

# Entwicklung und Wirkungsanalyse von ÖPNV- Netzkonfigurationen mit autonomen Shuttles am Beispiel der Stadt Aachen

Dr.-Ing. Conny Louen  
18. Januar 2022

# Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Kuhnimhof



## NAIXTransit Team

### Projektleitung

Dr.-Ing.  
**Conny Louen**



M.Sc.  
**Pradeep Burla**



M. Sc.  
**Niklas Höing**



M. Sc.  
**Carina Böhnen**



## Grundfragestellungen

→ **Wie kann eine ÖPNV-Netzkonfiguration mit autonomen Shuttles in der Stadt Aachen aussehen?**

Fokusthemen:

- ÖPNV-Netzgestaltung und Betrieb
- Betriebsformen der Shuttles
- Betriebliche Eigenschaften der Shuttle-Fahrzeuge (Geschwindigkeit, Kapazität, etc.)
- Verknüpfungspunkte

→ **Welche Wirkungen haben ausgewählte ÖPNV-Netzkonfigurationen mit autonomen Shuttles in Aachen?**

Fokusthemen:

- Verkehrsmittelwahl
- Auslastung
- Umweltwirkungen

## Szenarientwicklung

→ Wie kann eine ÖPNV-Netzkonfiguration mit autonomen Shuttles in der Stadt Aachen aussehen?

## Modellierung

→ Wie wirken sich verschiedene Netzkonfigurationen/Szenarien auf die Nutzung des ÖPNV aus?

## Evaluation

→ Welche umweltbezogenen und gesamtverkehrlichen Wirkungen haben ausgewählte ÖPNV-Netzkonfigurationen mit autonomen Shuttles in Aachen?

# Entwicklung der Szenarien von Netzkonfigurationen

# AP 1: Szenarientwicklung

---

## Organisatorisches

- Digitales Format mit vier Online-Workshops

## Workshopteilnehmer:

- Stadt Aachen
- StädteRegion Aachen
- ASEAG (Aachener Straßenbahn und Energieversorgungs-AG)
- AVV (Aachener Verkehrsverbund)
- IVU Traffic Technologies AG (IT-Lösungen für ÖPNV)
- und zwei Teilnehmer aus der Automobilindustrie/ dem Feld „Autonomes Fahren“ (Ford Research and Innovation Center, e.2GO GmbH)

Workshop 1:  
Auswahl von  
Einflussfaktoren



Workshop 2:  
Entwicklung von  
Projektionen für  
die kritischen  
Faktoren



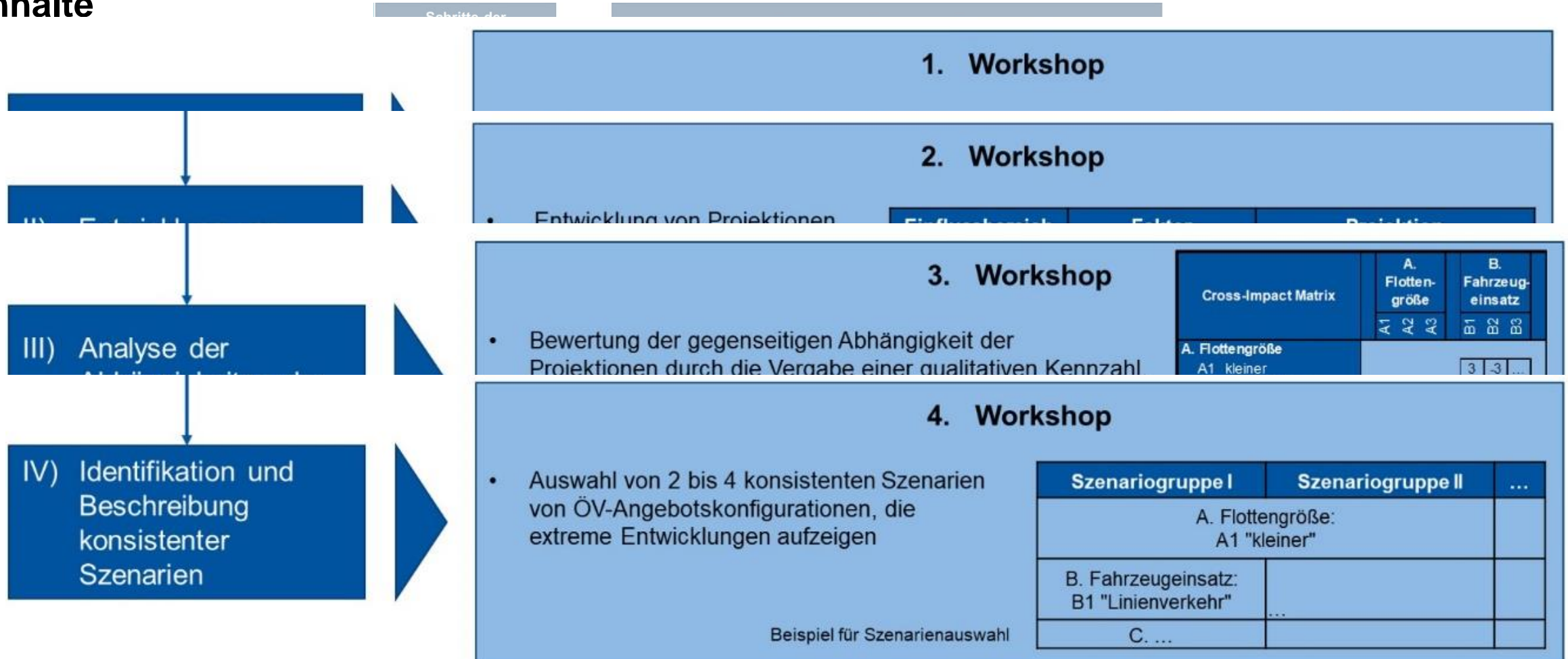
Workshop 3:  
Analyse der  
Abhängigkeiten  
der Projektionen



Workshop 4:  
Identifikation und  
Beschreibung  
konsistenter  
Szenarien

# AP 1: Szenarientwicklung

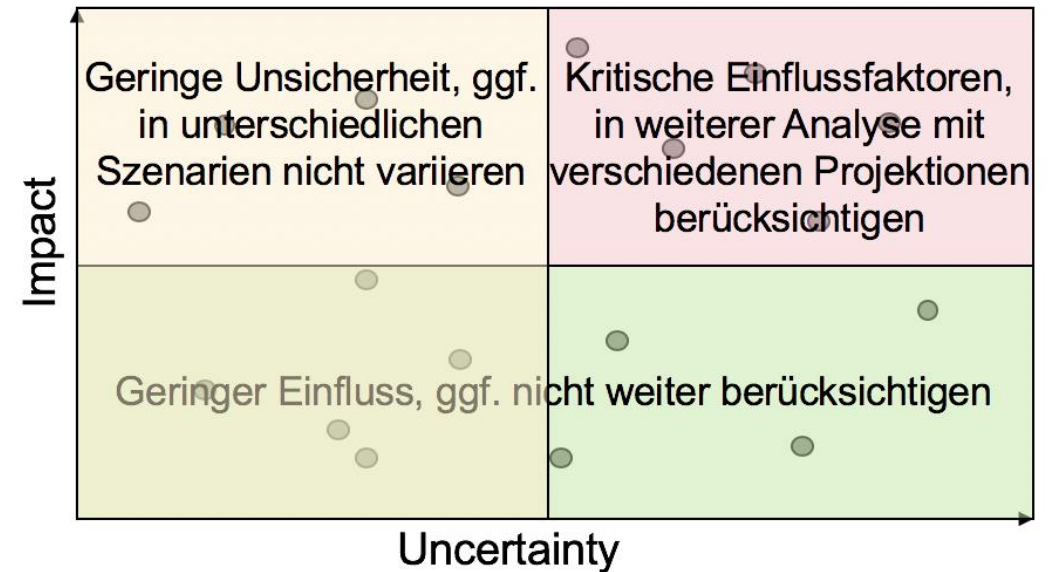
## Inhalte



# AP 1: Szenarientwicklung

## Grundlage für 1. Workshop

- ISB-intern: Sammlung von möglichen Einflussfaktoren nach Einflussbereichen → Schritt 1a der Szenario-Technik
- Vorab Befragung der Experten (telefonisch oder online):
  - Ergänzung der gesammelten Einflussfaktoren durch die Experten
  - Online-Bewertung der Einflussfaktoren mittels Impact-Uncertainty-Analyse

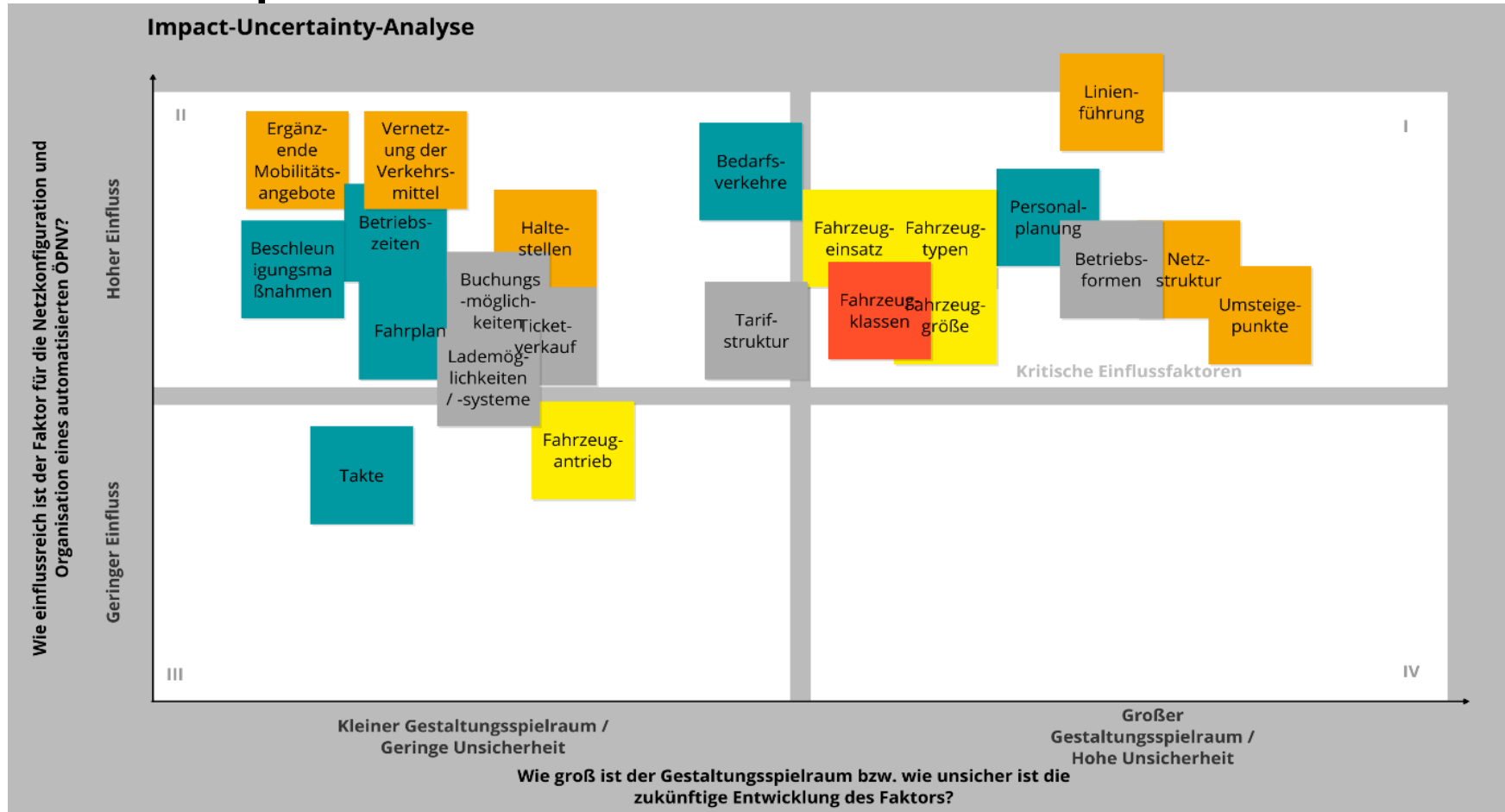


(Quelle: ISB, Vorlesung VP11)



