



## Mobilitätsworkshop

## Forschungsprojekt BestMOD

**Mobility on Demand als attraktiver und wirtschaftlicher Zubringer zum ÖPNV**

**SWK E<sup>2</sup> Institut - Hochschule Niederrhein**

**Lehrstuhl Mechatronik - Universität Duisburg-Essen**

**Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie: Kognition - Universität Duisburg-Essen**

# Agenda

**On-Demand-Verkehr als  
Zubringer zum ÖPNV**  
15 Min

**Was motiviert Mobilität in Krefeld?**  
15 Min

**Krefeld in der Simulation**  
15 Min

**Verbesserung der Mobilität durch eine  
Ausweitung des On-Demand-Angebots**  
15 Min

**Diskussion & Feedback**  
15 Min

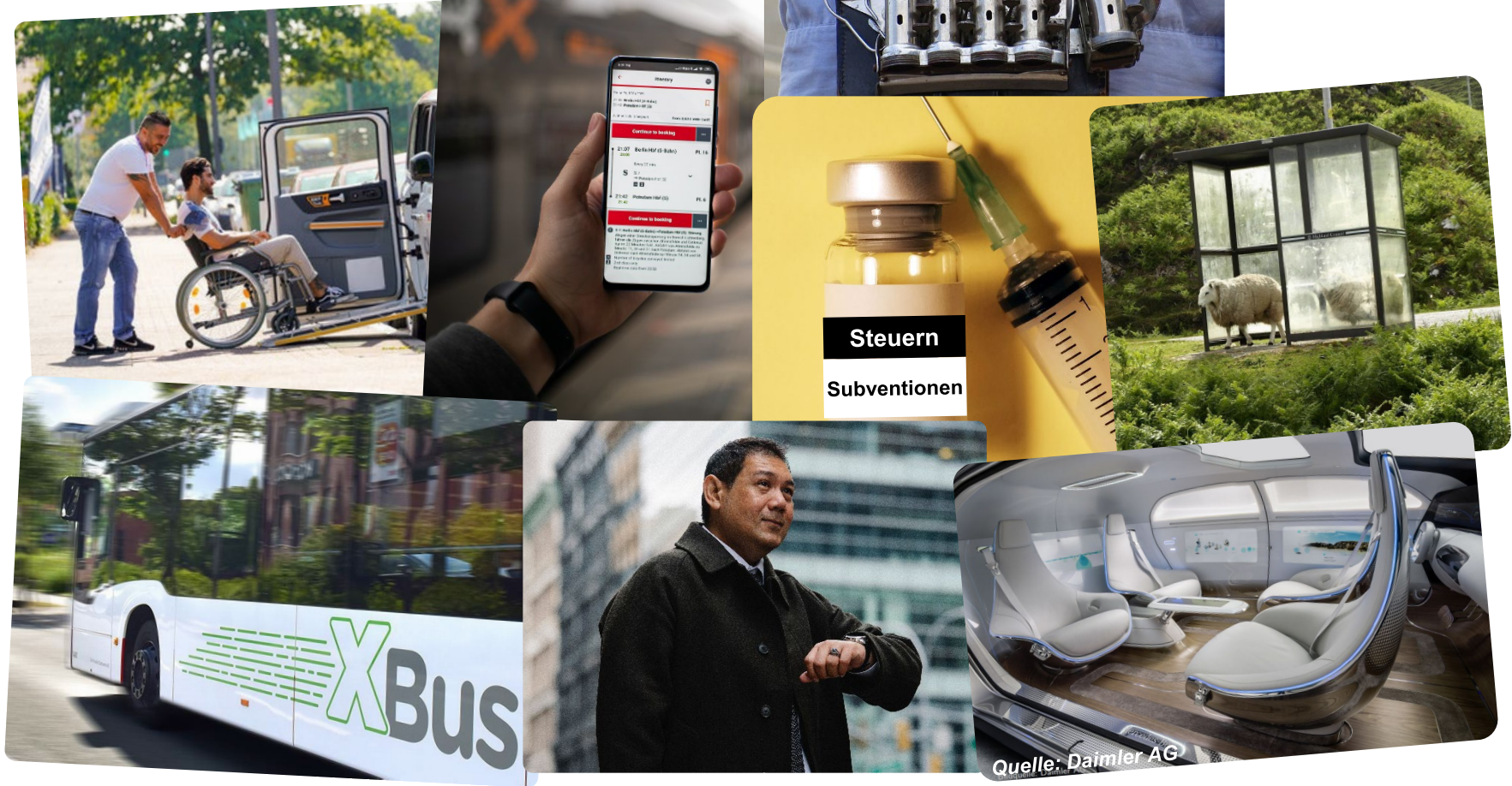
**Gesamtzeit: 75 Min**



# Einleitung Randbedingungen des ÖPNV



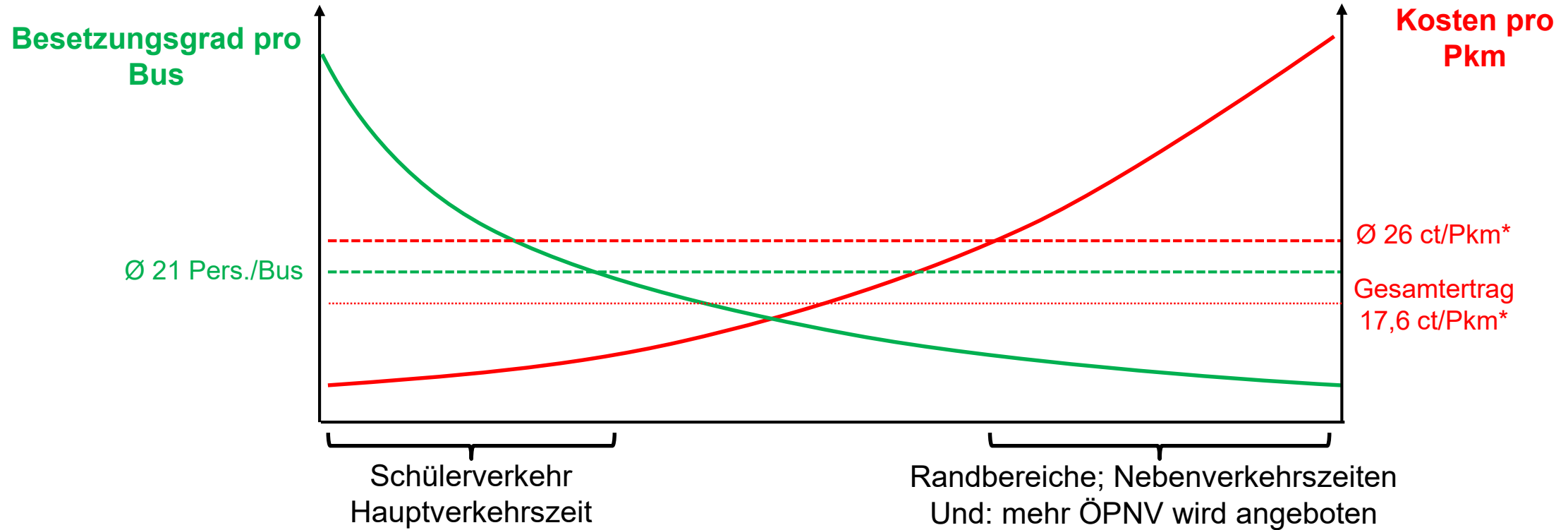
- Barrierefrei
- Wirtschaftlich
- Verfügbar
  - Randzeiten
  - Randgebiete
- Schnell
- Zuverlässig
- Komfortabel



