auf, welche flughafenseitigen Schritte zur Transformation in Richtung Wasserstoffnutzung im Luftverkehr nötig sind. Ein On-Demand Verkehr (ODV oder auch Linienbedarfsverkehr nach §44 PBefG) als Ergänzung zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) kann den Nutzen des Gesamtsystems des öffentlichen Verkehrs steigern.

WISSEN. KOMPAKT.

7 Integrierte und ökonomische Betrachtungen des Verkehrssystems

Das Verkehrssystem der Zukunft erfordert Lösungen, die nicht nur ökologische und verkehrliche Ziele umsetzen, sondern auch ökonomisch tragfähig und sozial ausgewogen sind. Denn für die Analyse und Gestaltung der Technologieentwicklung sowie von Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrsentwicklung bietet die ökonomische Forschung eine wichtige Perspektive.

Sie dient als Entscheidungsunterstützung zur Gestaltung von Technologie- und Innovationspfaden, Geschäftsmodellen, politischen Maßnahmen und Rahmensetzungen. Dies gilt für alle Verkehrsträger und sowohl im Nah- als auch im Fernverkehr. Durch die aktive Einbindung der DLR-externen Projektpaten Flughafen Hamburg und Regionalverband Großraum Braunschweig konnte ein enger, regionsbezogener Praxis- und Anwendungs-bezug der Forschung sichergestellt ermöglicht werden.

Diese Einbindung erfolgte im gegenseitigen Austausch, indem Projektergebnisse u.a. im Rahmen von Telekonferenzen und Präsenztreffen mit diesen Projektpaten diskutiert und weiterentwickelt wurden. Auf diese Weise konnte die ökonomische Forschung im Sinne einer Entscheidungsunterstützung für Technologie- und Geschäftsmodellentwicklung und politisches Maßnahmendesign genutzt werden.

Darüber hinaus konnten durch die aktive Einbindung der Projektpaten konkrete Fragestellungen aus der Praxis aufgenommen, gemeinsam Bewertungen durchgeführt und Antworten erarbeitet werden.

WISSEN. KOMPAKT.

Autor: David Ennen

7.1 Volkswirtschaftliche Effekte von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz des Verkehrssystems

Thema und Ziel

Die Resilienz eines Verkehrssystems kann als dessen Fähigkeit verstanden werden, auf Schocks und Störungen vorbereitet zu sein, ihnen zu widerstehen, sie zu absorbieren, sich an sie anzupassen sowie sich schnell und effizient von ihren Folgen zu erholen (Mattsson und Jenelius, 2021). Diese Fähigkeit ist entscheidend, damit der Betrieb eines Verkehrssystems durch unvorhergesehene Ereignisse wie beispielsweise extreme Wetterbedingungen, technische Ausfälle, Streiks oder Unfälle aufgrund menschlichen Versagens oder Fremdeinwirkung Dritter so wenig wie möglich beeinträchtigt wird und schnell wieder den Normalzustand erreicht.

Eine besonders große Rolle spielt die Resilienz im Schienenverkehr, einem Verkehrsträger, der aufgrund seiner hohen Komplexität und seiner vergleichsweise geringen Netzichte besonders anfällig für Störungen ist. Infrastrukturelle Resilienzmaßnahmen im Schienenverkehr zielen daher größtenteils darauf ab, alternative Zuglaufwege zu schaffen, beispielsweise durch den Einbau von Überleitweichen, dem Setzen von zusätzlichen Signalen oder der Elektrifizierung von Verbindungsstrecken.

Die Realisierung von infrastrukturellen Resilienzmaßnahmen hat verschiedene ökonomische Effekte. Zu diesen zählen:

- Nutzen, die durch die Maßnahmen generiert werden, als monetäre Größe bewertet,
- Kosten, die bei Planung, Bau und Betrieb entstehen, sowie
- Arbeitsplatzeffekte bzw. Fachkräftebedarfe, die mit Planung, Bau und Betrieb verbunden sind.

