

Bedarfsorientierter ÖPNV im ländlichen Raum - Simulationsstudie und Potentialanalyse

DLR-Projekt MOVEMENT
19.05.2022, Projektabschluss
Benedikt Scheier
Alessa Isberner
Evnika David
Malte Wolf (Ostfalia Hochschule)



Wissen für Morgen



Gliederung

- Herausforderung ländlicher Mobilität
- On-Demand-ÖV: Status-Quo und Zielkonflikte
- Exkurs: SUMO open-source mikroskopische Verkehrssimulation
- Potentialanalyse
 - Modellraum / Angebotskonzept / Nachfrage
 - Simulation und Ergebnisse
 - Lebenszykluskostenanalyse Ergebnis
 - Variationen:
 - Dispositionssystem
 - Fahrzeuganzahl
 - Fahrzeugtyp – LCC des Abteilbuskonzepts
 - Variation Haltestellendichte
 - Elektrifizierung – Kurzanalyse Speicherkapazität
 - Automatisierung – Potential?
- Fazit und Ausblick

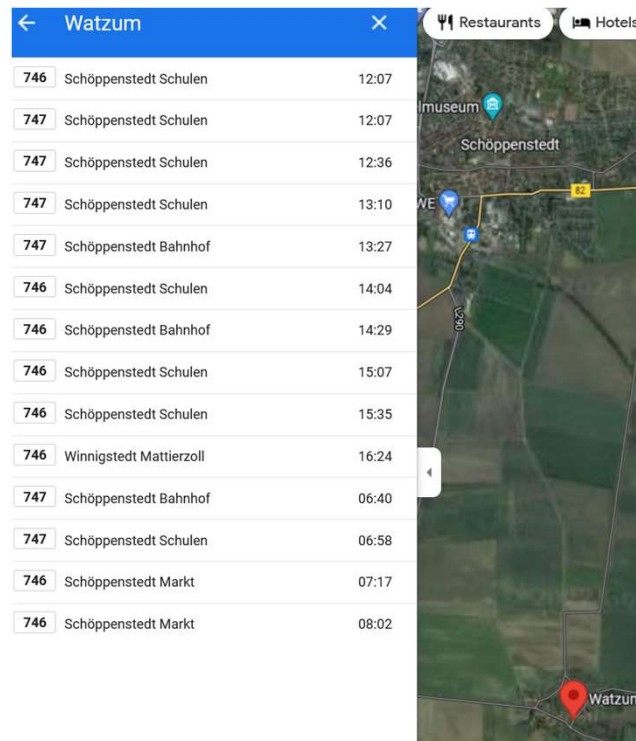


Herausforderung ländlicher Mobilität

- Am Auto kommt kaum ein Mensch vorbei!
 - ÖV-Fokus auf Schülerverkehr
 - Kein ÖV-Angebot in zeitlichen Randlagen
 - Schlechte Infrastruktur für ÖV/Fahrrad/Mikromobilität

→ Negative Wirkung auf Umwelt und Reisende

- Haushalte haben zumeist mehr als ein Auto
- Menschen verbringen viel Zeit im Auto
- Schlechte Fahrzeugauslastung durch viel Elterntaxi (z.B. Sport etc.)
- Viel Zeit und Geld müssen für Mobilität ausgegeben werden



Route	Destination	Time
746	Schöppenstedt Schulen	12:07
747	Schöppenstedt Schulen	12:07
747	Schöppenstedt Schulen	12:36
747	Schöppenstedt Schulen	13:10
747	Schöppenstedt Bahnhof	13:27
746	Schöppenstedt Schulen	14:04
746	Schöppenstedt Bahnhof	14:29
746	Schöppenstedt Schulen	15:07
746	Schöppenstedt Schulen	15:35
746	Winnigstedt Mattierzoll	16:24
747	Schöppenstedt Bahnhof	06:40
747	Schöppenstedt Schulen	06:58
746	Schöppenstedt Markt	07:17
746	Schöppenstedt Markt	08:02

<https://www.google.de/maps/place/Watzum/@52.1277567,10.7871168,5835m/data=!3m1!1e3!4m7!3m6!1s0x47a5649a202c9993:0x34044582287f5938!6m1!1v5!8m2!3d52.114482!4d10.781617!5m1!1e2>



<https://www.adac.de/verkehr/verkehrssicherheit/kindersicherheit/schulweg/elterntaxi-holbringzonen/>



<https://www.thuenen.de/de/ir/projekte/soziale-benachteiligung-in-laendlichen-peripherien-in-ostdeutschland-und-tschechien/>

Flexibel und Bedarfsorientiert – On-Demand Mobilitätsangebote

• Viele Begriffe, zumeist ein Verständnis:

- Ridepooling
- Demand-responsive Transport (DRT)
- On-Demand-ÖV
- Flexo-Verkehre



Bildquelle: K. Viergutz, DLR



Potentialanalyse des Lösungsvorschlag On-Demand-ÖV

Zielkonflikte

- Flexibilisierung und Digitalisierung
 - Kein Fahrplan, keine feste Routen
 - Ziel: deutlich besseres Angebot (zeitlich und räumlich)
 - Abholzeit nach abgesetztem Fahrtwunsch (Vorbuchungszeit)
 - Zielkonflikt: Mehr Fahrzeuge = schnelle Abholung \leftrightarrow höhere Fahrzeug-km
 - Abholort entweder an vorhandenen Haltestellen oder an zusätzlichen (virtuellen) Haltestellen
 - Zielkonflikt: Mehr Haltestellen = kürzere Fußwege \leftrightarrow höhere Fahrzeug-km + Wartezeiten
 - Fahrtenbündelung
 - Zielkonflikt: höhere Reisezeiten (Umwege) \leftrightarrow geringere Fahrzeug-km
 - Achtung: Einfluss der Disposition?
- Elektrifizierung
 - Geeignete Ladestandorte und Anzahl Ladesäule
 - Zielkonflikt: Einfluss Betrieb \leftrightarrow Kosten Ladeinfrastruktur bzw. Speicherkapazität
- Automatisierung
 - Ziel: Geringere Personalkosten \rightarrow weitere Erhöhung des Angebots ökonomisch möglich
 - Wie teuer wird die Automatisierung?
 - Wie hoch ist überhaupt das Potential?