Quelle: Daimler AG



# Einleitung Randbedingungen ÖPNV

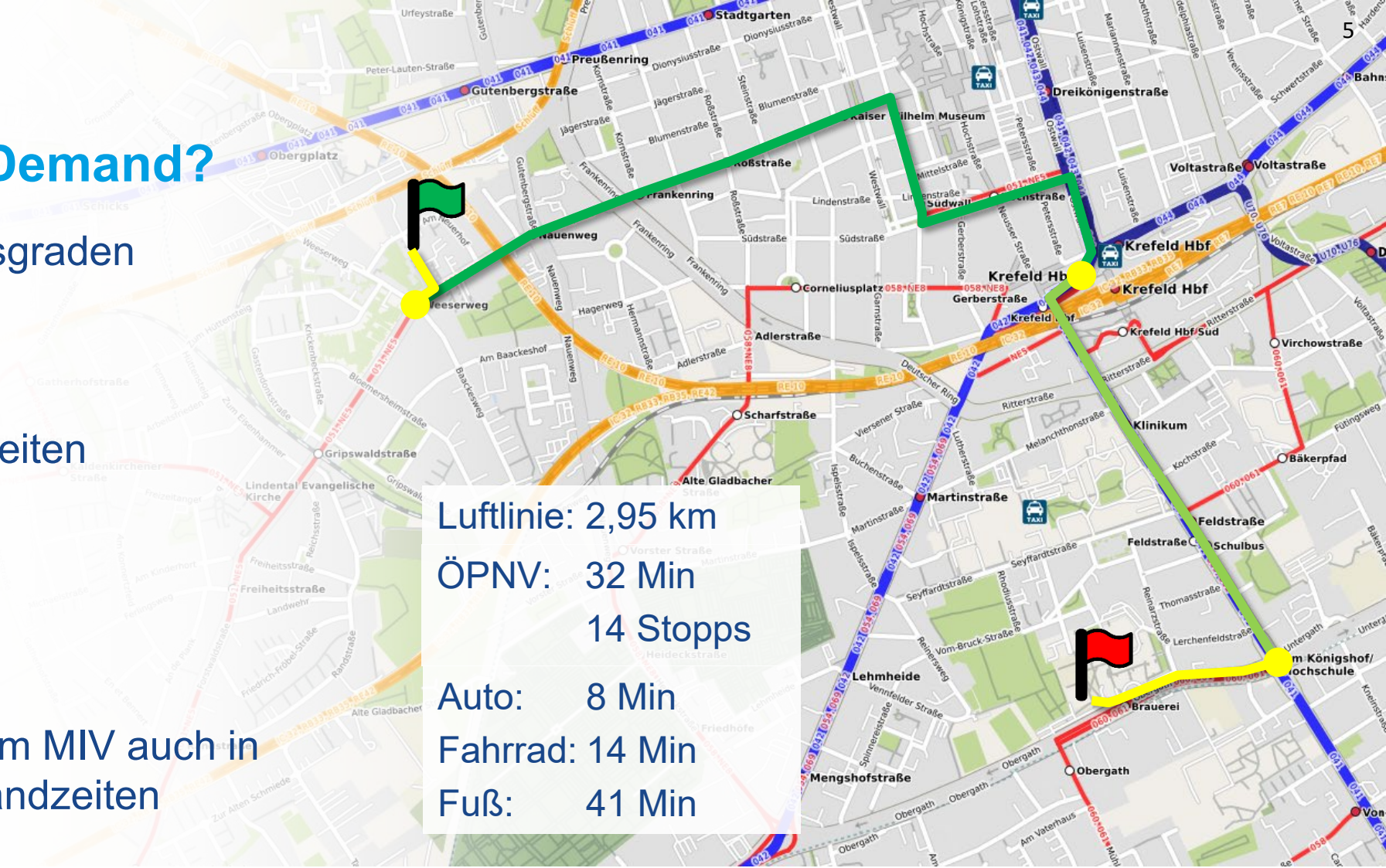


\*) gemäß VRR-Ergebnisbericht 2018 und VDV-Statistik 2018

# Motivation

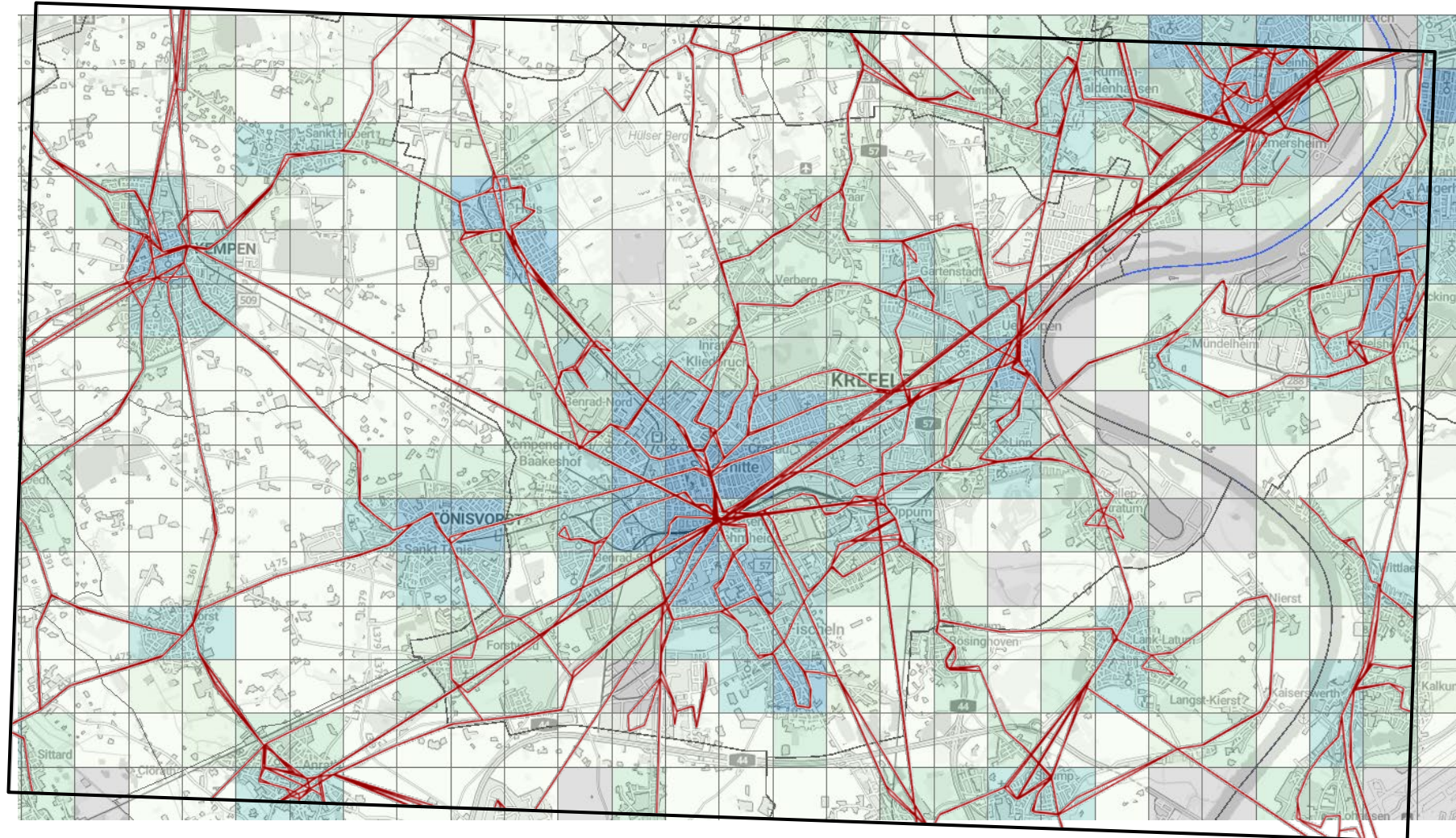
## Warum Mobility on Demand?

- Bei geringen Besetzungsgraden wirtschaftlich
  - Weniger Stopps
  - Höhere Ø-Geschwindigkeiten
  - Mehr Haltestellen
  - Einfach zu elektrifizieren
  - Inklusiv und barrierefrei
- Attraktive Konkurrenz zum MIV auch in Randgebieten und zu Randzeiten

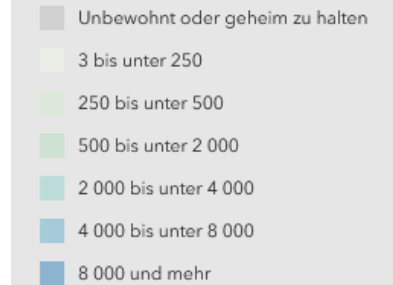


# Motivation

## Warum Mobility on Demand?



### Bevölkerung am 09.05.2011 pro km<sup>2</sup>



Weiterführende Informationen zum Zensus 2011 sowie die Möglichkeit zum Daten-Download stehen unter [www.zensus2011.de](http://www.zensus2011.de) zur Verfügung.

1 km

Ministerium für Verkehr  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Hochschule Niederrhein  
University of Applied Sciences  
SWK E<sup>2</sup>

MECHATRONIK  
Universität Duisburg-Essen | [www.imech.de](http://www.imech.de)

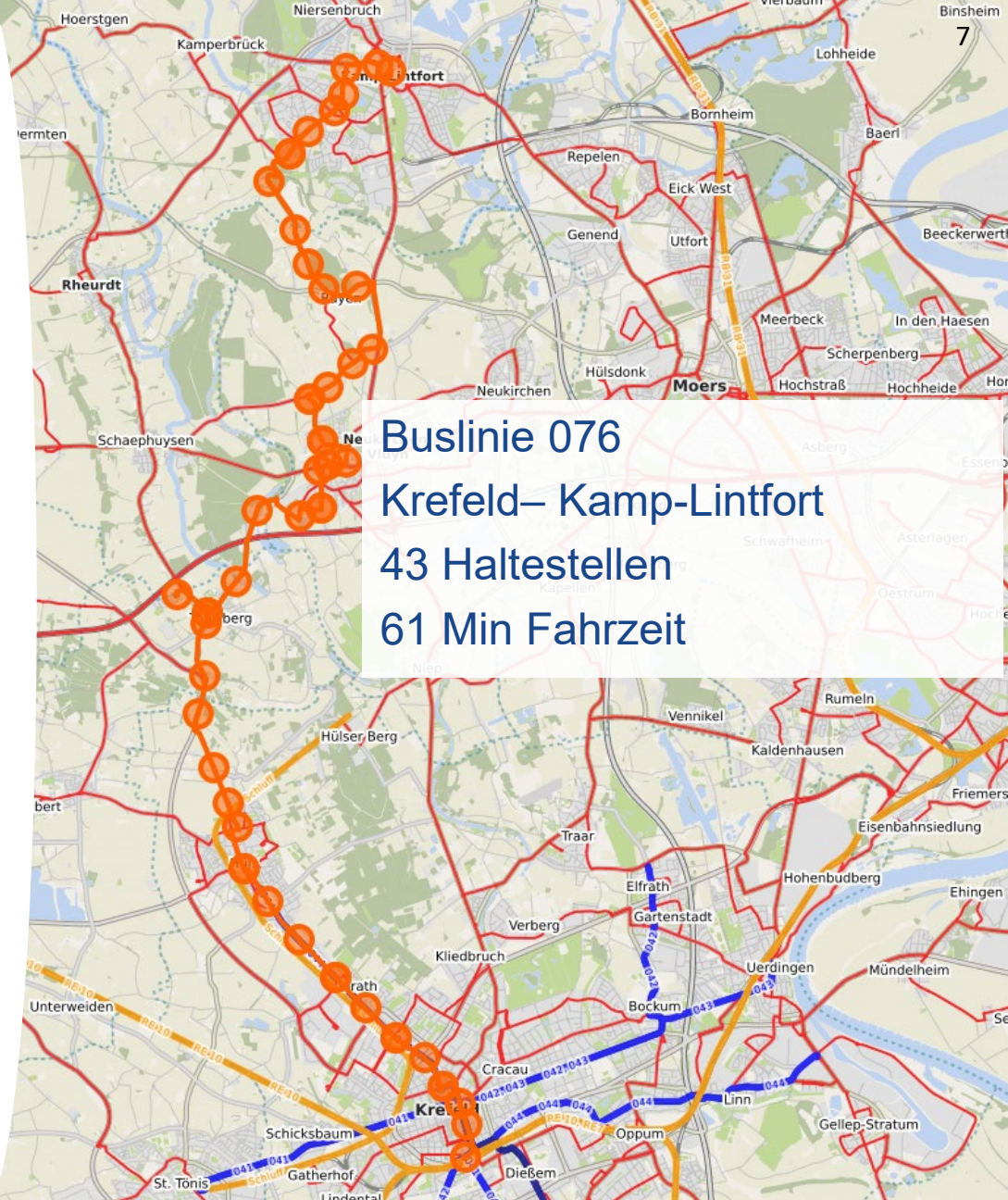
UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