# AP 1: Szenarientwicklung

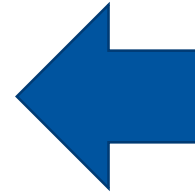
## 1. Workshop



Finale Impact-Uncertainty-Matrix nach dem ersten Workshop (Eigene Darstellung)

## 2. Workshop: Ziel

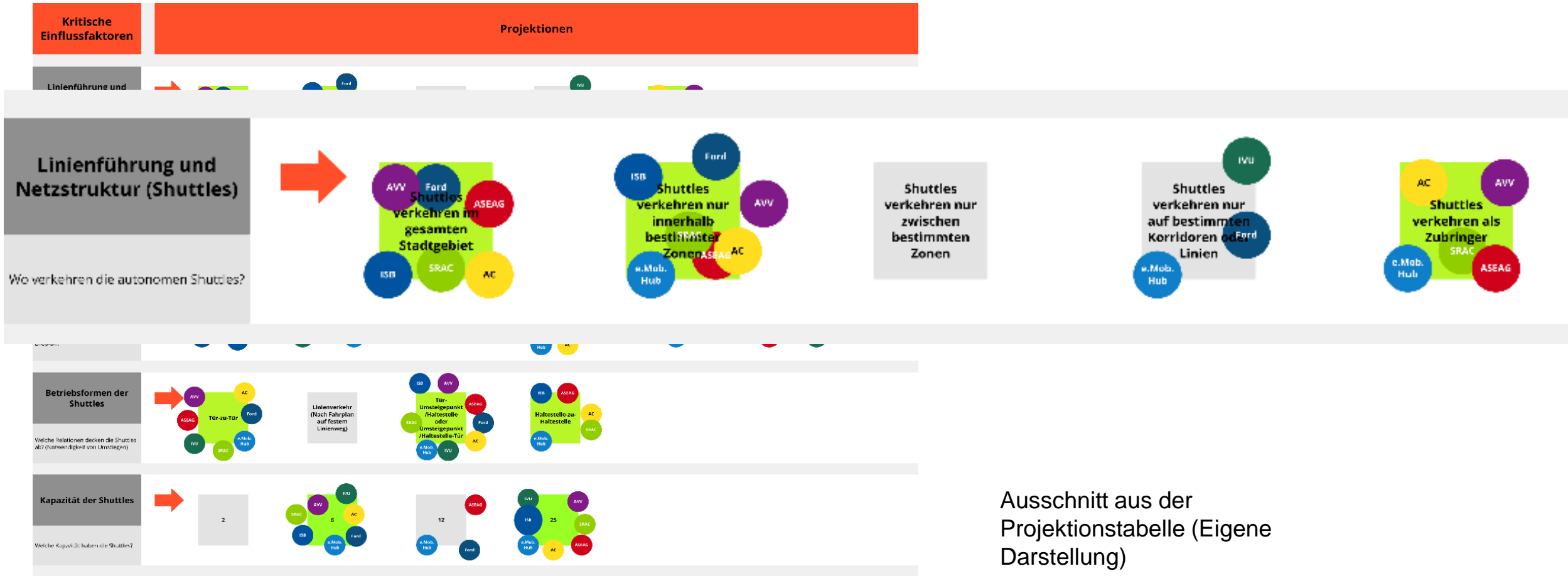
**Entwicklung von sogenannten Projektionen zu den ausgewählten Einflussfaktoren**



- Linienführung und Netzstruktur (Shuttles)
- Linienführung und Netzstruktur (Klassischer Linienverkehr)
- Umsteigepunkte und Haltestellen der Shuttles
- Betriebsformen der Shuttles
- Kapazität der Shuttles
- Maximale Fahrgeschwindigkeit der Shuttles
- Tarifstruktur
- Verkehrszeit
- Positionierung der Shuttles

# AP 1: Szenarientwicklung

## 2. Workshop: Grundlagen und Ergebnisse



Ausschnitt aus der Projektionstabelle (Eigene Darstellung)

# AP 1: Szenarientwicklung

## Grundlage für 3. Workshop

- Entwurf einer sogenannten Cross-Impact-Matrix vom ISB

Cross-Impact Matrix	A. Flottengröße			B. Fahrzeugeinsatz		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
<b>A. Flottengröße</b>						
A1 kleiner						
A2 gleichbleibend						
A3 größer						
<b>B. Fahrzeugeinsatz</b>						
B1 Linienverkehr						
B2 On-Demand-Verkehr						
B3 ...						

Faktor / Deskriptor

Varianten / Projektionen

Bewertungsfeld ( $C_{AB}$ )

- 3: stark hemmender Einfluss
- 2: moderat hemmender Einfluss
- 1: schwach hemmender Einfluss
- 0: kein Einfluss
- +1: schwach fördernder Einfluss
- +2: moderat fördernder Einfluss
- +3: stark fördernder Einfluss.

Ausschnitt aus einer Cross-Impact-Matrix  
(Eigene Darstellung)

# AP 1: Szenarientwicklung

## Grundlage für 3. Workshop

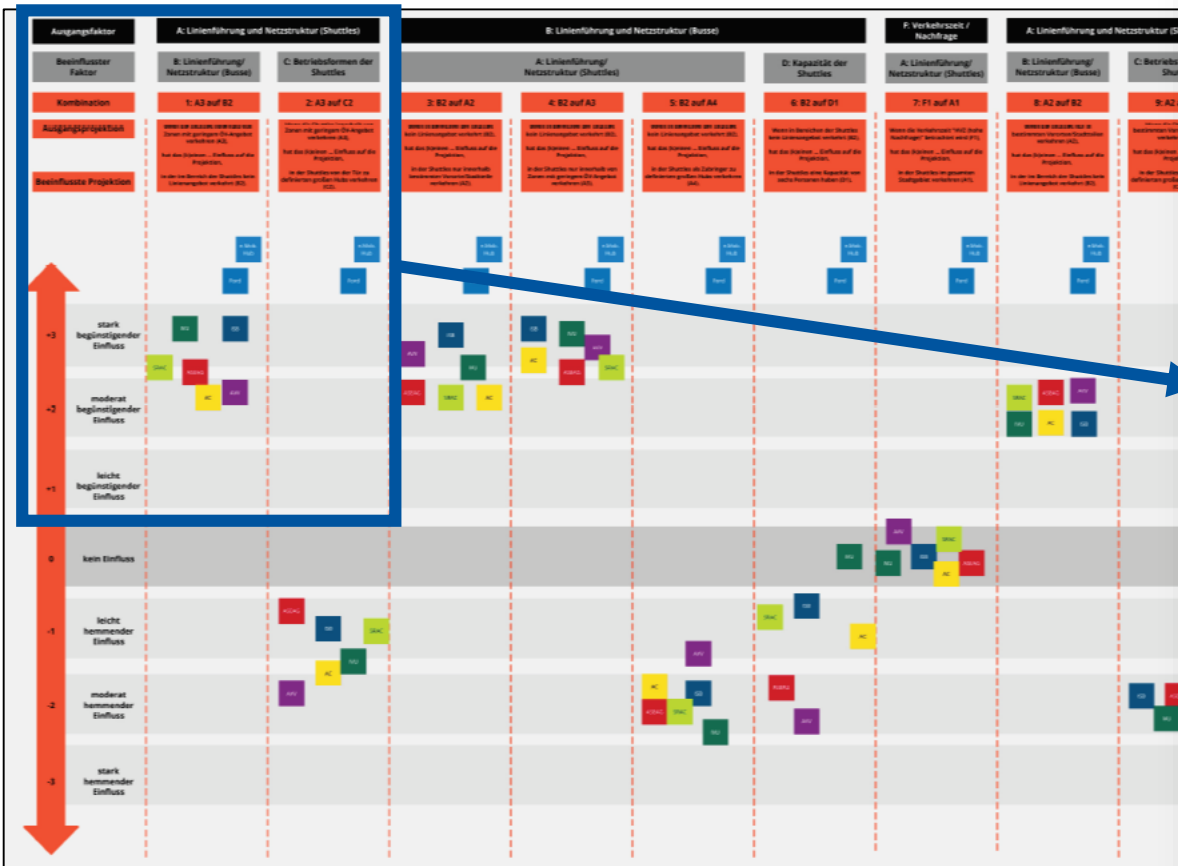
- Befragung der Experten (online):
  - Abfrage der Einflüsse
- Von den jeweiligen Rückläufen der Teilnehmenden wurden Mittelwerte und Standardabweichungen gebildet.
- Zellen mit besonders hoher Standardabweichung (=umstritten) wurden im Workshop erneut bewertet

Einfluss von Zeile auf Spalte	A: Linienführung und Netzstruktur (Shuttles)				B: Linienführung und Netzstruktur (Busse)		C: Betriebsformen der Shuttles				D: Kapazität der Shuttles		E: Positionierung der Shuttles		F: Nachfrage (Verkehrszeit)		G: Tarifstruktur	
	A1: gesamtes Stadtgebiet	A2: innerhalb bestimmter Vororte	A3: innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Ang.	A4: als Zubringer zu def. großen Hubs	B1: Ausdünnung	B2: kein Linienangebot	C1: Tür-zu-Tür	C2: Tür-definierte größere Hubs	C3: Tür-alle Bushaltestellen	C4: Haltestelle-Haltestelle	D1: 6	D2: 25	E1: im Straßenraum	E2: Spezielle Stationen	F1: Hohe Nachfrage (HVZ)	F2: Geringe Nachfrage (NVZ)	G1: ÖV-Tarif, keine Zuschläge	G2: ÖV-Tarif, Komfortzuschlag
<b>A: Linienführung und Netzstruktur (Shuttles)</b> A1: im gesamten Stadtgebiet A2: innerhalb bestimmter Vororte/Stadtteile A3: innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Ang. A4: als Zubringer zu def. großen Hubs					2		0	0	0	0					0	0		
<b>B: Linienführung und Netzstruktur (Busse)</b> B1: Ausdünnung B2: kein Linienangebot							1	2					0	0	0	0		
<b>C: Betriebsformen der Shuttles</b> C1: Tür-zu-Tür C2: Tür-definierte größere Hubs C3: Tür-alle Bushaltestellen C4: Bushaltestelle-Bushaltestelle	1		2	3									2		0	0		
<b>D: Kapazität der Shuttles</b> D1: 6 D2: 25		-1			1		3						2	-2	0	0		
<b>E: Positionierung der Shuttles</b> E1: Regelkonformes Halten im Straßenraum E2: Spezielle Stationen für Shuttles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
<b>F: Nachfrage (Verkehrszeit)</b> F1: Hohe Nachfrage (HVZ) F2: Geringe Nachfrage (NVZ)	1	1			1	-3	-3		2		3	-3	0	0			1	2
<b>G: Tarifstruktur</b> G1: ÖV-Tarif, keine Zuschläge G2: ÖV-Tarif, Komfortzuschlag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

