



WIE EFFIZIENT IST ON-DEMAND- VERKEHR?

BENEDIKT SCHEIER – DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT

SALZGITTER FORUM MOBILITÄT „DIGITALISIERUNG IN DER MOBILITÄT“, OSTFALIA, SALZGITTER, 22.09.2023

Gliederung



- Einleitung
- Methodisches Vorgehen
- Einflussfaktoren auf die Effizienz
- Erkenntnisse aus der Simulation
- Erkenntnisse aus empirischen Daten
- Fazit und Ausblick

Einleitung On-Demand-Verkehr Herausforderung und Erwartung



- Gesellschaftliche Herausforderungen
 - ÖSPV auf dem Land geringes Angebot
 - Oft schlechte Anbindung an Schienenverkehr
 - Modal-Split hauptsächlich MIV
 - Linien-ÖSPV erschwert wirtschaftlich darstellbar
 - Fachkräftemangel bei dem Fahrpersonal
- Potentiale und Erwartungen an On-Demand-Verkehr
 - Guter Zugang - hohe Haltestellendichte
 - Hohes Angebot - flexibel bedarfsorientiert nutzbar
 - Kostengünstig - effiziente Kleinbusse mit hoher Auslastung
 - Effizienter als Taxi und MIV - Fahrtenbündelung
 - Sozial gerecht - Barrierefrei und kostengünstig (ÖPNV-Tarif)



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



Bildquelle: <https://www.flexo-bus.de/barrierefreiheit/>

Einleitung On-Demand-Verkehr

Was ist On-Demand-Verkehr?



- Begriffe: Ridepooling, Demand-Responsive Transport (DRT), On-Demand-Service/-Shuttle, Flexo-Verkehr
- Bündelung mehrerer Beförderungsaufträge
- vorherige Bestellung
- PBefG §44 Linienbedarfsverkehr
 - ohne festen Linienweg mit definierten Ein- und Ausstiegspunkten
 - festgelegtes Gebietes + festgelegte Bedienzeiten
 - Beförderungsentgelte nach Nahverkehrsplan (ÖPNV-Tarif plus ggf. Zuschlag)
- PBefG §50 gebündelter Bedarfsverkehr
 - Beförderung mit PKW
 - Im Stadt- und im Vorortverkehr ist eine Bündelungsquote festzulegen
- Beispiele:
 - myBus: Städtischer öffentlicher Nachtverkehr (Duisburg)
 - hvv hop: Verstärkung des ÖV in Stadtteilen und Landkreise (z. B. HH-Harburg)
 - G-Mobil: Ersatz des Stadtbusses (Gronau)
 - Flexo-Bus: Anbindung ländlicher Raum an zentrale Orte (Großraum BS)



Bildquelle: K. Viergutz, DLR

Einleitung On-Demand-Verkehr Effizienz-Indikatoren (1/2)

- Bündelungsquote nach PBefG
 - Personenkilometer zu Fahrzeugkilometer
 - Auch: Besetzungsgrad oder betriebliche Effizienz
- Systemeffizienz
 - Personenkilometer (ohne Umwege) zu Fahrzeugkilometer
- Betriebswirtschaftliche Indikatoren
 - Investitionen und Besitzkosten (Betrieb und Instandhaltung)
 - Fahrgelderlöse, sonstige Einnahmen und Bestellerentgelte
 - → Kostendeckungsgrad



Bildquelle: <https://www.adac.de/verkehr/verkehrssicherheit/kindersicherheit/schulweg/elterntaxi-hol-bringzonen/>



Bildquelle: https://www.dvg-duisburg.de/fileadmin/Media/Die-DVG/Pressebilder/DVG_Pressefoto_myBUS_Fahrt.jpg

Einleitung On-Demand-Verkehr

Effizienz-Indikatoren (2/2)



- Ziel: Möglichst wenig Fahrzeugeinsatz, um möglichst viele Personen von A nach B zu bringen
 - Fahrzeugeinsatz: Fahrzeugkilometer
 - Personen von A nach B: Gebuchte Personenkilometer
- Vergleich zu MIV und Taxi anhand der Systemeffizienz möglich!

$$\text{Betriebliche Effizienz} = \frac{\text{Personenkilometer **gefahren** (Pkm)}}{\text{Fahrzeugkilometer **gesamt** (Fzgkm)}}$$

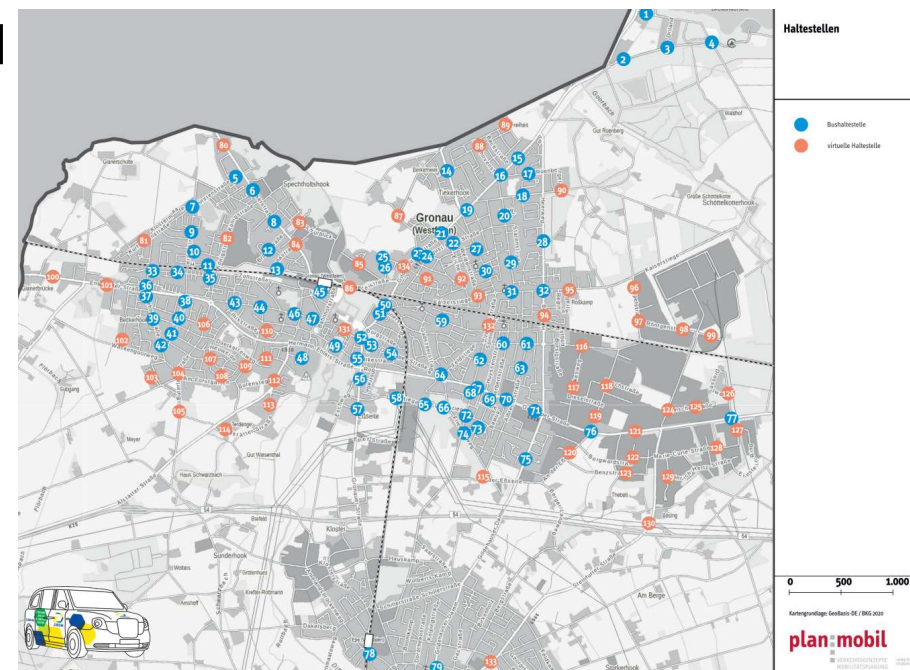
$$\text{Systemeffizienz} = \frac{\text{Personenkilometer **gebucht** (Pkm)}}{\text{Fahrzeugkilometer **gesamt** (Fzgkm)}}$$

$$\text{Umwegfaktor} = \frac{\text{Personenkilometer **gefahren** (Pkm)}}{\text{Personenkilometer **gebucht** (Pkm)}}$$

Quelle: P. D. C. Liebchen, P. D. M. Lehnert, D. C. Mehlert und D. M. Schiefelbusch, „Betriebliche Effizienzgrößen für Ridepooling-Systeme,“ Springer Verlag, Universität Duisburg-Essen, 2020.

Einleitung On-Demand-Verkehr Zielkonflikte – Angebot und Betrieb

- Haltestellen: Hohe Dichte = kürzerer Zu- und Abgangsweg aber mehr Fahrzeugkilometer und zeitl. Umweg
- Umwegfaktor: Hohe Bündelung = hohe Effizienz aber größerer Umweg
- Fahrzeuganzahl: Weniger Fahrzeuge = geringe Fahrzeugkilometer und hoher Besetzungsgrad aber höhere Wartezeiten
- Zukünftige Automatisierung: geringere Fahrpersonalkosten aber höhere Kosten für Fahrzeug-, Leitstellen- und ggf. Infrastruktur



Bildquelle: [Mein G-Mobil | Stadt Gronau](#)

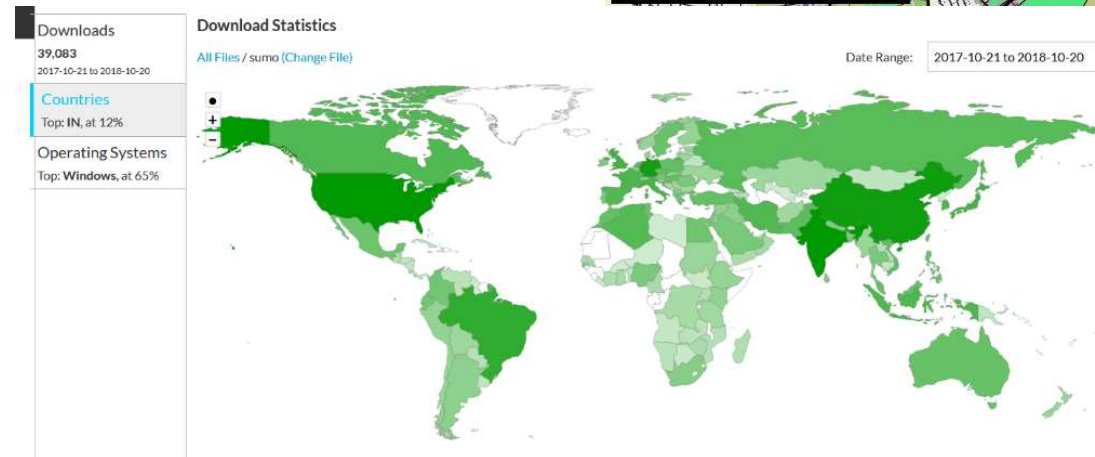
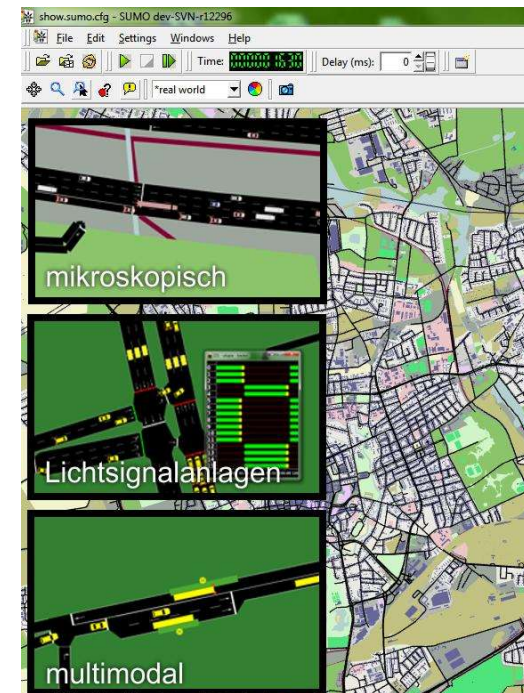
Gliederung