Offen im Denken

# Motivation

## Vision eines zukunftsfähigen ÖV

- **Mobility Hubs**
- ➔ **Schnellere Bus- und Bahnverbindungen durch**
  - Weniger Stopps
  - Weniger Umwege
  - Routing über Schnellstraßen
- Mehr Buslinien und höhere Taktzeiten**
  - Kostendeckung durch Kundenzuwachs
- **Letzte Meile durch MoD**



# Herausforderungen

## Ausweitung von Mobility on Demand

- Testbetrieb
  - ausreichend groß
  - über mehrere Jahre
  - Fahrermangel
  - **kostenintensiv**
  - wissenschaftlich begleitet
  - Kannibalisierungseffekte
- Kosten-Nutzen-Analyse
  - Kleine Datenbasis und keine Benchmarks
  - Umfangreiche und komplexe Simulationen notwendig





# Herausforderungen

## Ausweitung von Mobility on Demand

- Fraunhofer: Autonomes Fahren senkt Preis deutlich
  - ländlicher Raum: 94 → 18 ct/Pkm
  - städtischer Raum: 144 → 27 ct/Pkm
- Moia-Studie (Hamburg)
  - 5.000 autonome Shuttles ersetzen 150.000 Privat-Pkw
- Stadt Hamburg
  - möchte bis 2030 eine Flotte von 10.000 Shuttles
- Sprinti (ländlicher Raum Region Hannover)
  - Ø 1.500 Fahrgäste mit 30 Fahrzeugen am Tag
  - 20 Minuten Wartezeit nach Bestellung





# Ziele



## Forschungsfrage:

Wie und wo kann das **ÖPNV-Angebot** bedarfsgerecht so **erweitert** werden, dass durch den erwarteten **Kundenzuwachs die Mehrkosten gedeckt** werden können?

- 
- Optimale Vernetzung von On-Demand und Linientakt
  - Ökologisch sinnvolle Ausweitung des Angebots bei gleichen Kosten

- 
- Analoge und digitale Mobilitätsumfrage
  - Umfangreiche Datenbasis
  - Validierung durch mikroskopische Simulationen

- 
- Workshops für Öffentlichkeit
  - Erstellung eines Tools inkl. Workflow & Tipps
  - Beispiel Krefeld und ländliche Region Kreis Wesel

# Eckdaten Forschungsprojekt

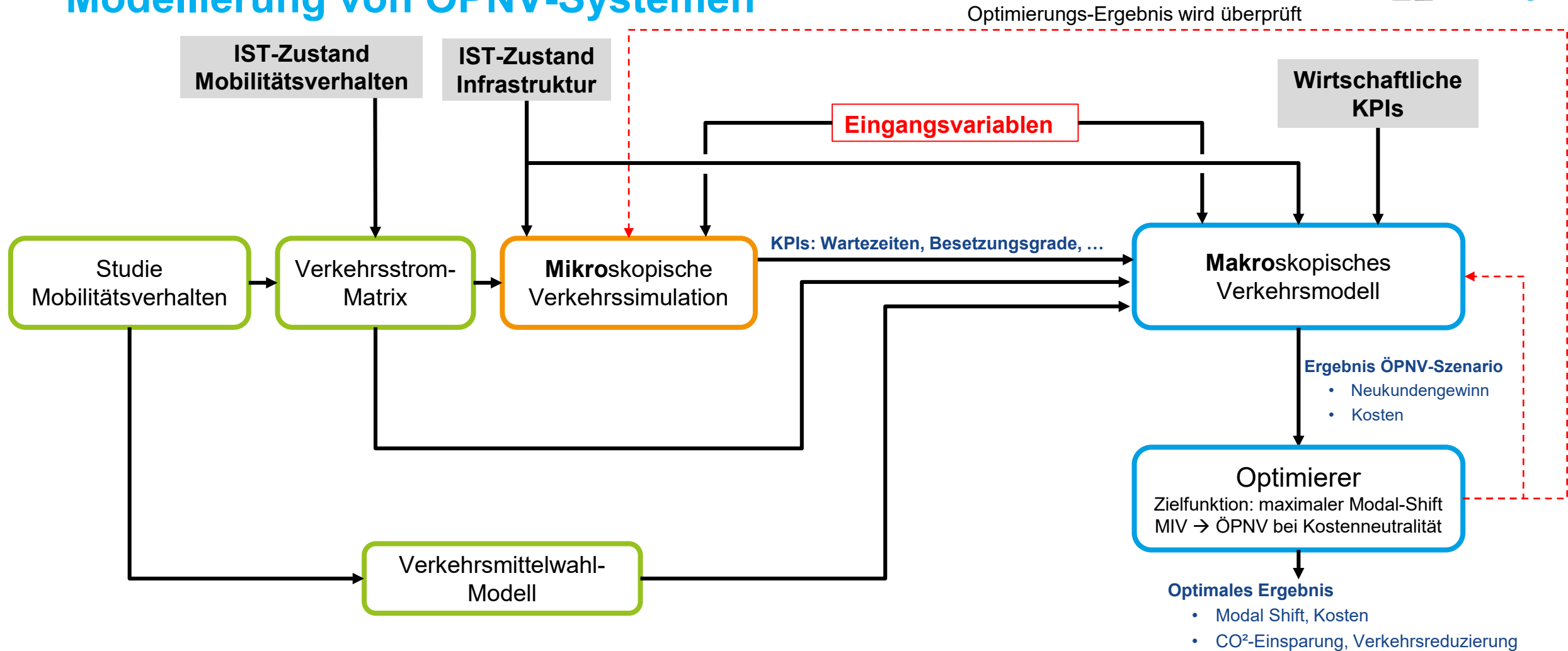


## Richtlinie zur Förderung der Vernetzten Mobilität und des Mobilitätsmanagements (FöRi-MM)

- Fördermittelgeber: Verkehrsministerium Nordrhein-Westfalen
- Projektträger: Bezirksregierung Düsseldorf
- Laufzeit: 01.04.2022 bis 31.03.2025 – 3 Jahre
- Gesamtkosten: 565.551 €
- Fördersumme: 452.400 € (80 % Förderquote)
- Projektteam: SWK E<sup>2</sup> Institut für Energietechnik und Energiemanagement - HSNR  
Lehrstuhl für Mechatronik der Universität Duisburg-Essen (IMECH)  
Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie: Kognition Universität Duisburg-Essen
- Assoziierte Partner: SWK MOBIL GmbH  
Kreis Wesel

