

# SIMSAEV ONLINE WORKSHOP

22. Oktober 2021

**Dr Stefanie Peer**

Associate Professor – Department Soziökonomie, Forschungsinstitut Raum- und Immobilienwirtschaft

**Dr Johannes Müller**

Scientist at Center for Energy – Digital Resilient Cities and Regions

**Dr Asjad Naqvi**

Research Scholar – Advancing Systems Analysis



# ÜBERSICHT

1. Einleitung (15min)
2. Beschreibung des MATSim Verkehrsmodells für Wien (15 min)
3. Szenarien für Shared Autonomous Electric Vehicles (SAEVs)
  - a. Räumlich unbegrenzte Nutzung (20 min)
  - b. Last-mile Shuttles (20 min)
4. SAEVs & lokale Emissionen (20min)
5. Diskussion & Schlußworte (30min)

*Stefanie Peer*  
*Johannes Müller*

*Johannes Müller*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*



# PROJEKTÜBERSICHT

## Projektpartner:



**WU:** Stefanie Peer



**AIT:** Johannes Müller, Gerald Richter, Christian Rudloff, Markus Straub, Martin Zach



**IIASA:** Asjad Naqvi

**Projektdauer:** 30 Monate (Beginn: 01.05.2018)

**Fördergeber:** Austrian Climate Research Programme (ACRP) des Österreichischen Klima- und Energiefonds

**Website:** [simsaev.eu](http://simsaev.eu)

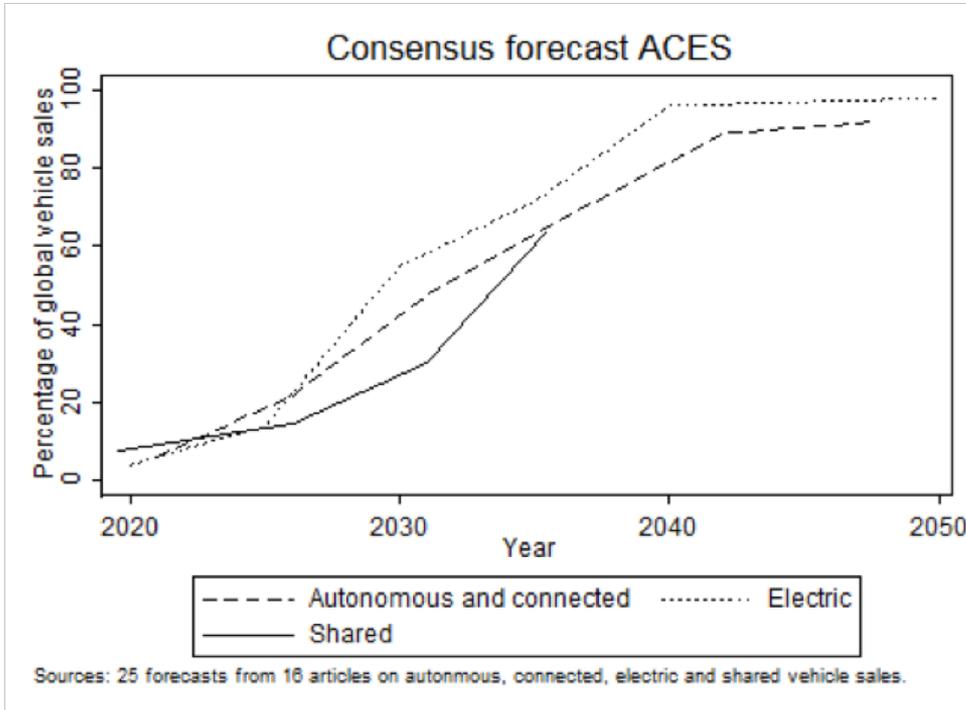
# MOTIVATION

- In absehbarer Zeit werden voraussichtlich **selbstfahrende Elektrofahrzeuge mit Car- & Ride-Sharing-Optionen (SAEVs)** auf den Markt kommen.
  - (1) Elektrifizierung (EVs)
  - (2) Automatisierung: ermöglicht selbstfahrende Fahrzeuge (AVs)
  - (3) Digitalisierung: ermöglicht Car- und Ride-Sharing (SVs)
- Können SAEVs zur **Reduktion von CO2 Emissionen im Verkehrssektor** beitragen?
- Tiefgreifender Wandel im Mobilitätssektor mit potenziell starken **ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen** absehbar
  - Technologische Entwicklungen, Klimaziele
- Die typischerweise **starke Pfadabhängigkeit** in der Verkehrspolitik erfordert frühzeitige politische Maßnahmen

# PROJEKTZIELE

- Identifizierung von **ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen von SAEVs**
  - Synergien und Trade-Offs?
- Erweiterung eines **agentenbasierten Modells (ABM) des Verkehrssystems im Großraum Wien** um ein Modul, das die Simulation von SAEVs ermöglicht
  - Unterschiedliche Annahmen und Szenarien
- Unterstützung der **Entwicklung von verkehrspolitischen Maßnahmen** im Bezug auf SAEVs
  - Die zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen,
  - bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung eines effizienten und sozial gerechten Verkehrssystems

# HINTERGRUND: TECHNOLOGIEENTWICKLUNG



Immense **Investitionen** in technologische Entwicklungen im Bereich Automatisierung

Hohe **technische Herausforderungen** für AVs im gemischten Stadtverkehr

Quelle: Adler, M. W., Peer, S., & Sinozic, T. (2019). Autonomous, Connected, Electric Shared vehicles (ACES) and public finance: an explorative analysis. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 100038.

# KOMPATIBILITÄT ZWISCHEN ELEKTRIFIZIERUNG, AUTOMATISIERUNG UND SHARING



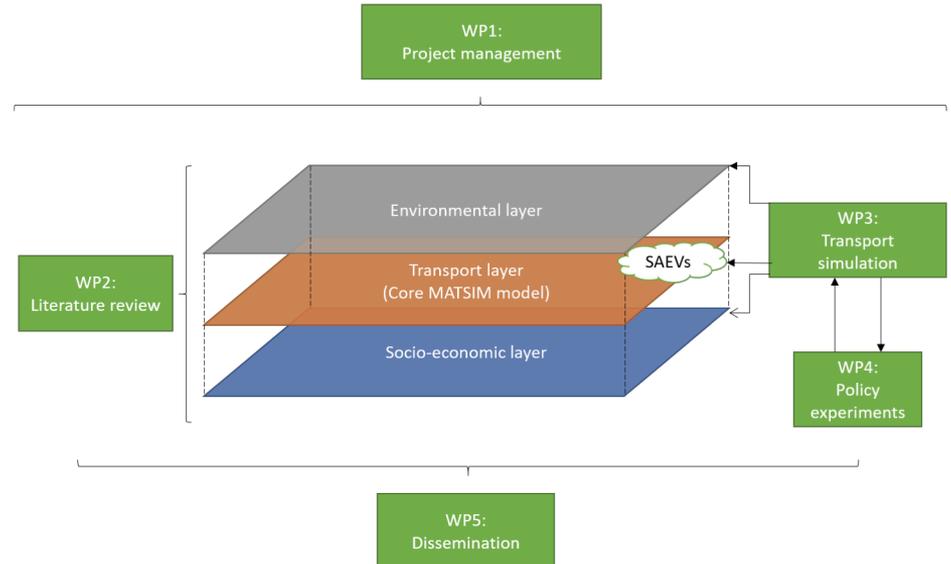
- **Automatisierte Fahrzeuge eher elektrisch betrieben**
  - Elektroautos teurer in der Produktion (zumindest bisher), aber Kosten/km niedrig
  - Ladevorgang kann automatisiert stattfinden
- **Elektroautos sind besonders attraktiv für Nutzer mit hoher Fahrleistung**, wie automatisierte Autos im Flottenbesitz (Sharing)
  - Kauf automatisierter Autos teurer -> Erwartung: privater Autobesitz geht zurück, Sharing nimmt zu
- **Kritische Masse von Nutzern für Sharing Dienste vorhanden**
  - Niedrige Kosten, Bequemlichkeit
  - Ride-sharing wird eher ermöglicht durch automatisierte Koordination zwischen Fahrzeugen

## STAND DES WISSENS

- Es wird erwartet, dass SAEVs die **allgemeinen Reisekosten erheblich senken** und somit ein attraktives Verkehrsmittel für Reisende darstellen (z. B. Meyer et al., 2017).
- SAEV Nutzung aufgrund von Sharing und E-Motor aus Umweltperspektive vorteilhaft
  - Allerdings abhängig davon, in **welchem Ausmaß Fahrten mit herkömmlichen Autos durch SAEV Fahrten ersetzt werden**
- Viele neuere Studien (vor allem Simulationsstudien) zeigen, dass SAEVs mit einem **starken Anstieg der zurückgelegten Fahrzeugkilometer** und damit negativen Externalitäten wie Staus und Zersiedlung einhergehen (Siehe zB Meta-Analyse von Pernestal & Kristoffersson, 2019)
  - Außerdem werden in hohem Ausmaß Wege, die zu Fuß, mit dem Rad oder dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt wurden, ersetzt

# PROJEKTSTRUKTUR

- **Umweltebene:** CO<sub>2</sub>- und PM<sub>2,5</sub>-Emissionen, etc.
- **Transportebene:** Anzahl der Fahrzeuge auf der Straße, durchschnittliche Reisezeit, Verkehrsverhältnisse, etc.
- **Sozioökonomische Ebene:** Ungleichheit, Erreichbarkeit, Leistbarkeit der Mobilität, Steuereinnahmen, etc.



# ÜBERSICHT

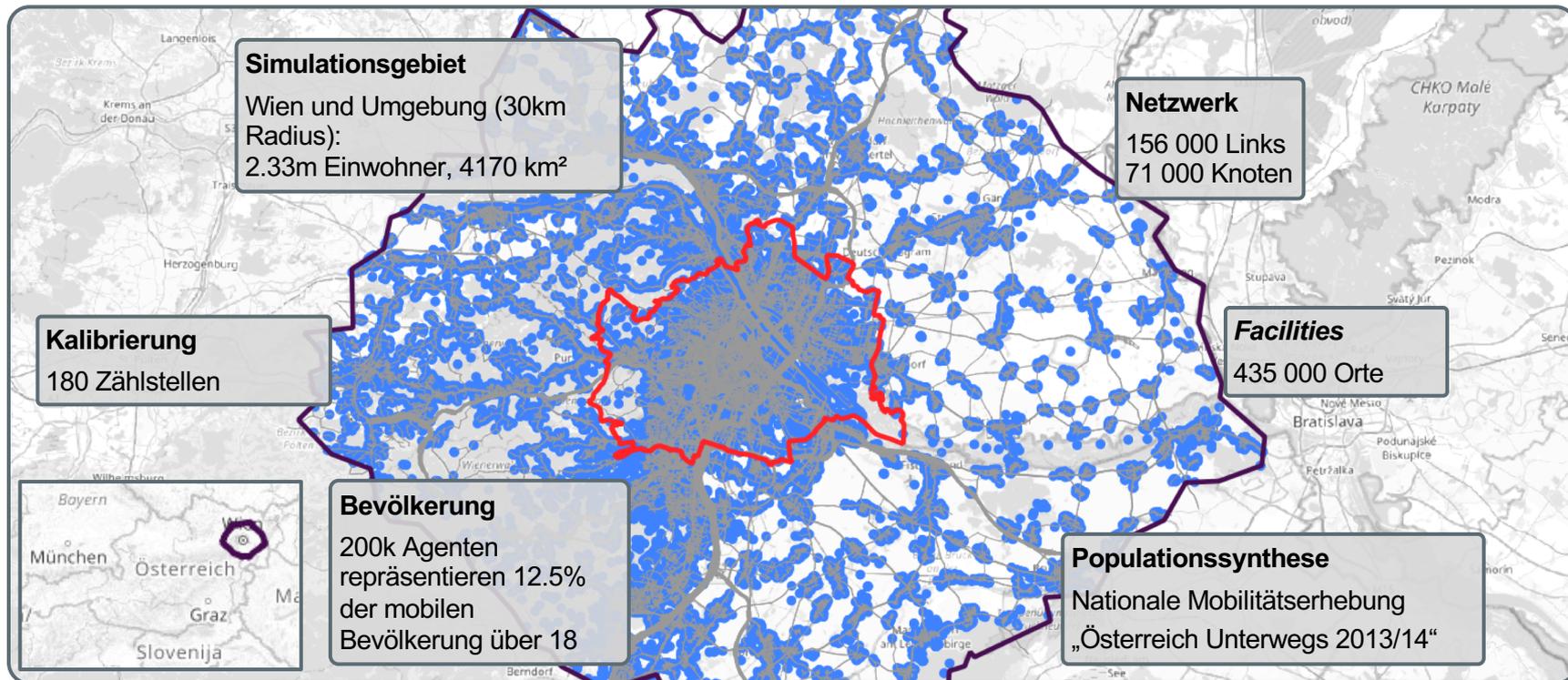
1. Einleitung (15min)
2. **Beschreibung des MATSim Verkehrsmodells für Wien (15 min)**
3. Szenarien für Shared Autonomous Electric Vehicles (SAEVs)
  - a. Räumlich unbegrenzte Nutzung (20 min)
  - b. Last-mile Shuttles (20 min)
4. SAEVs & lokale Emissionen (20min)
5. Diskussion & Schlußworte (30min)