- Einleitung
- **Methodisches Vorgehen**
 - Verkehrssimulationstool „SUMO“
 - On-Demand-Verkehr Simulation
- Einflussfaktoren auf die Effizienz
- Erkenntnisse aus der Simulation
- Erkenntnisse aus empirischen Daten
- Fazit und Ausblick

Methodisches Vorgehen Verkehrssimulation SUMO

- SUMO = Simulation of Urban Mobility
- Werkzeugbaukasten zur Erstellung, Durchführung und Auswertung von Simulationsszenarien
- Agentenbasiert, mikroskopisch, multimodal, intermodal
- PKW, LWK, Busse, ÖPNV, Bahn, Schiffe, Fußgänger, Radfahrer...
- Bewertung von Reisezeiten, Sicherheit, Emissionen, Energieverbräuche, ...
- Multi-Plattform, Open Source¹
- Seit 2001 in (Weiter-)Entwicklung am DLR
- weltweite Nutzung, vor allem in der Wissenschaft →
- <https://sumo.dlr.de>

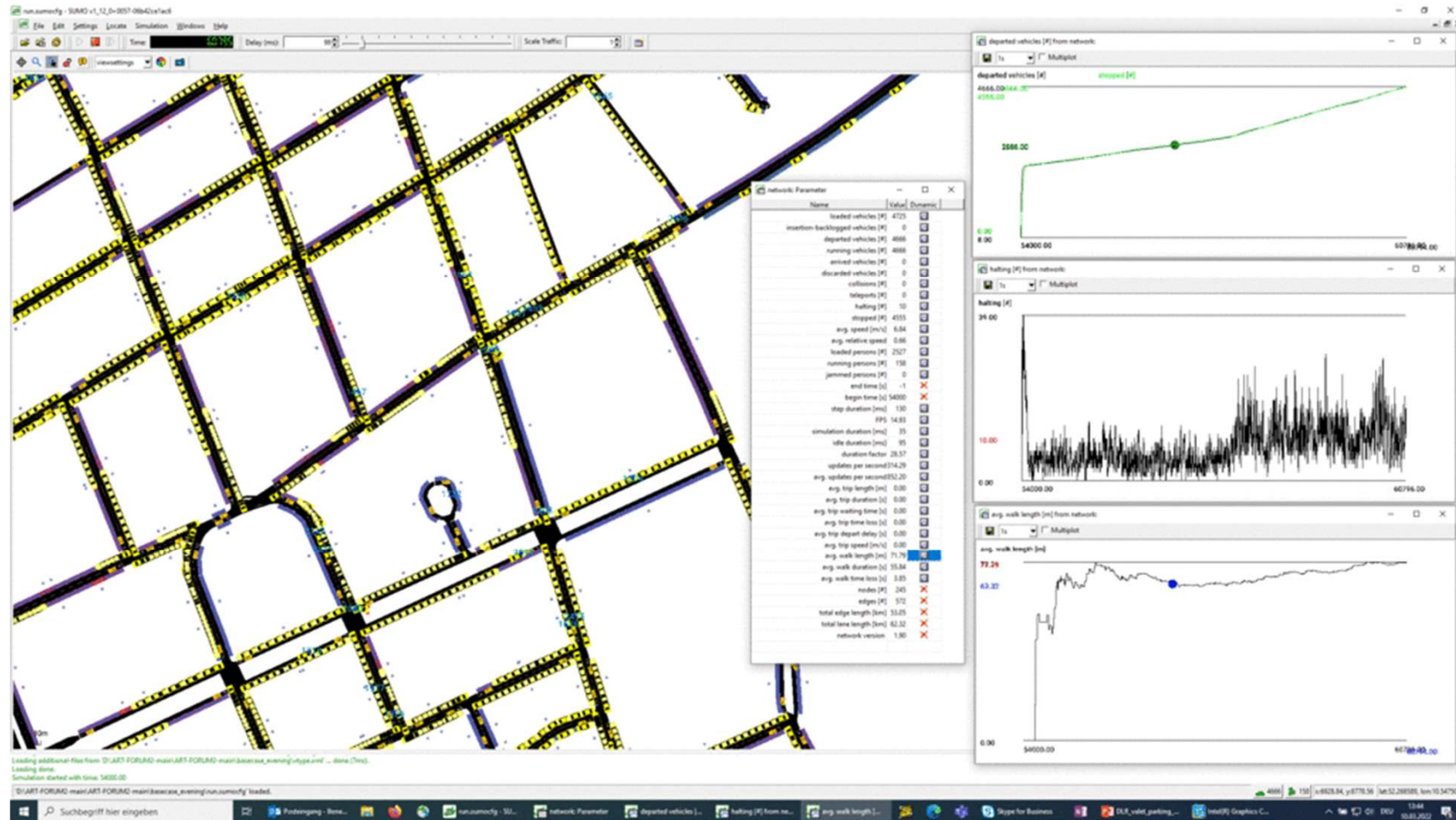


¹Aktuelle Version 1.18.0 [Downloads - SUMO](#)
[Documentation \(dlr.de\)](#)

Methodisches Vorgehen Verkehrssimulation SUMO (3/4)

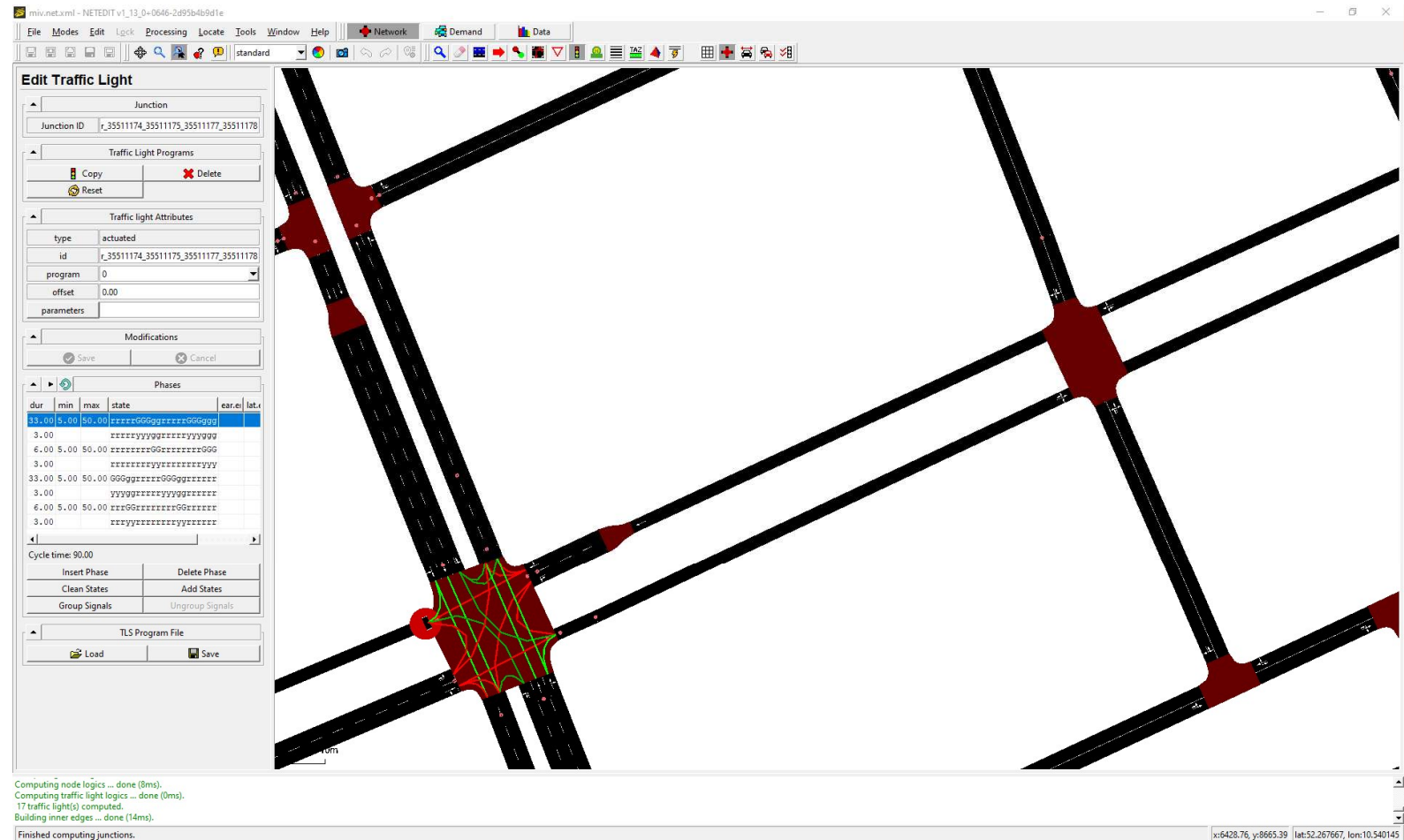


- SUMO GUI
- SUMO netedit



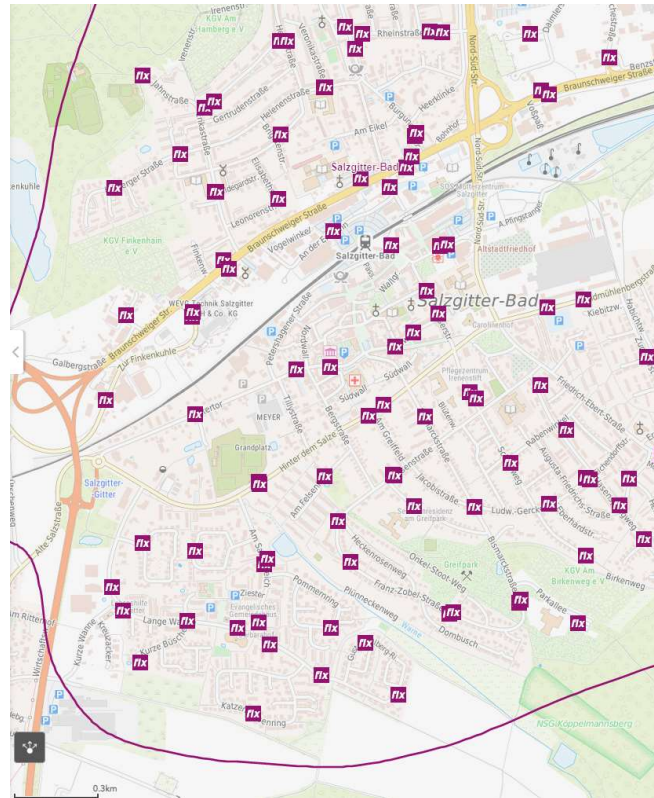
Methodisches Vorgehen Verkehrssimulation SUMO (4/4)