Die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit von Verkehrsinfrastrukturprojekten wird in Deutschland generell mithilfe der Nutzen-Kosten-Analyse bewertet, die die zu erwartenden Nutzen und Kosten eines Projekts gegenüberstellt und beispielsweise in der Bundesverkehrswegeplanung zum Einsatz kommt. Ein Umsetzungshindernis von Infrastrukturprojekten ist jedoch zunehmend die Zahl der Fachkräfte, die für Planung und Bau benötigt werden. Ziel war es daher, die Arbeitplatzeffekte bzw. die Fachkräftebedarfe für infrastrukturelle Resilienzmaßnahmen im Schienenverkehr abzuschätzen.

Zentrale Forschungsergebnisse

Fallbeispiel: Schieneninfrastrukturprojekt Robustes Netz NRW

Ein konkretes Beispiel für eine resilienzstärkende Verkehrsinfrastrukturmaßnahme ist das Schienenprojekt „Robustes Netz NRW“ in Nordrhein-Westfalen. Dies setzt sich aus den Teilprojekten „Robustes Netz I“ und „Robustes Netz II“ zusammen, die im Jahr 2019 und 2021 durch die Landesregierung NRW beschlossen wurden. Insgesamt sollen 35 Einzelmaßnahmen bis zum Jahr 2031 umgesetzt werden. Dazu zählen Maßnahmen wie die Einrichtung von Gleiswechselbetrieben und die Herstellung von Streckenverbindungen. Die Gesamtkostenschätzung beläuft sich auf 311 Mio. Euro, wobei 80% auf den Bau und 20% auf die Planung entfallen (VM NRW, 2019, 2021). Die angestrebten Realisierungszeiträume der einzelnen Projekte liegen zwischen 3 und 10 Jahren (VM NRW, 2019, 2021).

Der Arbeitskräftebedarf in Deutschland lässt sich mittels Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) des Statistischen Bundesamts und der sogenannten Input-Output-Rechnung (siehe z.B. Miller und Blair, 2019) abschätzen. Diese Methodik erlaubt auch die indirekten Arbeitskräftebedarfe in vorgelagerten Wirtschaftszweigen wie der Zement- oder Stahlindustrie zu ermitteln. Bei einer Investition von einer Million Euro in Schieneninfrastruktur werden im Mittel für ein Jahr 6,1 direkte Arbeitskräfte beschäftigt, wovon 2 auf die Planung und 4,1 auf den Bau entfallen. Dazu kommen 6,4 indirekte Arbeitskräfte bei Vorleistungsunternehmen. Wendet man diese Multiplikatoren auf das Projekt „Robustes Netz NRW“ an, ergibt sich ein mittlerer Arbeitskräftebedarf von knapp 300 Beschäftigten, wovon 100 auf den Bau, 45 auf die Planung und rund 155 auf die Bereitstellung von Vorleistungen entfallen.

Quelle: DLR (2024)

Investitionsart	Investition (Mio. €)	Arbeitskräfte		
		Direkt	Indirekt	Gesamt
Planung	1	9,8	6,1	15,7
Bau	1	5,2	6,5*	11,7
Gesamt (20% Planung, 80% Bau)	1	6,1	6,4	12,5

Abbildung 1: Arbeitskräftebedarf von Schieneninfrastrukturprojekten

Quelle: DLR (2024)

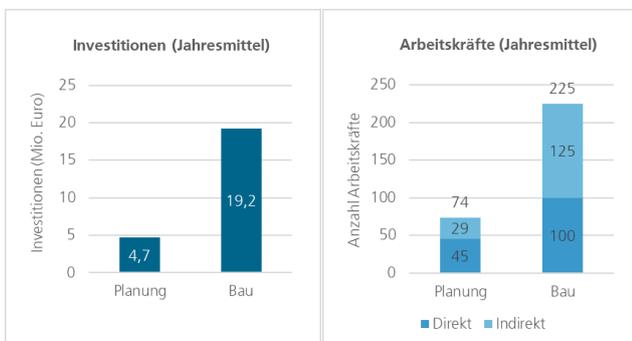


Abbildung 2: Investitions- und Arbeitskräftebedarf des Projektes „Robustes Netz NRW“

Empfehlungen

Die exemplarische Analyse des Projektes „Robustes Netz NRW“ zeigt, dass punktuelle Resilienzmaßnahmen häufig mit einem überschaubaren Fachkräftebedarf einhergehen und relativ schnell umsetzbar sind. Die errechneten Multiplikatoren (Abbildung 1) erlauben es, die direkten und indirekten Arbeitskräftebedarfe für andere Resilienzmaßnahmen im Schienenverkehr anhand der Investitionssumme abzuschätzen.