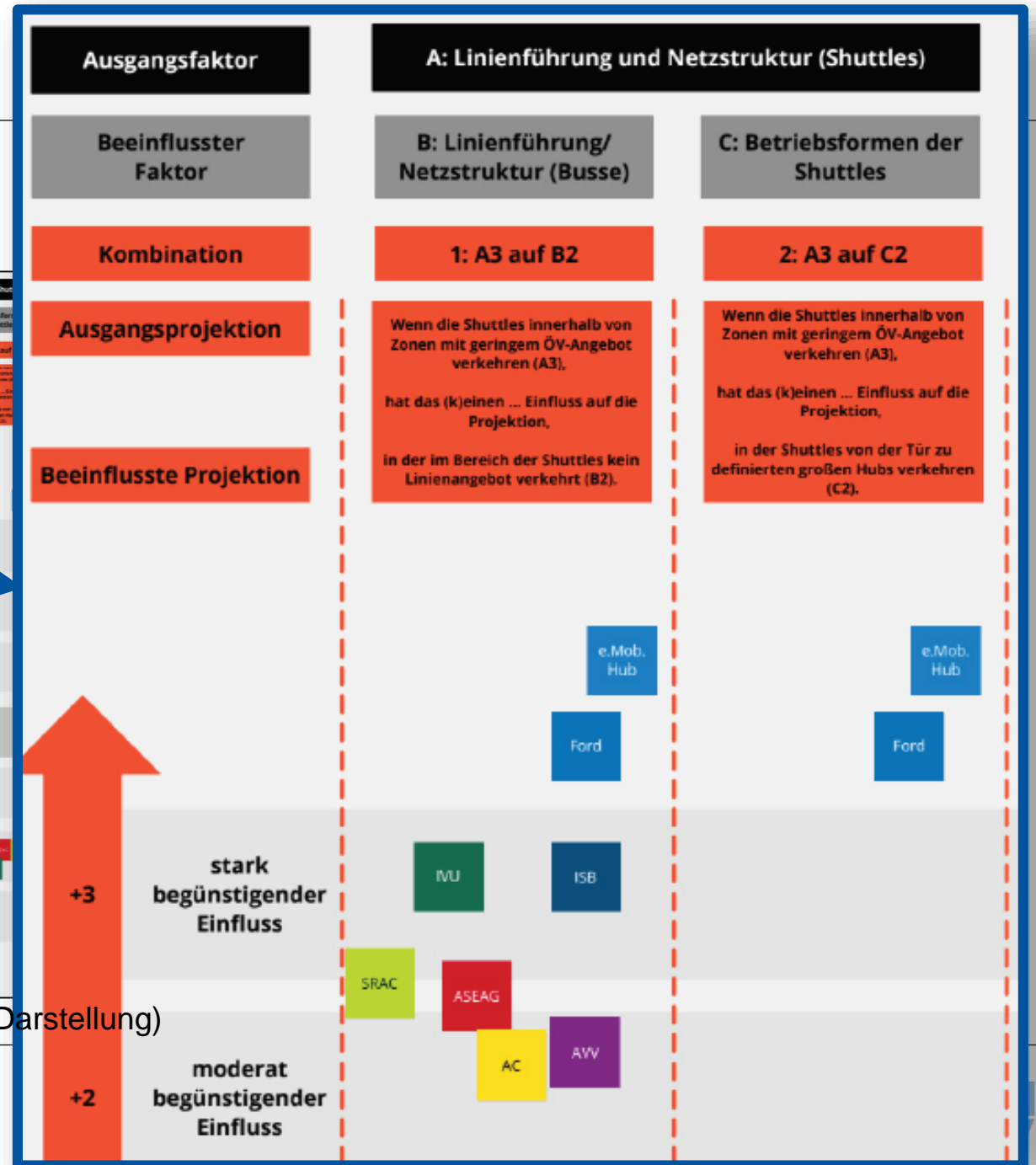
An die Teilnehmenden verschickte Cross-Impact-Matrix (Eigene Darstellung)

# AP 1: Szenarientwicklung

## 3. Workshop



Diskussionsgrundlage für die Bewertung der Abhängigkeiten (Eigene Darstellung)



# AP 1: Szenarientwicklung

## 3. Workshop: Ergebnisse

- Bewertung aller gegenseitiger Abhängigkeiten der Projektionen
- Mit den Experten abgestimmte Cross-Impact Matrix

Durchschnitte	A: Linienführung und Netzstruktur (Shuttles)	B: Linienführung und Netzstruktur (Busse)	C: Betriebsformen der Shuttles	D: Kapazität der Shuttles	E: Positionierung der Shuttles	F: Nachfrage (Verkehrszeit)	G: Tarifstruktur
	A1: gesamtes Stadtgebiet A2: innerhalb bestimmter Vororte A3: innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Ang. A4: als Zubringer zu def. großen Hubs	B1: Ausdünnung B2: kein Linienangebot	C1: Tür-zu-Tür C2: Tür-definierte größere Hubs C3: Tür-alle Bushaltestellen C4: Haltestelle-Haltestelle	D1: 6 D2: 25	E1: im Straßenraum E2: Spezielle Stationen	F1: Hohe Nachfrage (HVZ) F2: Geringe Nachfrage (NVZ)	G1: ÖV-Tarif, keine Zuschläge G2: ÖV-Tarif, Komfortzuschlag
<b>A: Linienführung und Netzstruktur (Shuttles)</b> A1: im gesamten Stadtgebiet A2: innerhalb bestimmter Vororte/Stadtteile A3: innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Ang. A4: als Zubringer zu def. großen Hubs		2 2 1 2 2 3 1 -2	0 0 0 0 1 -2 1 0 2 -1 2 0 -3 3 0 0	-1 2 1 0 2 0 1 1	1 2 1 2 1 1 1 2	0 0 0 0 0 0 0 0	1 -1 1 0 0 0 2 -1
<b>B: Linienführung und Netzstruktur (Busse)</b> B1: Ausdünnung B2: kein Linienangebot	1 2 2 2 3 3 3 -2		1 2 2 1 3 2 2 2	1 2 -1 3	0 0 0 0	0 0 0 0	1 -1 2 -3
<b>C: Betriebsformen der Shuttles</b> C1: Tür-zu-Tür C2: Tür-definierte größere Hubs C3: Tür-alle Bushaltestellen C4: Bushaltestelle-Bushaltestelle	2 2 2 -1 1 -2 -2 3 1 1 -1 1 2 0 -3 1	2 1 1 -1 2 2 1 2		2 0 1 2 2 1 1 1	2 0 1 2 1 2 0 2	0 0 0 0 0 0 0 0	-1 2 0 1 0 0 2 -2
<b>D: Kapazität der Shuttles</b> D1: 6 D2: 25	-1 -1 1 0 2 0 -1 2	1 0 2 2	3 1 1 -2 -3 1 0 2		2 -2 -1 1	0 0 0 0	0 1 2 -2
<b>E: Positionierung der Shuttles</b> E1: Regelkonformes Halten im Straßenraum E2: Spezielle Stationen für Shuttles	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0		0 0 0 0	0 0 0 0
<b>F: Nachfrage (Verkehrszeit)</b> F1: Hohe Nachfrage (HVZ) F2: Geringe Nachfrage (NVZ)	0 1 2 1 1 1 2 1	1 -3 2 1	-3 -1 -1 2 2 2 2 2	-1 3 3 -3	0 0 0 0		1 2 2 1
<b>G: Tarifstruktur</b> G1: ÖV-Tarif, keine Zuschläge G2: ÖV-Tarif, Komfortzuschlag	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	

Finale Cross-Impact-Matrix nach dem 3. Workshop (Eigene Darstellung)

# AP 1: Szenarientwicklung

## Grundlage für 4. Workshop

- Identifikation konsistenter Szenarien durch Cross-Impact-Bilanzierung
- Einsatz der Software ScenarioWizard von Wolfgang Weimer-Jehle (Universität Stuttgart)
- Übrigbleibende konsistente Szenarien zusammenstellen und gruppieren

Durchschnitte	A: Linienführung und Netzstruktur (Shuttles)				B: Linienführung und Netzstruktur (Busse)		C: Betriebsformen der Shuttles				D: Kapazität der Shuttles		E: Positionierung der Shuttles		F: Nachfrage (Verkehrszeit)		G: Tarifstruktur	
	A1: gesamtes Stadtgebiet	A2: innerhalb bestimmter Vororte	A3: innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Ang.	A4: als Zubringer zu def. großen Hubs	B1: Ausdünnung	B2: kein Linienangebot	C1: Tür-zu-Tür	C2: Tür-definierte größere Hubs	C3: Tür-alle Bushaltestellen	C4: Haltestelle-Haltestelle	D1: 6	D2: 25	E1: im Straßenraum	E2: Spezielle Stationen	F1: Hohe Nachfrage (HVZ)	F2: Geringe Nachfrage (NVZ)	G1: ÖV-Tarif, keine Zuschläge	G2: ÖV-Tarif, Komfortzuschlag
<b>A: Linienführung und Netzstruktur (Shuttles)</b>																		
A1: im gesamten Stadtgebiet					2	2	0	0	0	0	-1	2	1	2	0	0	1	-1
A2: innerhalb bestimmter Vororte/Stadtteile					1	2	1	-2	1	0	1	0	1	2	0	0	1	0
A3: innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Ang.					2	3	2	-1	2	0	2	0	1	1	0	0	0	0
A4: als Zubringer zu def. großen Hubs					1	-2	-3	3	0	0	1	1	1	2	0	0	2	-1
<b>B: Linienführung und Netzstruktur (Busse)</b>																		
B1: Ausdünnung	1	2	2	2			1	2	2	1	1	2	0	0	0	0	1	-1
B2: kein Linienangebot	3	3	3	-2			3	2	2	2	-1	3	0	0	0	0	2	-3
<b>C: Betriebsformen der Shuttles</b>																		
C1: Tür-zu-Tür	2	2	2	-1	2	1					2	0	2	0	0	0	-1	2
C2: Tür-definierte größere Hubs	1	-2	-2	3	1	-1					1	2	1	2	0	0	0	1
C3: Tür-alle Bushaltestellen	1	1	-1	1	2	2					2	1	1	2	0	0	0	0
C4: Bushaltestelle-Bushaltestelle	2	0	-3	1	1	2					1	1	0	2	0	0	2	-2
<b>D: Kapazität der Shuttles</b>																		
D1: 6	-1	-1	1	0	1	0	3	1	1	-2			2	-2	0	0	0	1
D2: 25	2	0	-1	2	2	2	-3	1	0	2			-1	1	0	0	2	-2
<b>E: Positionierung der Shuttles</b>																		
E1: Regelkonformes Halten im Straßenraum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
E2: Spezielle Stationen für Shuttles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
<b>F: Nachfrage (Verkehrszeit)</b>																		
F1: Hohe Nachfrage (HVZ)	0	1	2	1	1	-3	-3	-1	-1	2	-1	3	0	0			1	2
F2: Geringe Nachfrage (NVZ)	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	3	-3	0	0			2	1
<b>G: Tarifstruktur</b>																		
G1: ÖV-Tarif, keine Zuschläge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
G2: ÖV-Tarif, Komfortzuschlag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Wirkungsbilanzen</b>	4	1	4	2	5	2	9	3	6	2	4	2	4	2	0	0	5	0



# AP 1: Szenarientwicklung

## Grundlage für 4. Workshop

Szenario Nr. 1	Szenario Nr. 2	Szenario Nr. 3	Szenario Nr. 4	Szenario Nr. 5 a,b		Szenario Nr. 6	Szenario Nr. 7 a,b		
<b>Große Shuttles verkehren als Zubringer zu Hubs</b>	<b>Große Shuttles verkehren im gesamten Stadtgebiet</b>	<b>Kleine Shuttles ergänzen das Linienangebot in Zonen geringer Nachfrage</b>	<b>Kleine Shuttles verkehren als Zubringer zu Hubs</b>	<b>Kleine Shuttles ergänzen das Linienangebot in bestimmten Stadtteilen</b>		<b>Große Shuttles ersetzen das Linienangebot</b>	<b>Kleine Shuttles ergänzen das Linienangebot für einen Aufpreis</b>		
A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):	A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):	A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):	A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):	A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):	A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):	A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):	A. Linienführung und Netzstruktur (Shuttles):		
A4 Als Zubringer für def. große Hubs	A1 im gesamten Stadtgebiet	A3 innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Angebot	A4 Als Zubringer für def. große Hubs	A2 innerhalb bestimmter Vororte / Stadtteile	A3 innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Angebot	A1 im gesamten Stadtgebiet	A3 innerhalb Zonen mit geringem ÖV-Angebot		
B. Linienführung und Netzstruktur (Busse):						B. Linienführung und Netzstruktur (Busse):	B. Linienführung und Netzstruktur (Busse):		
B1 Ausdünnung						B2 kein Linienangebot	B1 Ausdünnung		
C. Betriebsformen der Shuttles:	C. Betriebsformen der Shuttles:	C. Betriebsformen der Shuttles:	C. Betriebsformen der Shuttles:	C. Betriebsformen der Shuttles:		C. Betriebsformen der Shuttles:	C. Betriebsformen der Shuttles:		
C2 Tür-definierte größere Hubs	C4 Bushaltestelle - Bushaltestelle	C1 Tür-zu-Tür	C2 Tür-definierte größere Hubs	C3 Tür - alle Bushaltestellen		C4 Bushaltestelle - Bushaltestelle	C1 Tür-zu-Tür		
D. Kapazität der Shuttles:		D. Kapazität der Shuttles:				D. Kapazität der Shuttles:		D. Kapazität der Shuttles:	
D2 25		D1 6				D2 25		D1 6	
E. Positionierung der Shuttles:		E. Positionierung der Shuttles:				E. Positionierung der Shuttles:		E. Positionierung der Shuttles:	
E2 Spezielle Stationen für Shuttles		E1 Regelkonformes Halten				E2 Spezielle Stationen für Shuttles		E1 Regelkonformes Halten	
F. Nachfrage (Verkehrszeit):		F. Nachfrage (Verkehrszeit):				F. Nachfrage (Verkehrszeit):		F. Nachfrage (Verkehrszeit):	
F1 Hohe Nachfrage (HVZ)		F2 Geringe Nachfrage (NVZ)				F1 Hohe Nachfrage (HVZ)		F2 Geringe Nachfrage (NVZ)	
G. Tarifstruktur:						G. Tarifstruktur:			
G1 ÖV-Tarif keine Zuschläge						G2 ÖV-Tarif Komfortzuschlag			