*Stefanie Peer*  
*Johannes Müller*

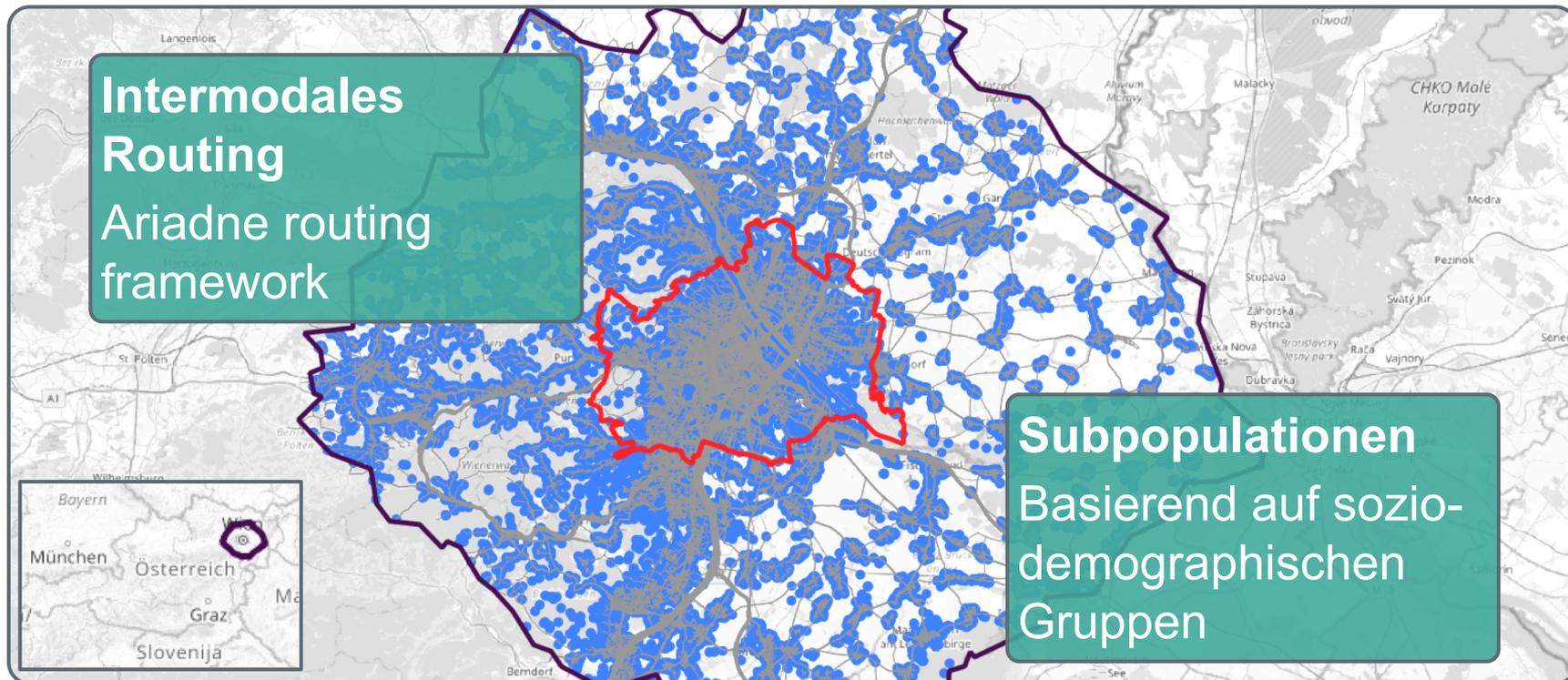
*Johannes Müller*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*



# DAS MODELL IN KÜRZE

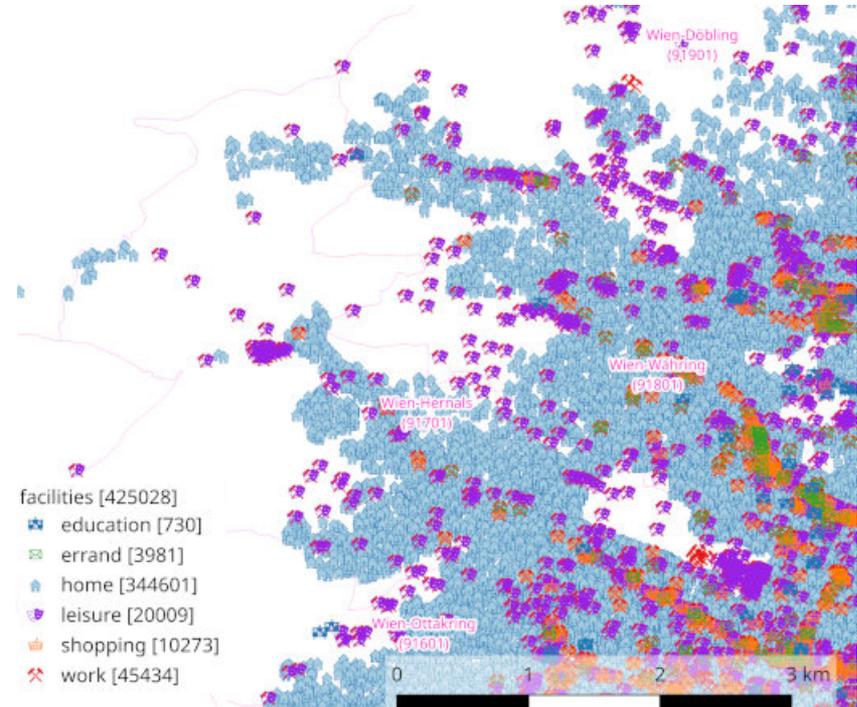


# DAS MODELL IN KÜRZE



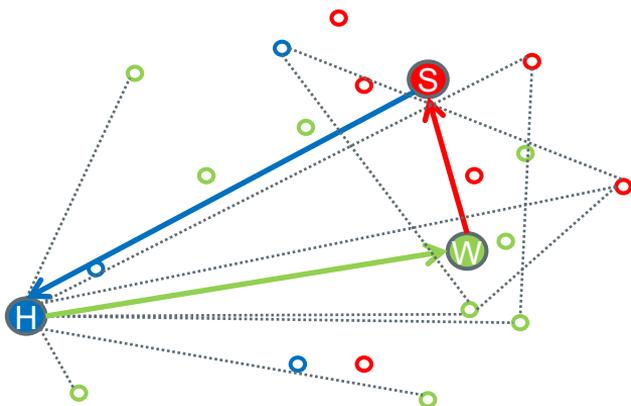
# FACILITIES

- **Education, errand, leisure, shopping**
  - Open Street Map (OSM) point of interests
- **Home**
  - Geostat 1km<sup>2</sup> Bevölkerungsraster
  - OSM Wohngebiete
- **Work** (Arbeitsplatzdaten der WKO\*)
  - **71% Dienstleistungen:** dieselben Facilities wie errand, leisure, shopping
  - **25% produktives Gewerbe:** OSM industrielle Nutzung
  - **4% Landwirtschaft:** ignoriert



# POPULATIONSYNTHESE

- Datenquelle: nationale Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/14“
  - **Auflösung: Bezirksebene**

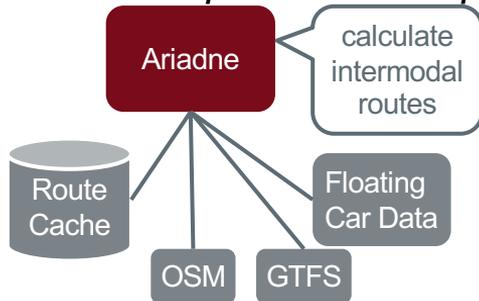


Optimierung: finde die bestmögliche Wegekette, die zur angegebenen Reisezeit passt

- **Synthese mit gewichtetem Resampling**
  - Basierend auf in der Umfrage berechneten Personen-Tagesgewichten für Werktage
- **Clustering** der verschiedenen **Facility locations**
- Räumliche **Disaggregation** der
  - Unter Berücksichtigung der Facility Verteilung
  - **Optimierung** der Facility locations aufgrund der bestmöglichen **Übereinstimmung mit der reporteten Reisezeit**

# ARIADNE INTERMODAL ROUTER

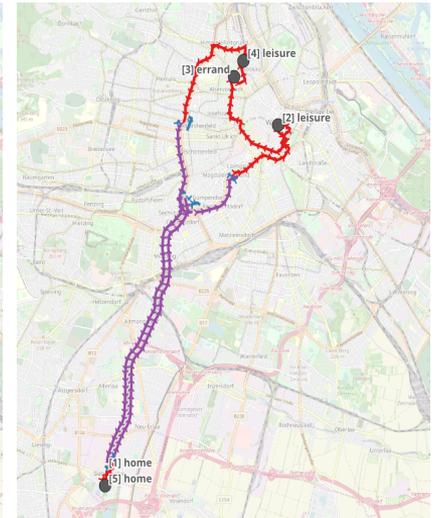
- Berücksichtigte Transportmodi
  - Fuß
  - Fahrrad (inklusive Topografie)
  - Öffentlicher Verkehr
  - Auto
  - Kombinationen: P+R, Bike+Ride,...
  - *Demand-responsive transport (DRT)*



## Intermodal plans of an agent



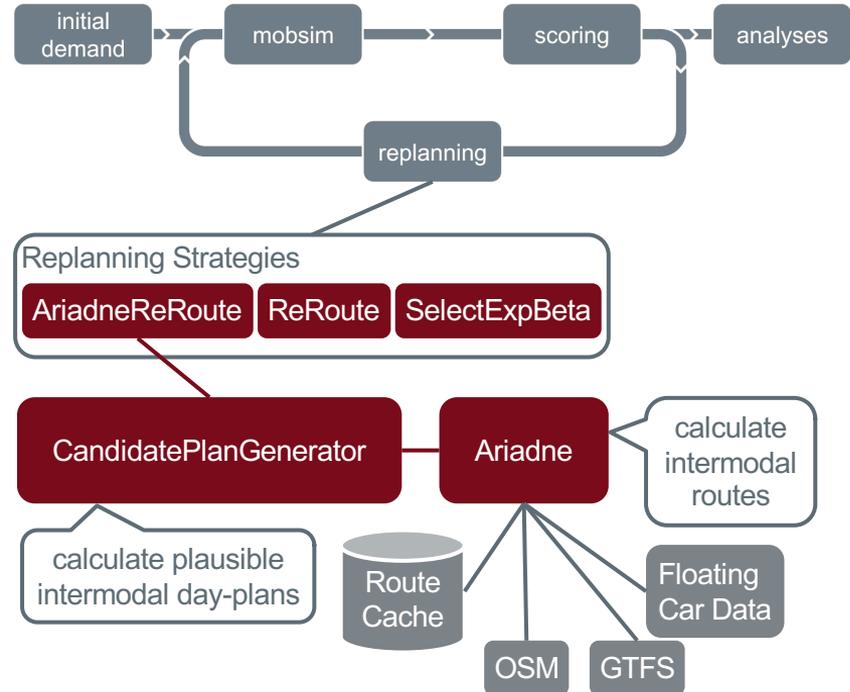
Autoroute



P+R, DRT im Stadtzentrum

# REPLANNING MIT INTERMODALEM VERKEHR

- Replanning in MATSim
  - co-evolutionärer Algorithmus
  - Zufällige Auswahl
  - **Für intermodale Pläne**
    - **Exponentieller Anstieg kombinatorischer Möglichkeiten**
- Lösungsansatz (angelehnt an Hörl et al, 2018\*)
  - **Limitiere mögliche Pläne zu den plausiblen Plänen**
  - **Vorberechnungen der Wege und Caching**
- Simulation
  - Car + DRT: im MATSim Netzwerk
  - andere: Teleportierung mit der vorher berechneten Reisezeit



\* Pairing discrete mode choice models and agent-based transport simulation with MATSim.