Allgemein lässt sich die gesellschaftliche Vorteilhaftigkeit von Resilienzmaßnahmen mit der ökonomischen Nutzen-Kosten-Analyse bewerten. Allerdings ist die Durchführung von Nutzen-Kosten-Analysen aufwändig, und es sind detaillierte Mikrobetriebssimulationen erforderlich, um den Nutzen dieser Maßnahmen für unterschiedlichste Störungsszenarien abzuschätzen. Die Pflicht zum Nachweis der gesellschaftlichen Vorteilhaftigkeit im deutschen Planungsrecht birgt das Risiko, dass nutzenstiftende Maßnahmen ausbleiben, wenn deren Nutzen nicht oder nur unzureichend in den Verfahren berücksichtigt wird. Der Verzicht auf den Nachweis im deutschen Planungsrecht für punktuelle Resilienzmaßnahmen, wie von der Beschleunigungskommission Schiene vorgeschlagen, sollte daher erwogen werden.

Wissen. Kompakt.

Die Resilienz eines Verkehrssystems ist von entscheidender Bedeutung, um unvorhergesehene Störungen zu absorbieren und einen möglichst reibungslosen Betrieb sicherzustellen. Dies gilt insbesondere für ein komplexes Verkehrssystem wie den Schienenverkehr. Resiliente Verkehrssysteme leisten einen entscheidenden Beitrag für die Mobilität der Menschen und die transportabhängige Wirtschaft. Darüber hinaus trägt insbesondere ein resilientes Schienenverkehrssystem zur Erreichung der ambitionierten Klimaschutzziele bei.

Weiterführende Referenzen

- Mattsson, L.-G., Jenelius, E. (2021). Resilience of transport systems. International Encyclopedia of Transportation, S. 258-267.
- Miller, R. E., Blair, P. D. (2009). Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. Cambridge University Press.
- VM NRW, Ministerium für Verkehr des Landes NRW (2019). Vorlage 17/2225. Bericht zum Tagesordnungspunkt 9 der 29. Sitzung des Verkehrsausschusses am 03. Juli 2019.
- VM NRW, Ministerium für Verkehr des Landes NRW (2021). Bericht zum Tagesordnungspunkt „Robustes Netz Nordrhein-Westfalen II“ der 56. Sitzung des Verkehrsausschusses am 23. Juni 2021. Vorlage 17/5367.

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autoren: Patrick Jochem, Florian Wozny,
Jonas Eschmann, Maximilian Engel

7.2 Innovationshemmnisse und Lösungsmöglichkeiten für ePkw in Deutschland

Thema und Ziel

Trotz ambitionierter Klimaziele trägt der Verkehrssektor signifikant zu und mit zunehmendem Anteil an den deutschen Klimagasemissionen bei. Aufgrund der technologischen Entwicklungen, der hohen Effizienz sowie geringen Kosten des Antriebes, aber auch des gesteigerten Drucks seitens der Politik, wird hierbei der Elektromobilität ein zentraler Baustein zugesprochen auch wenn nach dem ASIF-Ansatzes (Avoid-Shift-Improve-Finance) eine Verkehrsvermeidung oder -verlagerung effektiver und kostengünstiger erscheint. Zudem werden zahlreiche Hemmnisse der Elektrifizierung des Verkehrs in der Wissenschaft und Öffentlichkeit diskutiert, welche in manchen Fällen jedoch wissenschaftlich als gelöst gelten.

Zum Verständnis dieses Innovationsprozesses ist es wichtig die Hemmnisse und Komplexität dieser Ablöseprozesse zu verstehen, die in der Regel von einer Vielzahl an Faktoren abhängen. Dies wurde im Rahmen des VMo4Orte-Projektes im Rahmen einer umfangreichen Literaturanalyse umgesetzt und im Folgenden präsentiert. Auf Grund des hohen Anteils an den Gesamtemissionen (und trotz der bereits schnell anlaufenden Elektrifizierung des Lkw- und Busverkehrs) fokussieren die folgenden Ausführungen auf den geschäftlichen und privaten Pkw-Neuwagenmarkt.