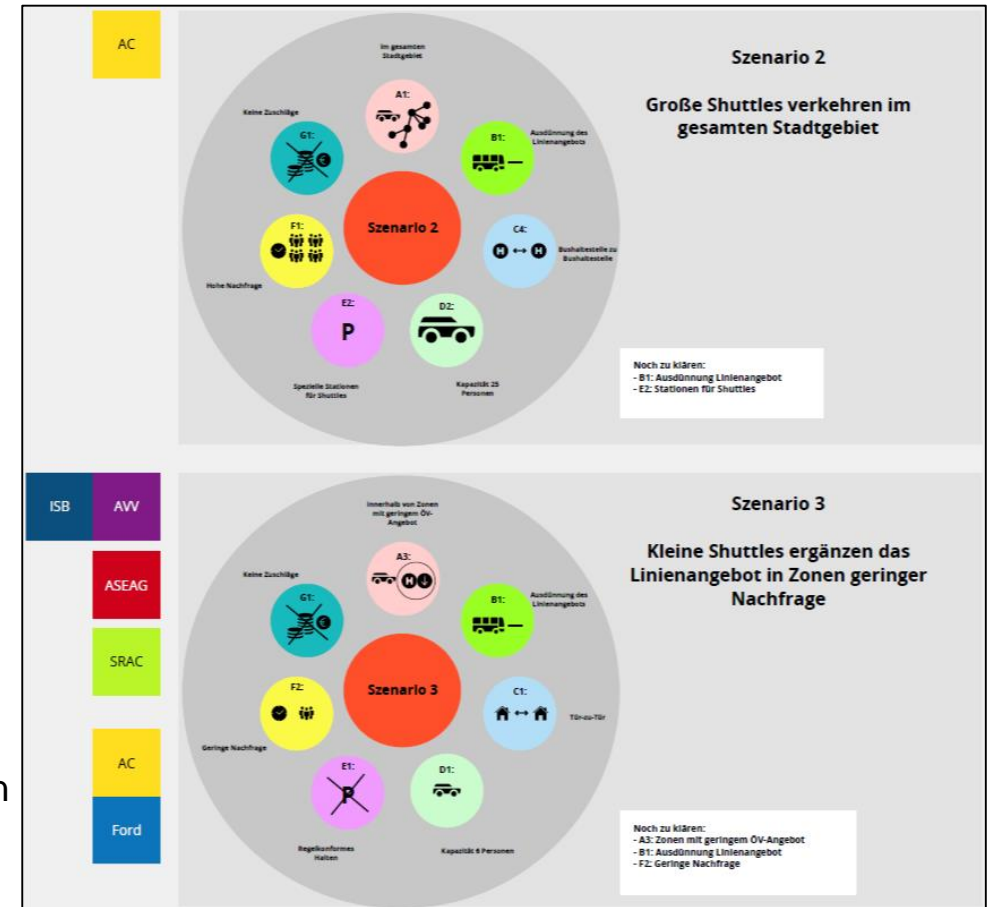
Überblick über die Szenarien mit den höchsten Konsistenzen

# AP 1: Szenarientwicklung

## 4. Workshop

- Auswahl der favorisierten Szenarien der Teilnehmenden per Wahlverfahren
- Festlegung von Details zu den Projektionen

Grafische Darstellung der Szenarien als Diskussionsgrundlage für die Workshops



# Vorstellung der ausgewählten Szenarien

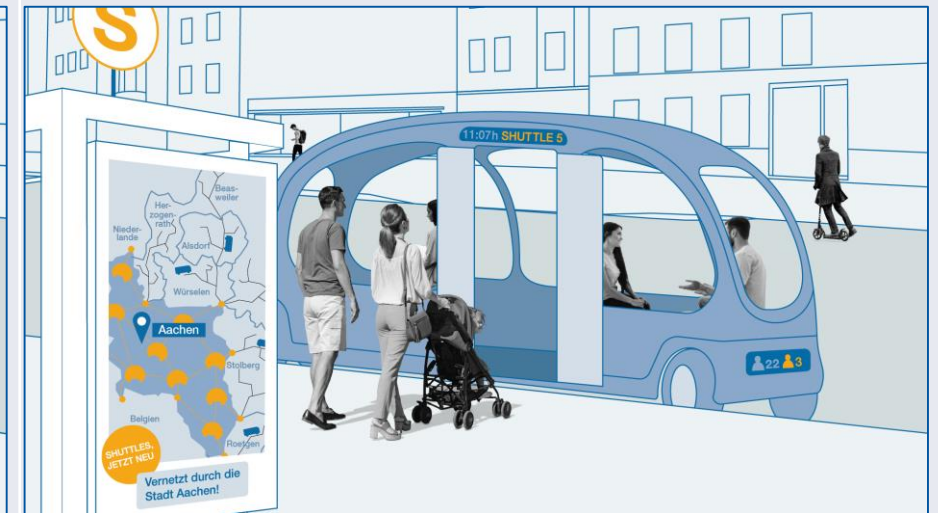
Eigenschaften	Ergänzungsszenario
Buslinienverkehr	Ausdünnung des Linienangebots
Kapazität Shuttles	6 Personen
Betrieb Shuttles	Maximal mögliche Distanz: 3km
Parken der Shuttles	Regelkonformes Parken im Straßenraum
Fahrgastwechsel	Beliebig



Eigene Darstellung

# Vorstellung der ausgewählten Szenarien

Eigenschaften	Ergänzungsszenario	Austauschszenario
Buslinienverkehr	Ausdünnung des Linienangebots	Kein Buslinienangebot im Stadtgebiet
Kapazität Shuttles	6 Personen	25 Personen
Betrieb Shuttles	Maximal mögliche Distanz: 3km	Distanz unbegrenzt
Parken der Shuttles	Regelkonformes Parken im Straßenraum	Parken an speziellen Hubs
Fahrgastwechsel	Beliebig	An bestehenden Bushaltestellen

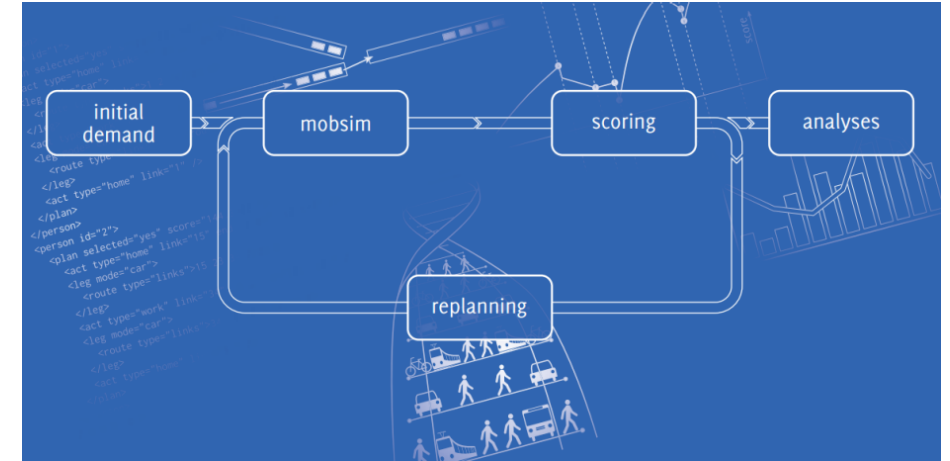


Eigene Darstellung

# Modellierung der Szenarien

### 1. MATSim - Multi-Agent Transport Simulation

- Agentenbasierte Bewegungsprofile mit detaillierten Standorten und Netzwerken
- Open-Source Software
- Erweiterbar mit persönlich entwickelten Modulen
- Zeitabhängig (Analyse des Verkehrsgeschehens zu bestimmten Tageszeiten, z.B. in den Spitzenstunden)

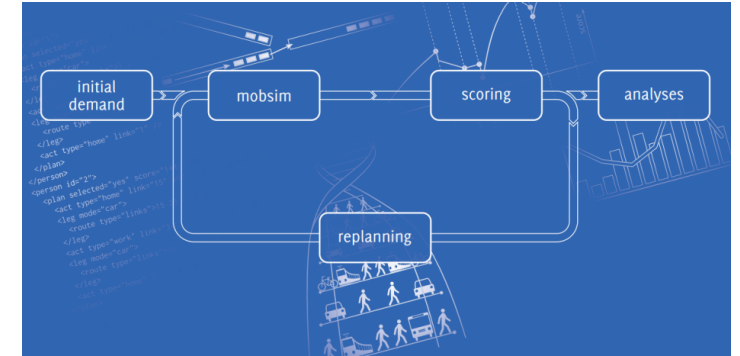


**MATSim**  
Multi-Agent Transport Simulation

Quelle: MATSim Handbuch

## 2. Modellierung

- Erstellung einer synthetischen Bevölkerung der Stadt Aachen basierend auf Zensus-Daten und MiD-Daten
  - Wohnorte und Ziele etc.
  - Demographische Daten wie Alter, Geschlecht, etc.
  - Aktivitäten und Wegeketten mit Startzeit und Dauer
- Implementierung von realistischen Bewegungsprofilen auf Basis von Zeit und Ort
  - Notwendig für die Verkehrsmittelwahl und Nachfrageabschätzung
- Detailliertes Straßennetz auf Basis von OSM, ÖV-Netz und Fahrplan auf Basis von GTFS-Daten
- Modellierung der Verkehrsmittelwahl
- Modellierung in MATSim auf Basis verschiedener Bevölkerungsstichprobengrößen