# MODEL ZUR WAHL DES VERKEHRSMODUS: INTEGRIERUNG VON SUBPOPULATIONEN

## I. Parameterschätzung für zwei latente Klassen

Stated & revealed  
preference Umfragen



	<i>VTTS_bike</i>	<i>VTTS_car</i>	<i>...</i>	<i>performing</i>	<i>&lt; 35 yrs</i>	<i>...</i>
<i>Class 1</i>						
<i>Class 2</i>						

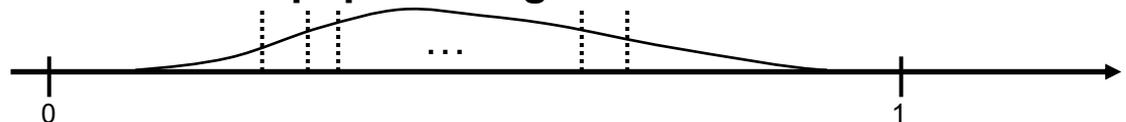
## II. Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Klassenzugehörigkeit

	<i>sex</i>	<i>Age below 35</i>	<i>Age above 55</i>	<i>Kids in household</i>	<i>...</i>
<i>Agent 1</i>					
<i>...</i>					
<i>Agent n</i>					

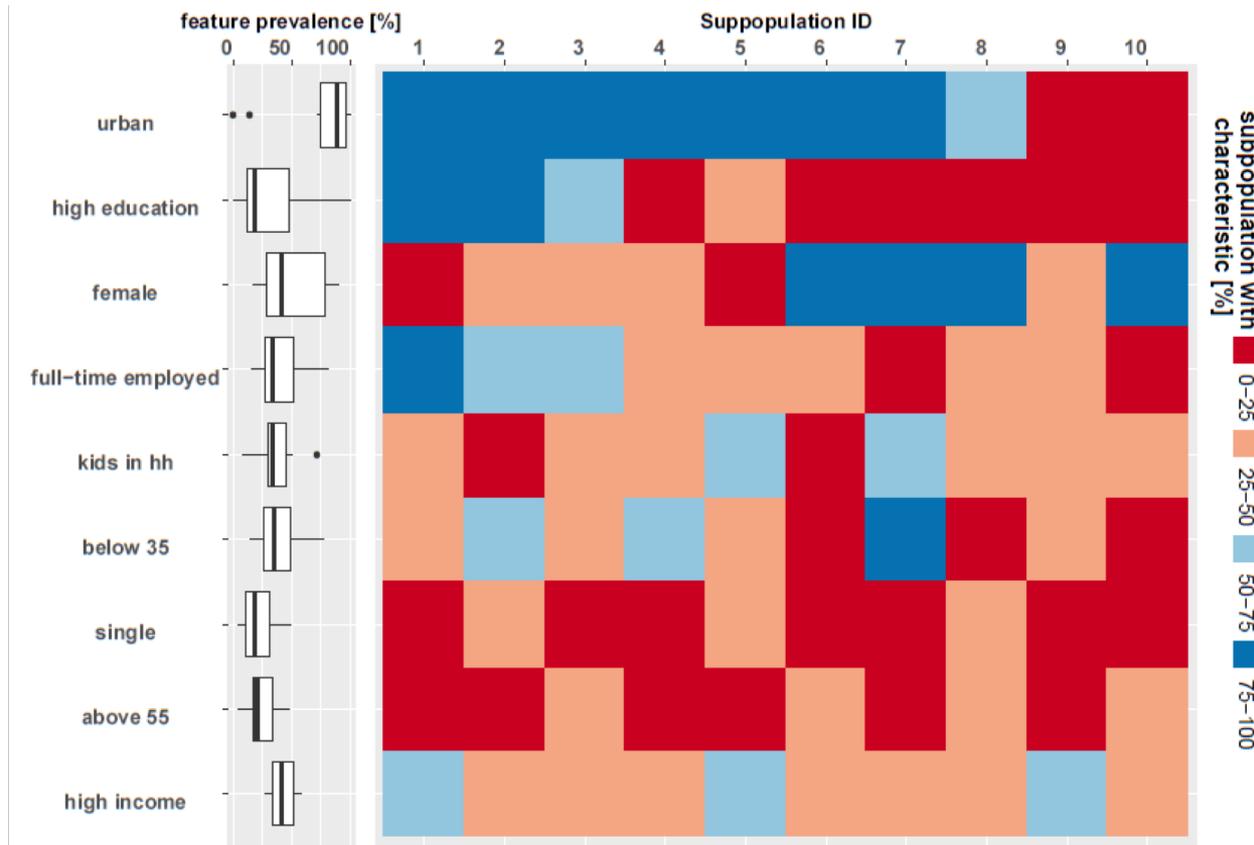


<i>Membership prop for class 2</i>

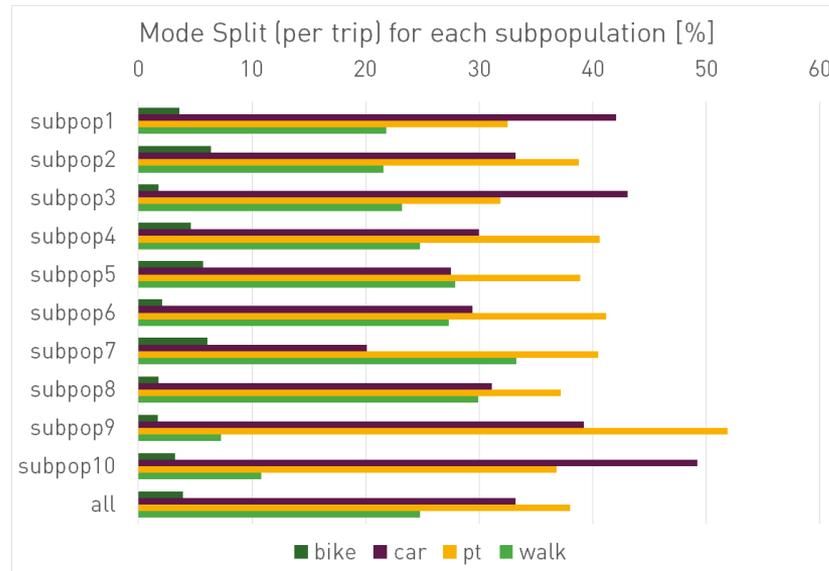
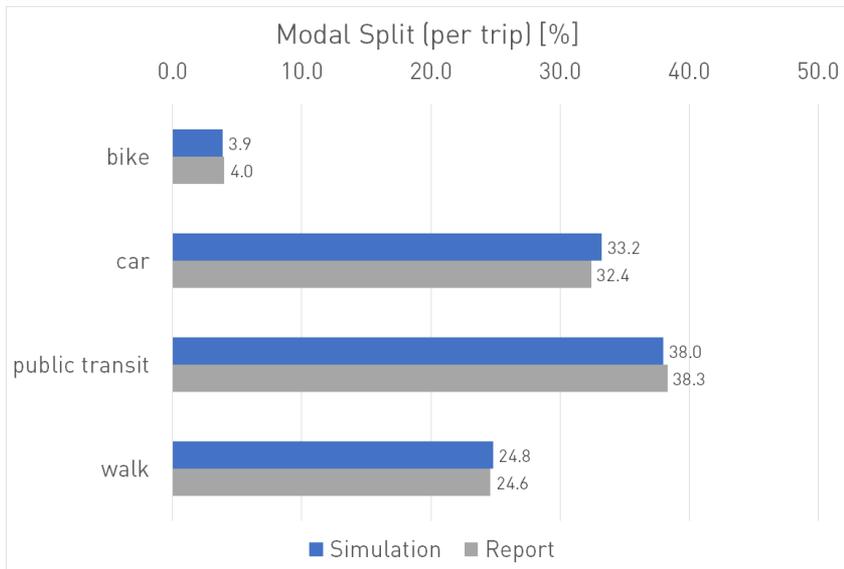
## III. Zuordnung der Agenten zu einer Subpopulation gemäß Wahrscheinlichkeit der Klassenzugehörigkeit



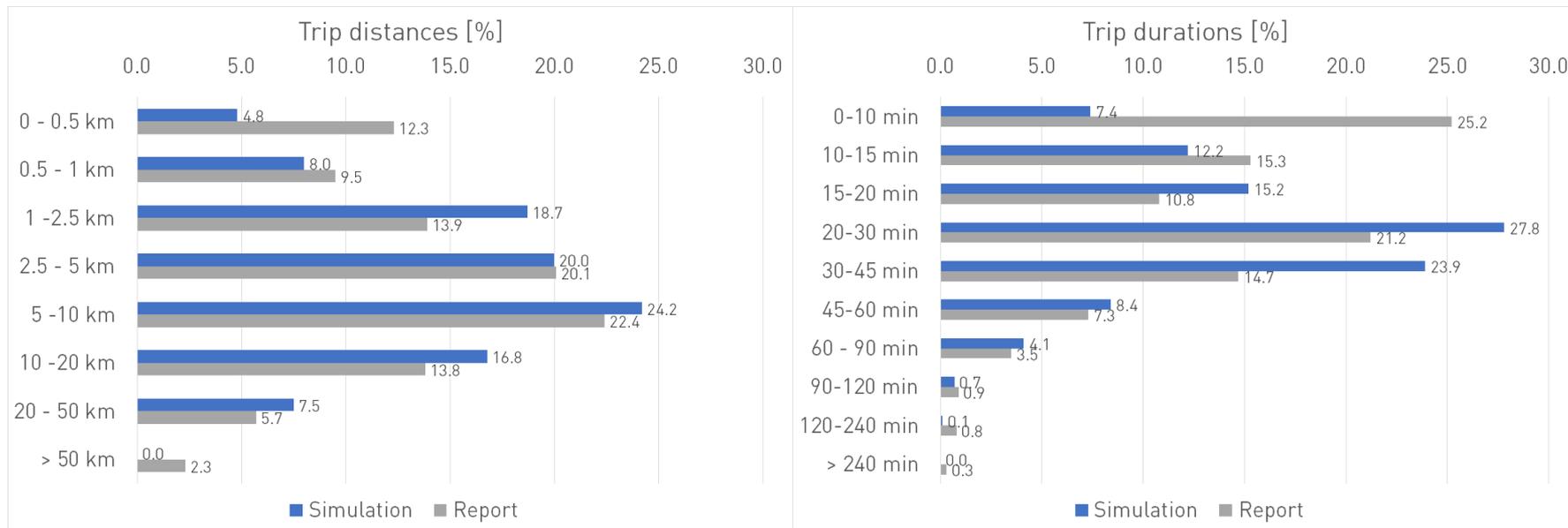
# MODEL ZUR WAHL DES VERKEHRSMODUS: INTEGRIERUNG VON SUBPOPULATIONEN



# KALIBRIERUNG UND VALIDIERUNG



# KALIBRIERUNG UND VALIDIERUNG



## OPEN ACCESS

- Open access release des MATSim Model Vienna
  - **Vollständige 12.5% Population (inklusive der Subpopulationen)**
  - Netzwerk
  - Facilities
- ausgenommen: Ariadne routing



<https://github.com/ait-energy/matsim-model-vienna>

# ÜBERSICHT

1. Einleitung (15min)
2. Beschreibung des MATSim Verkehrsmodells für Wien (15 min)
3. **Szenarien für Shared Autonomous Electric Vehicles (SAEVs)**
  - a. **Räumlich unbegrenzte Nutzung (20 min)**
  - b. Last-mile Shuttles (20 min)
4. SAEVs & lokale Emissionen (20min)
5. Diskussion & Schlußworte (30min)

*Stefanie Peer*  
*Johannes Müller*

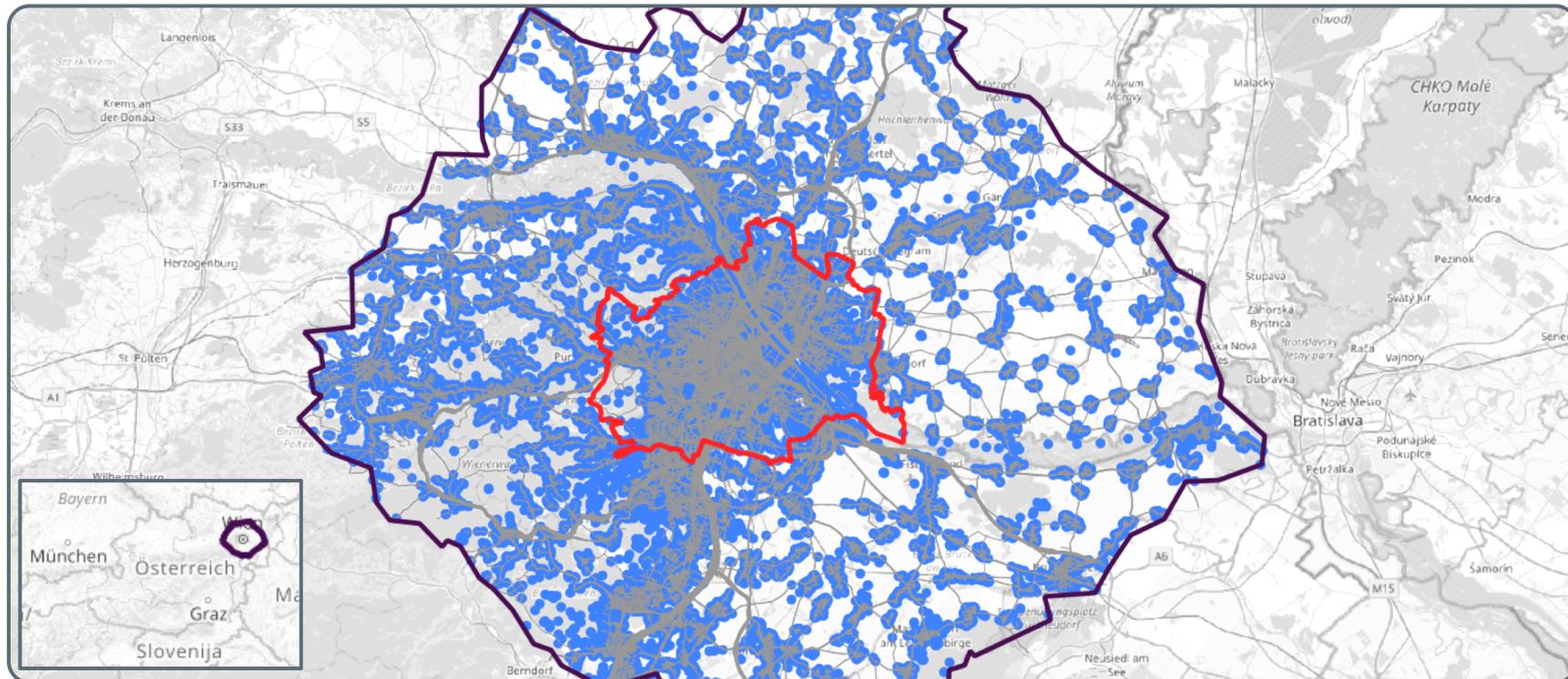
*Johannes Müller*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*



## SAEV – SZENARIO: RÄUMLICH UNBEGRENZT

- **Idee:** SAEVs können überall im Simulationsgebiet gebucht werden
  - Zufällige Verteilung von Fahrzeugen
  - Robotaxis: max 4 Personen pro Fahrzeug
  - Umverteilung nach Nachfrage alle 30 min
- **Forschungsfrage:**
  - Wie verhält sich ein verändertes Angebot von Fahrzeugen auf die Nachfrage?
  - Wie verhält sich ein unterschiedlicher Preis (unterschiedliche Bezuschussung) auf die Nachfrage?
  - Gibt es Unterschiede in der Nachfrage bezüglich sozio-demografischer Faktoren?