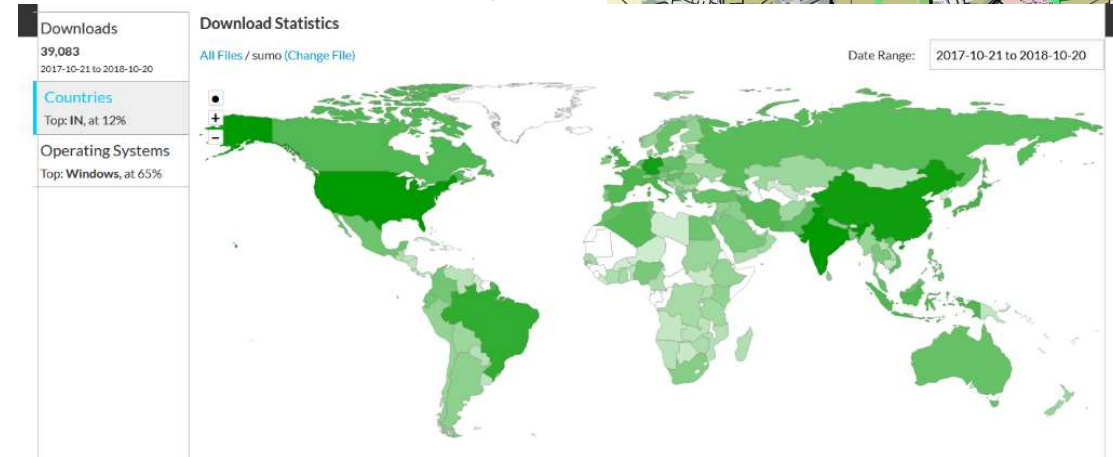
SUMO – Simulation of urban mobility

Exkurs: Was ist das und wofür?

- Open-Source Software¹ des DLR für die mikroskopische Simulation von Verkehrssystemen
- Seit 2001 in ständiger Entwicklung
- Unser Ziel: Simulation sämtlicher Mobilitätsaktivitäten einer Stadt darzustellen:
 - PKW und LKW
 - Fahrgäste
 - Busse
 - Fußgänger
 - Fahrradfahrer
 - Schiffe
 - Güterverkehr
 - Züge
- weltweite Nutzung, vor allem in der Wissenschaft →



Quelle: DLR



¹Aktuelle Version 1.10.0 [Downloads - SUMO](#)
[Documentation \(dlr.de\)](#)

Simulation – Fallstudie Modellraum

- Sehr hoher **Handlungsbedarf**, die Mobilität im ländlichen Raum zu stärken:
 - **Strukturschwäche mindern** → Bevölkerungsrückgang bis 2030¹ um bis zu 39%
 - **Senkung der Klimagase** → ÖV hin zu einer echten Alternative zum MIV entwickeln
- Ziel: Schaffung eines Angebotes, welches mit dem **MIV wettbewerbsfähig** ist hinsichtlich **Fahrtzeit, Spontanität und Kosten**



Betrachtungsraum Grenzen

- Nord – A39, B1 und Elm
- Ost – Elm, Schöningen und Landesgrenze Sachsen-Anhalt
- Süd – Landesgrenze Sachsen-Anhalt
- West – Oker bzw. Bahnlinie

Angebotskonzepte Morphologische Analyse

Zeit	24/7	05:00 – 23:00	4:30 – 00:30
Raum - Verbindung	n : n Städte nur Transit zu Hub	n : n Städte auch Raum zwischen Hub	n : n aber mit intramodalem Umstieg
Verbindung nach Braunschweig	Direkt Hbf	Tram BS-Stöckheim Bei SPFV BS-Hbf	Südl. SPP ¹ über SPNV ab SPP Bf
Ein-/Ausstieg	Haltestellen	dynamische Haltepunkte	Haustür
Vorbuchungszeiten	Hub 5 Min Rest 15 Min	Hub sofort Rest 10 Min	Hub 10 Min Rest 20 Min
Umfwegfaktor (zeitl.)	1,2	1,5	2,0
Fahrpreis	ÖPNV 2019	Dynamisch (min. Grenzkosten)	Dynamisch

Zusammenstellung eines
Angebotskonzepts:

- Je Zeile Wahl einer Zelle; Spalten dürfen gemischt sein
- **In Grün: gewählte Parameter für das Ausgangsmodell**
- **100 Fahrzeuge**

Quelle: DLR

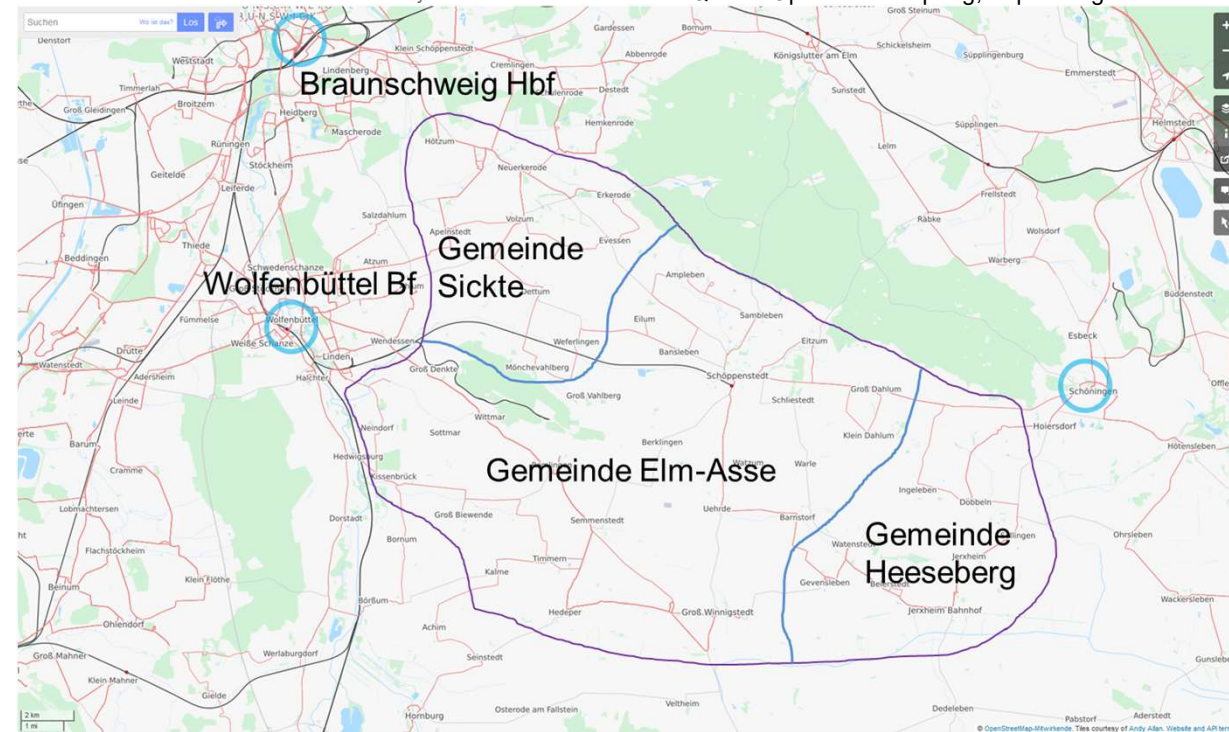


¹ SPP = Schöppenstedt



Simulation – Fallstudie Nachfrage

- Orientierung an jetziger ÖV-Nachfrage
- 4265 Fahrten
- Verkehrsmenge entnommen aus NVP 2020+ des Regionalverbands Großraum BS
- Bedienung von/zu den Städten Braunschweig, Wolfenbüttel und Schöningen nur über zentrale Orte (Hubs)
- Granularisierung der Nachfrage:
 - Tagesganglinien → Stunden
 - Bevölkerungszahl der Dörfer