- SUMO GUI
- SUMO netedit

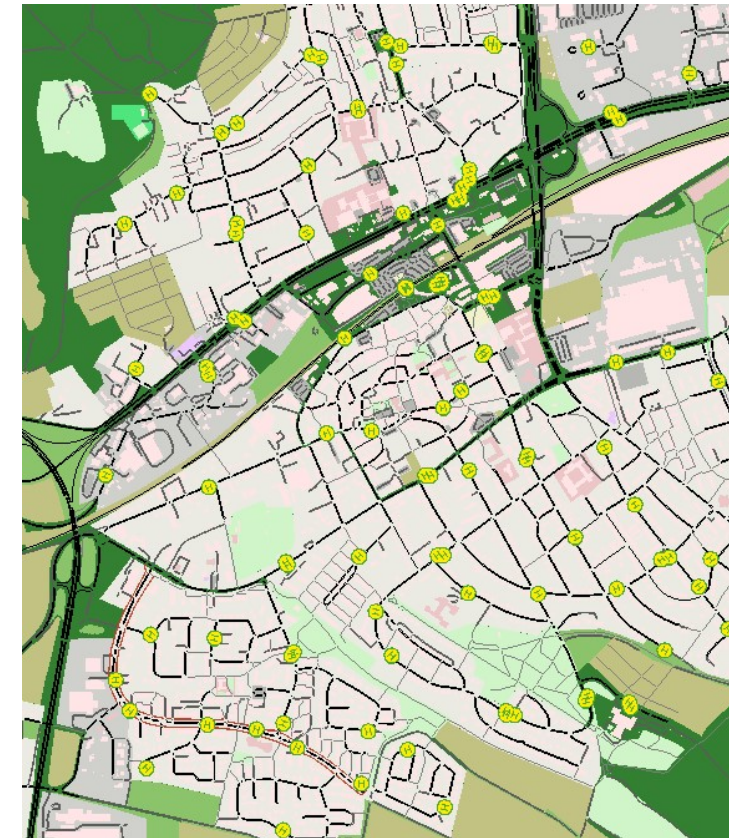


Methodisches Vorgehen On-Demand-Verkehr Simulation

- Infrastrukturmodell
 - Straßennetz aus 'openstreetmap.org' importieren
 - Infrastrukturmodell anpassen, z. B. zusätzlichen Haltestellen
- Verkehrsmodell
- Dispositionsalgorithmus



Quelle: flexo-bus.de | Einfach FLE XO.



Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Methodisches Vorgehen On-Demand-Verkehr Simulation



- Infrastrukturmodell
- Verkehrsmodell
 - Verkehrsnachfrage importieren, z. B. aus VISUM
 - Verkehrsnachfrage modellieren mit SUMO-Netedit
 - On-Demand-Fahrzeuge definieren (Typ, Kapazität, Anzahl)
 - Umgebungsverkehr definieren, falls gewünscht
- Dispositionsalgorithmus
- Simulation

Simulation ID	Quelle TAZ TAZ Name	Ziel TAZ TAZ Name	Nachfrage [1]/h	Nachfrage [%]
SZ12	Bhf Ringelheim	Bhf Ringelheim	0	0.00
	Bhf Ringelheim	SZ-Bad	15	15.00
	Bhf Ringelheim	Ostfalia	2	2.00
	Bhf Ringelheim	SZ Randgebiet	0	0.00
	SZ-Bad	Bhf Ringelheim	13	13.00
	SZ-Bad	SZ-Bad	0	0.00
	SZ-Bad	Ostfalia	5	5.00
	SZ-Bad	SZ Randgebiet	30	30.00
	Ostfalia	Bhf Ringelheim	1	1.00
	Ostfalia	SZ-Bad	3	3.00
	Ostfalia	Ostfalia	0	0.00
	Ostfalia	SZ Randgebiet	0	0.00
	SZ Randgebiet	Bhf Ringelheim	0	0.00
	SZ Randgebiet	SZ-Bad	31	31.00
	SZ Randgebiet	Ostfalia	0	0.00
SZ Randgebiet	SZ Randgebiet	0	0.00	
			100	100.00

Quelle-Ziel-Matrix; Bildquelle: DLR

Methodisches Vorgehen On-Demand-Verkehr Simulation



- Infrastrukturmodell
- Verkehrsmodell
- Dispositionsalgorithmus
 - Optimierung nach Wegzeit oder Wegstrecke
 - Maximaler Umwegfaktor
 - Maximale Wartezeit
 - Intervall der Tourenzuweisung
 - Dynamischer Einfluss auf Touren
 - Depotfahrten?
- Simulation

```
# get time windows
time_windows = get_time_windows(reservations, fle

data = {}
data['cost_matrix'] = cost_matrix
data['time_matrix'] = time_matrix
data['pickups_deliveries'] = dp_reservations
data['dropoffs'] = do_reservations
data['num_vehicles'] = n_vehicles
data['starts'] = start_nodes
data['ends'] = n_vehicles * [0] # end at 'depot'
data['demands'] = [0] + n_dp_reservations*[1] + n
data['vehicle_capacities'] = vehicle_capacities
data['drf'] = drf
data['waiting_time'] = waiting_time
data['time_windows'] = time_windows
data['fix_allocation'] = fix_allocation
data['max_time'] = end
data['initial_routes'] = solution_requests
return data
```

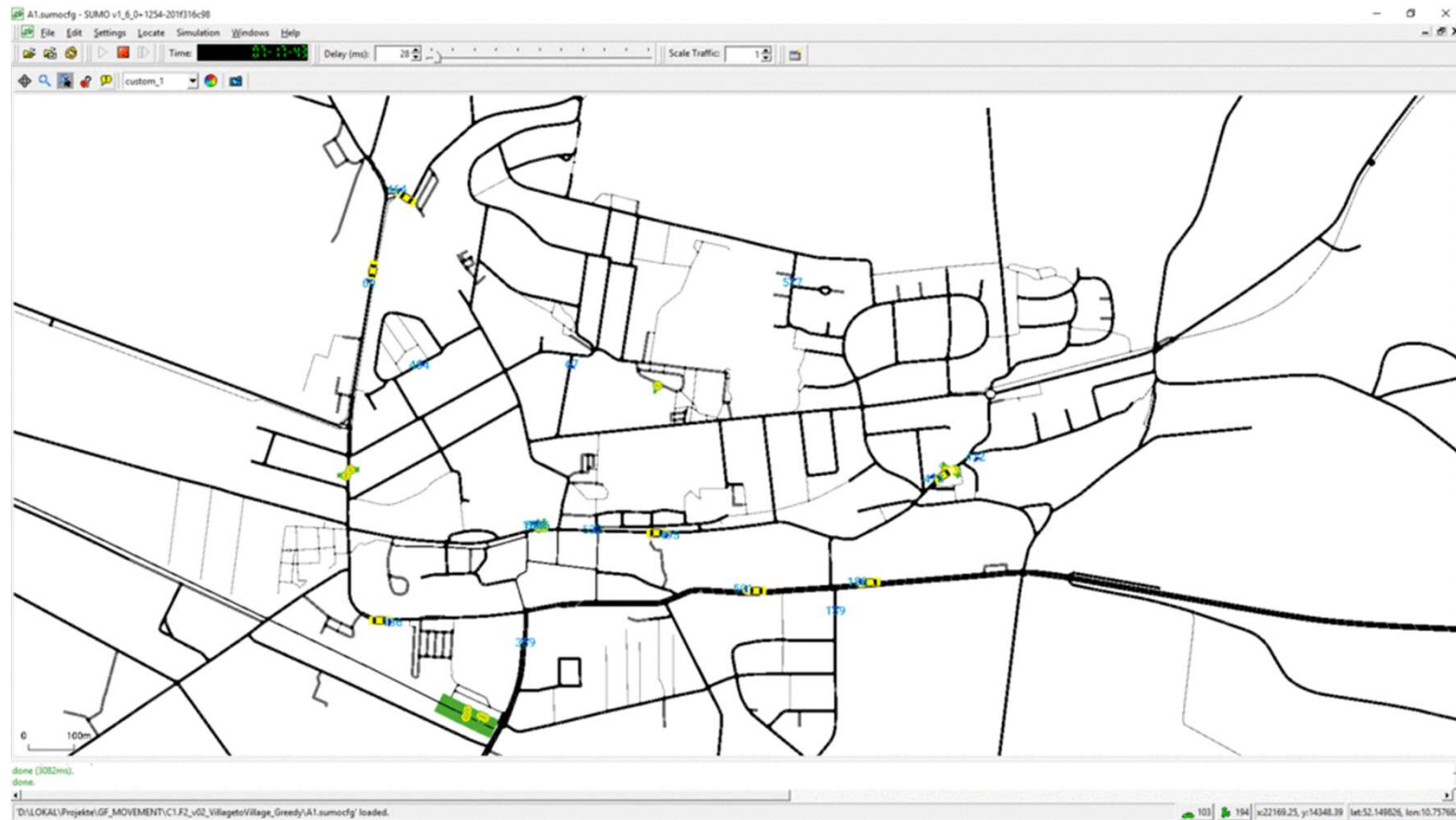
Parameter des Dispositionsalgorithmus'; Bildquelle: DLR

Methodisches Vorgehen On-Demand-Verkehr Simulation

■ Simulation

- Fahrzeuge (gelb)
- Reisende (blau)

Reisekette: Fußweg
→ Fahrt → Fußweg



Quelle: [DLR](#)