Zentrale Forschungsergebnisse

Als Kern-Stakeholder des Markthochlaufs von ePkw sind auf der Nachfrageseite die Unternehmen (die 60 % der Neuwagen zulassen) sowie die privaten Haushalte (insbesondere die Zielgruppe der potentiellen Neuwagenkäufer/innen, d.h.

höheres Bildungs- und Einkommensniveau, männlich, älter) und auf der Angebotsseite die Automobilhersteller mit den Autohändlern. Ebenso greift die Politik durch zahlreiche Politikmaßnahmen bereits in den Markt ein und die Gesellschaft bzw. öffentliche Meinung beeinflussen die Marktchancen der Elektromobilität.

In der Literatur wird insbesondere über die individuelle Wahrnehmung der Konsument/innen berichtet. Hierzu zählen folgende oft subjektiv wahrgenommene Punkte, die in der Wissenschaft objektiv jedoch widerlegt sind bzw. abgeschwächt wurden:

1. Begrenzte Reichweite (über 95 % der empirischen Fahrweiten können mit ePkw problemlos zurückgelegt werden)
2. Lange Ladezeiten (Ladevorgänge werden oft in Parkzeiten integriert und Schnellladevorgänge haben sich mit fast 30 km/Minute deutlich verkürzt)
3. Zugang zu Ladeinfrastruktur (die meisten ePkw werden zuhause geladen; viele Einkaufszentren und Arbeitgeber bieten Lademöglichkeiten an)
4. Komplexität und Verlässlichkeit der Ladeinfrastruktur (ist i.d.R. nach Gewöhnung unproblematisch)
5. Performance der Fahrzeuge (ist i.d.R. nach Gewöhnung unproblematisch)
6. Sicherheitsbedenken (Risikohöhe ist sehr ähnlich zu konventionellen Pkw)
7. Geringe Auswahlmöglichkeiten (wächst von Jahr zu Jahr)
8. Lieferzeiten bei Neuwagen (ist sehr volatil)

9. Zweifel an sozialen/umweltbezogenen Vorteilen (ist für Durchschnittsnutzung widerlegt)
10. Höherer Kaufpreis (die Nutzungskosten über den gesamten Lebenszyklus sind i.d.R. ähnlich)
11. Mangelnde eigene Expertise und der Verkäufer (wird von Jahr zu Jahr besser)
12. Annahme höherer Kosten für Instandhaltung/Reparaturen (ist für Durchschnittsnutzung widerlegt)
13. Angenommener höherer Wertverlust (ist für Durchschnittsnutzung widerlegt)
14. Strompreisbedenken (gerade bei eigener Photovoltaikanlage genau ein Gegenargument; auch Benzinpreise sind sehr volatil)

Der Staat greift bereits durch zahlreiche politische Maßnahmen ein. Hierunter fallen beispielsweise, Kaufanreize, Steuernachlässe, Vorgaben für die Automobilhersteller, Dienstwagenbesteuerung, u.v.a.m. Die Hersteller haben immer noch eine gewisse Planungsunsicherheit und versuchen einerseits ihre kurzfristigen Gewinne mit konventionellen Fahrzeugen, bei denen sie derzeit noch höhere Deckungsbeiträge erzielen können, zu maximieren andererseits nutzen sie die ePkw zur Zielerreichung der politischen Vorgaben zu den spezifischen Flottengrenzwerten. Bei Autohändlern fehlt oft die Kompetenz und es besteht eine gewisse Zurückhaltung bei der neuen Technologie. In der Gesellschaft gibt es noch zahlreiche Bedenken, die wohl erst mit erhöhten Marktdurchdringungsraten aus dem Weg geräumt werden können. Weitere Stakeholder sind insbesondere Ladesäulenbetreiber.