# SAEV – SZENARIO: RÄUMLICH UNBEGRENZT



# SAEV – IMPLEMENTIERUNG

## Fahrzeug

Fahrzeug	Person	Weg	Umweg (Faktor)
Poly_13_saev1	100_16089_5	100_16089_5_2	1.1187

## Personen

Person	Fahrzeug	Mode	Weg	Dauer (Sek)
100_16089_5	Poly_13_saev1	drt	100_16089_5_2	766
426_9806_3	Poly_13_saev1	drt	100_16089_5_3	612

## Wegekette

Person	Weg	Mode	Dauer (Sek)
100_16089_5	100_16089_5_2	Walk	0
100_16089_5	100_16089_5_2	drt	766
100_16089_5	100_16089_5_2	walk	0
100_16089_5	100_16089_5_2	pt	580

# SAEV – IMPLEMENTIERUNG



# SAEV – SZENARIO: RÄUMLICH UNBEGRENZT

## Verwendete Module in MATSim

- `dvrp`
- `multiModeDrt`
- `drtfares`
- `ev (optional)`
- `emissions`

## Annahme der Attraktivität von SAEV

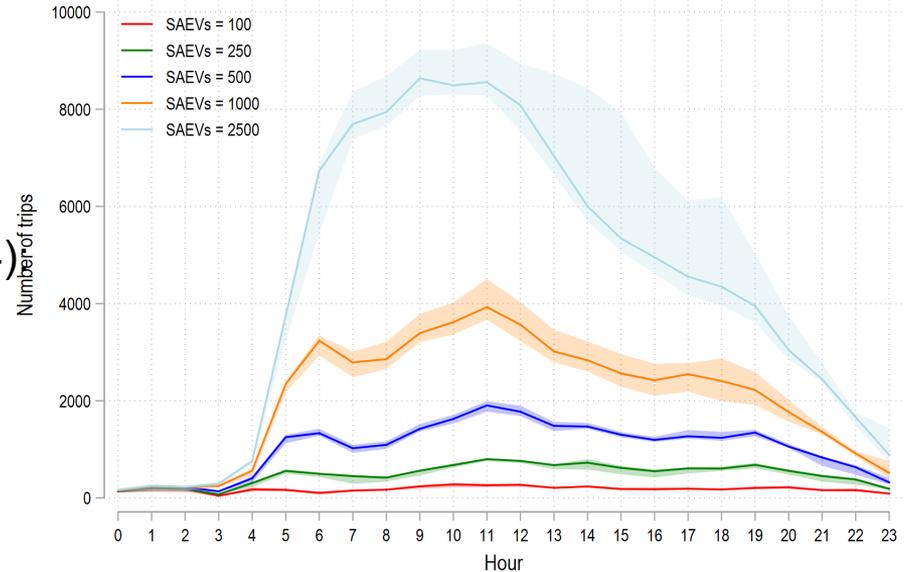
- 75% der VTTS\* eines konventionellen privaten Autos

- Simulationszenarien variieren in den zusätzlichen Kosten und der Flottengröße der SAEVs
  - *0.00 EUR – 0.50 EUR*
  - *100 – 2500 Fahrzeuge*

\* Value of Travel Time Savings

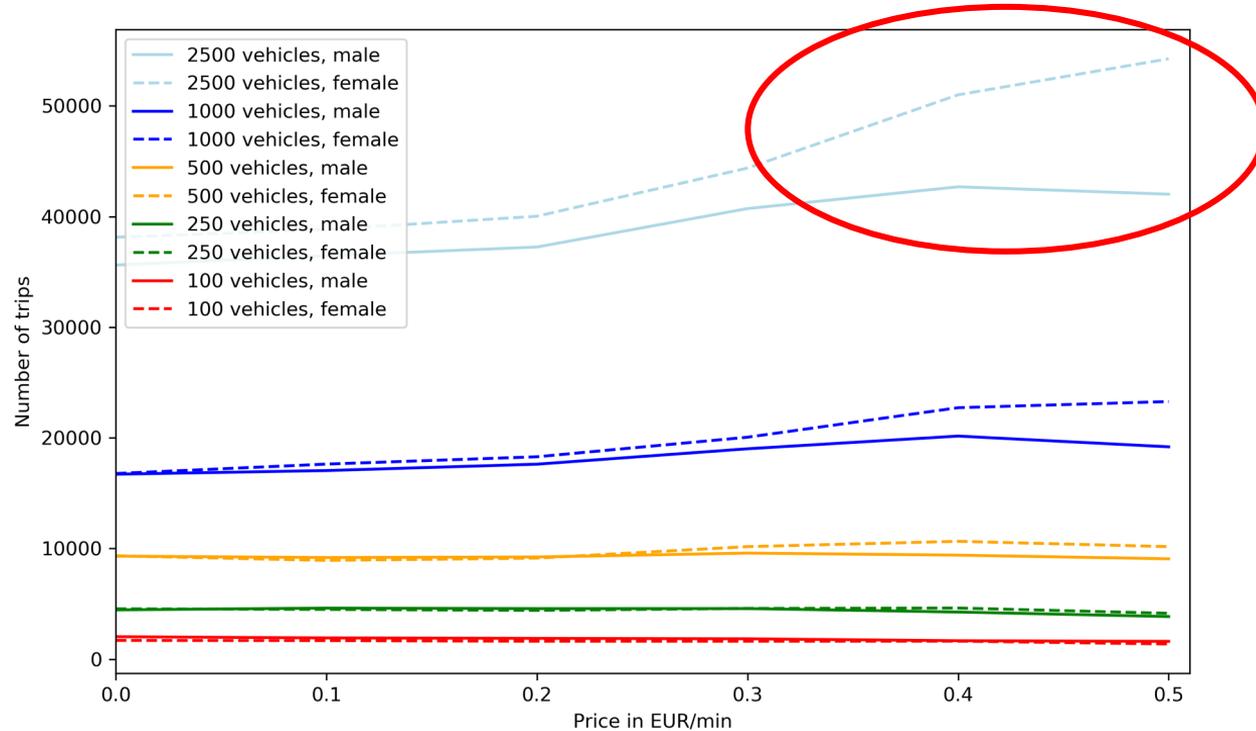
## ERGEBNISSE (1/4)

- **Höchste Nachfrage am Morgen**
- **Größere Schwankungen** in der Nachfrage bei größeren Flottengrößen
- **Besetzungsgrad** (Fahrzeugkapazität: 4)
  - höher für niedrige Preise, z.B.:
    - 100 Fahrzeuge: 1.49 – 1.55
    - 2500 Fahrzeuge: 1.58 – 1.78
- **Fahrzeugkilometer:**
  - Kleine Flotte: 295 km/Fz – 230 km/Fz
  - Große Flotte: 198 km/Fz – 250 km/Fz

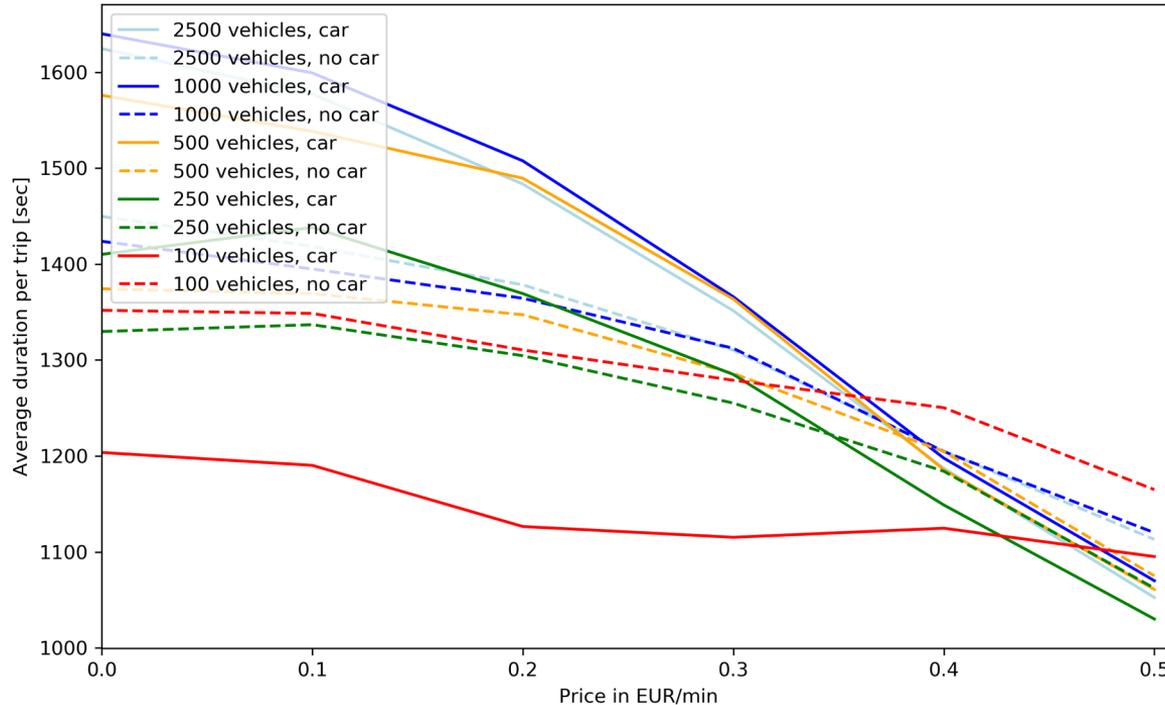


Anzahl an Fahrten mit SAEVs für unterschiedliche Flottengrößen, zusammengefasst für verschiedene Preismodelle (dunkle Linie: Median, Bänder: 10-90. Percentil)

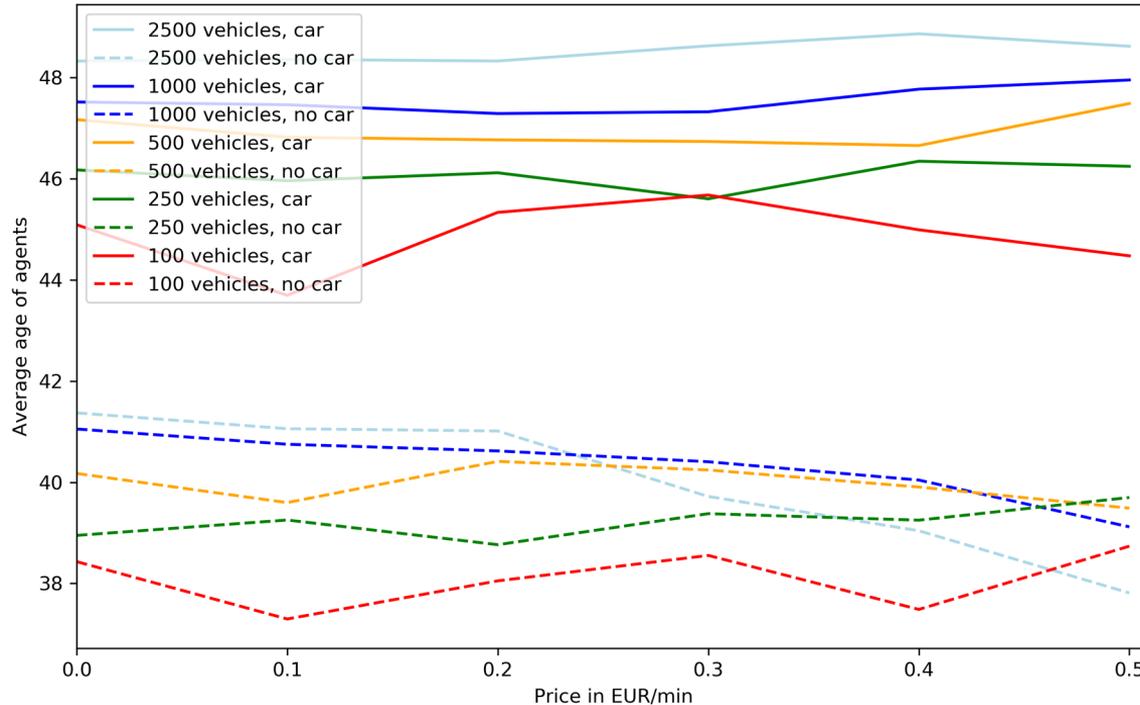
# ERGEBNISSE (2/4)