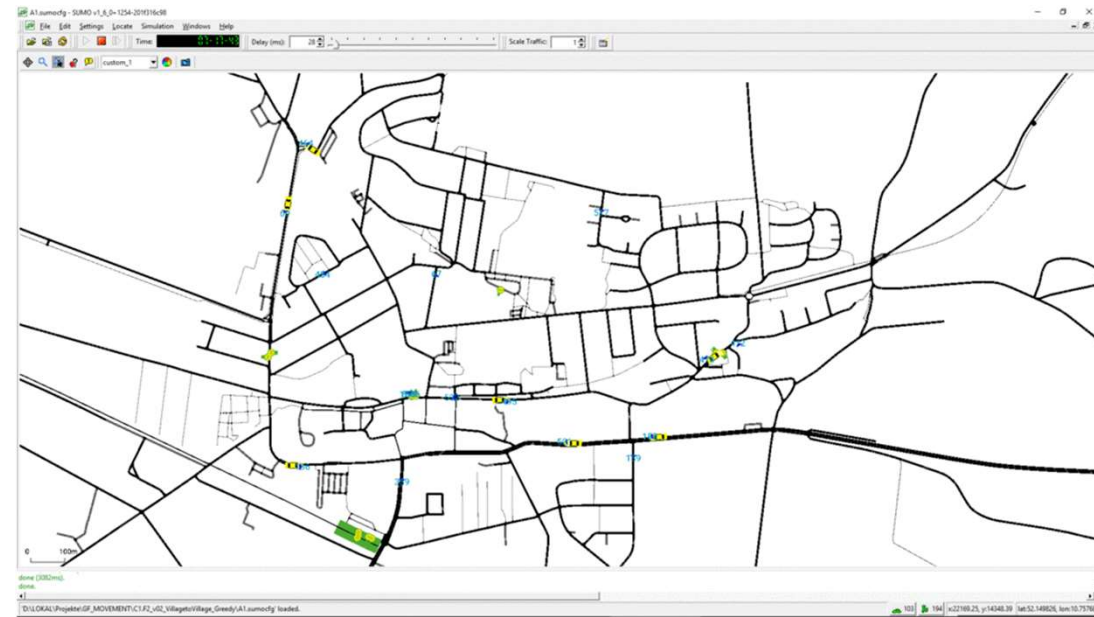
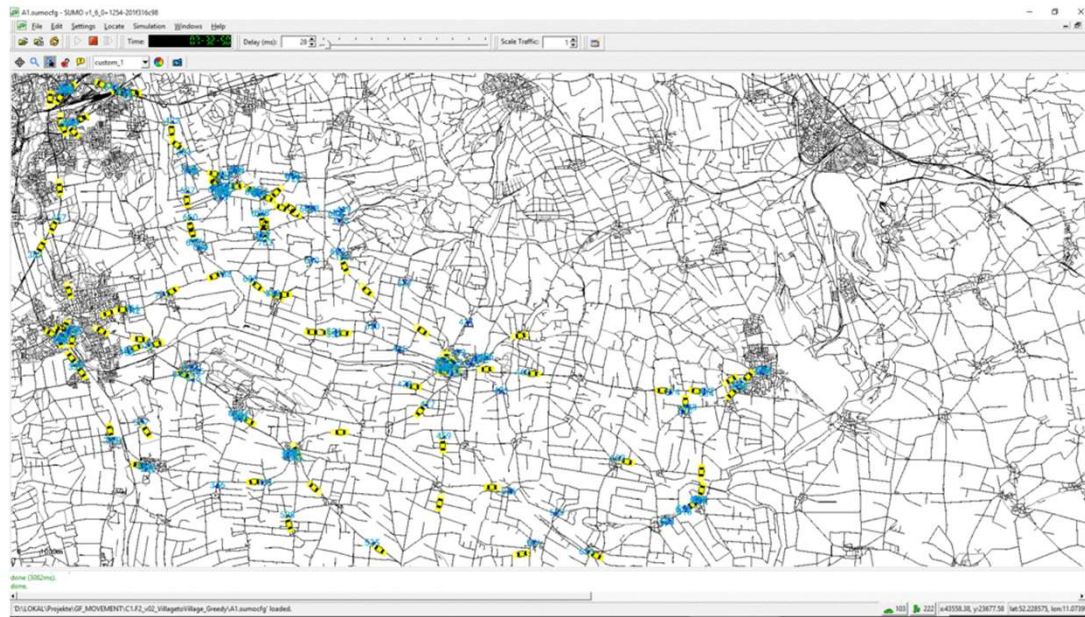


Nachfragematrix	BS Hbf	Wf Bf	Sickinge	Elm-Asse	Heeseberg	Schöningen ZOB
BS Hbf		0	564	205	4	15
Wf Bf	0		148	654	5	0
Sickinge	564	148		41	5	0
Elm-Asse	205	654	41		15	43
Heeseberg	4	5	5	15		298
Schöningen ZOB	15	0	0	43	298	

Quelle: DLR



On-Demand Mobilität im ländlichen Raum



Mikroskopische Simulation der Fahrzeuge und der Reisenden (Reisekette *Walk-Ride-Walk*) mit SUMO

- Input / Variation → Nachfrage, Halteorte, Fahrzeuge (Anzahl), Energieversorgung, Dispositionsalgorithmus
- Auswertung → Fahrzeit, Fußweg, Vorbuchungszeit, Fahrzeugkilometer und –auslastung

• Lebenszykluskostenrechnung → Kostendeckungsgrad Betrieb  Fahrpreis



SUMO = Simulation of Urban Mobility
KPI = Key-Performance-Indicator



Ergebnisse

- Vorbuchungszeit von 10 Minuten
- Durchschn. Reisegeschwindigkeit von 50 km/h
- höherer Belegungsgrad als MIV
- Recht hohe Standzeiten mit 45%

Reisende (Mittelwerte)		
Vorbuchungszeit	[min]	10
Fußwege	[m]	230
Fahrtweg	[km]	17,4
Fahrtzeit	[min]	18
Reisezeit (Fuß + Fahrt)	[min]	21,2