Ausblick

In Bezug auf die identifizierten Hemmnisse und der möglichen Lösungsangebote scheint es insbesondere drei Hauptmaßnahmen zur Wiederbelebung des deutschen ePkw-Marktes zu geben:

1. Abschaffung aller klimaschädlichen Subventionen und Einführung eines Tempolimits [1].

2. Aufklärung über die Gesamtkosten der Fahrzeugnutzung, Ladeinfrastrukturnutzung, Reichweitenproblematik sowohl bei der breiten Öffentlichkeit als auch bei dem Verkaufspersonal von Autohäusern.
3. Einführung eines (ggf. räumlich differenziertes) social-Leasing-Konzepts ähnlich wie in Frankreich welches auch unteren Einkommensklassen eine wirkliche Antriebstechnologiewahl beim Pkw-Kauf einräumt.

Wirksamkeitsanalysen verdeutlichen den komplexen Zusammenhang zwischen den einzelnen Maßnahmen und mit verschiedenen, nationalen Einflussparametern [2]. Gerade durch die bereits weitfortgeschrittene Energiewende im Stromsektor erscheint nun eine beschleunigte Verkehrswende durch einen höheren Marktanteil von ePkw von großer Wichtigkeit zu sein, da die gestiegene Menge an Grünstrom die Klimagasreduktionen durch ePkw erhöht und gleichzeitig die modernen ePkw durch rückspeisefähige Ladeinfrastruktur (sogenanntes vehicle-to-grid) dem Stromsektor helfen können die Energiewende noch effizienter zu vollenden [3].

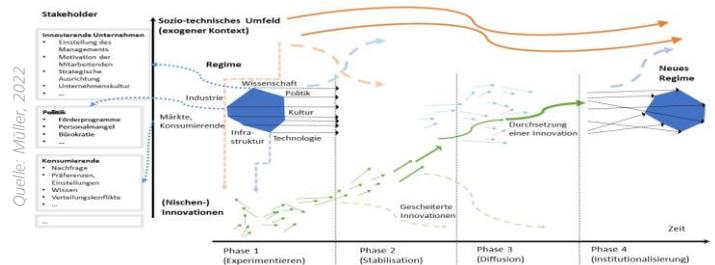


Abbildung 1: Technologiewandlungsprozess [4]

Wissen. Kompakt.

Es wurden Transformations- und Migrationsprozesse zu einem nachhaltigeren Verkehrssystem aus ökonomischer Sicht untersucht. Insbesondere wurden Hemmnisse und politische Maßnahmen analysiert und bewertet, die solche Prozesse gestalten und hinsichtlich der jeweiligen Zielstellung unterstützen können.

Weiterführende Referenzen

- Plötz P., N. Koch, S. Bach, P. Haan, D. Kistingner, und N. Illenseer. (2024): Klimaschädliche Subventionen entsprechen negativen CO2-Preisen. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. [1]
- Stechemesser, A., Koch, N., Mark, E., Dilger, E., Klösel, P., Menicacci, L., ... & Wenzel, A. (2024). Climate policies that achieved major emission reductions: Global evidence from two decades. *Science*, 385(6711), 884-892. [2]
- Wang, Z.; Xu, L.; Yilmaz, H.Ü.; Jochem, P. (2022): Integrating vehicle-to-grid technology into energy system models: Novel methods and their impact on greenhouse gas emissions, *Journal of Industrial Ecology* 26(2), 392-405, doi: 10.1111/jiec.13200. [3]
- Müller, S. (2022). The Evolution of Transport Systems and an evolutionary oriented transport-innovation policy (Doctoral dissertation, Université Paris-Est). [4]

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Autor/innen: Janina Scheelhaase, Katrin Oesingmann, Axel Claßen

7.3 Einführung von Wasserstoff an mittelgroßen Flughäfen

Thema und Ziel

Um das EU-Ziel, Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 zu erreichen, ist die Nutzung von Wasserstoff (H₂) im Luftverkehr ein wichtiger Baustein. Andere Bausteine sind technologische Verbesserungen an der Flugzeugzelle und seinen Motoren, der Einsatz von Biofuels oder sog. E-Fuels, die Nutzung elektrischer Antriebe sowie operationelle Verbesserungen. Im Rahmen des Projektes „VMO4Orte“ haben Verkehrsökonom:innen eng mit dem Flughafen Hamburg zusammengearbeitet, um gemeinsam eine „Roadmap für die Wasserstoffnutzung an mittelgroßen Flughäfen in Deutschland und Europa“ zu entwickeln. Diese Roadmap liegt nun vor.