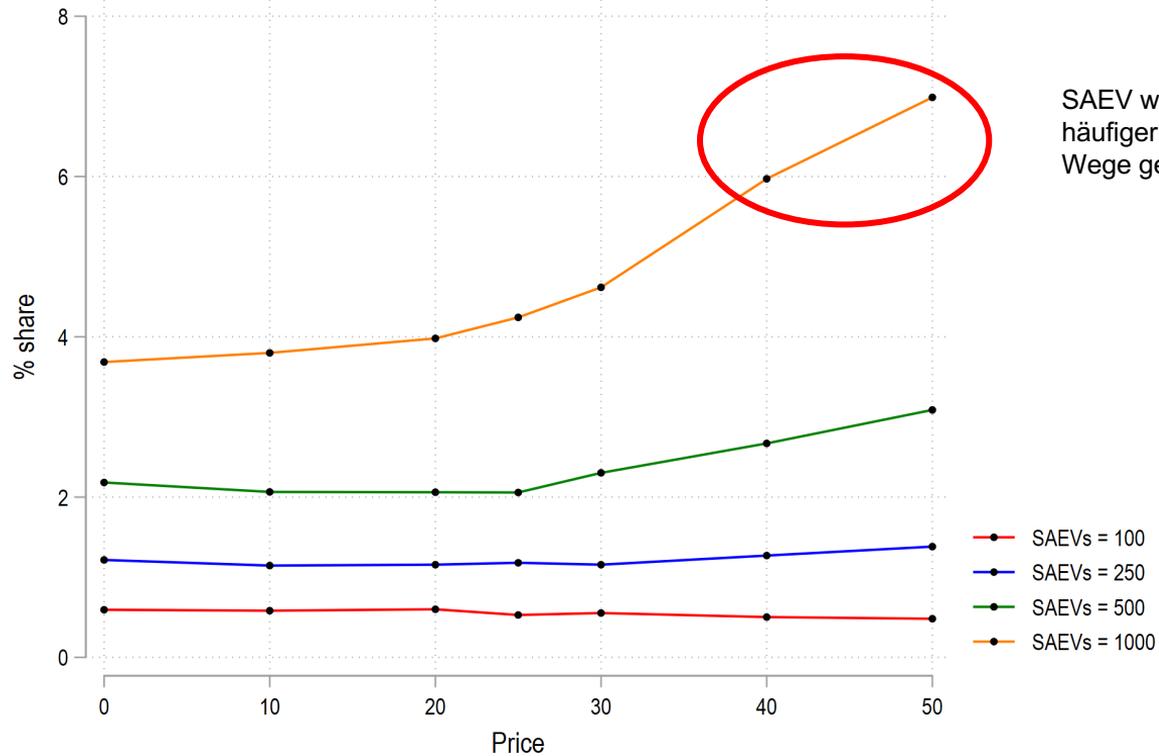
# ERGEBNISSE (2/4)



# ERGEBNISSE (2/4)



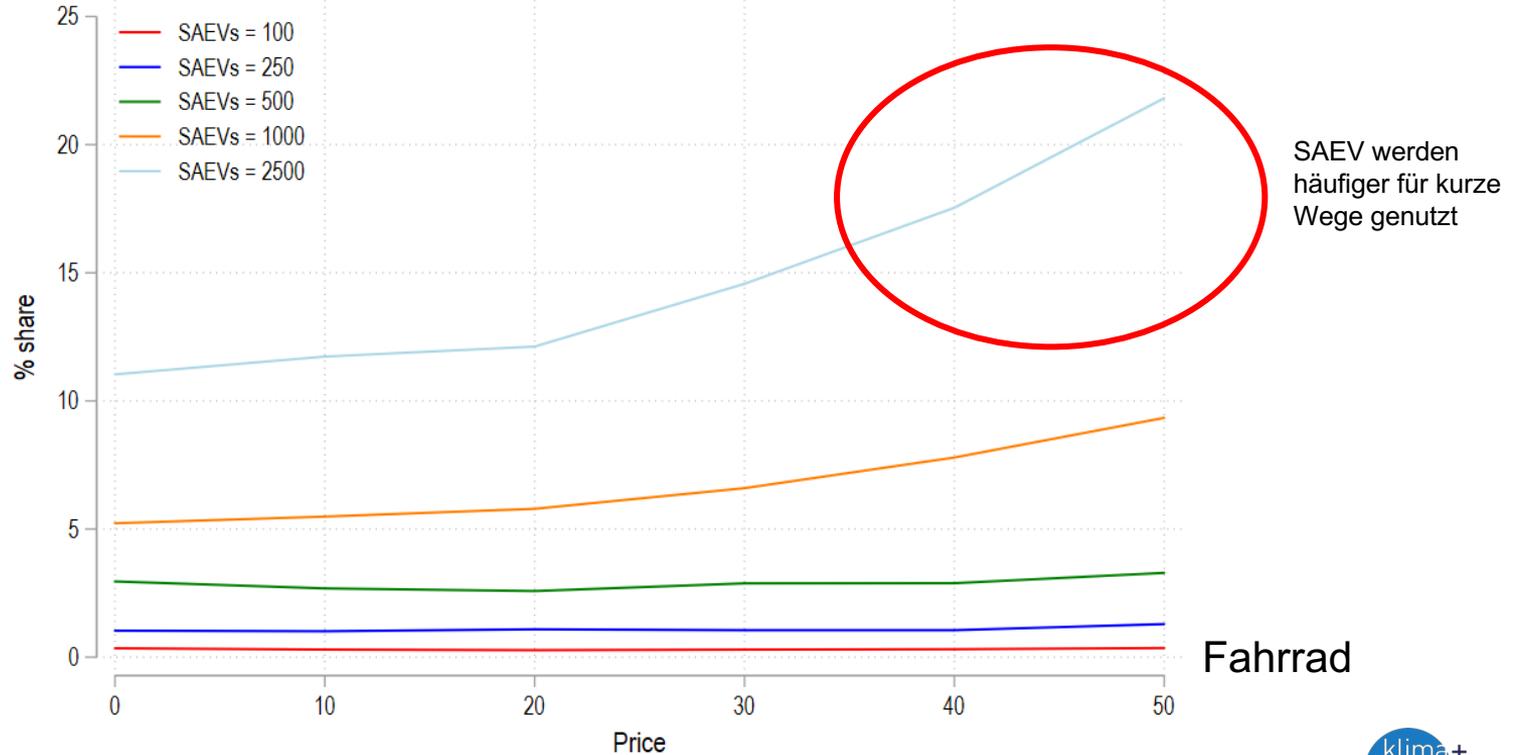
# ERGEBNISSE (3/4)



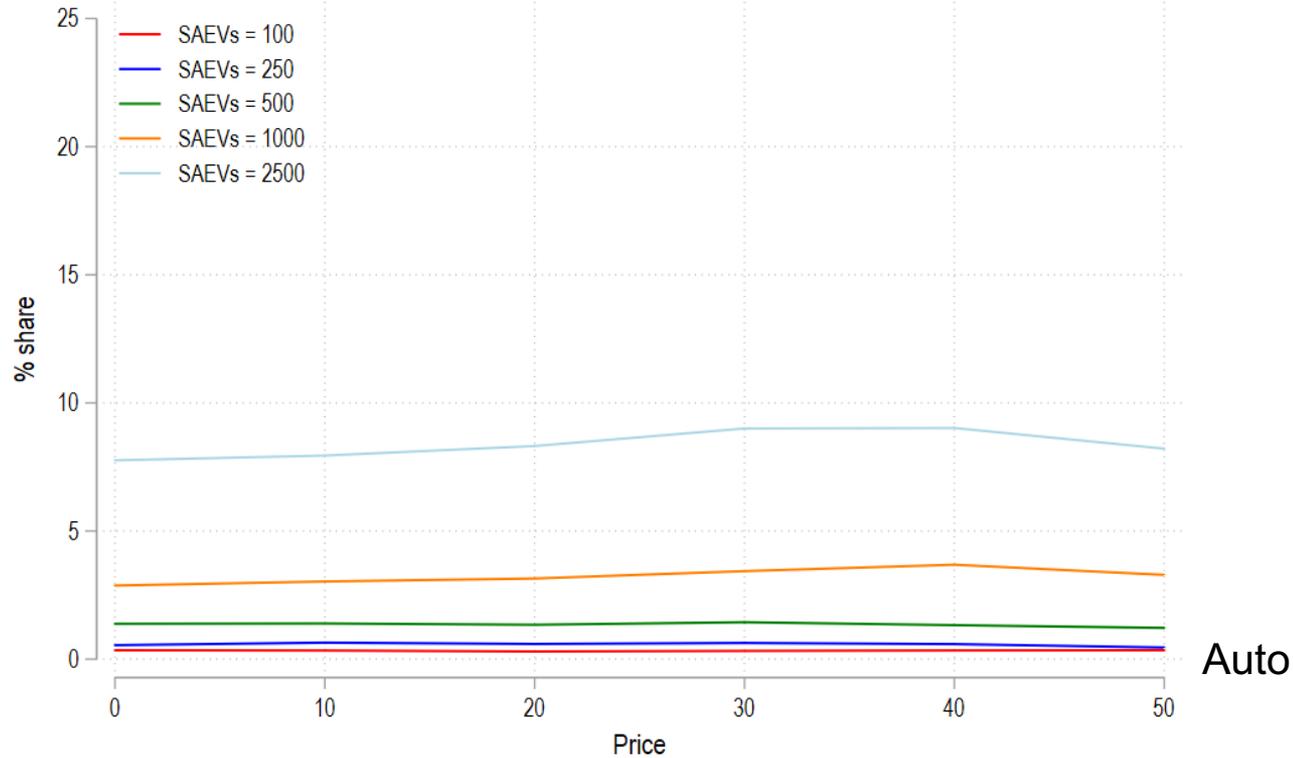
SAEV werden häufiger für kurze Wege genutzt

Fußwege

# ERGEBNISSE (3/4)

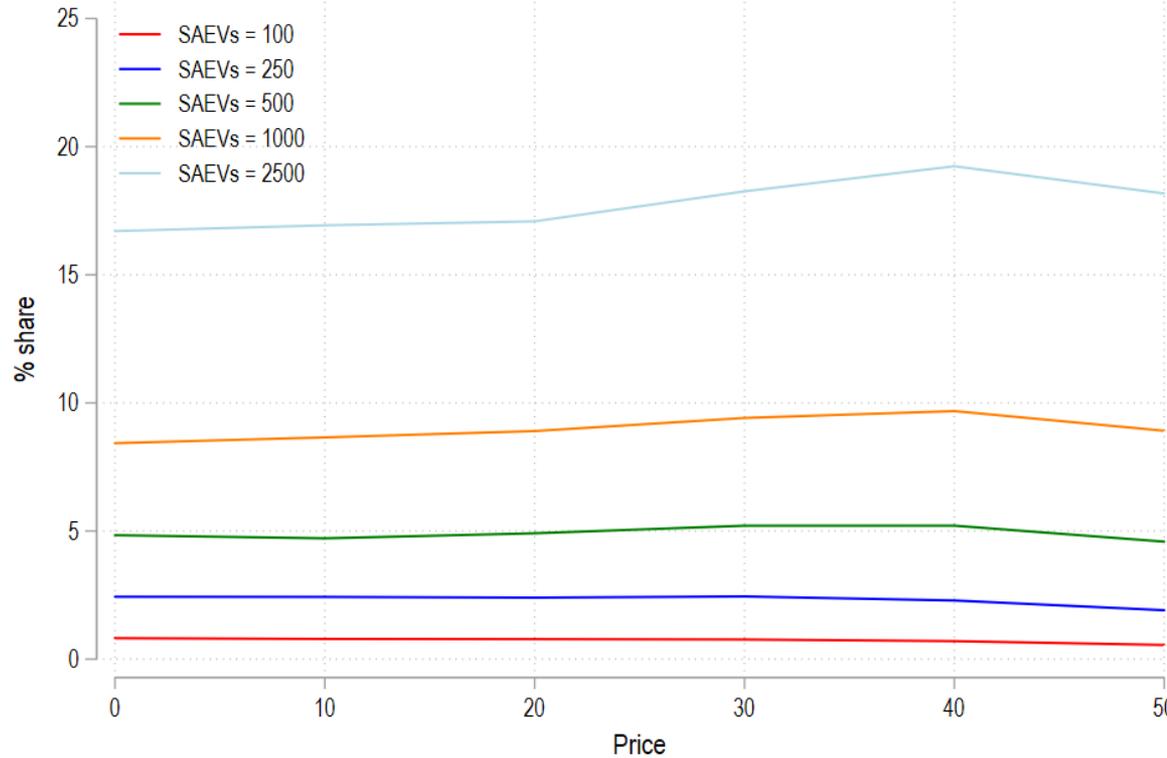


## ERGEBNISSE (3/4)



Auto

## ERGEBNISSE (3/4)



Öffentl. Verkehr

# ERGEBNISSE (4/4)

	All trips			SAEV as main mode	
	(1) Baseline	(2) Experiment	(3) % switch	(4) Baseline	(5) Experiment
Overall	30:57	30:21	5.89	34:58	22:22
Male	32:10	31:30	6.08	36:25	23:40
Female	29:52	29:20	5.71	33:36	21:09
Rural	33:04	33:11	3.72	29:45	21:00
Urban	30:15	29:25	6.60	35:56	22:38
Single: No	31:12	30:40	5.68	34:50	22:40
Single: Yes	30:03	29:15	6.62	35:24	21:29
Age>=35	31:42	31:05	5.62	36:14	23:31
Age>35	28:47	28:14	6.64	31:53	19:35
Car: No	31:44	30:29	7.10	39:06	21:52
Car: Yes	30:31	30:17	5.21	31:53	22:45
Employed: No	28:22	27:47	5.63	32:36	19:44
Employed: Yes	33:26	32:50	6.13	37:05	24:44
Income high: No	31:48	31:02	6.29	36:53	22:42
Income high: Yes	29:51	29:28	5.36	32:03	21:53