Quelle: DLR

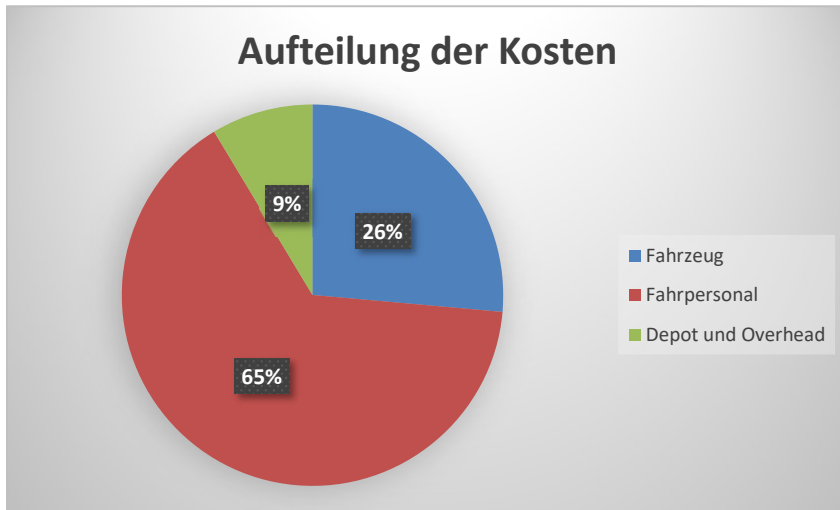
Fahrzeugflotte		
Wegstrecke	[km]	50620
Besetzt-Fahrt	[km]	43570
Belegungsgrad	[-]	1,5
Standzeit	[%]	45

Quelle: DLR

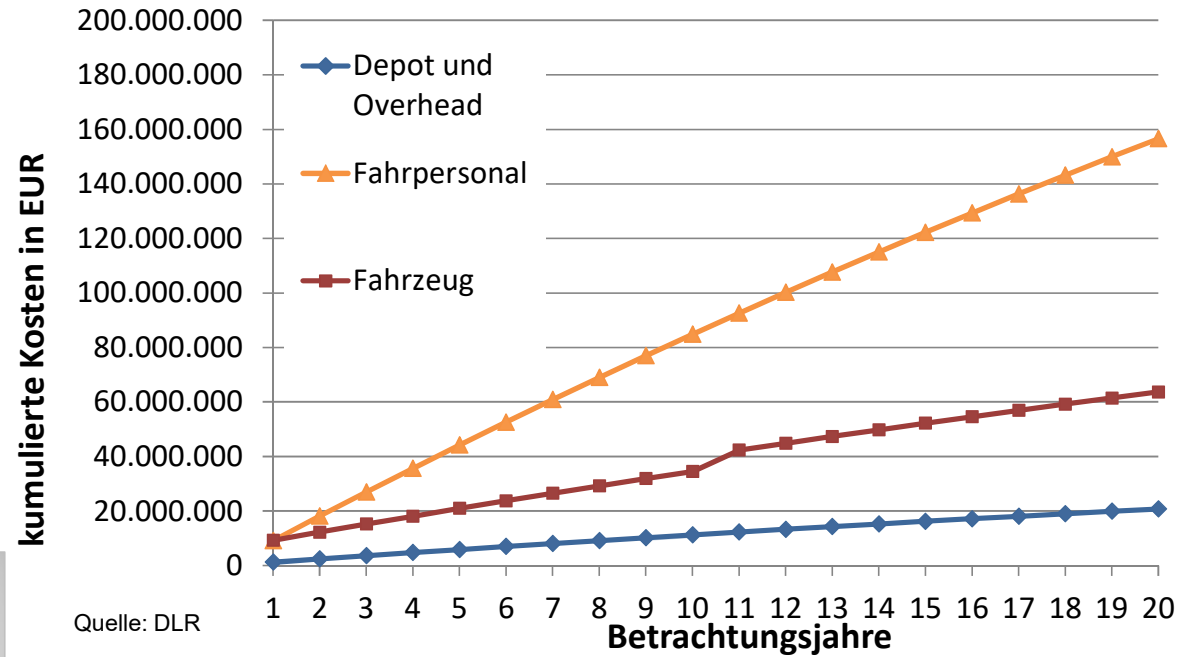


Lebenszykluskostenanalyse

- Anschaffungen, Besitzkosten (Personal, Energie, Reinigung, Instandhaltung, Reifen)
- Fahrpreis 5,50 € je Fahrt, d.h. ca. 30 Cent / km
- Kosten somit ähnlich wie privat-PKW



Quelle: DLR



Quelle: DLR

Kosten	Optimierte Disposition
Kosten je Jahr	12 Mio. €
Einnahmen je Jahr	7,3 Mio. €
Kostendeckungsgrad	60 %
Fahrpreis bei 100%	9 €

Quelle: DLR



Disposition Einfluss des Algorithmus‘

- Analyse von zwei unterschiedlichen Ansätzen:
 - „Taxi“: sofortige Zuteilung des nächstgelegenen Fahrzeugs
 - Optimierte: Zuteilung nur Intervallweise (hier je 30 Sek.), Fahrtenbündelung bevorzugt, auch wenn Fahrzeuge frei sind
- Erkenntnisse bei Verwendung optimierter Disposition:
 - Fahrtzeit und Fahrtweg der Reisenden steigen (17% und 20%)
 - Aber verstärkte Fahrtenbündelung führt zu geringeren Fahrzeugkilometern (-30%) und höherem Belegungsgrad
 - Standzeiten sind höher
- Fazit: **Einfluss der Disposition ist hoch!**

Reisende		Optimierte Disposition	„Taxi“ Disposition
Vorbuchungszeit	[min]	10	12
Fußwege	[m]	230	230
Fahrtweg	[km]	17,4	14,8
Fahrtzeit	[min]	18	15
Reisezeit (Fuß + Fahrt)	[min]	21,2	18,2

Quelle: DLR

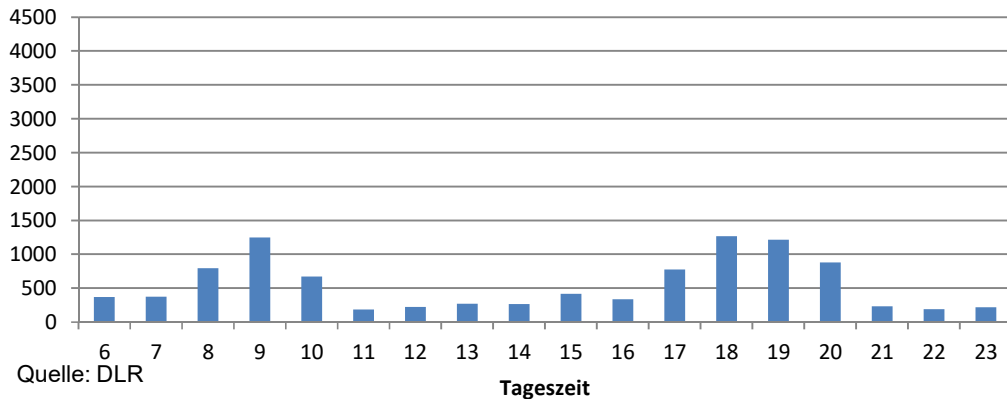
Fahrzeugflotte		Optimierte Disposition	„Taxi“ Disposition
Wegstrecke	[km]	50620	71523
Besetzt-Fahrt	[km]	43570	53793
Belegungsgrad	[-]	1,5	0,9
Standzeit	[%]	45	37