Unsere Forschungsfragen

Wann und in welchem Umfang eignet sich Wasserstoff zur Dekarbonisierung des Luftverkehrs?

Welche technischen, ökonomischen, organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen müssen bei der Einführung und Nutzung von Wasserstoff an mittelgroßen Flughäfen beachtet und/oder geschaffen werden?

Um diese Fragen zu untersuchen, wurde zunächst der Wasserstoffbedarf an mittelgroßen Flughäfen im Zeitraum 2020 – 2050 in Europa analysiert. Danach galt es, das Angebot an Wasserstoff in Deutschland aus dem In- und Ausland bis zum Jahr 2050 zu untersuchen. Dies betraf sowohl die H₂-Mengen als auch die Preise. Als nächstes wurde ermittelt, welche Infrastrukturveränderungen und -investitionen an mittelgroßen Flughäfen umgesetzt werden müssen, um Wasserstoff im Luftverkehr nutzen zu können. Schließlich wurden die

notwendigen Prozessveränderungen zur Nutzung von Wasserstoff an Flughäfen analysiert.



Quelle: Scheelhaase, Janina; Oesingmann, Katrin; Claßen, Axel (2024)

Abbildung 1: Roadmap zur Wasserstoffnutzung an Flughäfen.

Zentrale Forschungsergebnisse

Die zeitnahe Einführung alternativer Kraftstoffe ist wichtig zur Dekarbonisierung des Luftverkehrs und zur Erreichung der europäischen Klimaziele. Insgesamt könnten bis zu 60% der Abflüge am Flughafen Hamburg im Jahr 2050 mit Wasserstoffflugzeugen durchgeführt werden. Dies entspricht einer CO₂-Reduktion von 0,5 Mio. t CO₂ (-38%). Allerdings wird mittelfristig eine hohe Nachfrage nach grünem Wasserstoff auch aus anderen Sektoren, z. B. der Eisen- und Stahlindustrie, erwartet. Der Luftverkehr muss sich also frühzeitig Abnahmemengen sichern. Politische Maßnahmen können die Umstellung auf neue Technologien fördern. Weiterhin sind an den Flughäfen umfangreiche, kostenintensive Infrastruktur- und Prozessanpassungen notwendig. Auch ist die Einführung von europäischen Regularien und Standards, z. B. zur Betankung mit Wasserstoff notwendig.

Insgesamt erfordert die kommerzielle Nutzung von Wasserstoff an Flughäfen:

- eine komplexe Markthochlaufstrategie und
- ein gut abgestimmtes Vorgehen zwischen Luftfahrt, bodengebundenem Verkehr und Energieversorgung,
- umfangreiche Infrastruktur- und Prozessanpassungen
- sowie die Einführung von europäischen Regularien und Standards.

Soll Wasserstoff ab dem Jahr 2035 kommerziell nutzbar sein, müssen diese Prozesse schon jetzt auf den Weg gebracht werden.

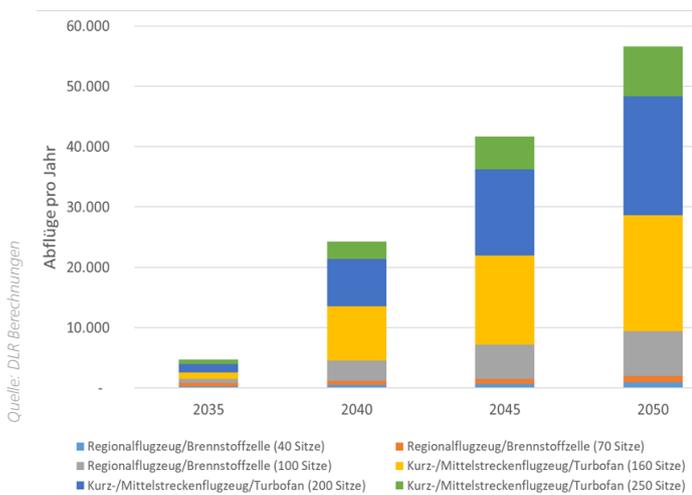


Abbildung 2: Abflüge von Wasserstoffflugzeugen am Flughafen HAM p.a., 2035-2050

Beteiligte Partner

Der Flughafen Hamburg plant die kommerzielle Nutzung von Wasserstoff im Luftverkehr innerhalb des kommenden Jahrzehnts.