Benchmark:  
1000 Fz.,  
0.30 EUR

# WO FINDEN DIE SAEV FAHRTEN STATT?



## ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

- Gesamtreisezeit mit SAEVs sinkt mit höheren Preisen, aber die Anzahl an Fahrten steigt
- Fahrten mit SAEVs ohne privates Auto im Haushalt sind kürzer bei geringeren Preisen
- Kein signifikanter Unterschied im Nutzungsgebrauch bezüglich Geschlecht, aber Frauen nutzen SAEVs tendenziell häufiger
- Reisezeitgewinn insgesamt marginal, bei ärmeren und arbeitslosen Agenten größter Reisezeitgewinn
- Faktoren zur Nutzung eines SAEV:
  - v.a. Nicht-Verfügbarkeit eines Autos
  - SAEVs werden v.a. im zentraleren Stadtgebiet verwendet
- Link zur [TRB Publication](#)

# ÜBERSICHT

1. Einleitung (15min)
2. Beschreibung des MATSim Verkehrsmodells für Wien (15 min)
3. **Szenarien für Shared Autonomous Electric Vehicles (SAEVs)**
  - a. Räumlich unbegrenzte Nutzung (20 min)
  - b. **Last-mile Shuttles (20 min)**
4. SAEVs & lokale Emissionen (20min)
5. Diskussion & Schlußworte (30min)

*Stefanie Peer*  
*Johannes Müller*

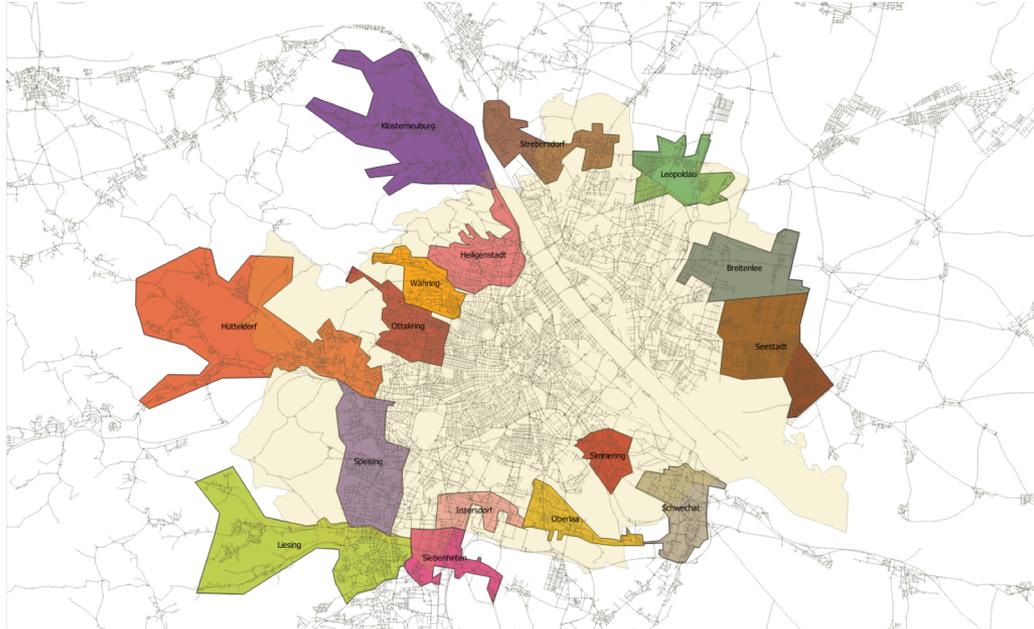
*Johannes Müller*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*



## SAEV – SZENARIO: LAST MILE

- **Idee:** SAEVs können nur in den Außenbezirken von Wien benutzt werden
  - Zur Abdeckung der ersten und letzten Meile in Gebieten, in denen ein flächendeckendes Angebot an konventionellem öffentlichem Verkehr ineffizient ist
    - ergänzend zum oder als Teil des öffentlichen Verkehrssystems
- **Forschungsfrage:**
  - Welche verkehrsbezogenen, ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen haben SAEVs in einem solchen Szenario?
  - Verringerung potenzieller negativer Auswirkungen von SAEVs durch Begrenzung des Einsatzgebietes?

# ZONEN



- 16 Einsatzgebiete für SAEVS am Stadtrand von Wien (Zu/Ausstieg nur in den Zonen möglich)
- Wohngebiete mit geringer Dichte und geringer Frequenz des öffentlichen Verkehrs
- Jedoch Zugang zu mindestens einer U-Bahn oder Bahnstation mit gutem Service (mehr als 3 Verbindungen/Stunde)
- Die Größe der SAEV-Flotte/Zone hängt von der Anzahl der Einrichtungen (Wohnungen, Arbeitsstätten, Einkaufs- und Freizeiteinrichtungen usw.)

# SZENARIEN

1. 12 SAEVs pro 1000 Einrichtungen zu 00 Cents pro Minute
2. 12 SAEVs pro 1000 Einrichtungen zu 10 Cents pro Minute
3. 12 SAEVs pro 1000 Einrichtungen zu 30 Cents pro Minute
4. 25 SAEVs pro 1000 Einrichtungen zu 00 Cents pro Minute
5. 25 SAEVs pro 1000 Einrichtungen zu 10 Cent pro Minute
6. 25 SAEVs pro 1000 Einrichtungen zu 30 Cent pro Minute
  
7. 25 SAEVs pro 1000 Anlagen zu 00 Cent pro Minute + doppelte Benzinkosten
  - Von 9,1 ct/km -> 18,2 ct/km
8. 25 SAEVs pro 1000 Einrichtungen bei 00 Cent pro Minute + Kosten für Autobesitz steigen um 25%
  - Von 13,521 EUR/Tag -> 16,90125 EUR/Tag
9. 25 SAEVs pro 1000 Einrichtungen zu 00 Cent pro Minute + Verdoppelung der Benzinkosten + Anstieg der Kosten für den Autobesitz um 25%.

61% der Agenten in den Zonen  
haben ein Auto

Der Preis von 30c entspricht dem erwarteten Preis, wenn SAEVs in Flottenbesitz sind und nicht subventioniert werdend

Die Anzahl der Fahrzeuge liegt in der gleichen Größenordnung wie die aktuelle Anzahl der Taxis in ganz Wien

# RESULTATE

- Für die Akteure, die in den SAEV-Zonen leben, führt die Einführung von SAEVs im Durchschnitt zu einer **kleinen Verringerung der Fahrzeiten und Zeitkosten, etwas längeren Entfernungen und einer Verringerung der Emissionen**
  - **SAEVs werden überproportional häufig für Fahrten genutzt, für die im Baseline-Szenario aktive Verkehrsmittel oder öffentliche Verkehrsmittel verwendet wurden**
  - Nur 7-12 % der Autofahrten werden durch SAEV-Fahrten ersetzt (ohne zusätzliche Maßnahmen)
  - **SAEVs werden bei niedrigeren Preisen stärker genutzt, die Flottengröße hat nur einen geringen Effekt**
- **Wenn Autonutzung und -besitz verteuert werden (Szenarien 7-9):**
  - **Reisezeiten steigen um ca. 16-22 Minuten/Tag** für jene, die im Baseline Szenario ein Auto genutzt haben (CO2 Emissionen sinken um 25-35%)
- Signifikante **Spillover-Effekte** auf andere Teile der Stadt, einschließlich geringerer Emissionen

# ÜBERBLICK – SAEV NUTZUNG

	12 SAEVs			25 SAEVs			Increase in cars costs		
							25 SAEVs 0 cents		
	0 cents	10 cents	30 cents	0 cent	10 cents	30 cents	100% gas	25% cost	100% gas+25% cost
<i>SAEVs</i>									
Total SAEVs (count)	1.118	1.118	1.118	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338	2.338
Total distance (km)	139,773	126,309	99,434	142,328	124,802	93,128	152,594	152,913	161,950
Total empty distance (km)	43.692	40.676	33.915	38.762	34.269	24.936	41.066	41.631	43.316
<i>Ride sharing</i>									
0 passengers (%)	31.26	32.20	34.11	27.23	27.46	26.78	26.91	27.23	26.75
1 passenger (%)	45.24	46.00	47.05	46.34	48.40	51.97	46.19	46.24	45.71
2 passengers (%)	17.51	16.89	14.92	19.55	18.37	16.56	19.61	19.49	20.05
3 passengers (%)	4.37	3.80	2.89	5.10	4.37	3.56	5.32	5.18	5.34
4 passengers (%)	1.62	1.10	1.02	1.78	1.41	1.14	1.97	1.86	2.15
<i>Customers</i>									
SAEV rides (count)	43,943	38,658	29,027	47,790	41,174	30,549	51,070	51,040	54,369
Total wait time (dd:hh)	03:05	02:58	02:49	02:43	02:41	02:31	02:44	02:43	02:44
Total travel time (dd:hh)	09:50	09:31	08:56	09:36	09:17	08:40	09:38	09:35	09:38
<i>Emissions</i>									
Change in CO2 emissions (%)	-9.94	-8.47	-6.43	-10.94	-9.96	-7.33	-20.99	-20.22	-30.34
Change outside zones (%)	-3.78	-3.20	-2.60	-3.75	-3.62	-3.02	-16.05	-13.31	-25.92

# ÄNDERUNG IN DER VERKEHRSMITTELWAHL NACH EINFÜHRUNG DER SAEVS (IN DEN ZONEN)

Table 4.7: Mode switch - all agents

	Increase in cars costs								
	12 SAEVs			25 SAEVs			25 SAEVs 0 cents		
	0 cents	10 cents	30 cents	0 cent	10 cents	30 cents	100% gas	25% cost	100% gas+25% cost
Walk + Bike	30.85	28.91	22.77	35.24	31.65	24.19	35.73	35.84	36.06
Car	11.61	10.02	7.04	13.81	11.59	7.58	16.62	16.84	19.84
PT	18.25	14.27	9.55	20.28	15.62	10.29	20.43	20.52	20.62
All modes	18.56	16.06	11.72	21.23	17.84	12.54	22.56	22.71	24.04

# AUSWIRKUNGEN DER SAEVS (ALLE AGENTEN IN DEN ZONEN)



	Baseline	12 SAEVs						25 SAEVs			Increase in cars costs		
		12 SAEVs			25 SAEVs			25 SAEVs 0 cents					
		0 cents	10 cents	30 cents	0 cent	10 cents	30 cents	100% gas	25% cost	100% gas+25% cost			
Average travel time (hh:mm)	01:17 (00:47)	01:15 (00:44)	01:14 (00:43)	01:14 (00:43)	01:15 (00:43)	01:14 (00:43)	01:14 (00:43)	01:17 (00:44)	01:17 (00:44)	01:19 (00:45)			
Time costs (Eur)	13.22 (8.35)	12.56 (7.63)	12.51 (7.54)	12.51 (7.39)	12.45 (7.42)	12.42 (7.39)	12.45 (7.37)	12.60 (7.50)	12.67 (7.46)	12.85 (7.59)			
Average distance (km)	25.29 (20.31)	25.82 (20.32)	25.71 (20.27)	25.55 (20.27)	25.92 (20.33)	25.79 (20.29)	25.58 (20.27)	25.92 (20.30)	25.97 (20.35)	25.98 (20.35)			
CO2 emissions (kg)	18.74 (33.73)	16.82 (33.71)	17.20 (33.97)	17.72 (34.13)	16.64 (33.80)	16.89 (33.85)	17.50 (34.03)	14.46 (32.01)	14.63 (32.75)	12.65 (30.95)			

# AUSWIRKUNGEN DER SAEVS (JENE AGENTEN, DIE IM BASELINE SZENARIO EIN AUTO NUTZEN)



Table 4.6: All agents in zones who used car in baseline

	Baseline	12 SAEVs						25 SAEVs		
		0 cents			10 cents			30 cents		
		0 cent	10 cents	30 cents	0 cent	10 cents	30 cents	25 SAEVs 0 cents		
		100% gas	25% cost	100% gas+25% cost						
Average travel time (hh:mm)	01:00 (00:32)	01:10 (00:34)	01:08 (00:32)	01:07 (00:32)	01:10 (00:33)	01:09 (00:33)	01:07 (00:32)	01:16 (00:38)	01:16 (00:36)	01:22 (00:40)
Time costs (Eur)	12.51 (6.69)	13.55 (6.25)	13.41 (6.19)	13.23 (6.17)	13.60 (6.24)	13.44 (6.22)	13.21 (6.20)	14.01 (6.39)	14.20 (6.28)	14.73 (6.47)
Average distance (km)	36.88 (23.02)	37.47 (22.94)	37.35 (22.91)	37.17 (22.91)	37.56 (22.87)	37.43 (22.88)	37.22 (22.93)	37.54 (22.81)	37.67 (22.86)	37.70 (22.84)
CO2 emissions (kg)	57.63 (36.38)	49.63 (42.29)	50.70 (41.95)	52.22 (41.05)	49.11 (42.76)	49.97 (42.36)	51.83 (41.32)	43.23 (43.12)	43.74 (44.33)	38.06 (44.07)