Quelle: DLR



Variation Fahrzeuganzahl

105 Fahrzeuge - mittlere Vorbuchungszeit in [s]

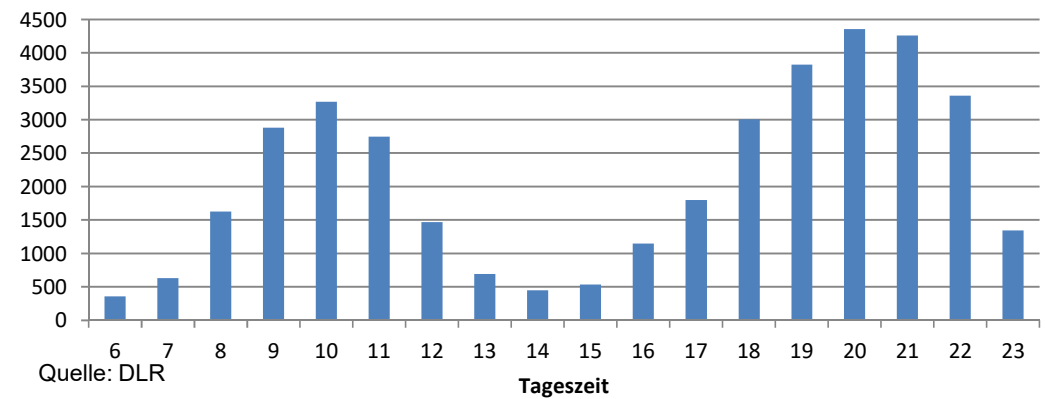


mittlere Vorbuchungszeit in den Städten bei 105 Fahrzeugen:

Ort	mittlere Wartezeit [min]
Wolfenbüttel Bf	19,12
Schöningen ZOB	17,09
Braunschweig Hbf	11,64
Szenario Durchschnitt	11,27

Quelle: DLR

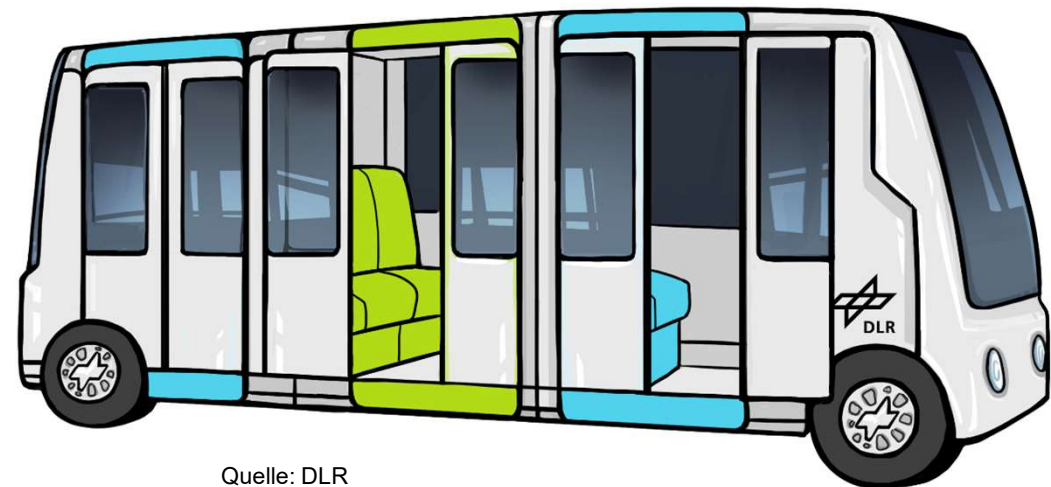
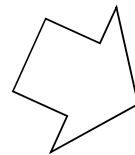
80 Fahrzeuge - mittlere Vorbuchungszeit in [s]



- Überraschend: Vorbuchungszeiten in den Hubs größer als im Gesamtmittel
- Bei 20% weniger Fahrzeuge:
 - System in den Spitzenstunden über der Kapazität (deutliche Steigerung Vorbuchungszeiten)
 - Die Kosten verringern sich um 15%



Variation Fahrzeugtyp - Abteilbuskonzept



Quelle: DLR

Motivator für Reisende?

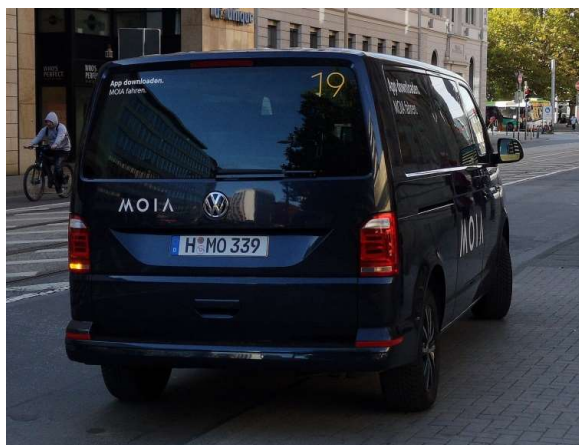


Erhöhte Kosten?