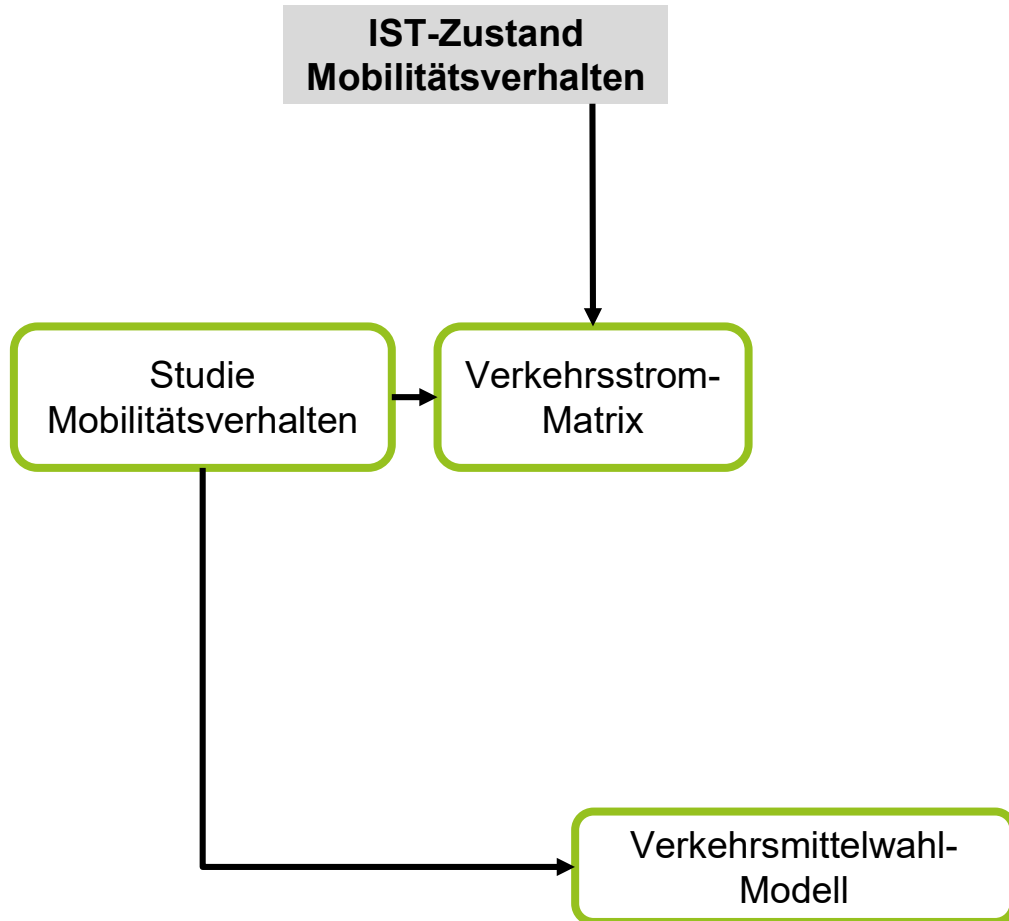
# Methodik

## Modellierung von ÖPNV-Systemen



# Methodik

## Modellierung von ÖPNV-Systemen



# Mobilitätsbefragung in Krefeld 2023 - Überblick

## Warum Mobilitätsbefragung in Krefeld?

- **Wie bewegt sich Krefeld?**
  - Status Quo
  - Daten als Grundlage für die Simulation
- **Was bewegt Krefeld?**
  - Warum werden 51,5 % der Wege per Auto zurückgelegt? (Mobilitätsbefragung 2017)
- **Was könnte Krefeld bewegen?**
  - Was motiviert Krefelder:innen zum Umstieg?
  - Zukunftsfragen zur Mobilität per autonomen Kleinbussen
  - Akzeptanz neuer (Mobilitäts-) Technologien

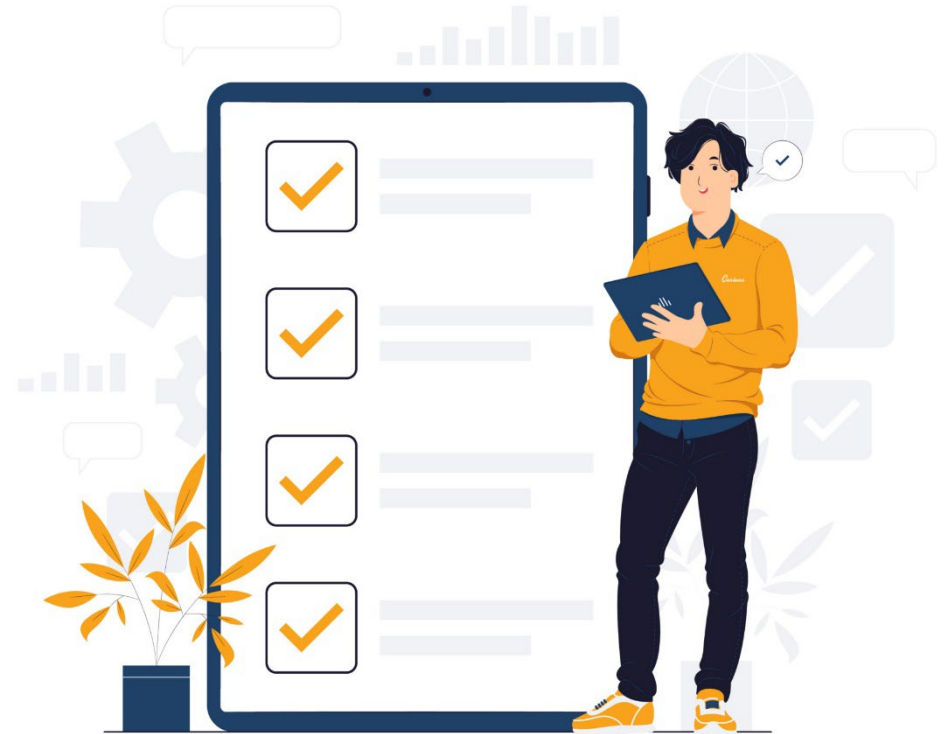


Bild: vecteezy.com

# Mobilitätsbefragung in Krefeld 2023 - Methode

## Was haben wir gefragt?

### Hybride Umfrage (online und auf Papier)

August – Oktober 2023

#### • Wegeblatt

- **Weg** (Start- und Zielort)
- **Zeit** (Start- und Zielzeit)
- **Verkehrsmittel**
- **Umstiege**
- **Zweck**

	Zweck	Start (Adresse)	Start (Zeit)	Ziel (Adresse)	Ankunft (Zeit)
Weg					

	Start (Adresse)	Verkehrsmittel	Ziel (Adresse)	Direkte Weiterreise?
Teilweg 1				
Teilweg 2				
Teilweg 3				
Teilweg 4				

Auswahl-Legende:

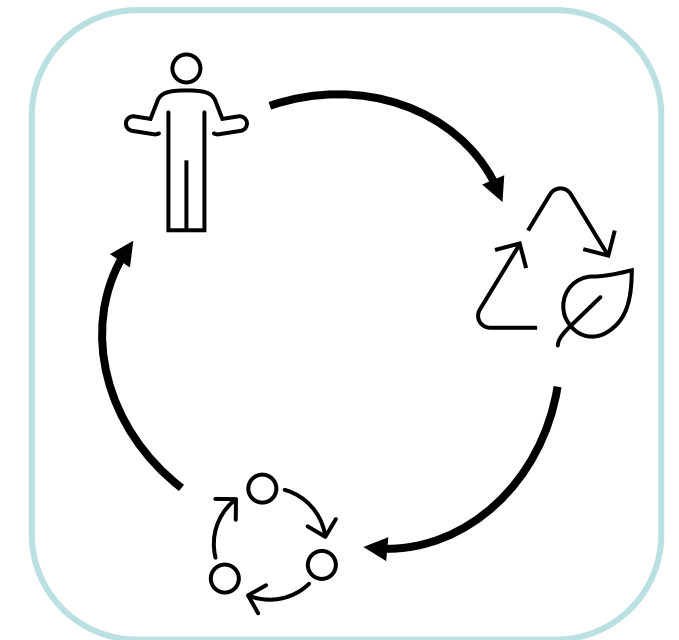
Zweck:	1. Arbeit	4. Einkaufen	7. Andere Erledigung	10. Unterhaltung und Kultur
	2. Schule/Ausbildung/Universität	5. Gesundheitsfürsorge/Behördengang	8. Soziale Kontakte	11. Sonstiges
	3. Heimweg	6. Person abholen/bringen	9. Sport / Freizeittätigkeit	
Verkehrsmittel:	a. Zu Fuß	d. Auto (als Mitfahrer:in)	h. Fahrrad / E-Bike	
	b. Regionalverkehr (Bus/Zug/Tram)	e. Auto (als Fahrer:in)	i. Tretroller / E-Scooter	
	c. Fernverkehr (Zug/Bus)	f. Motorrad / Roller	j. Sonstiges	
		g. Taxi		

#### • Fragebögen

- **Persönlichkeit** (Wie „ticken“ die befragten Krefelder:innen?)
- **Normen** (Beeinflusst der Klimawandel die indiv. Mobilität?)
- **Habit** (Wie stark ist die Gewohnheit, das Auto zu nutzen?)

Modalsplit

+



# Mobilitätsbefragung in Krefeld 2023 - Stichprobe

## Wer hat geantwortet?



### Stichprobe nach Bereinigung: $N = 70$ Personen

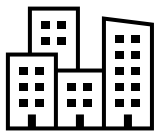
nur Personen, die ihre Wege sinnvoll angegeben haben (Modalsplit)  
+ Fragebögen beantwortet haben



41 ♂, 28 ♀

$M = 52.8$  Jahre

$SD = 15.2$ ; 19-89 Jahre

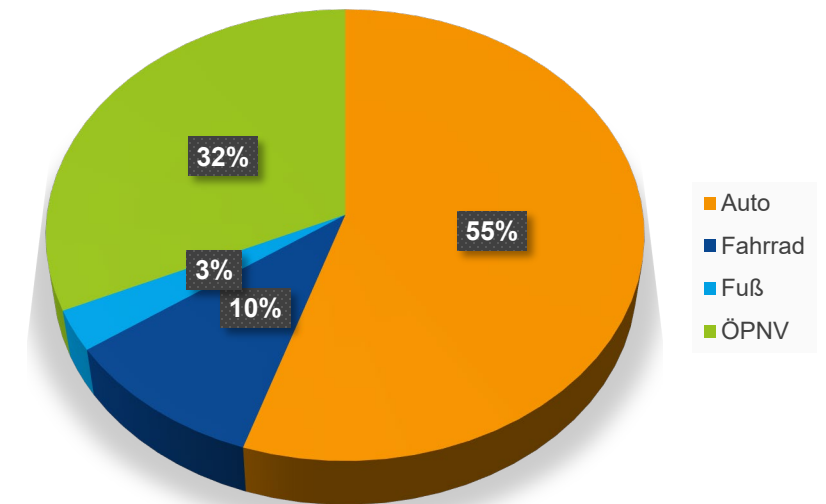


- 50.7 % ( $n = 35$ ) geben an, in der **Stadt** zu leben,
- 44.9 % ( $n = 31$ ) in der **Vorstadt**,
- 4.3 % ( $n = 3$ ) und auf dem **Land**.