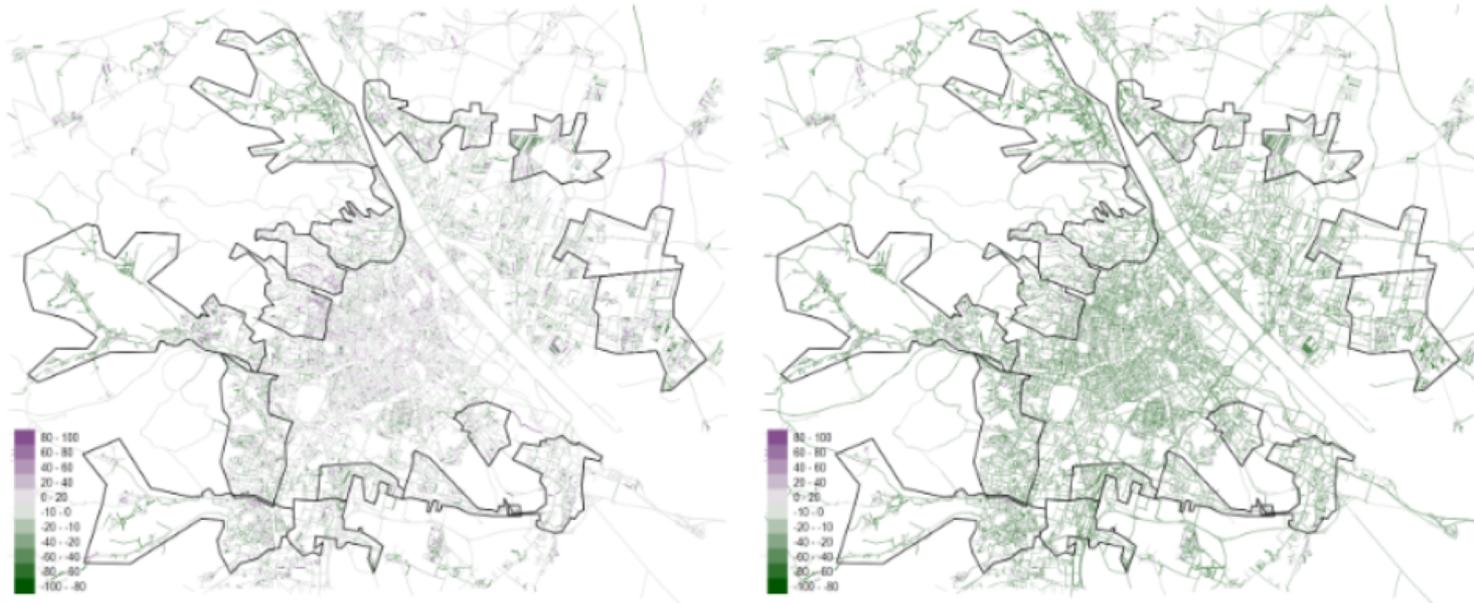
# SOZIOÖKONOMISCHE AUSWIRKUNGEN

Table 4.9: Characteristics

	Baseline	Increase in cars costs								
		12 SAEVs			25 SAEVs			25 SAEVs 0 cents		
		0 cents	10 cents	30 cents	0 cent	10 cents	30 cents	100% gas	25% cost	100% gas+25% cost
Males (%)	49.47	46.84	46.05	44.22	46.14	45.56	44.40	46.65	46.62	47.00
Average age	41.81	42.12	41.68	40.97	41.37	40.97	40.67	41.58	41.62	41.79
Urban (%)	81.46	75.33	73.29	69.73	73.29	71.30	68.95	73.31	73.36	73.40
Single (%)	21.28	19.86	19.38	18.53	19.51	19.39	18.81	19.55	19.77	19.76
Has kids (%)	37.30	38.34	39.53	41.65	39.51	40.75	41.95	39.19	39.22	39.06
Educated (%)	32.17	28.68	27.59	25.44	28.16	26.61	25.10	28.79	29.03	29.81
Employed (%)	50.17	42.85	41.39	39.56	43.52	42.04	40.13	44.33	44.21	45.28
High income (%)	42.24	42.86	43.05	43.48	43.40	43.30	43.21	43.48	43.17	43.46
Has only Car (%)	5.21	17.32	14.84	11.63	19.13	16.13	11.31	22.56	23.01	26.85
Has only Bike (%)	9.22	39.02	39.76	35.85	47.07	44.88	38.05	45.61	46.83	46.10
Has only PT ticket (%)	7.98	24.37	21.08	15.70	26.84	22.30	16.16	26.73	26.87	27.19

# SPILLOVER EFFEKTE

Figure 4.1: Changes in emissions for 25 SAEVs/1000 facilities and 30 cents/min



(a) 25 SAEVs 0 cents

(b) 25 SAEVs 0 cents, 100% gas + 25% cost

## ZUSAMMENFASSUNG

- Auch in den Außenbezirken haben SAEVs nur ein **begrenzttes Potenzial, Autofahrten zu ersetzen**, wenn keine ergänzenden Maßnahmen zur Verringerung des Autobesitzes/-verbrauchs ergriffen werden
  - Hohe Subventionen und eine große Flotte sind nicht ausreichend
  - Obwohl die Zonen eine Anbindung an das höherrangige ÖV-Netz haben
- In Übereinstimmung mit früheren Studien können wir schlussfolgern, dass SAEVs außerhalb dichter Stadtzentren wahrscheinlich **kein tragfähiges Geschäftsmodell** darstellen, sondern subventioniert werden muss(t)en (zb als als Teil des öffentlichen Verkehrs)
  - Selbst mit Maßnahmen, die den privaten Pkw-Besitz bzw. Nutzung teurer machen

# ÜBERSICHT

1. Einleitung (15min)
2. Beschreibung des MATSim Verkehrsmodells für Wien (15 min)
3. Szenarien für Shared Autonomous Electric Vehicles (SAEVs)
  - a. Räumlich unbegrenzte Nutzung (20 min)
  - b. Last-mile Shuttles (20 min)
4. **SAEVs & lokale Emissionen (20min)**
5. Diskussion & Schlußworte (30min)

*Stefanie Peer*  
*Johannes Müller*

*Johannes Müller*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*



# EINLEITUNG

## Hintergrund

- Luftverschmutzung ein oft unterschätztes Problem, v.a. im urbanen Bereich
  - Jährlich >11,000 Tote in Österreich durch Luftverschmutzung (EEA, 2018)
  - Ca. 30% der lokalen Luftverschmutzung durch Verkehr (im urbanen Bereich 50-90%), insbesondere Feinstaub (PM), Schwefeloxide (SOX), Stickstoffoxide (NOX)
- Schadstoffe verbreiten sich über die Luft
- Inwiefern man den sich den Schadstoffen aussetzt, hängt ab, wo man wieviel Zeit verbringt

# FORSCHUNGSFRAGEN

- Können SAEVs dazu beitragen, die **Luftverschmutzung zu verringern?**
- Ist die Belastung durch schlechte Luftqualität **gleichmäßig über sozioökonomische Gruppen** verteilt?

# MODELL

- **Ex-Post Berechnung** der Emissionen unter Verwendung der HBEFA 4.1 Standards zu Emissionsfaktoren
- **Sehr kleinräumig**, auf der Ebene einzelner Straßenabschnitte
- SAEVs verursachen wie Elektrofahrzeuge keine direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen, tragen aber zu anderen lokalen Emissionen bei (Reifenabrieb etc.)
- Die **geographische Verortung** von Personen, Haushalten, Verkehrsverbindungen und Einrichtungen ermöglicht es uns, die Emissionsbelastung über den ganzen Tag hinweg zu erfassen.

## DEFINITION LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG

- Wie kann die LuftschadstoffBelastung definiert werden? **Zeit (t) x Ausmaß (m)**
  - **Anteil der an einem Ort verbrachten Zeit x Emissionen am Ort pro Tag**
- Jeder Agent hat einen täglichen Reiseplan, der ihn zu verschiedenen Orten führt (Wohnung, Arbeit, Schule, Einkaufen usw.). An jedem Ort gibt es eine Belastung aufgrund des Straßenverkehrs
  - Interpolation aus Daten zum Straßennetz
- Wir definieren einen **Belastungsindex (24h)** wie folgt:

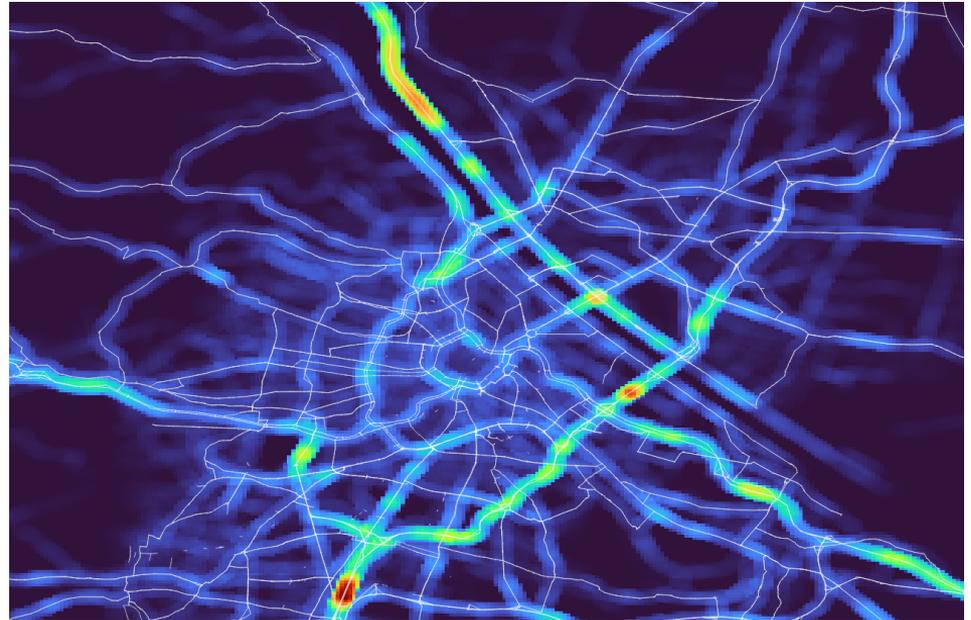
$$E_i = \sum_t \sum_j \beta_j j_t + \sum_t \sum_k \alpha_k k_t$$

- Dabei ist  $t$  = Zeit,  $j$  = Verkehrsmittel,  $k$  = Ortstyp,  $\beta_j$  = Dämpfungsfaktor des Verkehrsmittels  $j$ , und  $\alpha_k$  ist der Dämpfungsfaktor des Ortes  $k$
- Wenn die Parameter  $\alpha$  und  $\beta < 1$  sind, bedeutet dies, dass ein bestimmter Verkehrsträger oder Ort die Belastung relativ verringert (z. B. führt ein Auto oder ein Bus zu einer geringeren Belastung als im Freien verbrachte Zeit (Rad, zu Fuß).