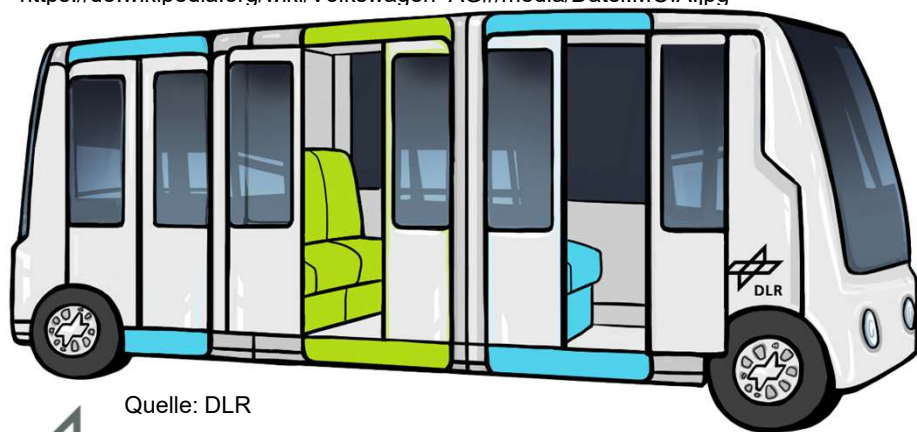


Variation Fahrzeugtyp - Abteilbuskonzept

Vielen Dank für die Unterstützung an DLR
 Institut FK, Benjamin Frieske und weitere



https://de.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_AG#/media/Datei:MOIA.jpg

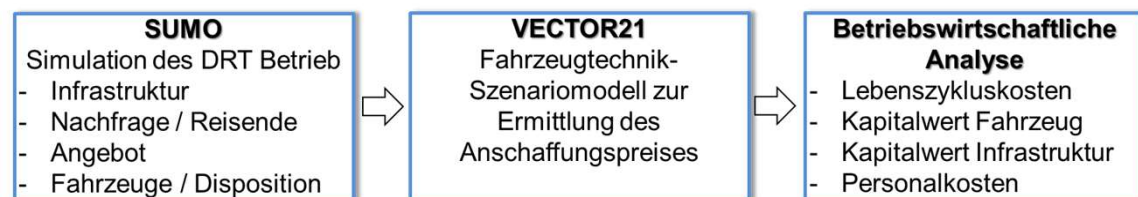


Quelle: DLR

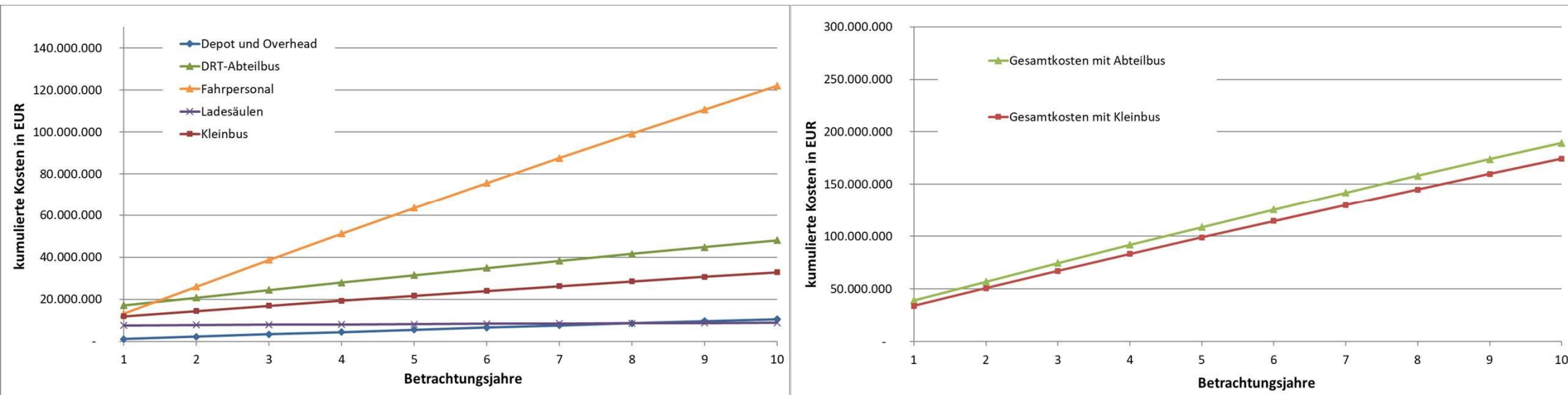


Parameter	Kleinbus	DRT-Abteilbus
Masse	2.700 Kg	5.000 Kg
Länge	5 m	8 m
Geschwindigkeit	100 km/h	100 km/h
Antriebssystem	batterieelektrisch	batterieelektrisch
Leistung E-Motor	100 kW	140 kW
Energiebedarf	36 kWh/100km	51 kWh/100km
Reichweite (WLTP)	300 km	300 km
Kapazität Batterie	150 kWh	210 kWh
Automatisierung	bis SAE-Stufe 2	bis SAE-Stufe 2
Abteile	1	3
Sitzplätze (je Abteil)	6	Bis zu 6 (drei klappbar)
Sitzplätze (Gesamt, ohne Fahrer)	6	Bis zu 18
Klimatisierung	Ein einheitliches System, wird vom Fahrer eingestellt	Vier voneinander getrennte Kreisläufe (Fahrer + drei Abteile)

Quelle: DLR; Scheier et al. [electronic library - Chancen und Potenziale von Mobility-as-a-Service nach der Corona-Pandemie \(dlr.de\)](#)



Variation Fahrzeugtyp - Abteilbuskonzept Lebenszykluskosten



Quelle: DLR; Scheier et al. [electronic library - Chancen und Potenziale von Mobility-as-a-Service nach der Corona-Pandemie \(dlr.de\)](https://www.electronic-library.de/Chancen-und-Potenziale-von-Mobility-as-a-Service-nach-der-Corona-Pandemie-dlr.de)

- Fahrzeugkosten steigen um 40 %
- Gesamtbetriebskosten steigen um 10 % → Akzeptieren Reisende/Gesellschaft Fahrpreissteigerung?



Variation Haltestellendichte

- Z.B. Drei anstatt einer Haltestelle je Dorf
- Auswirkungen Reisende:
 - Fußweg(-zeit) verringert sich (-40%)
 - Reisezeit verringert sich (-10%)
 - Vorbuchungszeit erhöht sich (20%)
- Auswirkungen Betrieb:
 - Fahrzeugkilometer steigen (4%)
 - Besetzkilometer steigt (2%)
 - Leefahrtkilometer steigt (9%)
 - Standzeiten sinken (-10%)