10.3 % ( $n = 7$ ) sind in ihrer Mobilität aus gesundheitlichen Gründen **eingeschränkt**.

### Modalsplit





# Mobilitätsbefragung in Krefeld 2023 - Ergebnisse

## Welche Antworten haben wir bekommen?

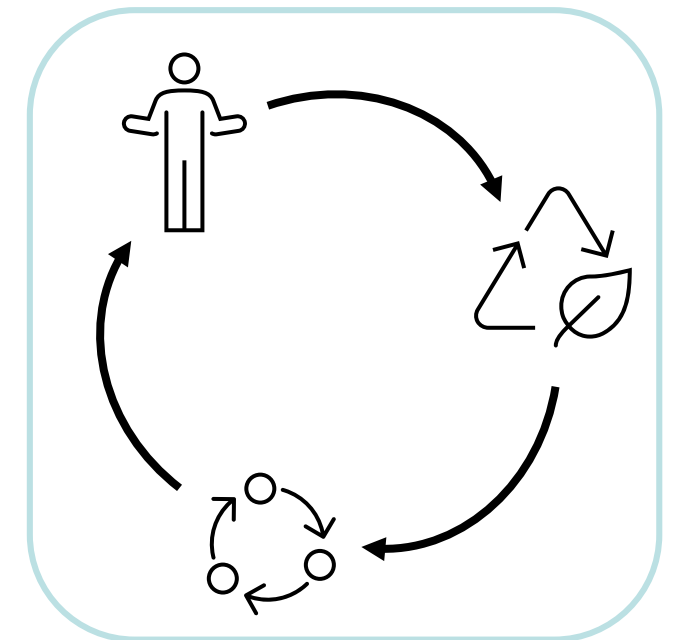
**Forschungsfrage:** Warum nutzen Krefelder:innen den Umweltverbund (Fuß / Fahrrad / ÖPNV)?

### Mögliche Erklärungsansätze:

- Umweltverbundnutzung hängt von der **Persönlichkeit** (“Big Five“) ab!
- Die **Einstellung zum Klimawandel** hat Einfluss auf die Nutzung des Umweltverbunds!
- **Gewohnheit, das Auto zu nutzen** beeinflusst die Umweltverbundnutzung!

Deskriptivstatistik

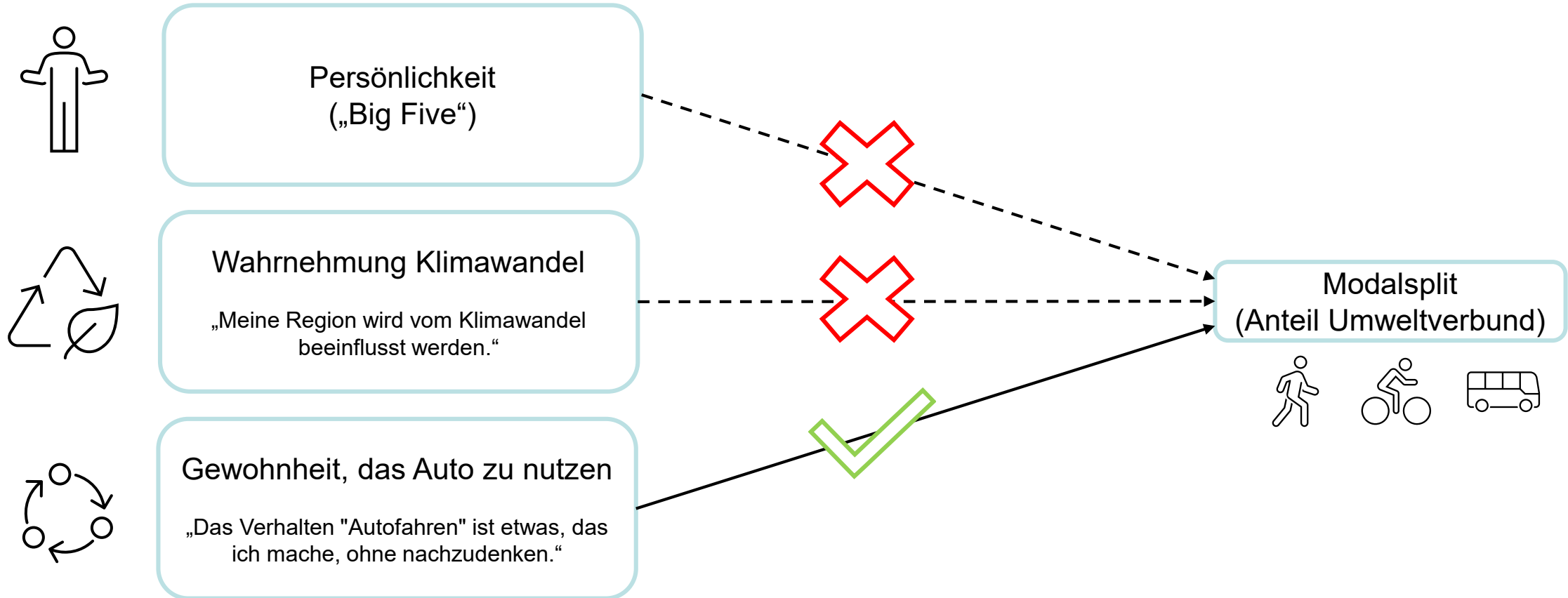
	Mittelwert	Std.-abw.	Minimum	Maximum
Extraversion	3.22	0.954	1.00	5.00
Verträglichkeit	3.14	0.795	1.50	4.50
Gewissenhaftigkeit	3.84	0.750	1.50	5.00
Neurotizismus	2.76	0.888	1.00	4.50
Offenheit	3.43	0.945	1.50	5.00
Wahrnehmung Klimawandel	5.96	1.056	2.60	7.00
Gewohnheit Auto	2.71	1.099	1.00	4.75



# Mobilitätsbefragung in Krefeld 2023 - Diskussion

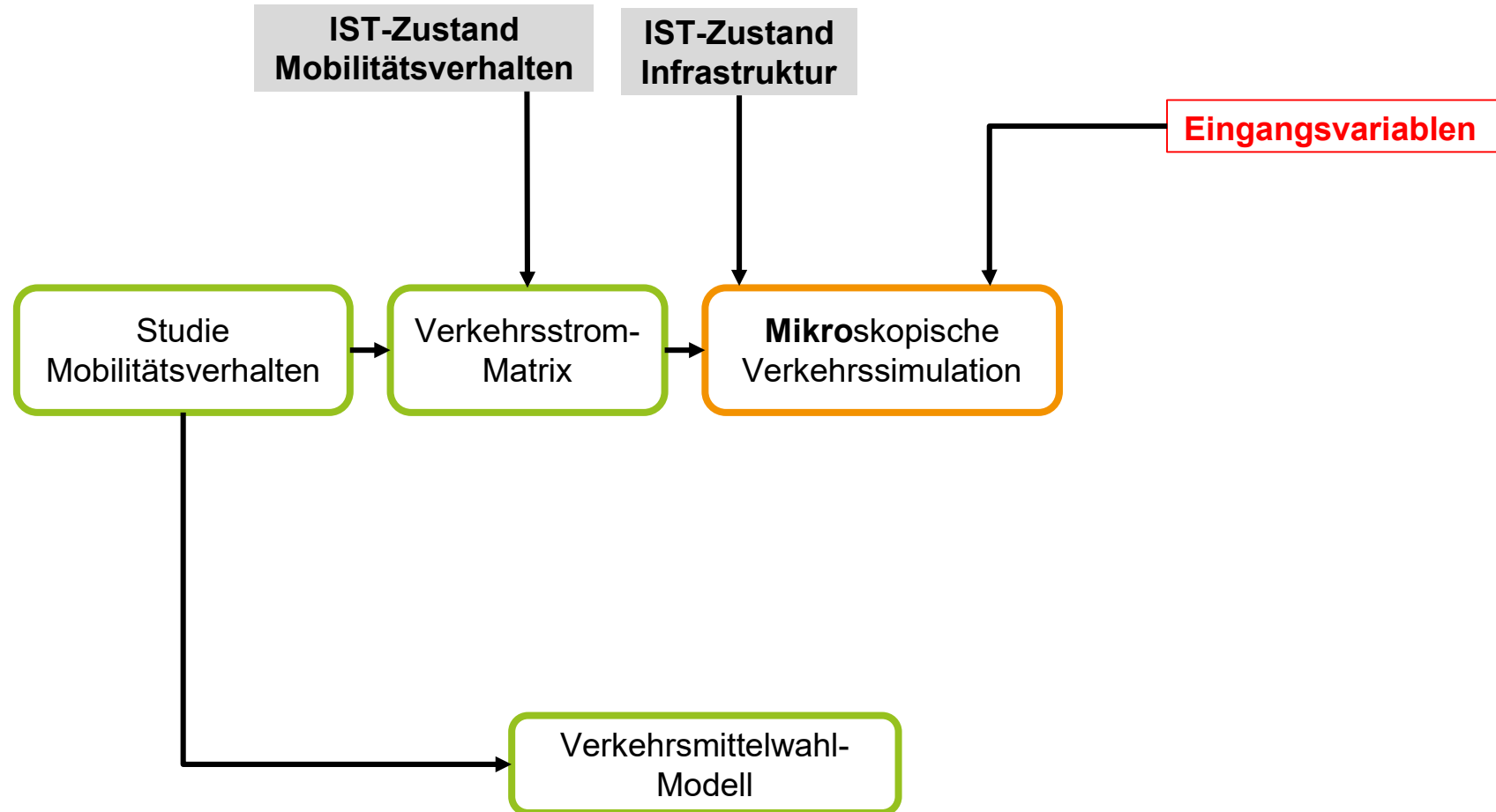
## Und was bedeutet das nun?