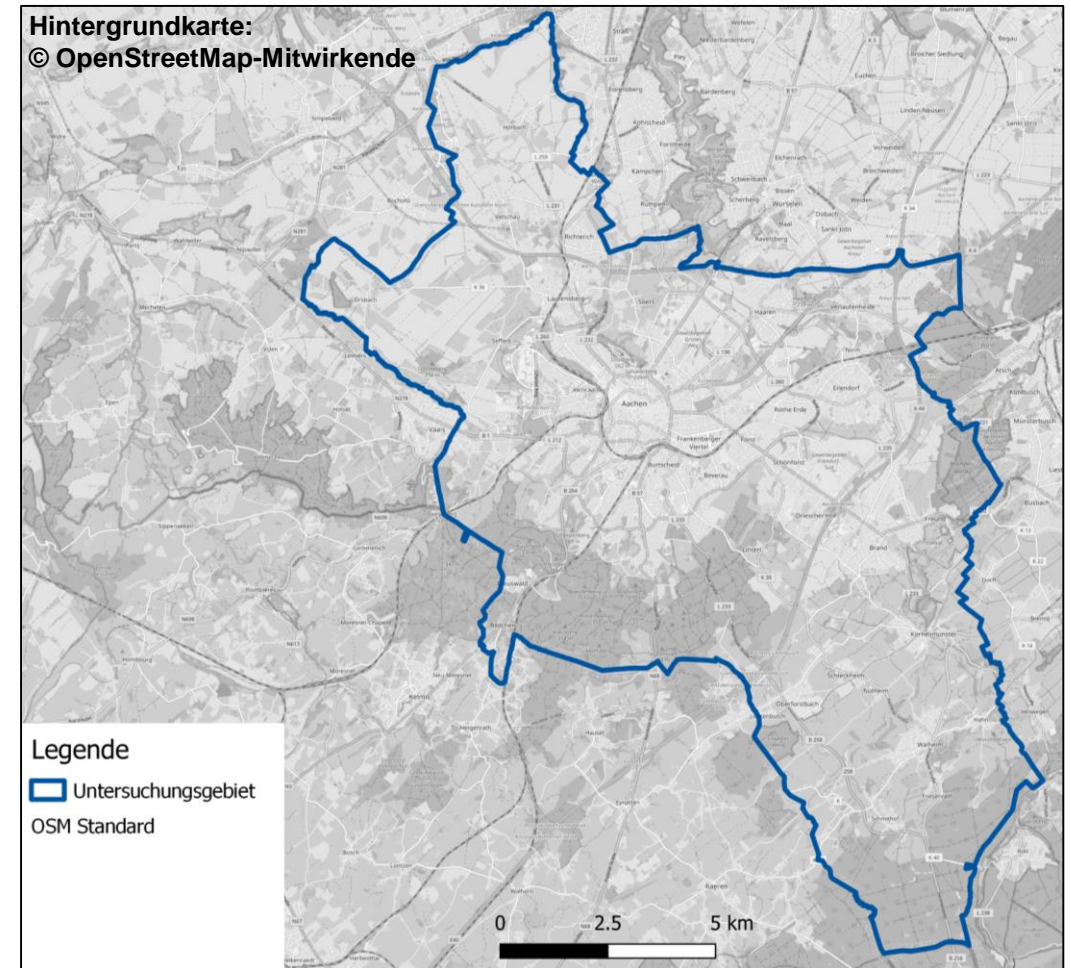
**MATSim**  
Multi-Agent Transport Simulation

(Quelle: MATSim Handbuch)

# Implementierung der Szenarien ins MATSim-Modell

## Das Planungsgebiet

- Das Planungsgebiet umfasst das gesamte Stadtgebiet der Stadt Aachen
- Das Untersuchungsgebiet (Modell) umfasst den gesamten Verflechtungsbereich
  - Detaillierte Abbildung der StädteRegion Aachen
  - Grobe Abbildung aller außerhalb liegenden Verflechtungen



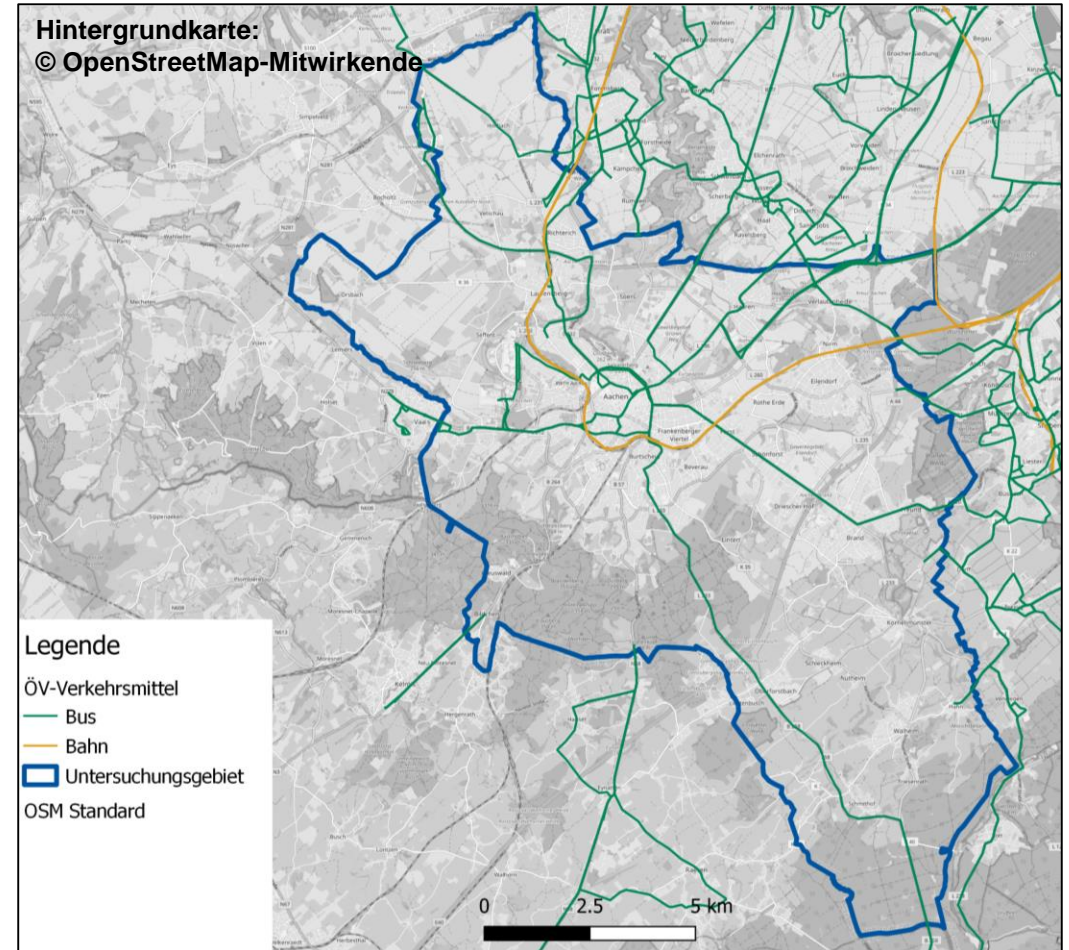
Stadtgebiet von Aachen  
(Eigene Darstellung)



# Implementierung der Szenarien ins MATSim-Modell

## Implementierung Szenario 1 (Ergänzungsszenario)

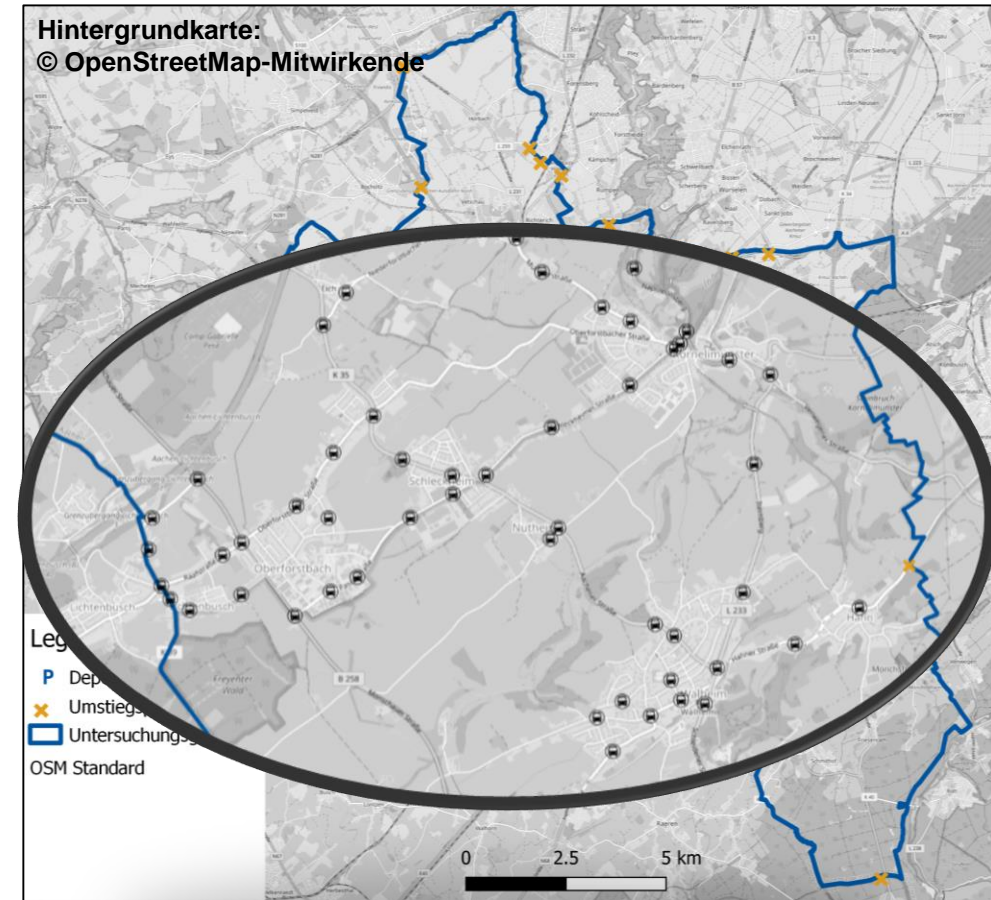
- Maximal mögliche Distanz von Shuttle-Fahrten: 3km
- Shuttles halten überall im Straßenraum
- Weiter bestehenden ÖPNV-Linien (nach dem Starke-Achsen-Konzept)
- SPNV bleibt bestehen
- Buslinien und Buslinienabschnitte außerhalb des Planungsgebiets bleiben bestehen



Übersicht über Eigenschaften des Szenario 1 (Eigene Darstellung)

## Implementierung Szenario 2 (Austauschszenario)

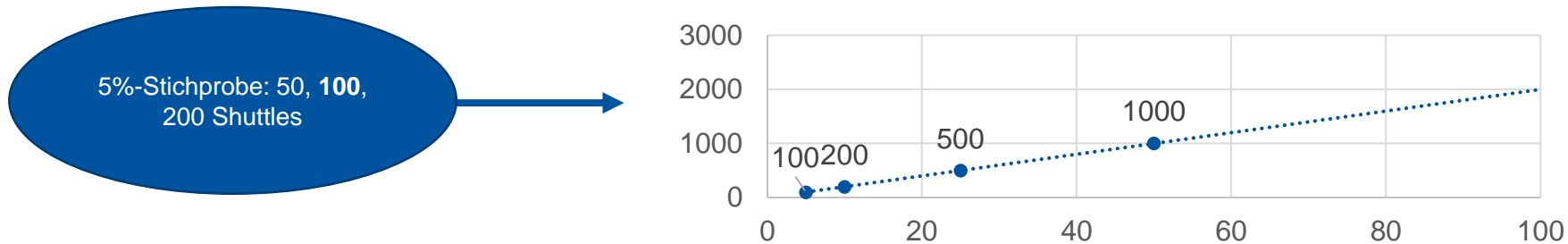
- Shuttles verkehren im gesamten Stadtgebiet, Fahrgastwechsel erfolgt an Bushaltestellen
- SPNV bleibt bestehen
- Keine Buslinien innerhalb des Untersuchungsgebiets
- Buslinien und Buslinienabschnitte außerhalb des Untersuchungsgebiets bleiben weiterhin bestehen
- An den letzten Bushaltestellen vor der Stadtgrenze und an den SPNV-Haltestellen besteht dann eine Umstiegsmöglichkeit zum Shuttle
- Festlegung von Abstellpunkten für Shuttles auf P+R-Parkplätzen



Bediengebiet mit den Standorten der Shuttle-Abstellung (Eigene Darstellung)

## Grundlagen Shuttles

- Modellierung in MATSim auf Basis verschiedener Flottengrößen autonomer Shuttles bei der 5%-Stichprobe