Quelle: DLR



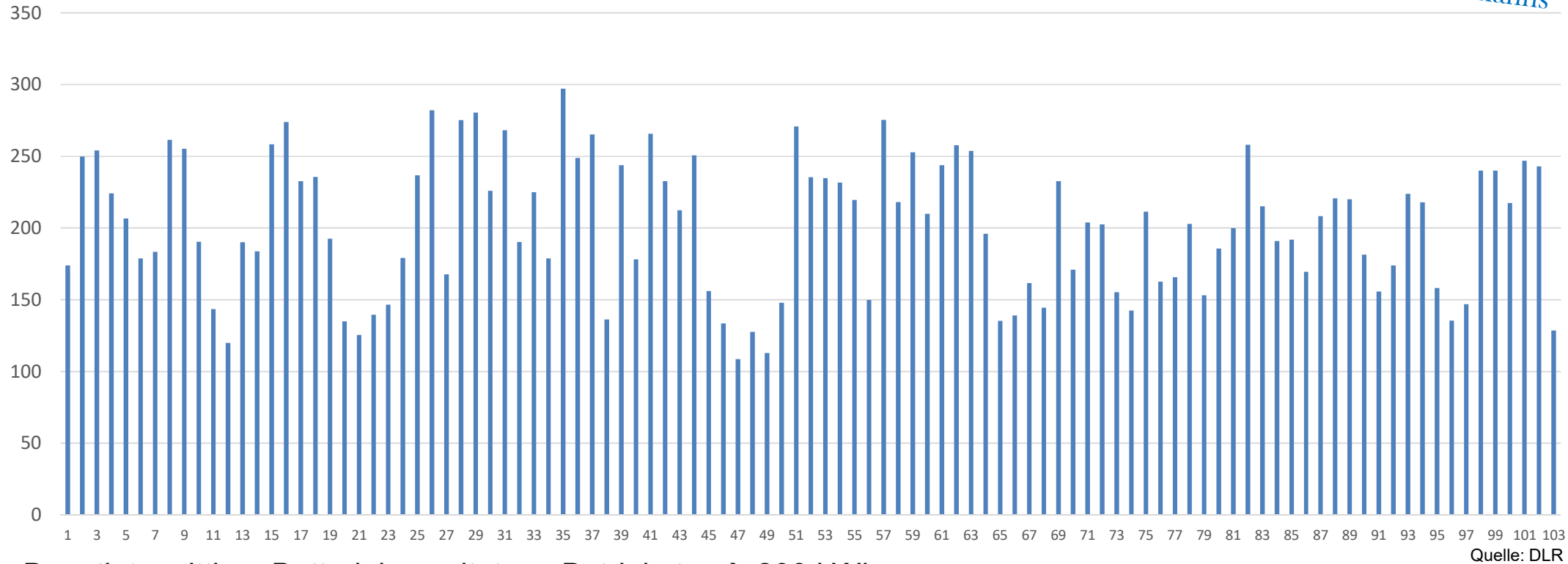
Quelle: DLR



Vielen Dank für die Unterstützung an DLR
Institut VE: Benedikt Hanke, Keno Olmanns

Elektrifizierung

Energiebedarf [kWh]

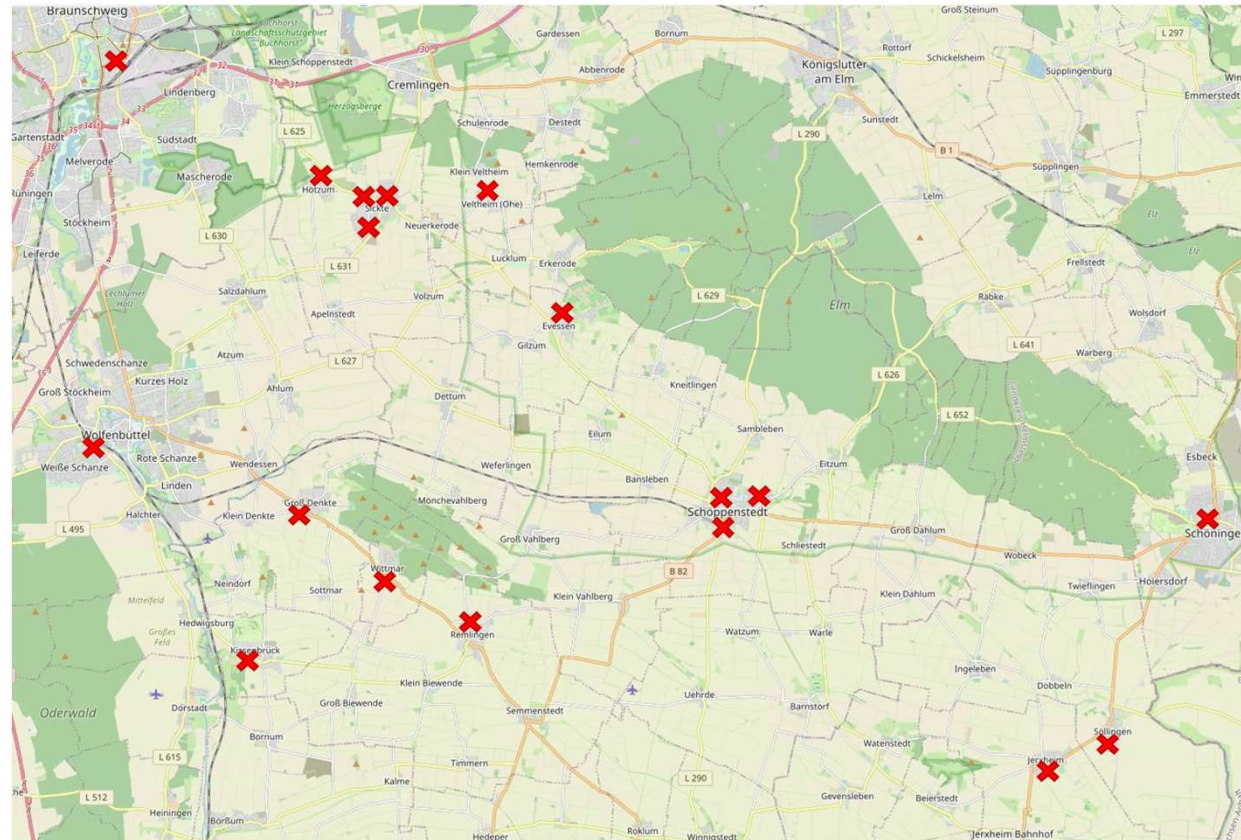


- Benötigte mittlere Batteriekapazität am Betriebstag → 200 kWh
- Vergleich: aktuelle Kleinbusse haben 90 kWh Speicherkapazität



Elektrifizierung

- 18 Ladestandorte an aufkommensstarken Haltestellen
- Angenommene Ladeleistung von 50 kW
- Geladene Energie: 136 kWh (Mittelwert)
- Bei einem Energiebedarf von 200 kWh liegt die benötigte Batteriekapazität bei ca. 64 kWh
- Aber: es sind **nur Mittelwerte**
- Einfluss auf den Betrieb ist zu quantifizieren!