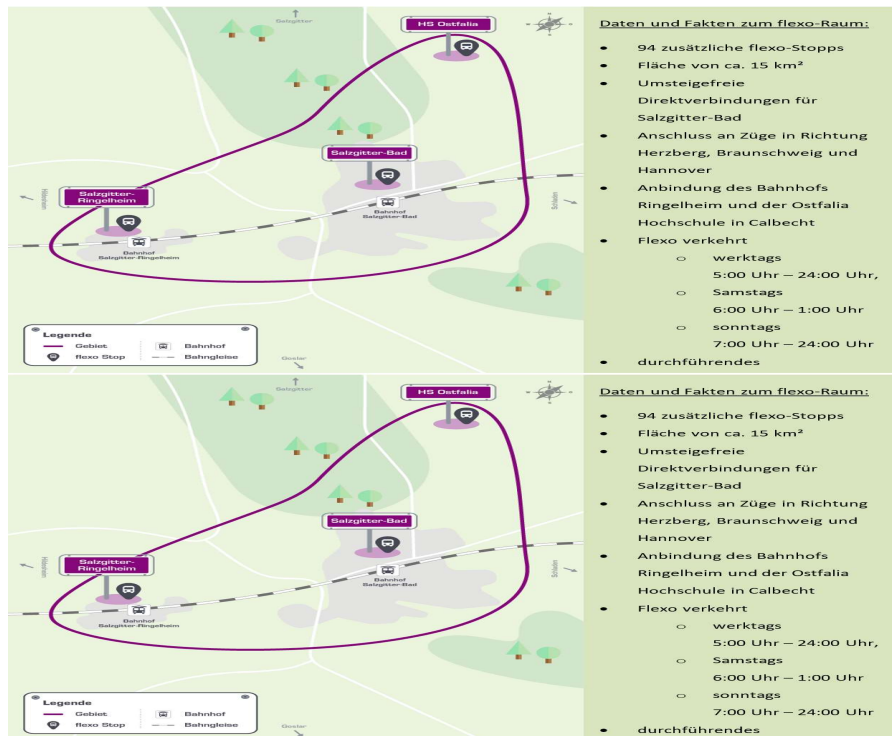
Gliederung



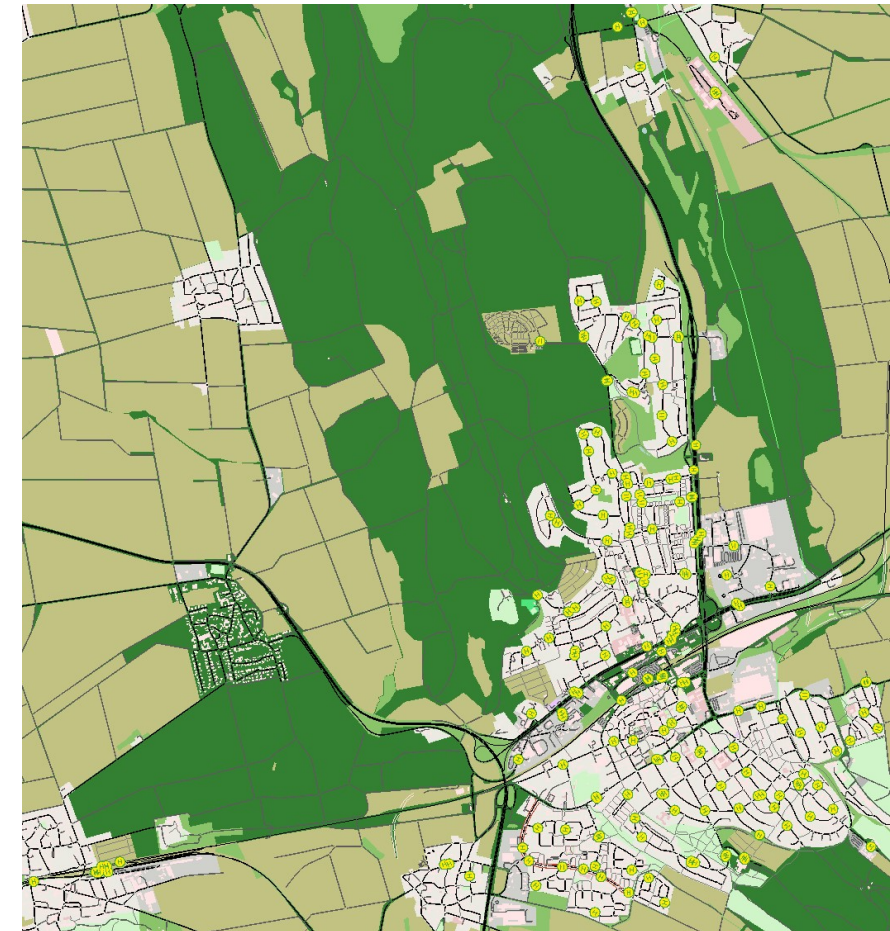
- Einleitung
- Methodisches Vorgehen
- Einflussfaktoren auf die Effizienz
 - Modelle
 - Faktoren
- Erkenntnisse aus der Simulation
- Erkenntnisse aus empirischen Daten
- Fazit und Ausblick

Einflussfaktoren auf die Effizienz Modelle

■ Kleinstädtisches Modell Salzgitter-Bad



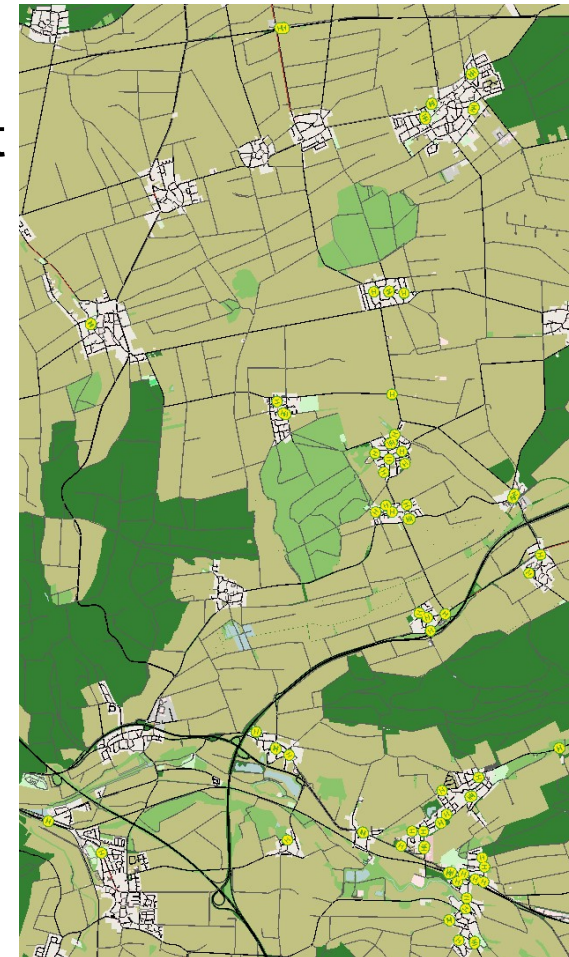
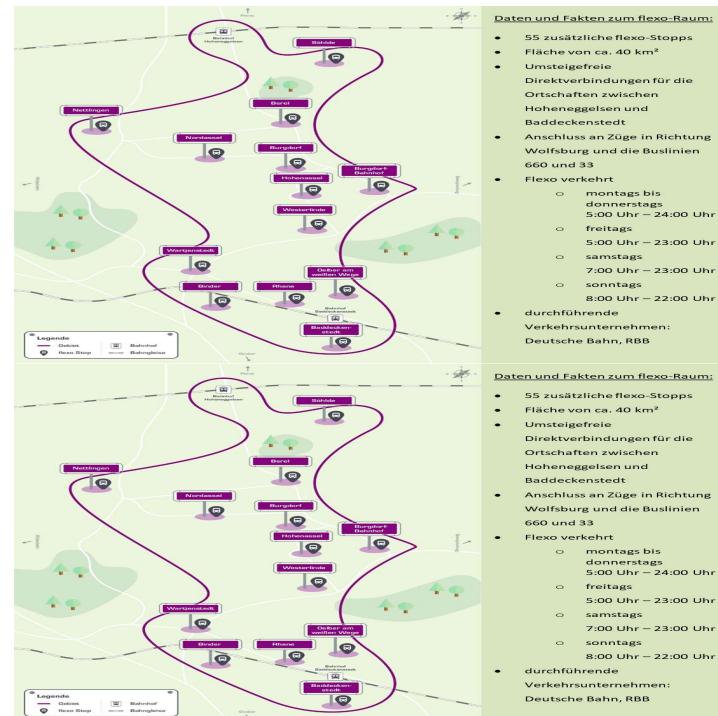
Quelle: flexo-bus.de | Einfach FLE XO.



Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Modelle

■ Ländliches Modell Hoheneggelsen/Baddeckenstedt

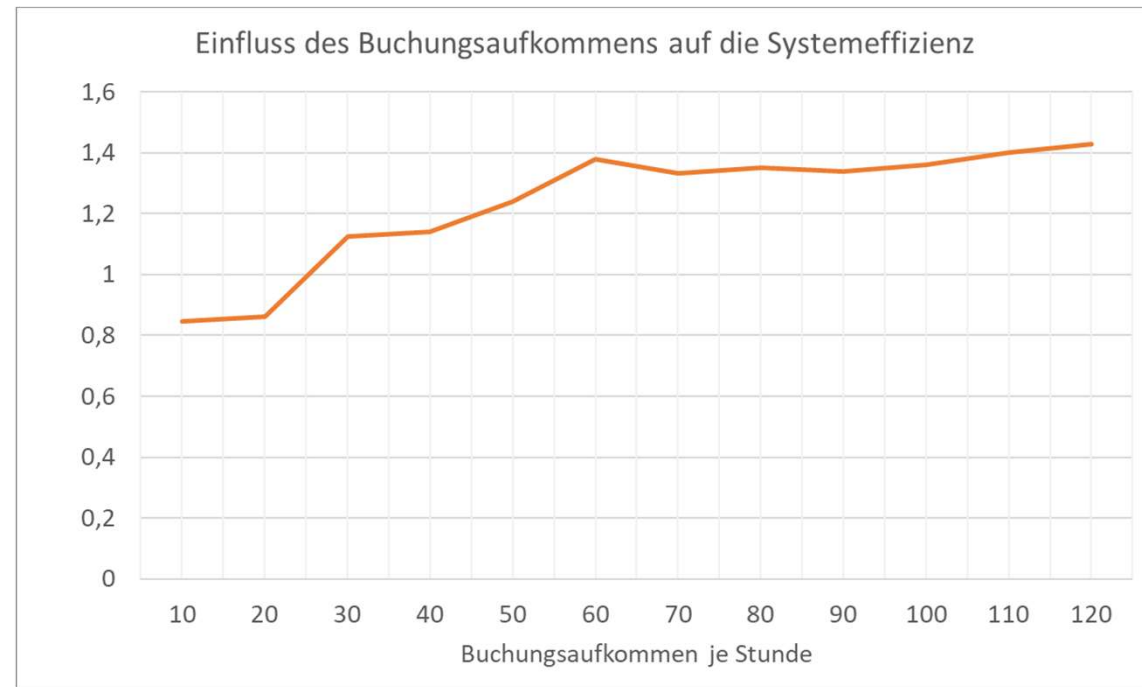


Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Buchungsaufkommen



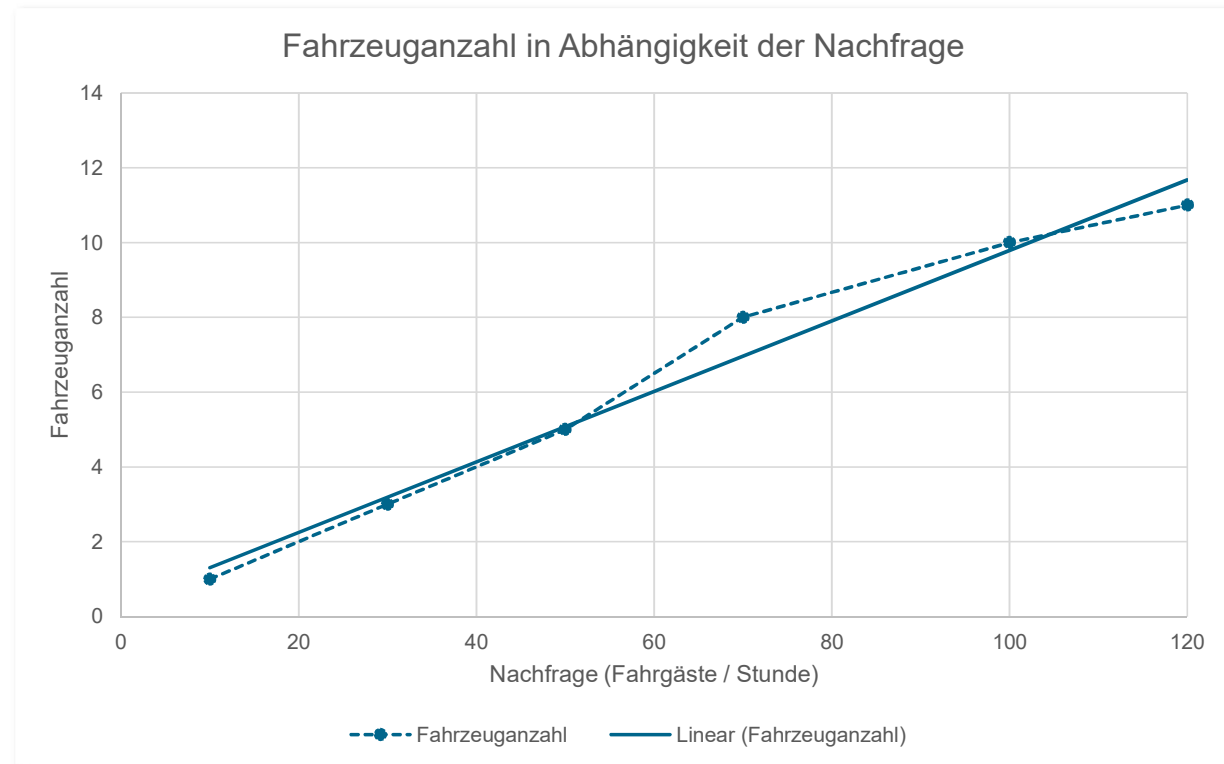
- Bei höherer Nachfrage steigt die Systemeffizienz
- Umwegfaktor und Reisezeiten sind gleichbleibend
- Fahrzeuganzahl ist bei steigender Nachfrage anzupassen



Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Fahrzeuganzahl

- Optimale Fahrzeuganzahl
- Fahrzeuganzahl muss angehoben werden, wenn Buchungen abgelehnt werden müssten

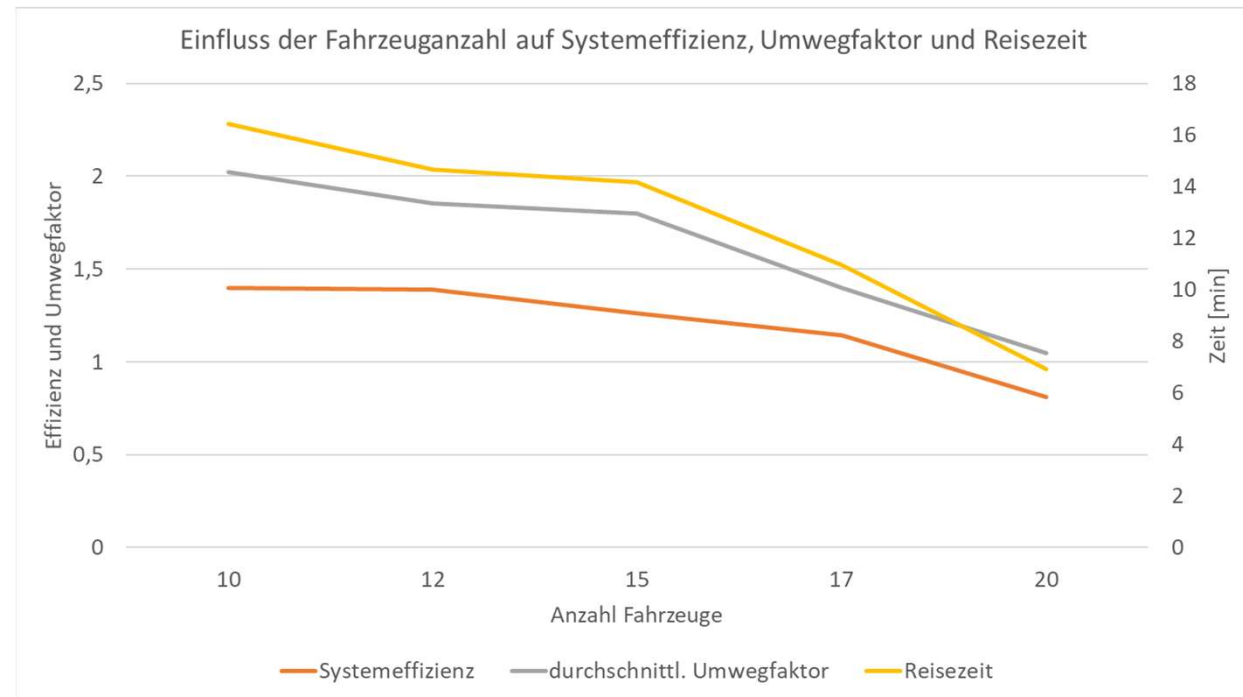


Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Fahrzeuganzahl



- Wenn steigende Fahrzeugkapazitäten genutzt werden, um Fahrtenbündelungen zu senken:
 - Umwegfaktor sinkt
 - Reisezeit sinkt
 - Vorbuchungszeit sinkt
 - Effizienzen sinken



Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Umwegfaktor

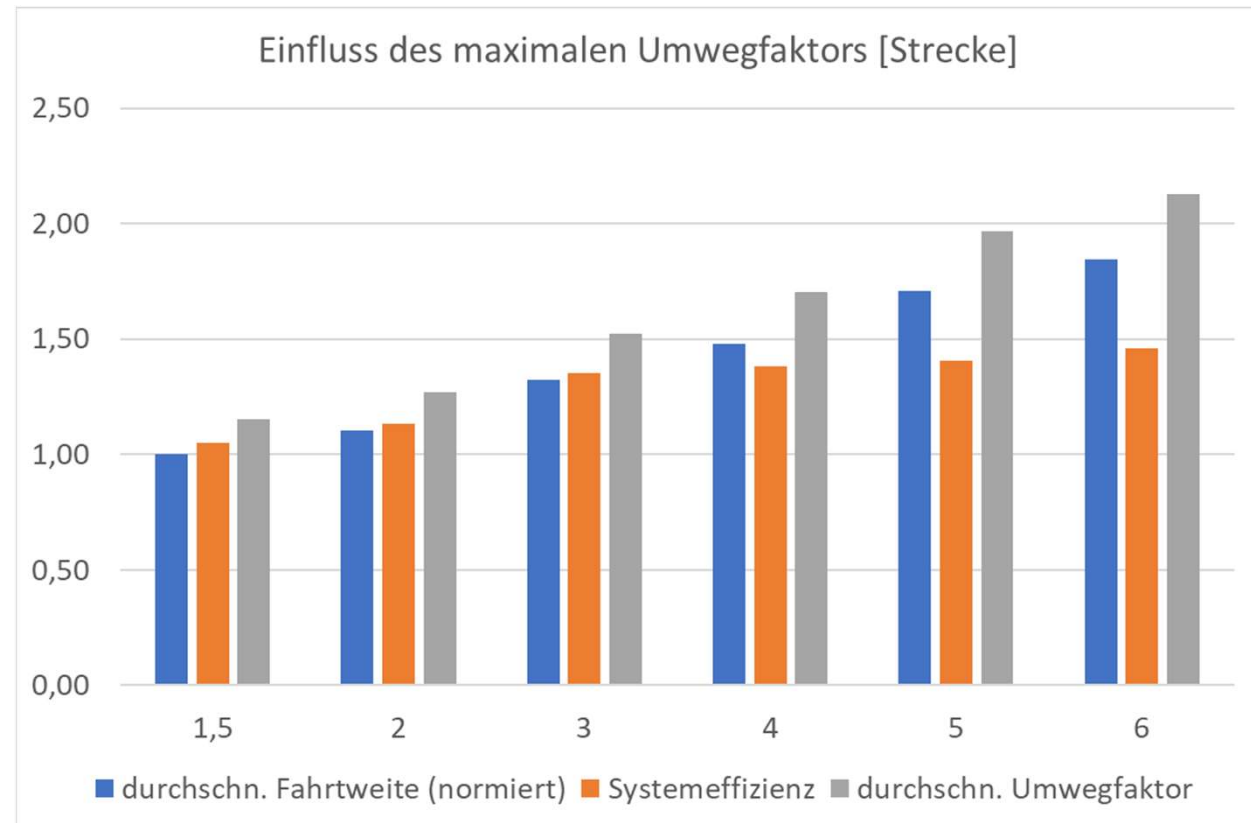


▪ Betreiber:

- Fahrtenbündelung steigt 😊
- Fahrzeug-km sinken 😊
- Effizienzen steigen 😊

▪ Reisende:

- Fahrtweg steigt 😞
- Reisezeit steigt 😞
- Vorbuchungszeit steigt 😞

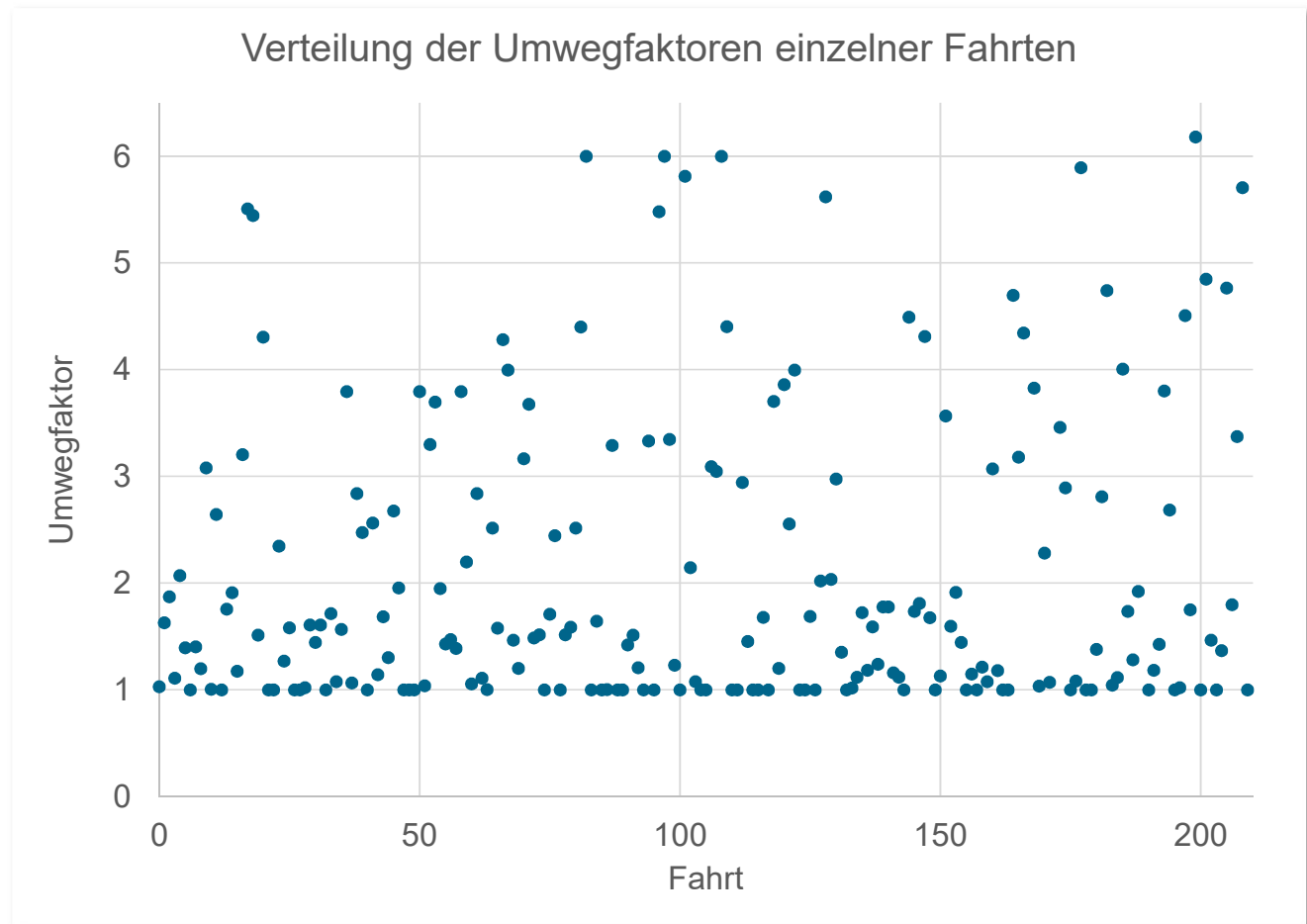


Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Umwegfaktor



- Für effektive Fahrtenbündelung, müssen maximale Umwege > Faktor 2 angenommen werden
- 5,5 % der Buchungen Umwegfaktor > 3
- 1,6 % der Buchungen Umwegfaktor > 4



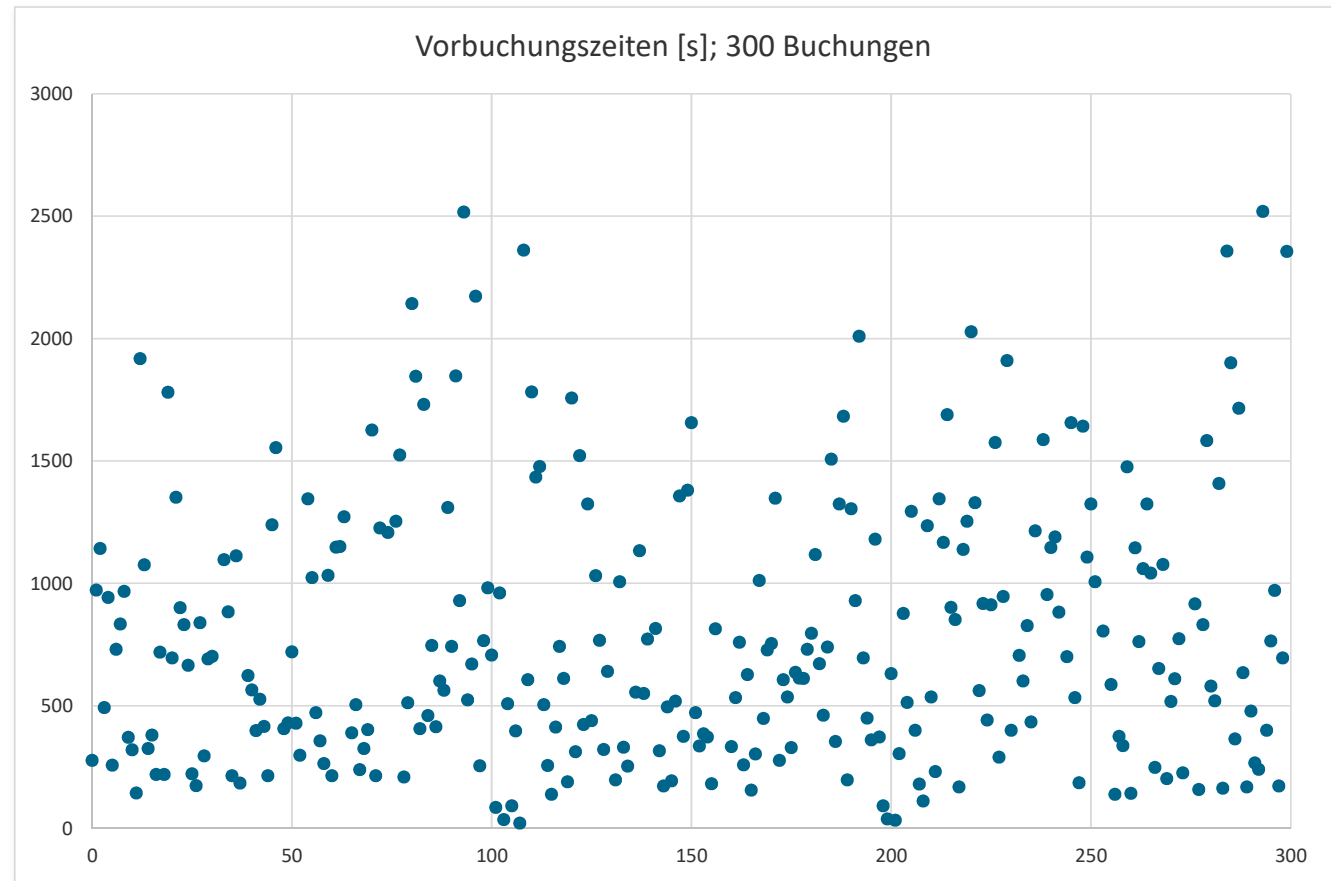
Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Vorbuchungszeit / Wartezeit



- Höhere maximale Wartezeiten ermöglichen höhere Systemeffizienzen
- Vergleich Taxi: durchschnittlich drei Minuten

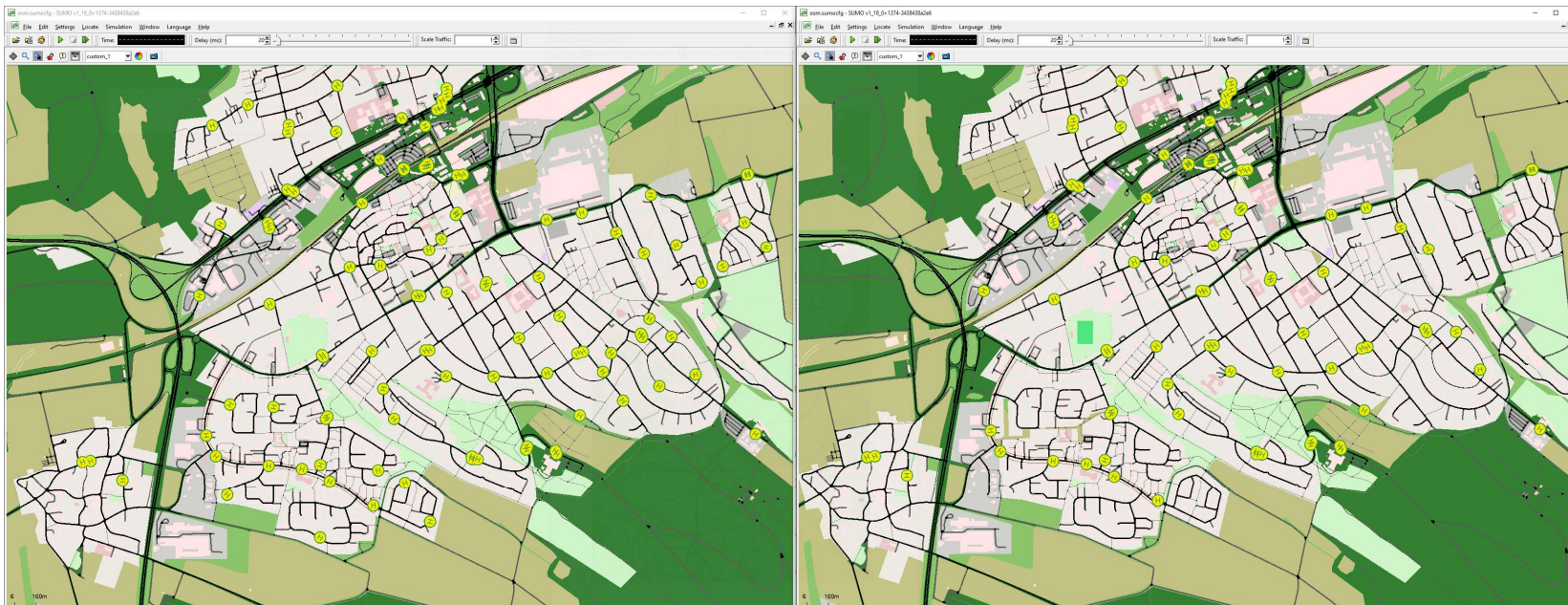
Maximale Wartezeit	900	1800	3600
durchschn. Wartezeit	14,19	23,81	25,88
Standardabweichung Wartezeit	11,64	16,95	23,63
Systemeffizienz	1,35	1,49	1,53



Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Haltestellendichte

- Umwege über Straßen mit geringen Geschwindigkeiten lassen zeitlichen Umweg schnell größer werden, z. B. Zone 30 und Spielstraßen



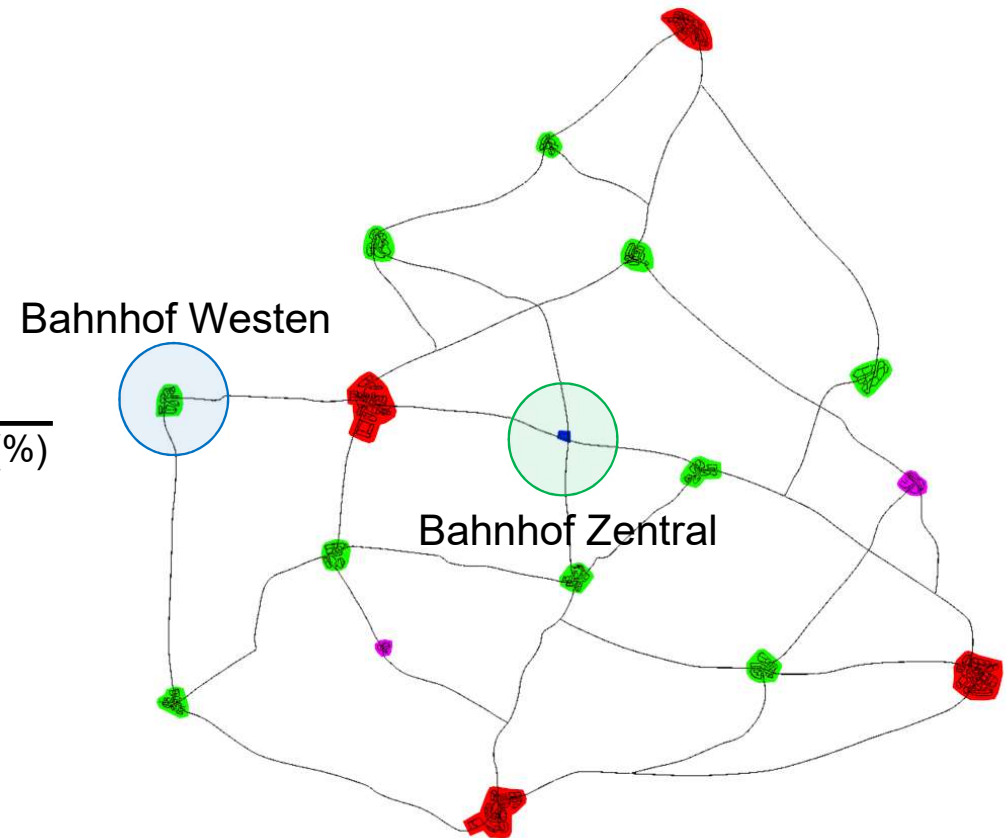
Gehweg +25%
Umwegfaktor (km) -10%
Umwegfaktor (Zeit) -12,5%
Systemeffizienz (km) +5,5%
Systemeffizienz (Zeit) +12%

Quelle: [Masterarbeit Malte Wolf, DLR](#)

Einflussfaktoren auf die Effizienz Nachfragestruktur

- Auswirkung räumlich gerichteter Nachfrage
- Vergleich zentraler Bahnhof zu am Rand gelegener:

	Bhf_Zentral	Bhf_Westen	Differenz (%)
Vorbuchungszeit (Min) Ø	26,9	27,6	2,6
Fahrzeit (Min) Ø	24,9	29,7	19,3
Personenkilometer	1231	1483	20,5
Buchungskilometer	504	747	48,2
Fahrzeugkilometer	499	549	10,0
Leerkilometer	106	104	-1,9
Betriebliche Effizienz	2,47	2,7	9,3
Systemeffizienz	1,01	1,36	34,7



Quelle: [Bachelorarbeit Magnus Hamann, DLR](#)

Beispiel für hohe Systemeffizienz ≠ hohe Wirtschaftlichkeit

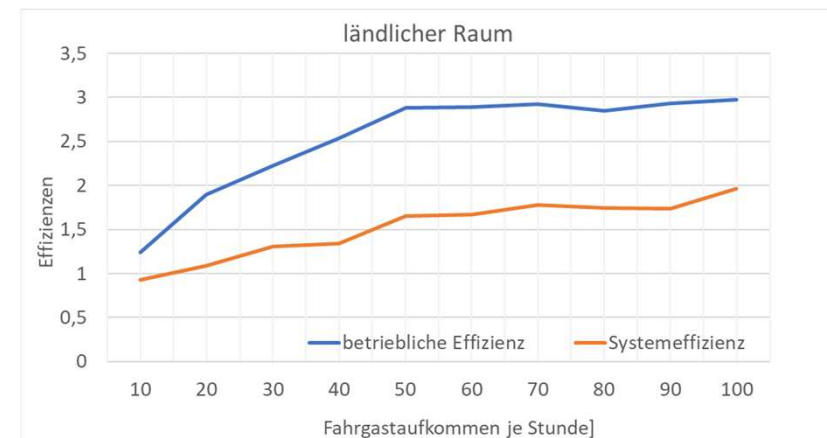
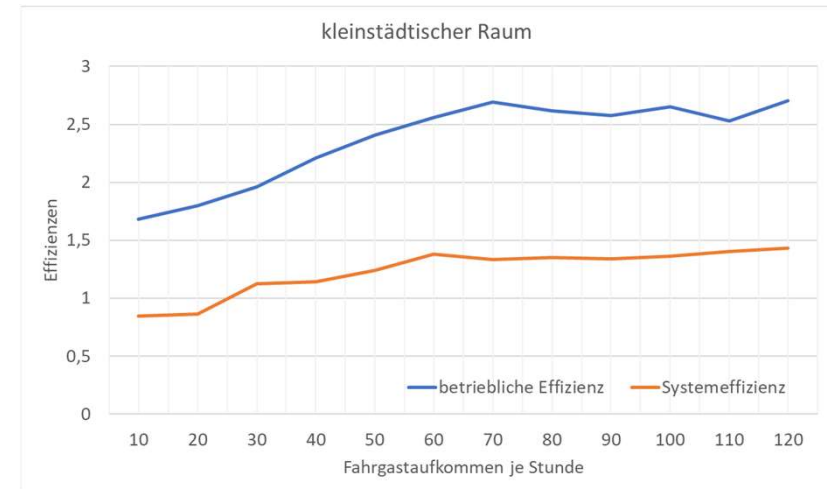
Gliederung



- Einleitung
- Methodisches Vorgehen
- Einflussfaktoren auf die Effizienz
- Erkenntnisse aus der Simulation
- Erkenntnisse aus empirischen Daten
- Fazit und Ausblick

Erkenntnisse aus der Simulation Buchungsaufkommen

- 10 bis 30 Fahrgäste je Stunde für Systemeffizienz $> 1,0$
- Sättigung bei 50 bis 70 Fahrgästen je Stunde
- 1,5-fach effizienter als privater PKW
- 2-fach effizienter als Taxi (Systemeffizienz 0,7 - 0,8)

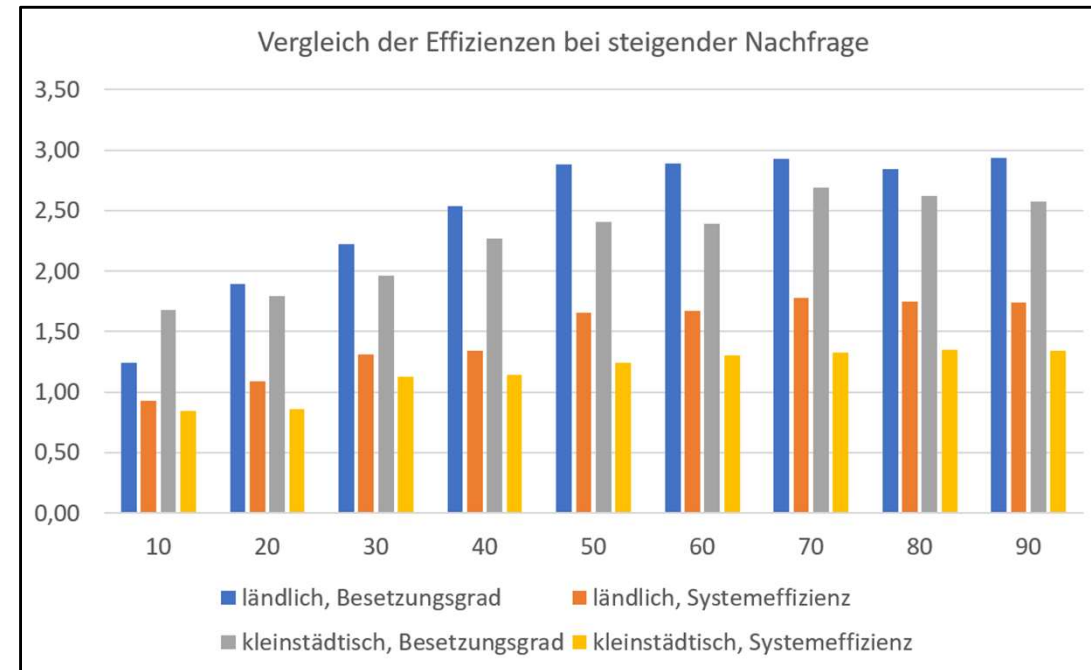


Erkenntnisse aus der Simulation

Räumliche Struktur



- Vergleich ländlich zu kleinstädtisch:
 - Max. Systemeffizienz: 1,9 \leftrightarrow 1,45
 - Geringerer Umwegfaktor:
 - Entfernung 1,74 \leftrightarrow 2,0
 - Zeit 2,20 \leftrightarrow 2,8
- Richtungsband und größere Entfernungen des hier betrachteten ländlichen Raumes haben positiven Effekt auf Effizienz



Bildquelle: [Simulationsstudien DLR](#)