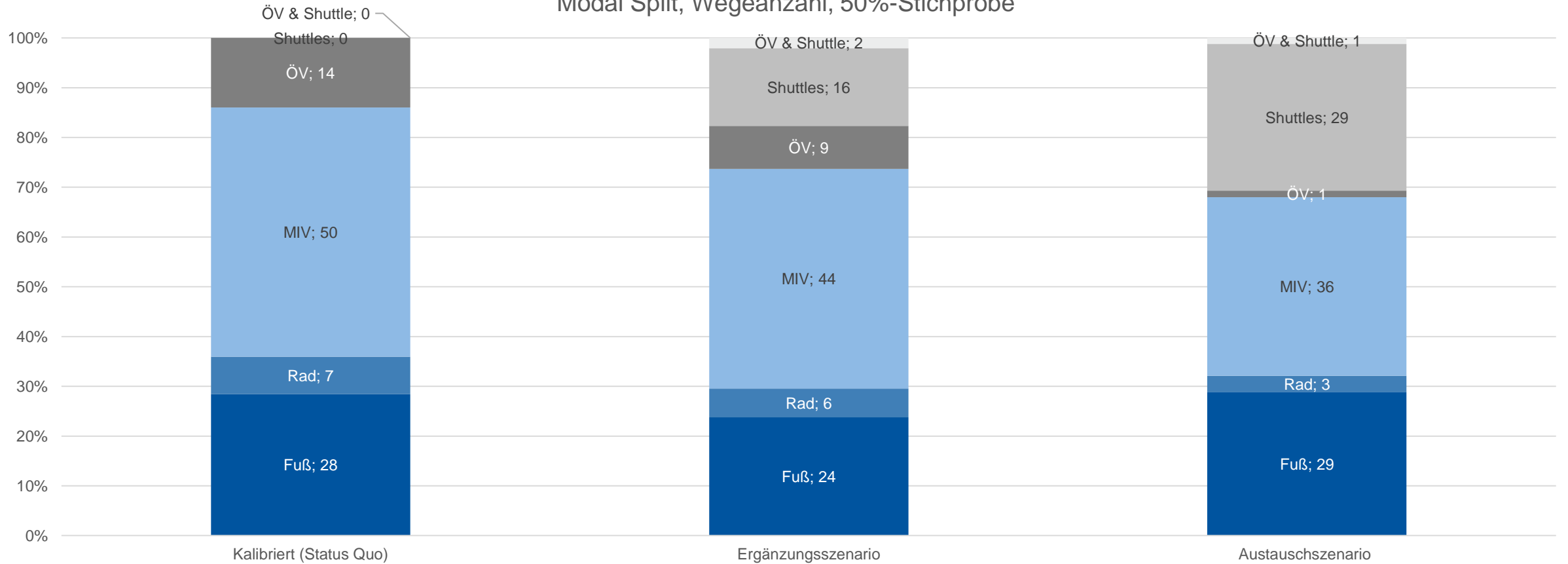


- Angebotsqualität der Shuttles definiert durch Umwegfaktor und Wartezeit
  - Maximaler Umwegfaktor bei Pooling: 1,5
  - Maximal akzeptierte Wartezeit: 10 Minuten

# Gesamtverkehrliche Ergebnisse

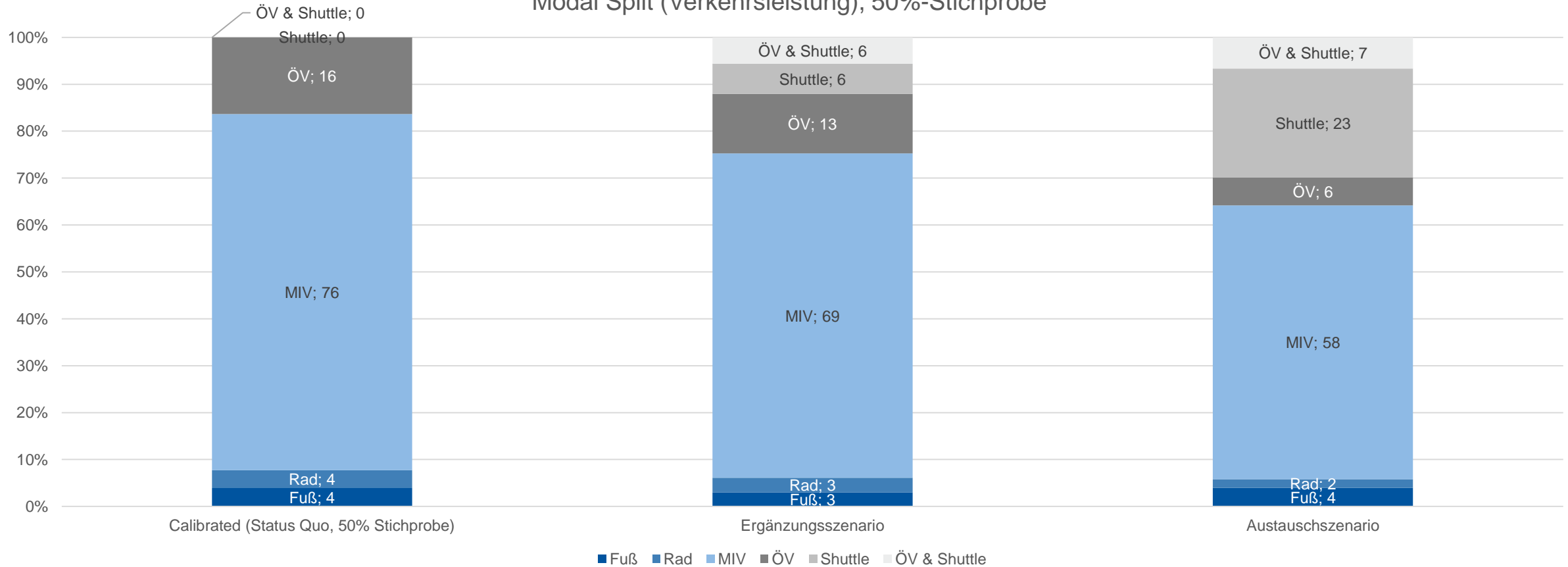
## Modal Split (Anzahl der Wege)

Modal Split, Wegeanzahl, 50%-Stichprobe



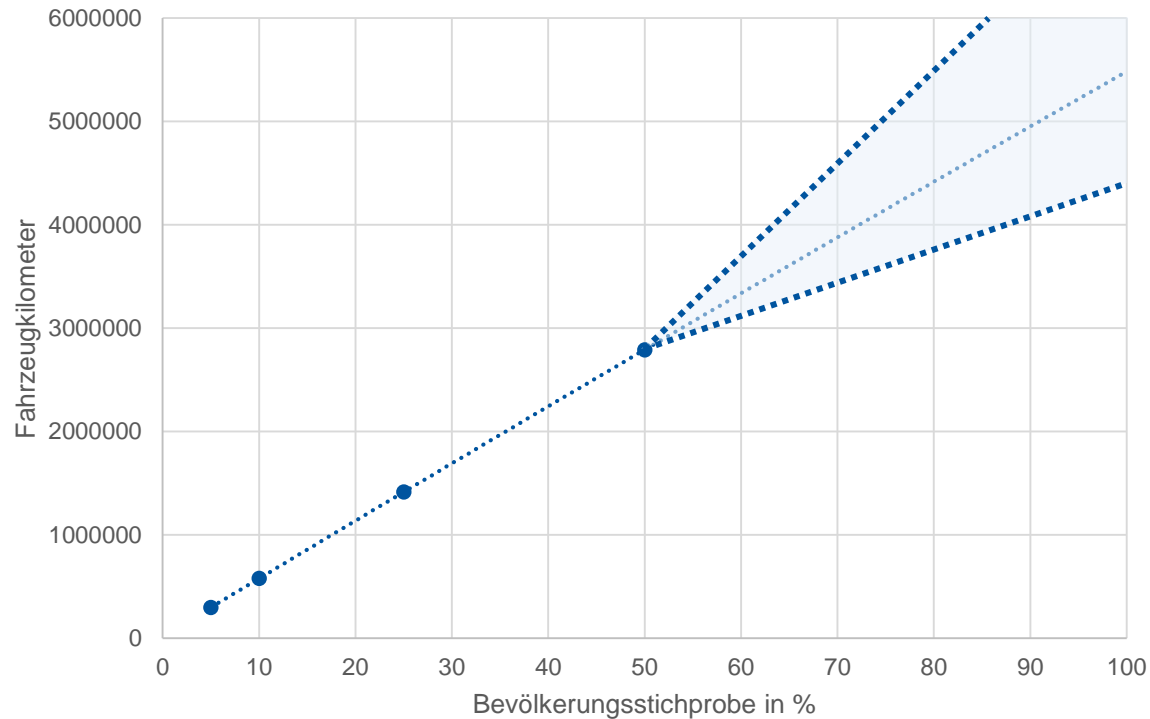
## Modal Split (Verkehrsleistung) ohne Einbezug Wartezeit

Modal Split (Verkehrsleistung), 50%-Stichprobe

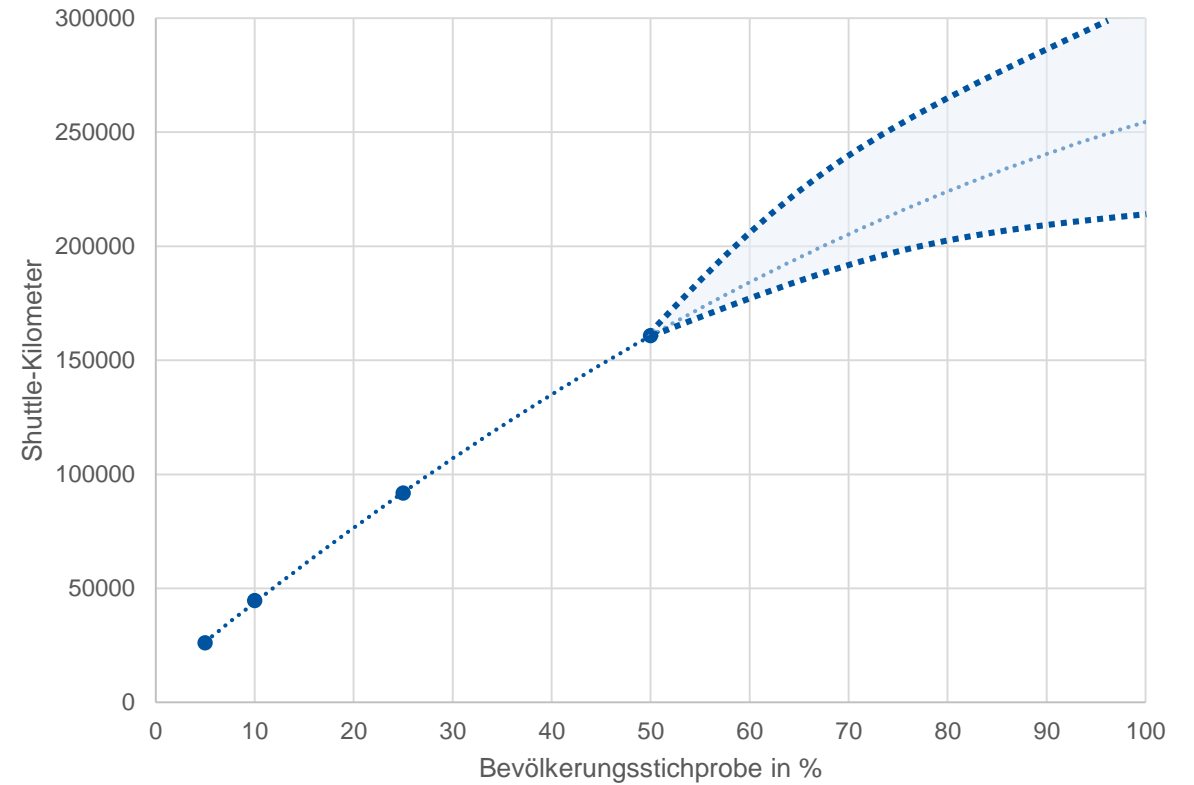


## Hochrechnung auf 100%-Stichprobe

Trendlinie Fahrzeugkilometer PKW  
(Ergänzungsszenario)