# BERECHUNG DER LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG I



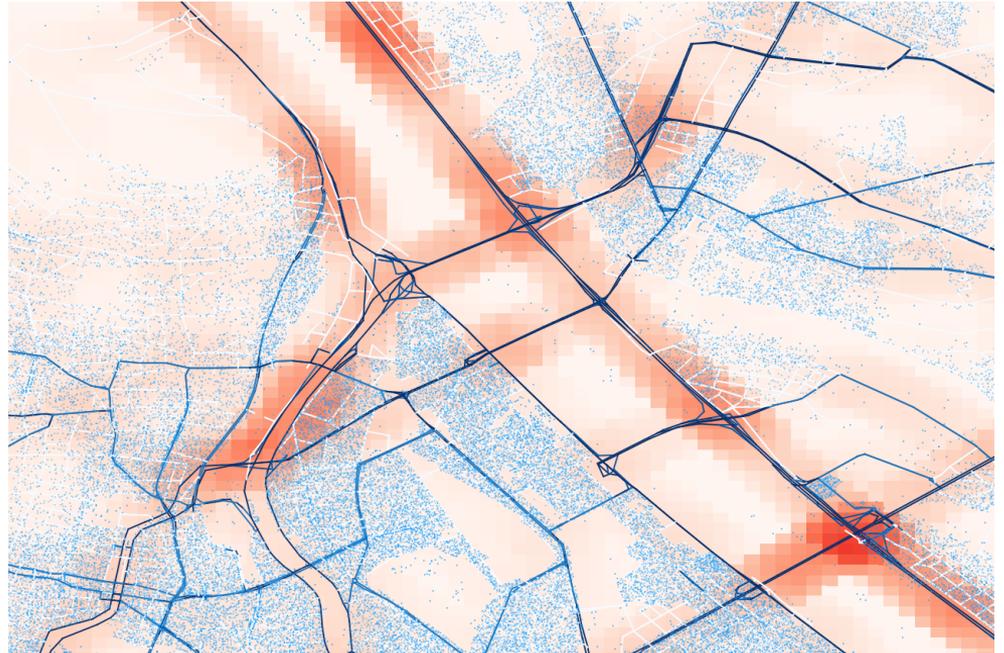
Schadstoffe auf Straßenebene werden auf der Karte interpoliert, um ihre Ausbreitung abzubilden (auf Basis existierender Studien zu solchen Interpolationsverfahren)



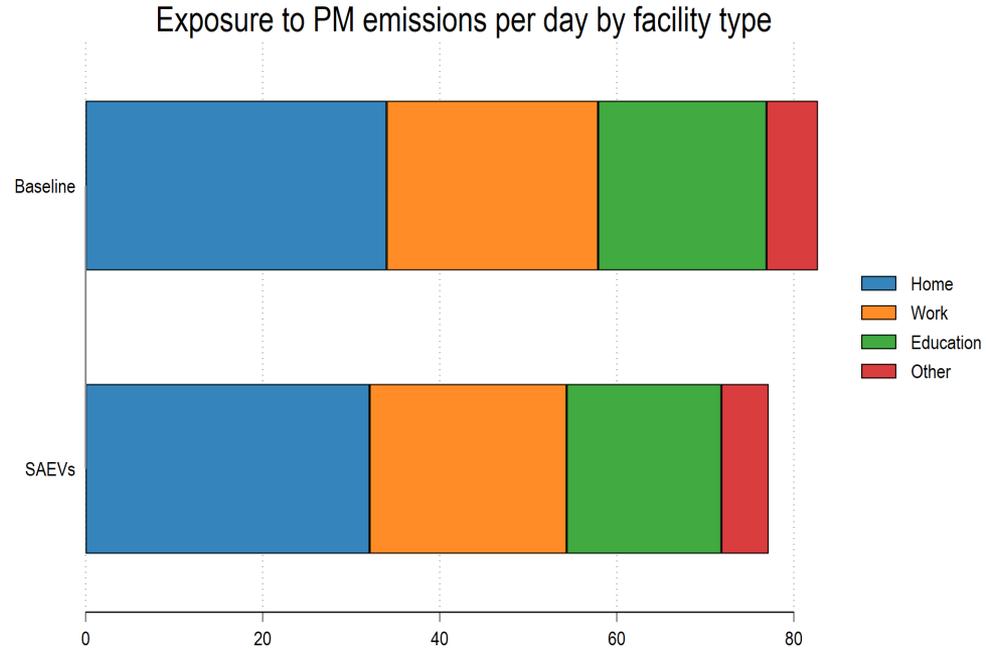
# BERECHUNG DER LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG II



Aus diesen interpolierten Daten kann die Schadstoffbelastung (für verschiedene Schadstoffarten in verschiedenen Szenarien) für jeden Standort extrahiert werden:



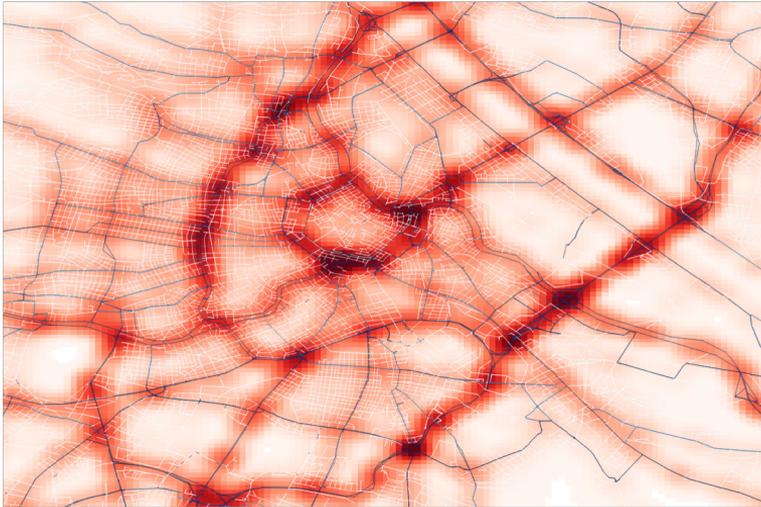
# BASELINE VS 1000 SAEVS 0 CENTS/MIN



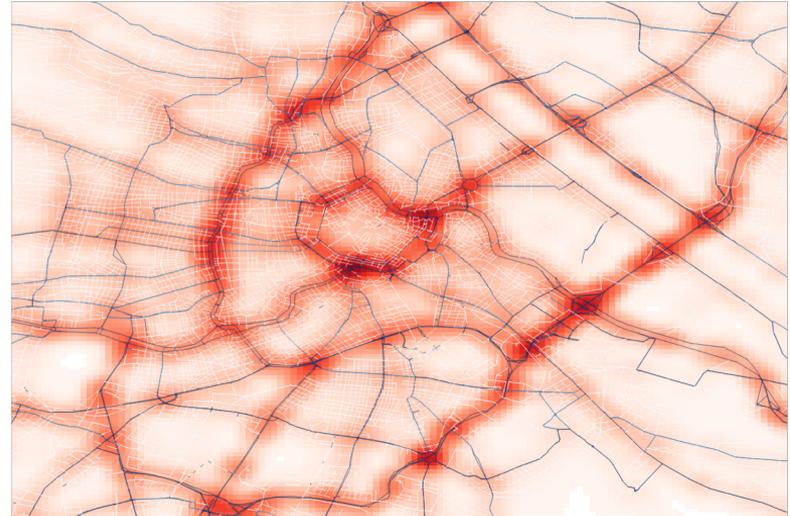
# VERÄNDERUNG IN DER FEINSTAUBBELASTUNG NACH EINFÜHRUNG DER SAEVS (IM GESAMTEN STADTGEBIET)



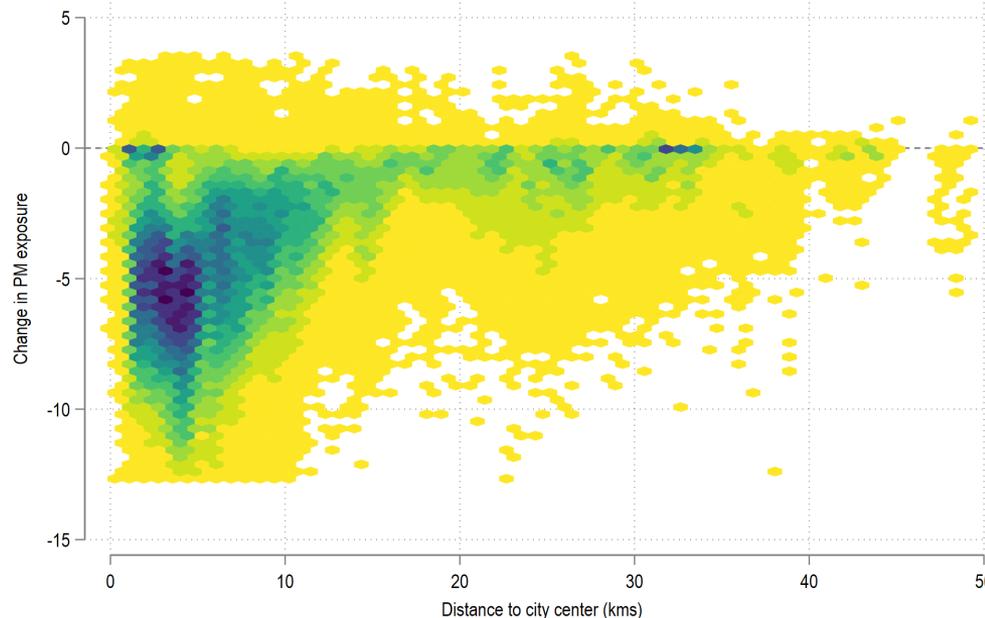
Baseline



SAEVs

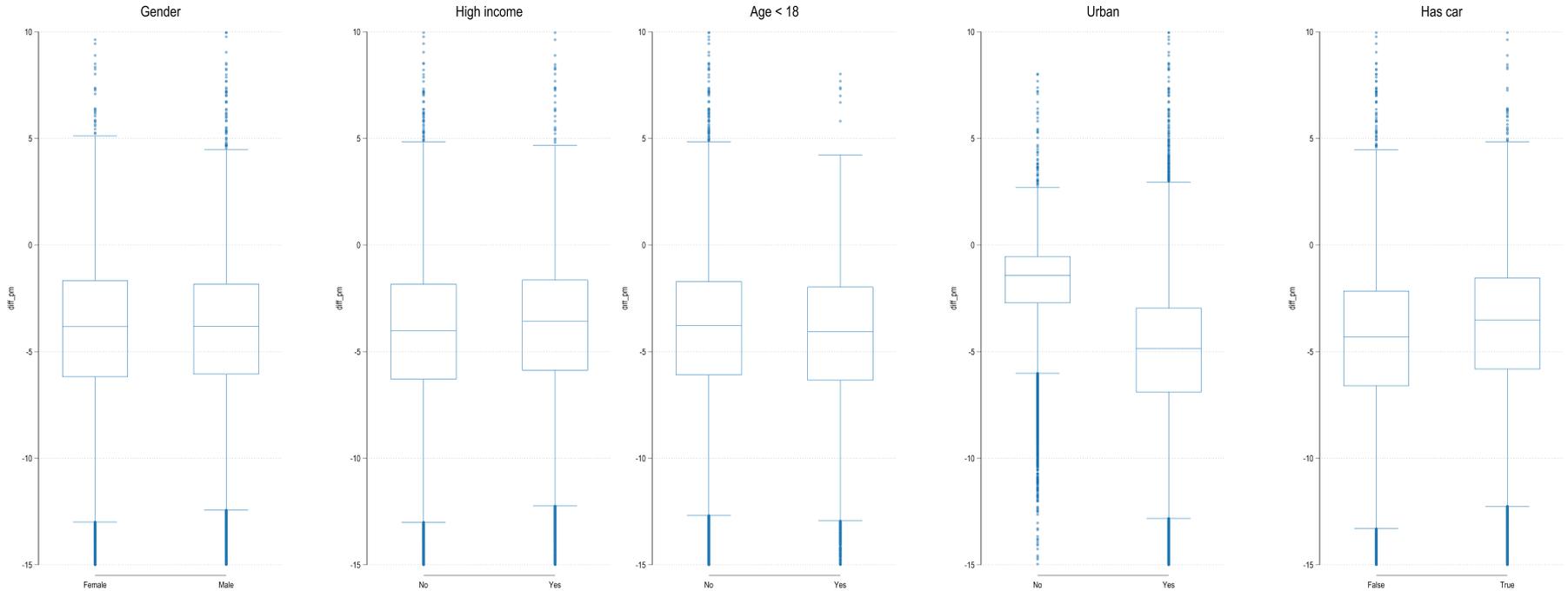


# VERÄNDERUNG IN DER FEINSTAUBBELASTUNG NACH EINFÜHRUNG DER SAEVS IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ZENTRALITÄT (ZENTRALER PUNKT=STEPHANSDOM)



Data trimmed to 1-99th percentiles.

# VERÄNDERUNG FEINSTAUBBELASTUNG NACH SOZIOÖKONOMISCHEN GRUPPEN



## ZUSAMMENFASSUNG

- Realistische Verteilung von Emissionen über das Stadtgebiet
- SAEVs führen zu niedrigen Emissionen, v.a. im zentralen Stadtgebiet
  - Sozioökonomische Gruppen weisen keine Unterschiede auf
  - Genauere Datenbasis wäre wünschenswert

# ÜBERSICHT

1. Einleitung (15min)
2. Beschreibung des MATSim Verkehrsmodells für Wien (15 min)
3. Szenarien für Shared Autonomous Electric Vehicles (SAEVs)
  - a. Räumlich unbegrenzte Nutzung (20 min)
  - b. Last-mile Shuttles (20 min)
4. SAEVs & lokale Emissionen (20min)
5. **Diskussion & Schlußworte (30min)**

*Stefanie Peer*  
*Johannes Müller*

*Johannes Müller*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*  
*Stefanie Peer*



## DISKUSSION

- Fragen zu den Ergebnissen/Modellen/Annahmen etc.?
- Wie können die Ergebnisse dieses Projektes genutzt werden?
- Welcher Forschungsbedarf besteht?

# DANKE FÜR IHRE TEILNAHME!



[stefanie.peer@wu.ac.at](mailto:stefanie.peer@wu.ac.at)  
[naqvi@iiasa.ac.at](mailto:naqvi@iiasa.ac.at)  
[Johannes.mueller@ait.ac.at](mailto:Johannes.mueller@ait.ac.at)  
[Martin.Zach@ait.ac.at](mailto:Martin.Zach@ait.ac.at)  
[Markus.Straub@ait.ac.at](mailto:Markus.Straub@ait.ac.at)  
[Christian.Rudloff@ait.ac.at](mailto:Christian.Rudloff@ait.ac.at)  
[Gerald.Richter@ait.ac.at](mailto:Gerald.Richter@ait.ac.at)



+ Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung durch das Austrian Climate Research Programme (ACRP) für das Projekt SimSAEV (KR17AC0K13731).