Erkenntnisse aus empirischen Daten DLR & Regionalverband Großraum Braunschweig

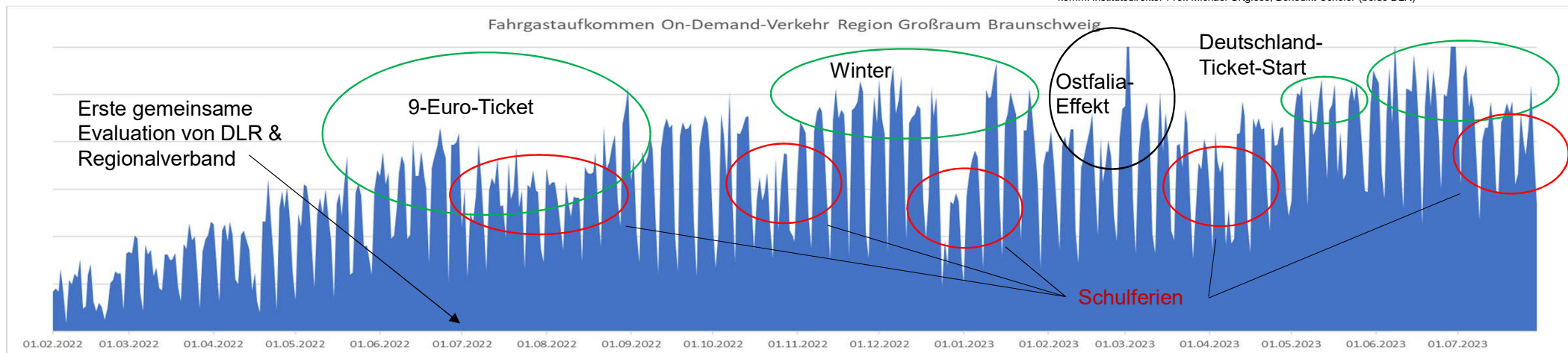


- Kooperation – bisherige gemeinsame Aktivitäten:
 - Analyse der Flexo-Bus-Angebote hinsichtlich Fahrgastaufkommen und Nachfragestruktur
 - Wie effizient kann On-Demand ÖSPV sein: Betriebssimulationen
 - Evaluation der Flexo-Bus-Angebote anhand eingesparter CO₂-Emissionen im Vergleich zum privaten PKW



01.02.2022 in BS, Foto: RGB, Quelle: <https://www.regionalverband-braunschweig.de/aktuelles/nachrichteneubersicht/nachricht/news/detail/News/kooperation-zwischen-dlr-und-regionalverband-vereinbart/>

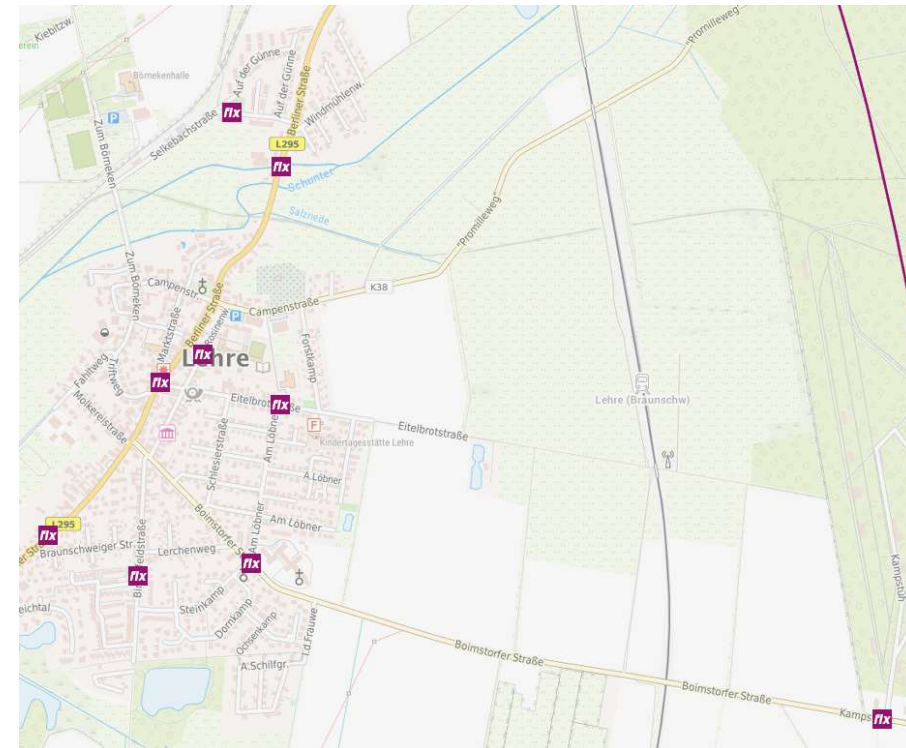
Von links: Bernhard Fehr, Verbandsdirektor Ralf Sygusch (beide Regionalverband), komm. Institutsdirektor Prof. Michael Ortgiese, Benedikt Scheier (beide DLR)



Erkenntnisse aus empirischen Daten Nutzung als Zu-/Abbringer

- Ermittlung der Systemeffizienz für den Vergleich der CO₂-Emissionen des Flexo-Bus zum privaten PKW → Systemeffizienzen über 1,0
- Analyse der Quelle-Ziel-Beziehungen
 - 20 bis 40 % der Fahrten starten/enden an einem Verkehrsknoten wie Bahnhof, Klinik, VW-Werk → Teil einer ÖV-Reisekette

These: Modal-Shift von MIV auf ÖV



Bildquelle: <https://www.flexo-bus.de/lehre-und-umland/>

Fazit und Ausblick

Evaluation mittels volkswirtschaftlicher Indikatoren

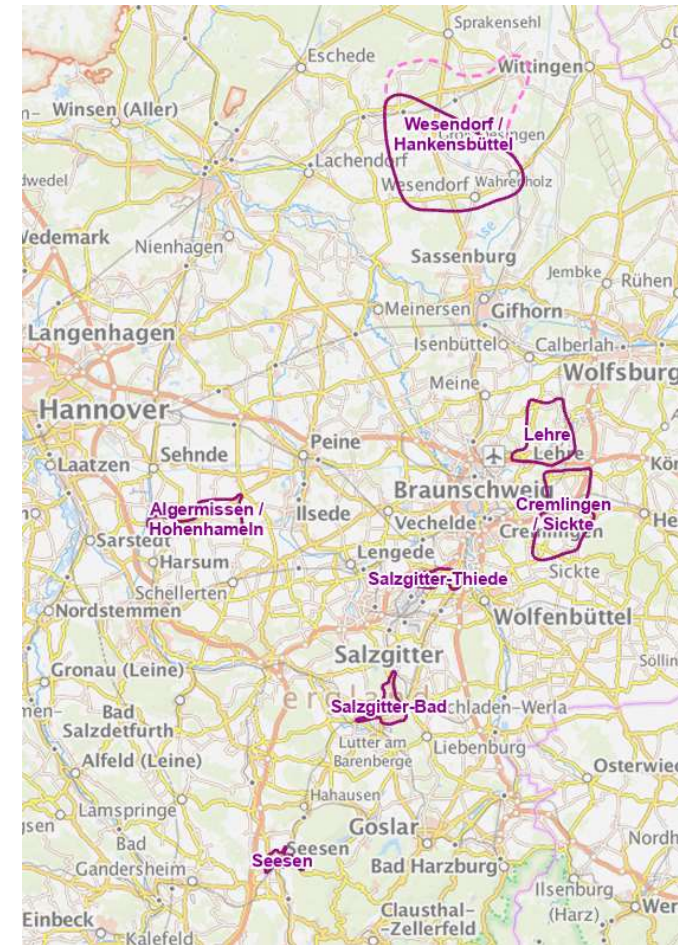


Fazit:

- Systemeffizienz ist ein geeigneter Indikator für Angebotsoptimierung und einem Vergleich von On-Demand-Verkehr zu Taxi und privatem PKW.

Ausblick:

- Erfassung der Wirkungen auf die komplette Region
 - Bewertung anhand volkswirtschaftlicher Indikatoren, bspw.:
 - Reisezeiten und (vermeidene) CO₂-Emissionen der Reiseketten
 - (vermeidene) PKW-Betriebskosten
 - Impliziter Nutzen
- Berücksichtigung Modalwahl



On-Demand-Verkehre in der Region BS; Quelle: [Regionalverband](#)

Vielen Dank für Ihr Interesse!



Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Benedikt Scheier M.Sc.

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

Institut für Verkehrssystemtechnik

benedikt.scheier@dlr.de

0531 / 295 3428



Besonderes Dankeschön an:

- [Ostfalia](#) für die Einladung
- [Regionalverband Großraum Braunschweig](#) für die Kooperation mit dem DLR
- Malte Wolf M.A. [Masterarbeit zu Effizienz von On-Demand-Verkehr](#)
- Magnus Hamann B.A. [Bachelorarbeit zu Einflussfaktoren auf die Effizienz](#)
- Team [DLR-TS-DDW](#)

Quellen



- 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.](#)
- Hamann, Magnus Lasse (2023) [Einflussfaktoren auf die Effizienz von Linienbedarfsverkehren - Untersuchung mittels mikroskopischer Verkehrssimulation. Bachelorarbeit, Ostfalia Hochschule.](#)
- Scheier, Benedikt und Wolf, Malte (2023) [Wie effizient kann On-Demand Verkehr sein - Eine Untersuchung mittels Betriebssimulation. Der Nahverkehr, Seiten 46-49. Alba Fachverlag. ISSN 0722-8287.](#)
- 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](#). ISBN 978-3-658-39437-0.

Impressum



Thema: **14. Salzgitter Forum Mobilität "Digitalisierung in der Mobilität"**

Vortrag: Effizienz von On-Demand Mobilitätslösungen

Datum: 2023-09-22

Autor: Benedikt Scheier

Institut: DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik

Bildcredits: Alle Bilder „DLR (CC BY-NC-ND 3.0)“,
sofern nicht anders angegeben

Backup-Folien



Ausblick Automatisierung des ÖSPV

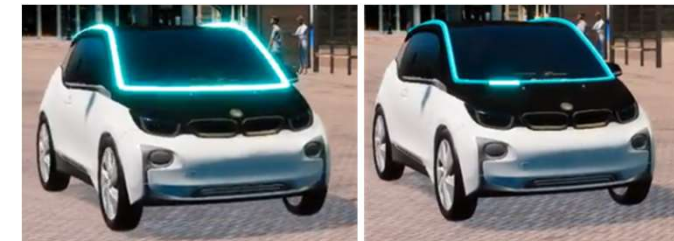


Herausforderung:

- Technische Hürden
- Hürde Genehmigung & Zulassung (Fahrzeug-Betriebsgebiet-Infrastruktur)
- Ein- und Ausstiegsituation („Bin ich im richtigen Fahrzeug?“, Safety)
- Leitstelle (Safety, Security, Störungen)
- Wirtschaftlichkeit (Trade-off: Automatisierungskosten und Fahrpersonalkosten)

Ziele:

- hochautomatisierter ÖSPV mit hohem Kostendeckungsgrad
- Hohe Akzeptanz von den Reisenden



Bildquellen: DLR