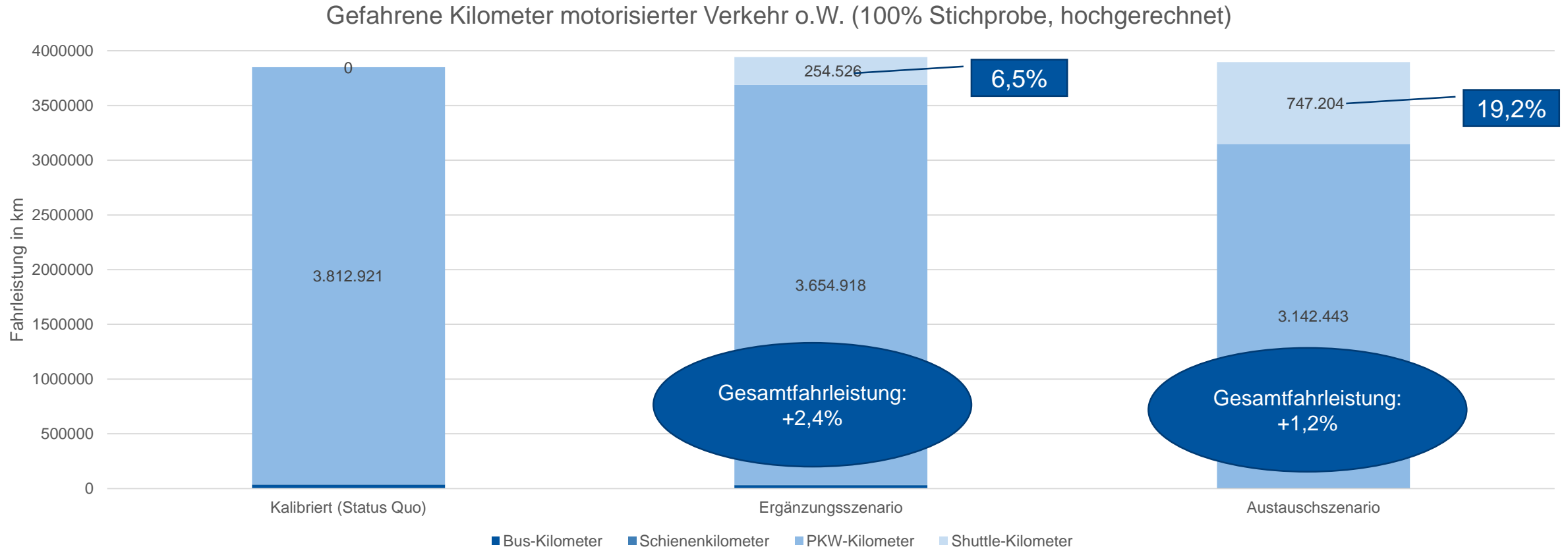


Trendlinie Shuttle-Kilometer (Ergänzungsszenario)



# Gesamtverkehrliche Ergebnisse

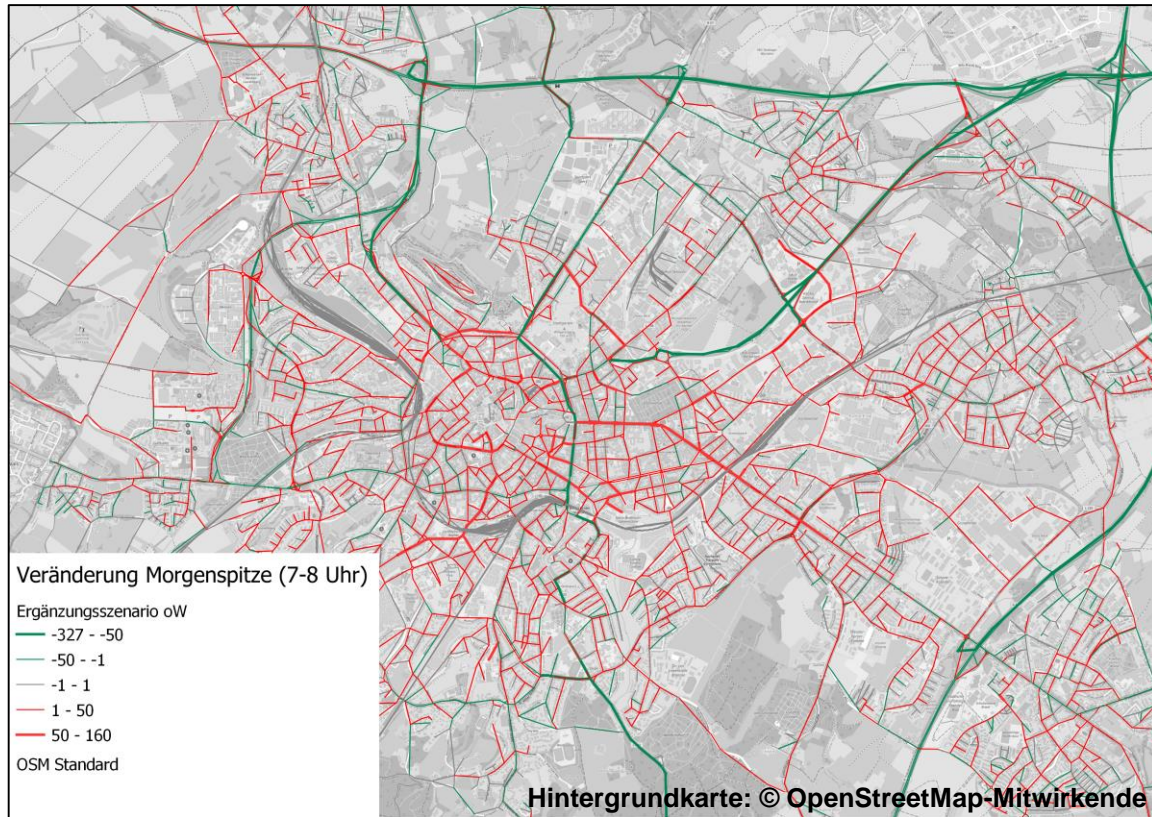
## Fahrleistung motorisierter Verkehr



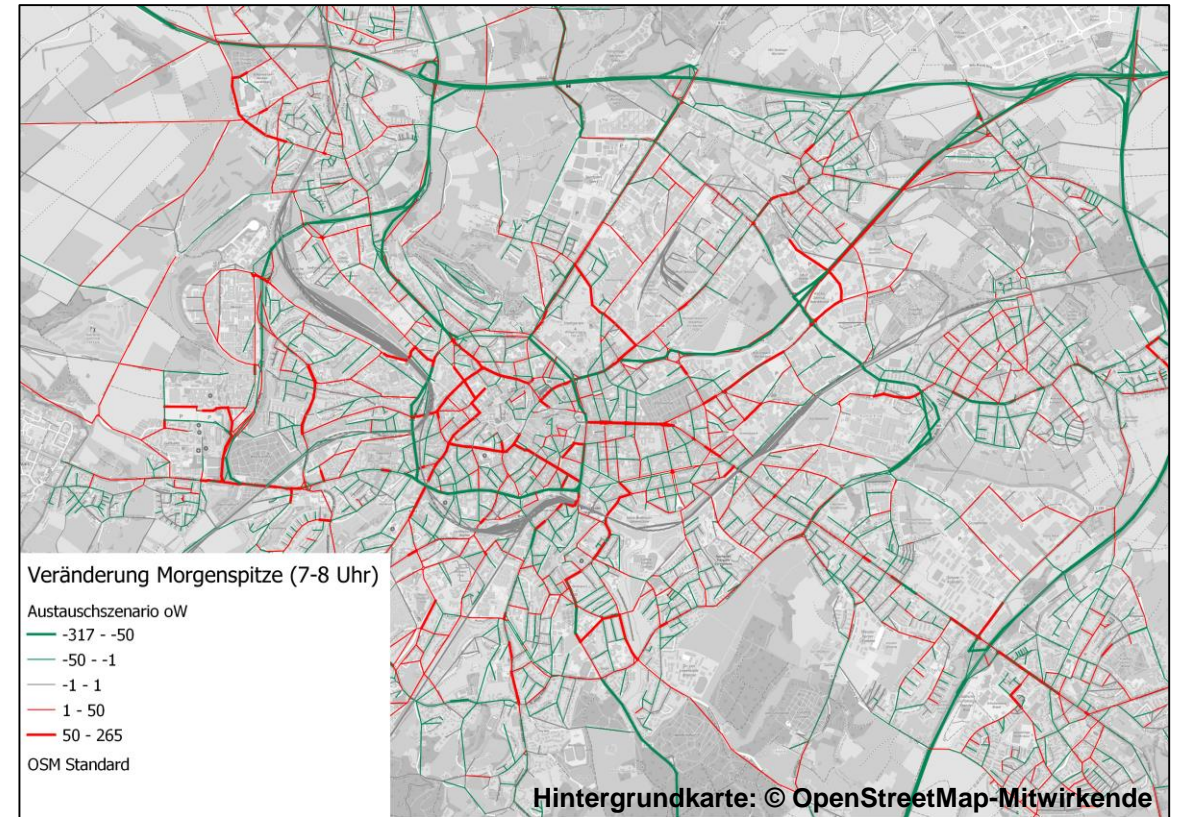


## Veränderte Verkehrsmengen (Morgenspitze MIV/Shuttle) Status Quo / Szenarien

### Ergänzungsszenario

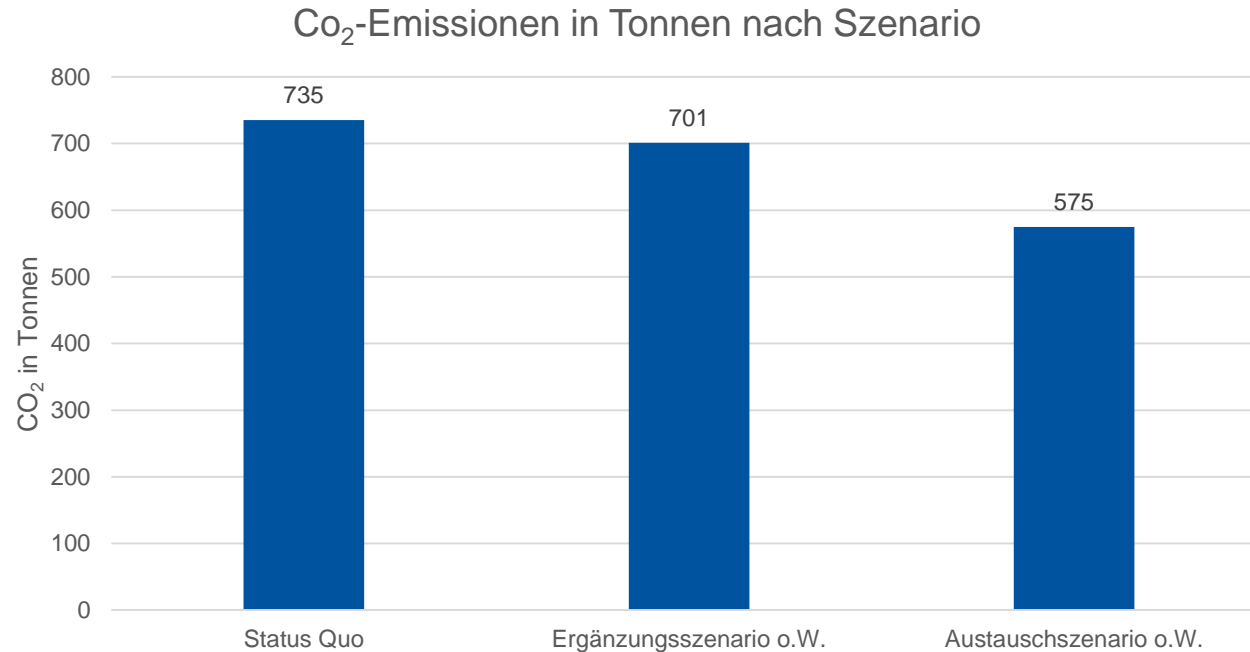


### Austauschszenario



## Tägliche CO<sub>2</sub>-Emissionen

- Annahme: Elektrische Shuttles verkehren lokal emissionsfrei
- Ergebnis: Beide Szenarien können im Modell Co<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren, da Bus- und MIV-Kilometer durch Shuttle-Kilometer ersetzt werden