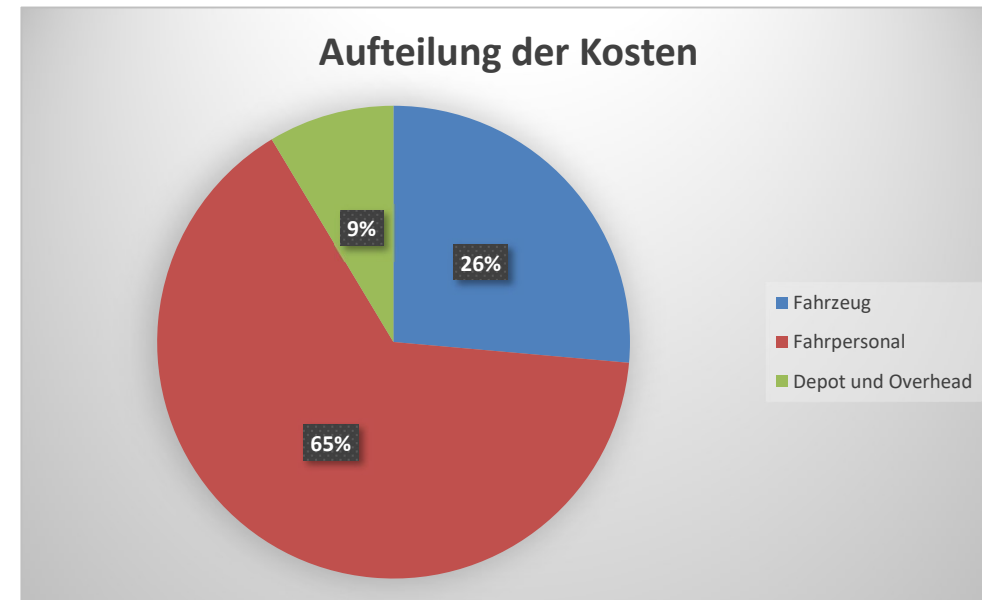


Quelle: Google-Maps und eigene Bearbeitung



Automatisierung

- Fahrpersonalkosten haben den größten Kostenanteil
 - 0,66 € je Fahrzeugkilometer
- Ohne Fahrpersonalkosten
 - 0,24 € je Fahrzeugkilometer
- → ca. **0,4 € je Fahrzeugkilometer als Zielkosten** für Fahrzeugautomatisierung und zentraler Kontrolle und Steuerung (Remote-Operation)



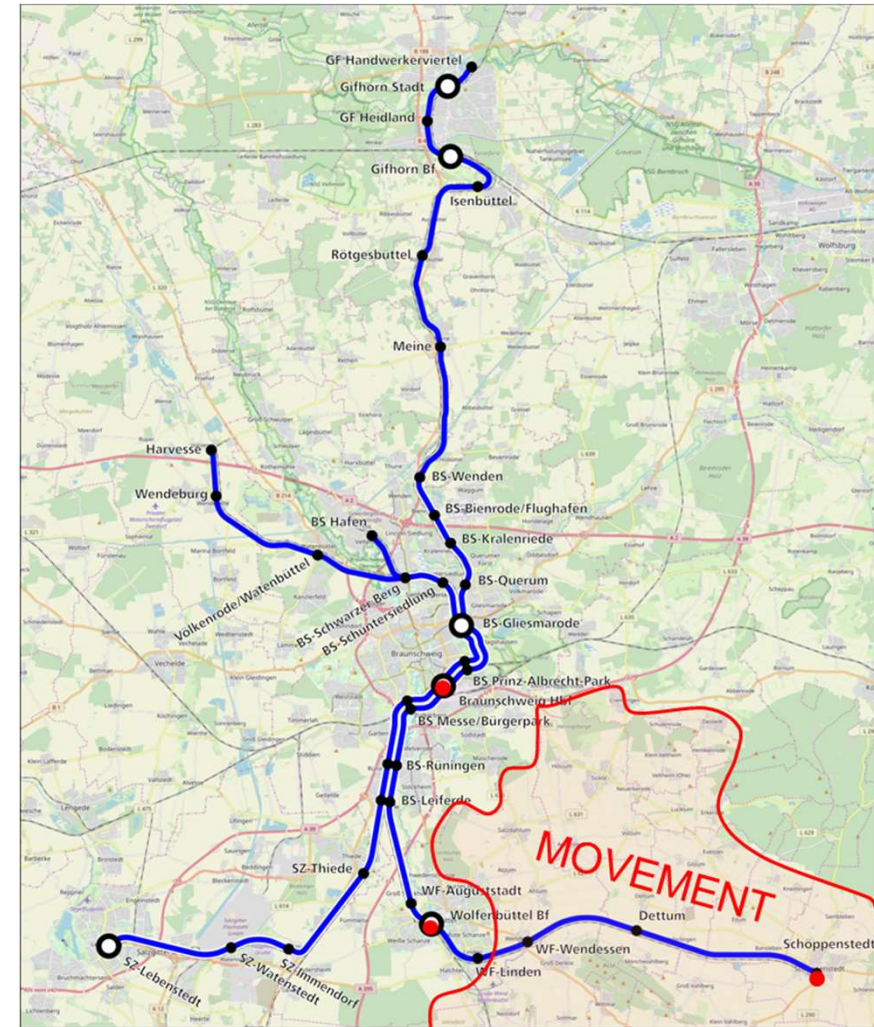
Fazit

- On-Demand-ÖV kann ÖV-Daseinsvorsorge komplett übernehmen
 - Ökonomische Tragfähigkeit ähnlich wie jetziges ÖV-Angebot
 - Angebotsqualität deutlich besser
 - Chance Nachfrage zu steigern → Erweitertes Angebot bzw. bessere Systemauslastung
- Elektrifizierung mittelfristig möglich
- Aber: Sehr Personalintensiv → Automatisierung hat daher hohes Potential
- Dispositionssystem ist eine neue Schlüsselfunktion
 - Verkehrsinformatik bei Verkehrsunternehmen und Aufgabenträgern?



Ausblick

- Kurzfristig: Kalibrierung der Modelle mittels empirischer Daten (Kooperation mit Regionalverband Großraum Braunschweig)
- Mittelfristig: Einbettung des On-Demand-ÖV in intermodale Reiseketten
- Langfristig: Erschließung des Potentials durch Automatisierung (wo liegen Use Cases und Business Cases vor)



Quelle: OpenStreetMap-Mitwirkende



Bedarfsorientierter ÖPNV im ländlichen Raum - Simulationsstudie und Potentialanalyse

*Vielen Dank für
Ihr Interesse!*



Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benedikt Scheier M.Sc.

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V.

Institut für Verkehrssystemtechnik

benedikt.scheier@dlr.de

0531 / 295 3428



Leistung des DLR-Verkehr zu smarten Verkehren

Quelle der Bilder: DLR



- Customer Experience
- Akzeptanz
- Motivatoren
- Zahlungsbereitschaft



- Automation
- Fahrzeugkonzepte
- VECTOR21
- Energieversorgung / Ladekonzepte
- **Angebot / Kosten**

Technologiemigration:

Wissenschaftliche Begleitung von Vorhaben in der Gegenwart

Innovationsökonomische und klimaökonomische Betrachtungen für die Zukunft