Wissen. Kompakt.

Um Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen, ist Wasserstoff (H₂) im Luftverkehr ein wichtiger Baustein - neben technologischen Verbesserungen, SAFs, elektrischen Antrieben und operationellen Optimierungen. Im Projekt „VMo4Orte“ wurde gemeinsam mit dem Flughafen Hamburg eine Roadmap zur Wasserstoffnutzung an mittelgroßen Flughäfen in Deutschland und Europa entwickelt.

Untersucht wurden der Wasserstoffbedarf und das Angebot bis 2050, notwendige Infrastrukturveränderungen und Prozessanpassungen. Bis zu 60% der Abflüge am Flughafen Hamburg könnten 2050 mit Wasserstoffflugzeugen erfolgen, was eine CO₂-Reduktion von 38% bedeuten würde.

Die Einführung von Wasserstoff erfordert eine komplexe Markthochlaufstrategie, eine enge Zusammenarbeit zwischen Luftfahrt, Verkehr und Energieversorgung sowie umfangreiche Infrastruktur- und Prozessanpassungen. Europäische Regularien und Standards müssen frühzeitig etabliert werden, um die kommerzielle Nutzung ab 2035 zu ermöglichen.

Weiterführende Referenzen

- Scheelhaase, Janina; Oesingmann, Katrin; Claßen, Axel (2024): Roadmap for Implementing Hydrogen Technology at Medium-Sized European Airports, INAIR 2024 (13th International Conference on Air Transport) and Transportation Research Procedia, accepted
- Oesingmann, Katrin; Grimme, Wolfgang; Scheelhaase, Janina (2024): Hydrogen in aviation: A simulation of demand, price dynamics, and CO₂ emission reduction potentials, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 64, Seiten 633-642, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.241>
- Rau, Alexander; Stumpf, Eike; Gelhausen, Marc (2024): Modelling the impact of introducing first-generation narrowbody hydrogen aircraft on the passenger air transportation network in Europe, Journal of the Air Transport Research Society, Volume 3, 100029, <https://doi.org/10.1016/j.jatrs.2024.100029>.
- Grimme, Wolfgang; Braun, Matthias (2022): Estimation of potential hydrogen demand and CO₂ mitigation in global passenger air transport by the year 2050, Transportation Research Procedia, 65, Seiten 24-33; <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.11.004>

Die präsentierten Ergebnisse in diesem „Wissen.Kompakt.“ sind im Rahmen des DLR-Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMo4Orte)“ entstanden. Über die Projektlaufzeit von 2022-2024 haben insgesamt 19 DLR-Institute gemeinsam mit Partnern aus Kommunen, Verkehrswirtschaft und Verbänden Mobilität von Personen und Gütern als grundlegende Voraussetzungen für lebenswerte, klimarobuste und wettbewerbsfähige Städte und ihr Umland untersucht. Das Projekt bietet hierzu aus einer systemischen Perspektive und einer inter- und transdisziplinären Expertise Lösungsbausteine als Beiträge zur Transformation des Verkehrssystems.

WISSEN. KOMPAKT.

Vmo4Orte Ergebnisbericht

Im Projekt VMo4Orte wurden über die Laufzeit von drei Jahren wesentliche Erkenntnisse gewonnen, wie das Verkehrssystem in Städten und ihrem Umland und einzelne Lösungsbausteine aus dem Personen- und Güterverkehr in einem interdisziplinären systemischen Ansatz gestaltet werden kann.