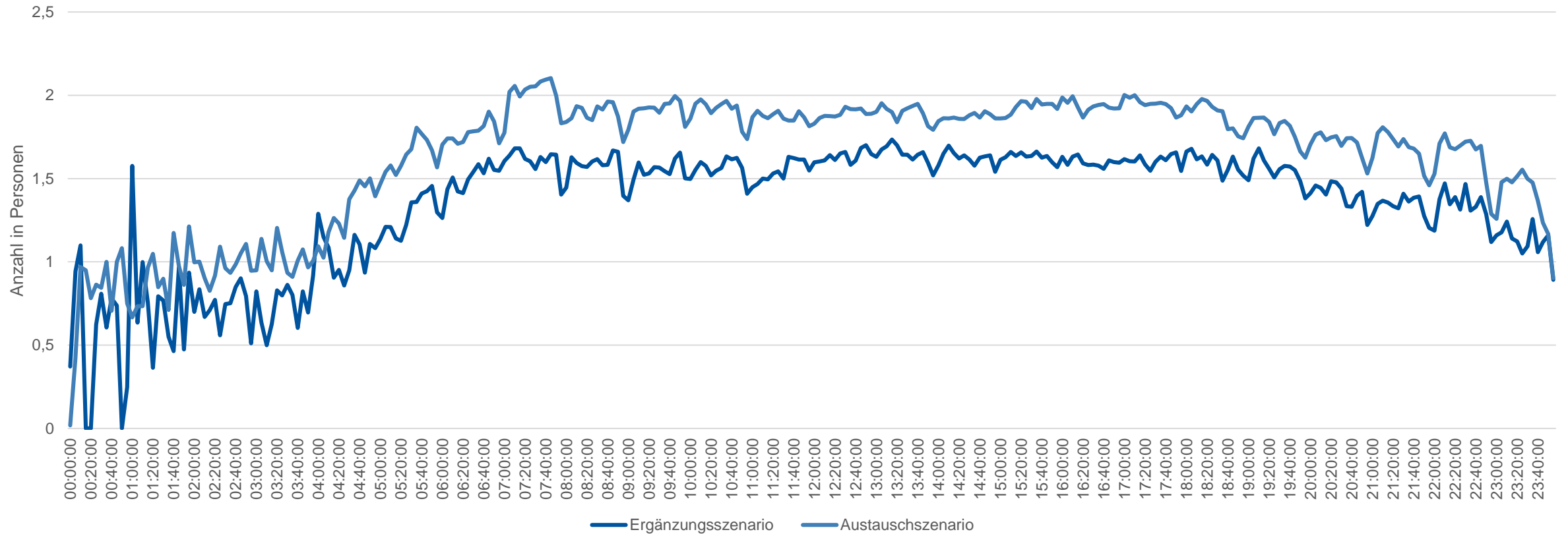


# Spezifische Ergebnisse des Betriebs autonomer Shuttles

# Spezifische Ergebnisse des Betriebs autonomer Shuttles

## Besetzung der Shuttles nach Szenario (50% - Stichprobe)

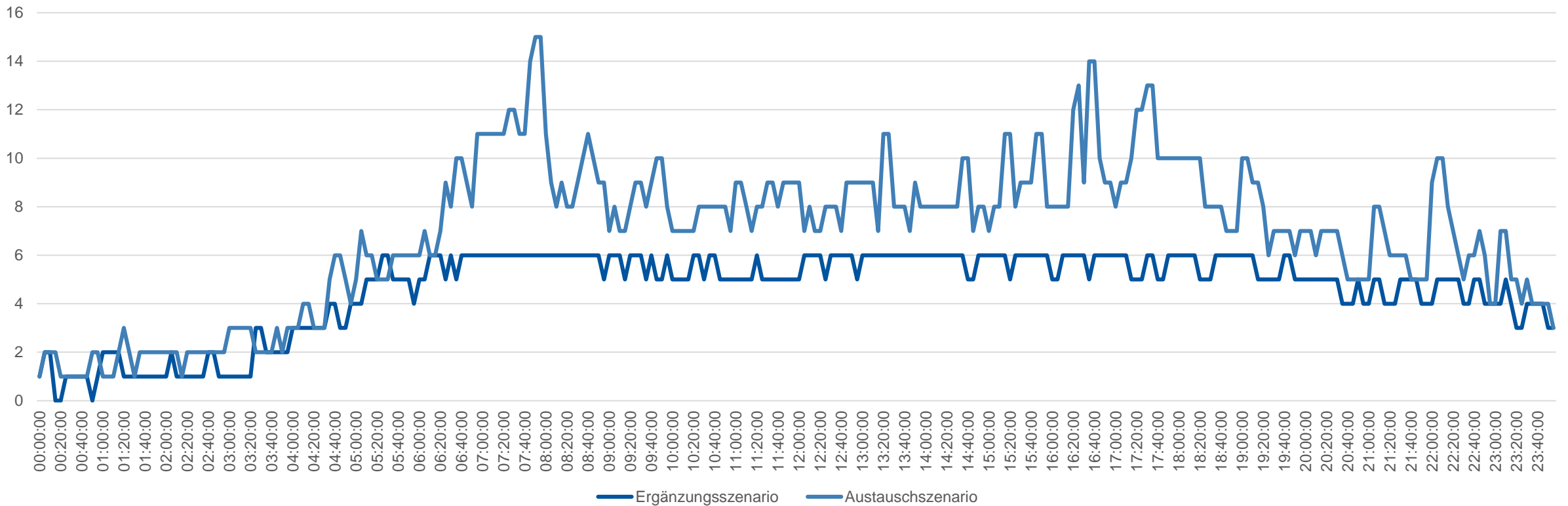
Durchschnittliche Besetzung von benutzten Shuttles



# Spezifische Ergebnisse des Betriebs autonomer Shuttles

## Maximale Shuttle-Besetzung nach Szenario (50% - Stichprobe)

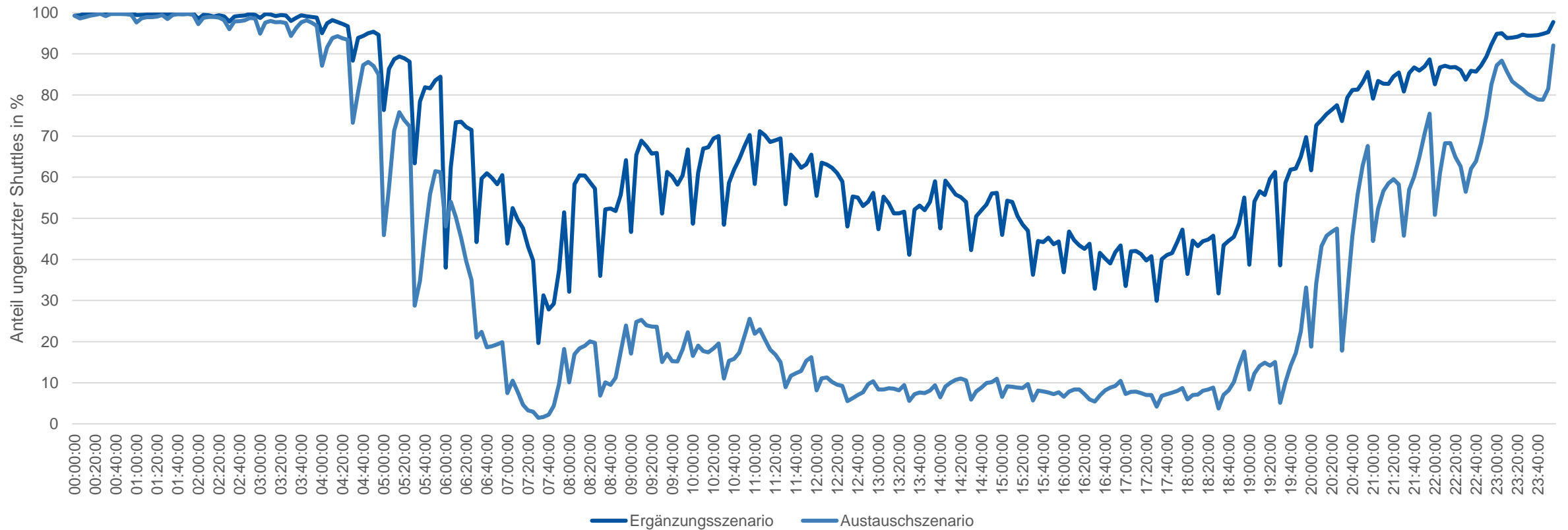
Maximale Besetzung nach Uhrzeit



# Spezifische Ergebnisse des Betriebs autonomer Shuttles

## Anteil ungenutzter Shuttles (50% - Stichprobe)

Anteil ungenutzter Shuttles über den Tagesverlauf in %



## Zusammenfassung und Fazit

- Modal Shift vom MIV, Fuß und Rad auf das Shuttle, Austauschzenario hat einen größeren Impact
- Gesamt-Fahrleistungen des MIV gehen bei beiden Szenarien gegenüber des Status Quo zurück, Fahrleistungen des motorisierten Verkehrs (gesamt) nehmen in beiden Szenarien zu
- In beiden Szenarien lassen sich Verkehrsverlagerungen im gesamten Straßennetz erkennen
- Flottengröße der Shuttles kann noch optimiert werden
- Kapazität von 6 wird auf bestimmten Relationen im Tagesverlauf erreicht, theoretisch ist auch ein 25-Personen-Shuttle (im Austauschzenario) komplett auslastbar

## Offene Punkte

- Keine Optimierung der Flottengröße – Entscheidung auf Basis der 5%-Bevölkerungstichprobe und lineare Skalierung
  - Flottengröße bisher nicht an Shuttle-Kapazität der Szenarien angepasst
  - Shuttle-Flotte kann vermutlich in beiden Szenarien reduziert werden
- Wegekette Shuttle – ÖV – Shuttle sollte abbildbar sein.
- Annahmen zur Verkehrsmittelwahl basieren auf heutigen Erfahrungen und sind nicht auf On-Demand-Verkehre abgestimmt.
  - Wartezeit auf das Shuttle hat einen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl und die Reisegeschwindigkeit
  - Wird die Wartezeit auf das Shuttle zuhause genauso wahrgenommen, wie die Wartezeit auf ein ÖPNV-Verkehrsmittel?

**Gesamtfazit:** Wissen über Verkehrsmittelwahl bei Einführung neuer Verkehrsmittel mit neuen Charakteristika begrenzt für Modellierung der Verkehrsmittelwahl. Die Ergebnisse sind sehr stark geprägt von heutigen Annahmen und beeinflussen das Ergebnis.



# Fragen und Diskussionsrunde

## Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Kuhnimhof

Mies-van-der-Rohe-Straße 1  
52074 Aachen

+49 / 241 / 80 - 25200 (Sekretariat)

+49 / 241 / 80 - 22247

institut@isb.rwth-aachen.de

www.isb.rwth-aachen.de

Dr.-Ing.

**Conny Louen**

Telefon: +49 / 241 / 80 – 25201

Mail: louen@isb.rwth-aachen.de



## NAIXTransit Team

M.Sc.

**Pradeep Burla**

Telefon: +49 / 241 / 80 – 25201

Mail: burla@isb.rwth-aachen.de



M. Sc.

**Niklas Höing**

Telefon: +49 / 241 / 80 – 25235

Mail: hoeing@isb.rwth-aachen.de



M. Sc.

**Carina Böhnen**

Telefon: +49 / 241 / 80 – 26207

Mail: boehnen@isb.rwth-aachen.de



## Quellen

- **W. Weimer-Jehle 2013.** ScenarioWizard 4.1 - Programm zur qualitativen System- und Szenarioanalyse mit der Cross-Impact Bilanzanalyse (CIB). Bedienungsanleitung.
- **Horni, A.; Nagel, K.; Axhausen, K. 2016:** The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Online abrufbar unter: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/113280>
- Hintergrundkarte © OpenStreetMap-Mitwirkende: verfügbar unter [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org) gemäß der Open Data Commons Open Database Lizenz durch die OpenStreetMap Foundation (OSMF).  
[www.openstreetmap.org/copyright](http://www.openstreetmap.org/copyright)