**Forschungsfrage:** Warum nutzen Krefelder:innen den Umweltverbund (Fuß / Fahrrad / ÖPNV)?



# Modellierung von ÖPNV-Systemen

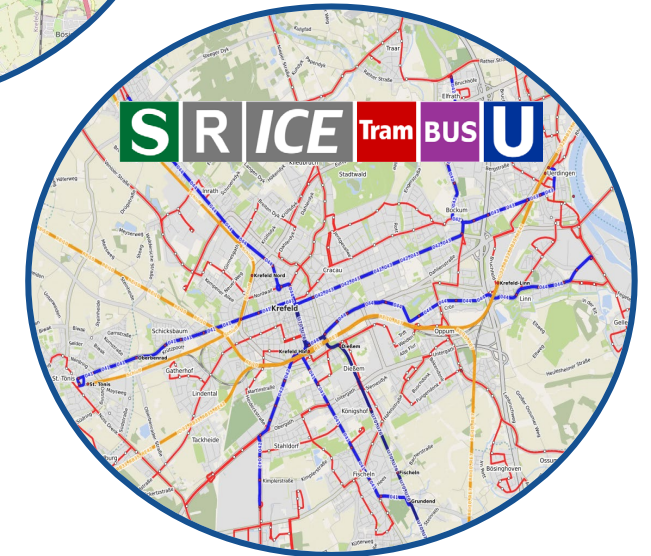
## Gesamtprozess



# Datengrundlage – Wie ist Krefeld aufgebaut?

## Krefeld in der Simulation

- **Kartendaten von OpenStreetMap.org**
  - Liefern Verkehrsnetz, Verkehrsregeln und Ampelanlagen
- **ÖPNV Sollfahrdaten von GTFS<sup>1</sup>.de**
  - Definieren Position und Abfahrtspläne des Krefelder ÖPNVs

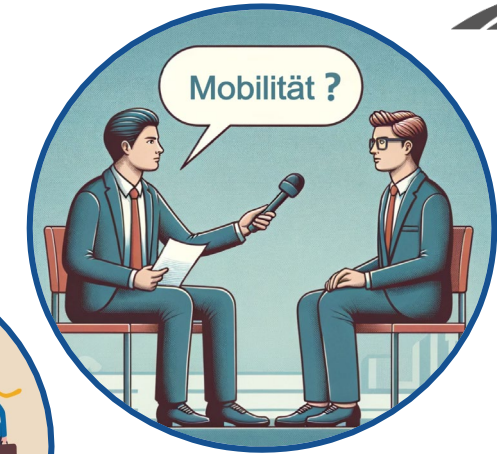


<sup>1</sup> General Transit Feed Specification

# Datengrundlage – Wie bewegen sich die Krefelder:innen?

## Krefeld in der Simulation

- **Mobilitätsbefragungen**
  - Liefern repräsentative **Wegstrecken**
  - Bilden Grundlage für **Verkehrstrom-Matrix**
- **Kataster-, demografische, und Mobilfunkdaten**
  - Ermöglichen **Hochrechnung**
- **Verkehrszählungen und Querschnittsbelastungsdaten**
  - Mögliche **Validierung**

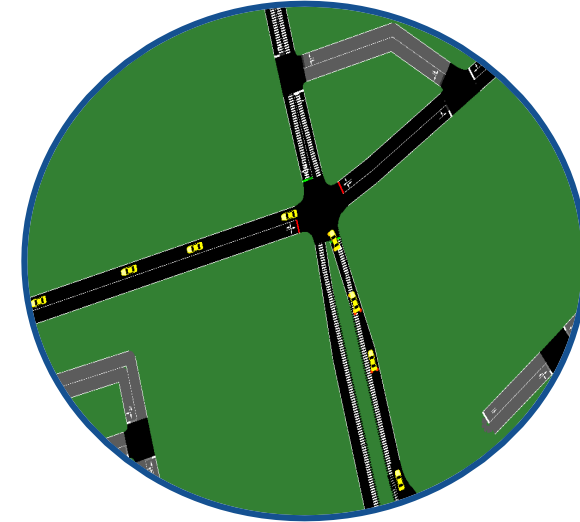


# Simulationssoftware

## Krefeld in der Simulation



- **SUMO - Simulation of Urban MObility**
- Open-Source-Verkehrssimulationstool
- **Mikroskopische Simulation:**  
einzelne Fahrzeuge und Verkehrsflüsse
- Anwendung:  
**Stadtplanung, Verkehrsforschung,**  
Fahrzeugkommunikation
- Unterstützt **multimodale** Verkehrssysteme
- Echtzeit-Verkehrsdaten und -vorhersagen
- Anpassbar für **spezifische Szenarien und Städte**



# Was liefert die mikroskopische Simulation von Krefeld?

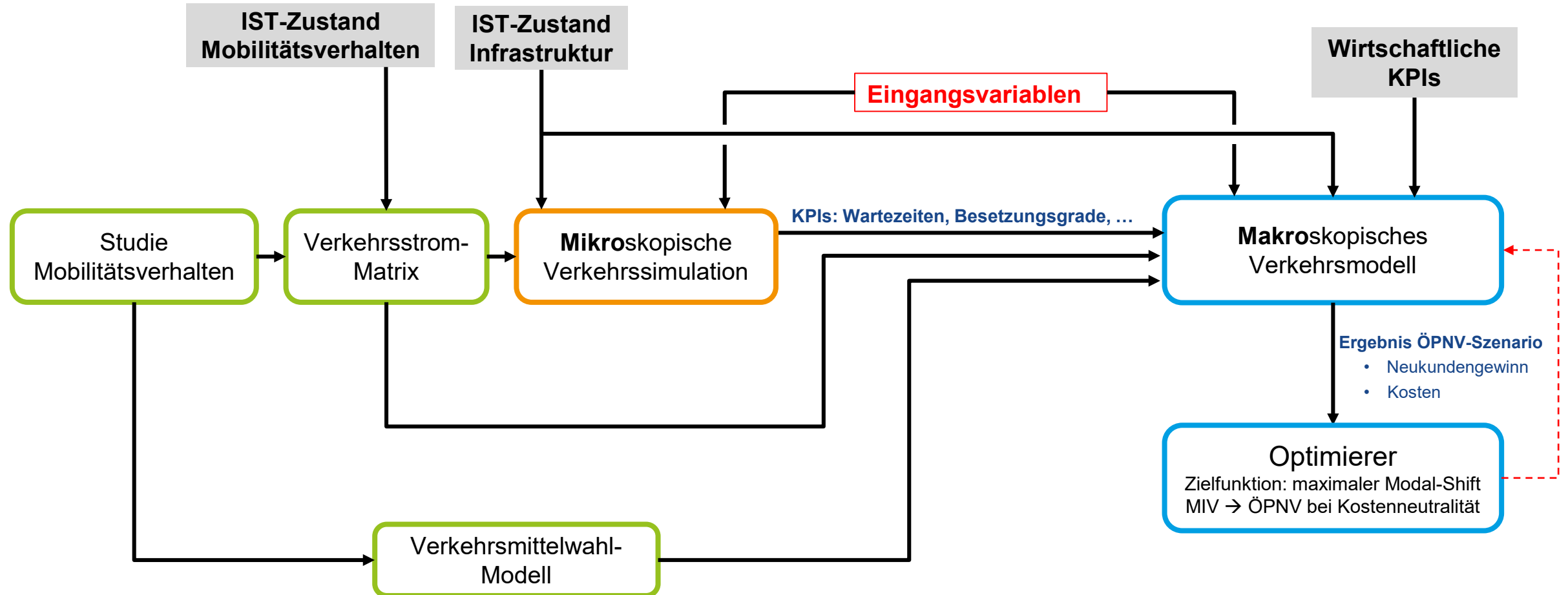
## Krefeld in der Simulation

- **Allgemein:**
  - **Verkehrsflussanalyse** und -optimierung
  - Unterstützung bei der **Stadtentwicklung** und Raumplanung
- **Im Rahmen von BestMOD:**
  - Entwicklung und Auswirkung **On-Demand-Verkehrsdienste**
  - **KPIs:** Besetzungsgrade, Wartezeiten, Betriebszeiten, Flottenoptimierung,...
  - Auswirkungen durch **Modal Shift**