Es hat dabei wegweisende Ansätze zur Transformation urbaner Mobilität entwickelt und realitätsnah getestet. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit konnte das Projekt einen umfassenden Rahmen schaffen, der technologische Innovationen mit sozialen und politischen Aspekten kombiniert, um zukünftig lebenswerte und klimarobuste Städte zu fördern. Ergebnisse zu intermodalen Mobilitätsangeboten, Auswirkungen von Umgestaltungsmaßnahmen im Quartier, der intermodalen Navigation von Personen und der Erprobung und Anforderungsermittlung innovativer Straßen- und Schienenfahrzeugkonzepte machten deutlich, dass eine ganzheitliche Herangehensweise entscheidend ist, um den vielfältigen Herausforderungen im städtischen Verkehr effektiv zu begegnen.

Durch Projektdemonstratoren wie beispielsweise dem On-Demand-Verkehr im ÖPNV oder den City-Logistikkonzepten, verdeutlichen die Anforderungsberücksichtigung, Machbarkeit und Skalierbarkeit der entwickelten Konzepte. Sie boten praxisnahe Einblicke in die Herausforderungen städtischer Logistik und der Zukunft flexibler ÖPNV-Angebote, wodurch Flächennutzung und Fahrzeugeinsatz optimiert werden können.

Durch die aktive Einbindung von Verkehrsunternehmen, Verbänden, kommunalen Verwaltungen und Verkehrswirtschaft entstand ein Dialog, der innovative, praxisnahe und anwendungsorientierte Lösungsansätze hervorbrachte.

Diese Ansätze sind nicht nur übertragbar, sondern auch lokal anpassbar für unterschiedliche urbane Kontexte. Die Beteiligung von Projektpartnern förderte dabei die praktische Validierung und die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Einführung der Lösungen in weiteren realen urbanen Umfeldern.

VMo4Orte hat damit nicht nur einen bedeutenden Beitrag zur Gestaltung zukunftsorientierter Mobilitätsstrategien geleistet und auf vorangegangenen Projekten aufgebaut, sondern auch einen Grundstein für weitere hier anschließende Forschungsprojekte gelegt. Die gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Konzepte bieten Städten ein Modell, um Mobilität nachhaltiger, effizienter und inklusiver zu gestalten. Das Projekt zeigt eindrucksvoll, wie der komplexe Bereich urbaner und regionaler Mobilität systemisch neu gedacht und transformiert werden kann, um langfristig wirkungsvolle und nachhaltige Resultate zu erzielen.

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Wir betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer. Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie.

Das DLR nutzt das Know-how seiner 55 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 10.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

Impressum

Herausgeber:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Institut für Verkehrsforschung

2025

Herausgeberin: Julia Schuppan

Autor/innen:	Ibraheem Adeniran	Laura Gebhardt	Daniel Krajzewicz	Alejandro Prieto Mota
	Xiaoxu Bei	Christian Gentner	Franz Kurz	Felix Rauch
	Michael Behrisch	Erik Grunewald	Stefan Leuko	Anke Sauerländer-Biebl
	Mathias Böhm	Duc Hai Le	Klaus Lütjens	Janina Scheelhaase
	Elmar Brockfeld	Marc Hasselwander	Sven Maertens	Benedikt Scheier
	Mascha Brost	Michael Hardinghaus	Heike Marquart	Saskia Seidel
	Thomas Christ	Jens Hellekes	Tilman Matteis	Robert Seiffert
	Axel Claßen	Corentin Henry	Nina Merkle	Isabel Seiffert
	Elija Deineko	Klas Ihme	Tobias Müller	Alexander Sohr
	Marc Dziakowski	Patrick Jochem	Marco Münster	Kerstin Stark
	Kim Jannik Eggers	Ariane Kehlbacher	Simon Nieland	Catharina Wasić
	Ella Eisemann	Carina Kehrt	Katrin Oesingmann	Jan Wegener
	Maximilian Engel	Stephan Kintzel	Rebekka Oostendorp	Florian Wozny
	David Ennen	Alexandra König	Manuel Osebek	
	Jonas Eschmann	Jens König	Andrei Popa	

Anschrift:
Rudower Chaussee 7
12489 Berlin

Email:
vf-assistenz@dlr.de

DLR.de

Bilder DLR (CC-BY 3.0), sofern nicht anders angegeben
DOI: 10.71786/dlr.vf-ca7w-b111