# Modellierung von ÖPNV-Systemen

## Gesamtprozess





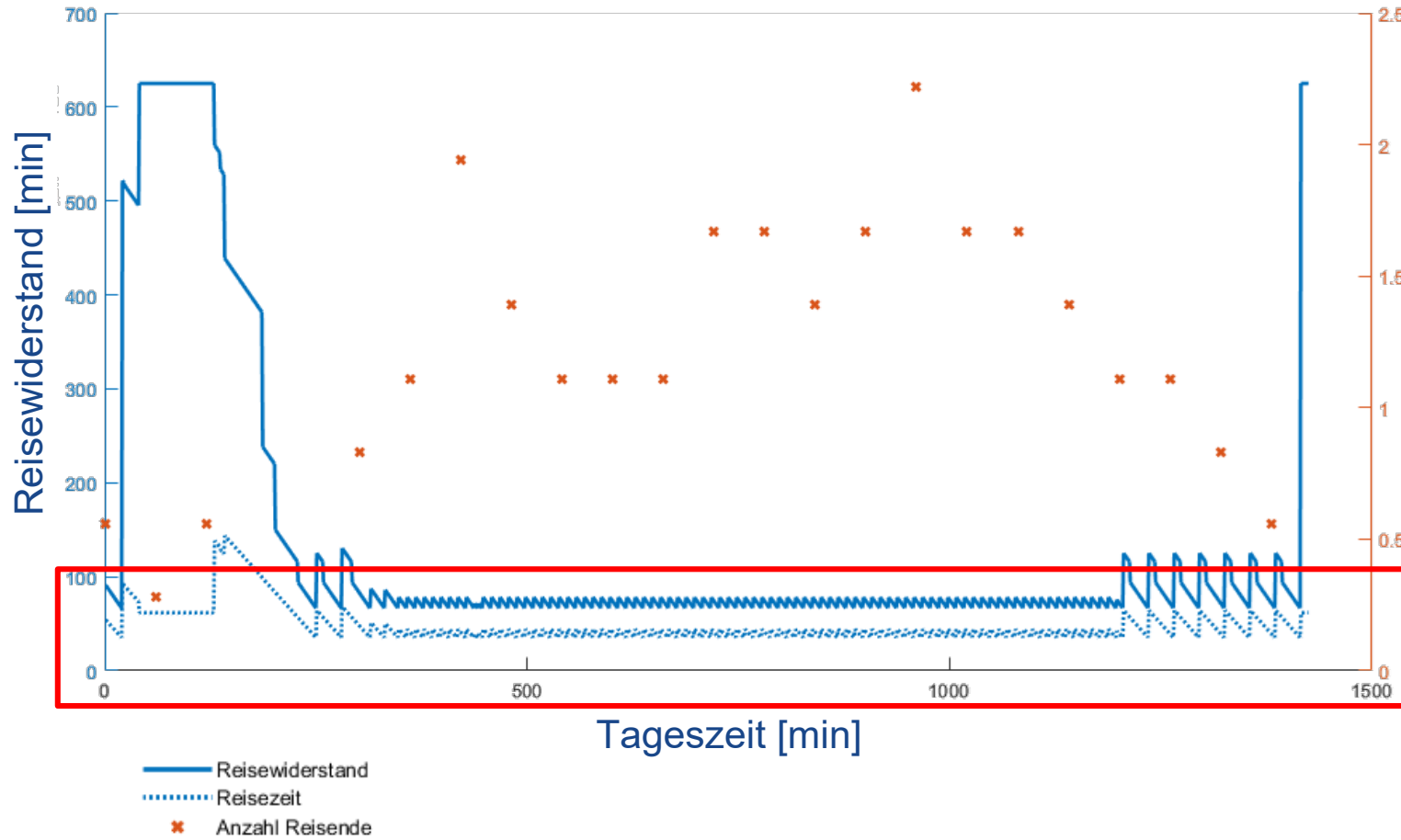
# Makroskopisches Verkehrsmodell

## Netzwerkoptimierung mit Matlab

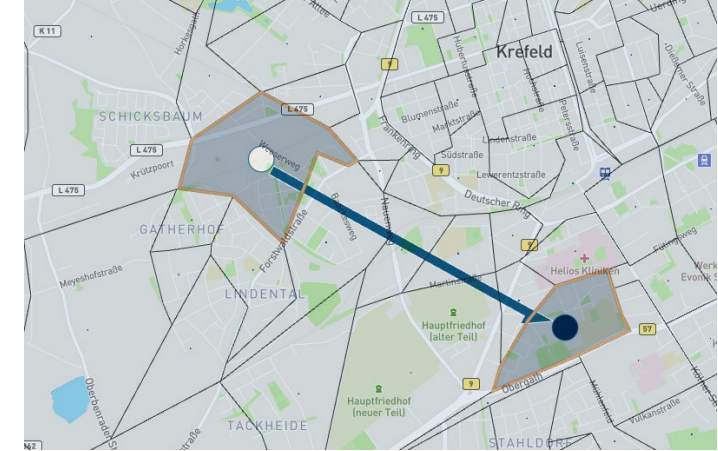
- Keine Betrachtung einzelner Fahrzeuge oder Personen
- **Graphen** für alle Verkehrsmittel
  - OpenStreetMap
  - Sollfahrplandaten
  - Floating Car Data
- **Kantengewicht** ( $\emptyset$ -Werte)
  - Fahrrad, Fuß: Reisezeit
  - MIV: Reisezeiten, Parkplatzsuchzeit
  - Linien-ÖV: Reisezeiten, Abfahrtszeiten
  - MoD: Reisezeit, Wartezeiten
- **Kostenfunktionen**
  - Investition Fahrzeugflotte
  - Betriebskosten nach Zeit und km



# Zeitabhängige Reisewiderstände Beispiel

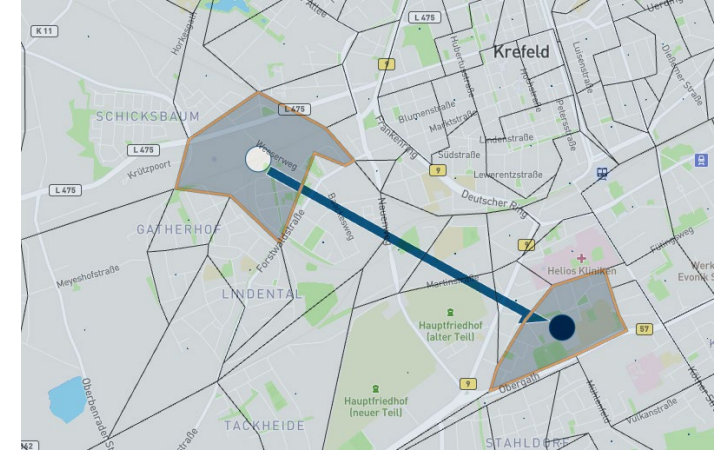
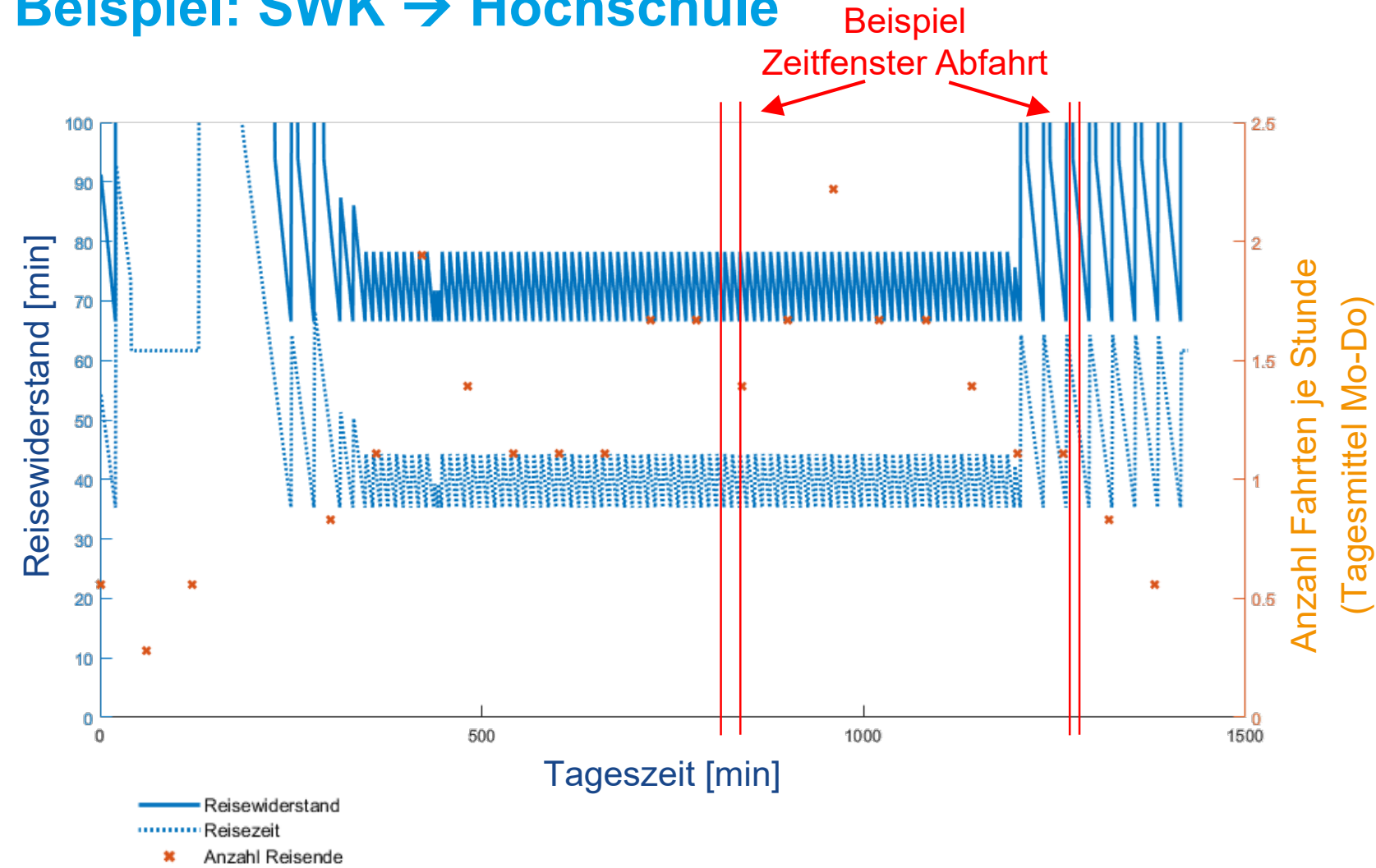


Anzahl Fahrten je Stunde  
(Tagesmittel Mo-Do)



# Zeitabhängige Reisewiderstände

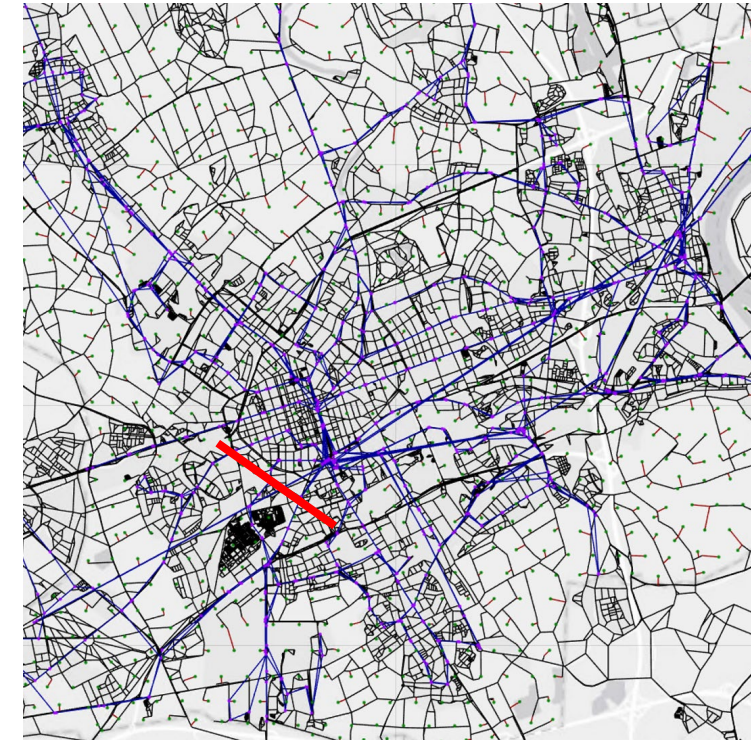
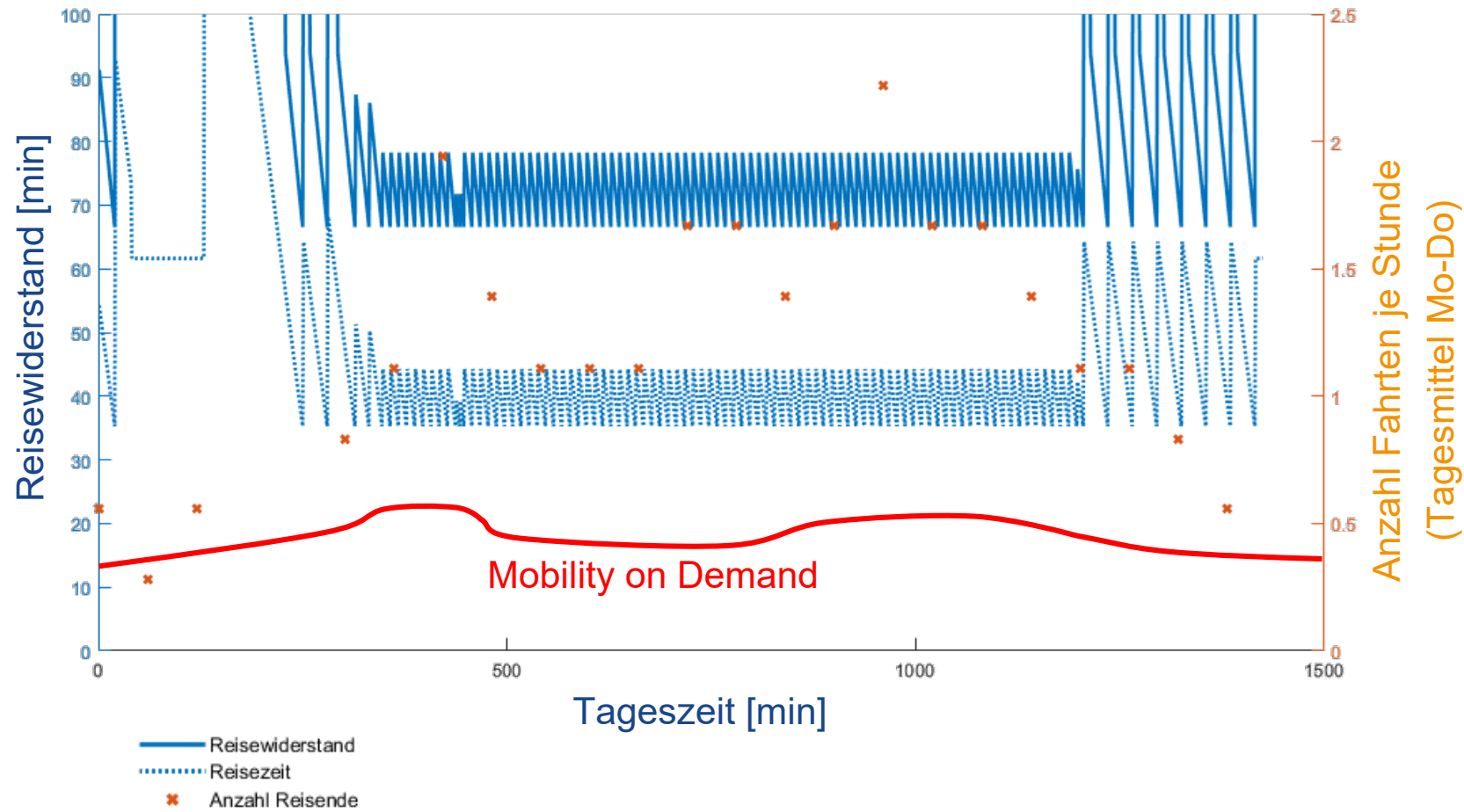
## Beispiel: SWK → Hochschule



- Reisewiderstand in Abhängigkeit der Zeit **je Relation**
  - Reisewiderstand **je Reise**
- **Verkehrsmittelwahl**

# Zeitabhängige Reisewiderstände

## Beispiel: SWK → Hochschule



- Hinzufügen von Kanten
  - Neuer Modal Split
- Modal Shift & Kosten

# Optimierung Zielfunktionen



Maximierung  
**Modal Shift**

Minimierung  
**Reisewiderstand**

gleichen Ausgaben  
wie heute

Minimierung  
**CO2-Ausstoß**

Minimierung  
**Verkehrsleistung**

... mit ...

X € Subventionen

Minimierung  
notwendige **Subventionen**

Y € Subventionen pro  
eingespartem CO2,  
Lärm, Parkplatzbedarf

# Ausblick für Krefeld

## Reallabor – Ausprobieren neuer Mobilität in Ihrer Stadt

### Motivation mitdenken

- Gewohnheiten spielen eine große Rolle für das Mobilitätsverhalten
- Um Verhalten nachhaltig zu ändern, muss dieser Hebel berücksichtigt werden!

### Neue Technologien in der Mobilität

- Fachkräfte- (Fahrer:innen-) Mangel mitdenken
- Perspektive auf hochautomatisiertes Fahren im On-Demand-Bereich
- Operator mit Joystick in Leitwarte kann mehrere Fahrzeuge betreuen



### Reallabor in Krefeld ab 2025

- Erweiterung der Fahrzeugflotte
  - Beginn mit 3 hochautomatisierten Fahrzeugen auf ausgewählten Strecken mit Sicherheits-Operator
  - Zuverlässigkeit und Attraktivität durch ergänzende konventionelle Fahrzeuge
  - Sukzessive Vergrößerung der hochautomatisierten Flotte
  - Operator betreut immer mehr Fahrzeuge parallel

## Weiterlesen & Informieren



Spengler, L.\*, Gößwein, E.\*, Kranefeld, I.\*, Liebherr, M., Kracht, F.E., Schramm, D., Gennat, M. (2023). Simulating Multimodal Transport Systems Based on Mobility Behavior. *Sustainability*, 15(10), 8171. *\*Authors contributed equally to this work.*

Diehl, K. (2022). *Autokorrektur - Mobilität für eine lebenswerte Welt*. S. Fischer Verlage

Vöckler, K., Eckart, P., Knöll, M. & Lanzendorf, M. (2023). *Mobility Design: Die Zukunft der Mobilität gestalten. Band 2: Forschung*. Berlin, Boston: JOVIS Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1515/9783868597936>



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Ministerium für Verkehr  
des Landes Nordrhein-Westfalen



UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*



Hochschule Niederrhein  
University of Applied Sciences

**SWK E<sup>2</sup>**

Institut für Energietechnik und  
Energiemanagement  
Institute of Energy Technology and  
Energy Management