BIDIREKTIONALES LADEN – ABBILDUNG VON ELEKTROMOBILITÄT IN VERKEHRSMODELLEN UND ABGELEITETE KENNWERTE

D. Krajzewicz, M. Bergfeld, J. E. Anderson

DLR

Institut für Verkehrsforschung
Zielsetzungen & Ausrichtung

Mobilität verstehen

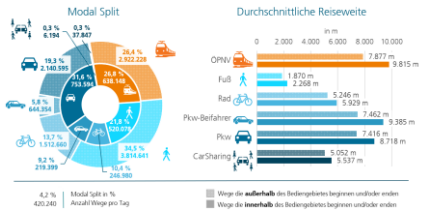
- Daten erheben und verarbeiten
- Trends analysieren und abbilden

Mobilität gestalten

- Gestaltung von Verkehrsmitteln, Verkehrsmärkten und -angeboten sowie Räumen, in denen Mobilität und Transport stattfindet
- Lösungen konzipieren und demonstrieren
- Wirkungen von Lösungen quantifizieren und bewerten

Mobilität implementieren

- Handlungsgestaltend unsere Partner aus Wirtschaft, Kommunen und Politik beraten













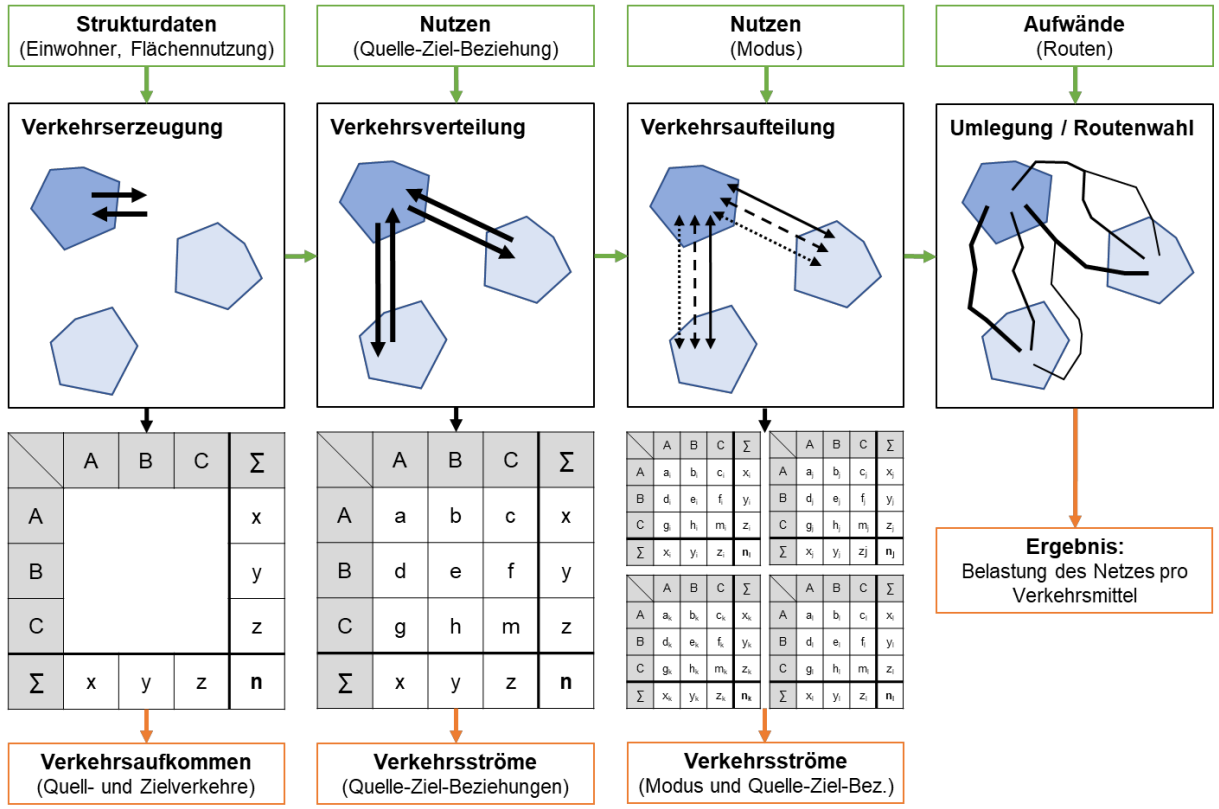
Elektromobilität

- Eine der Hauptstützen der Verkehrswende
- Entsprechend in Projekten des DLR verortet
- Fragestellungen (auf hoher Ebene)
  - Marktdurchdringung
  - Nutzungsmuster
  - Ladeverhalten
  - Verortung Ladeinfrastruktur
  - Smart City / Energiekopplung
  - Bidirektionales Laden

→ Entsprechender Modellaufbau

Strategische und operative Verkehrsplanung/-führung
Das makroskopische Vier-Stufen-Modell

- 1. Version in den 1950ern eingesetzt
- Vier Stufen
  - Verkehrserzeugung (wie viele Fahrten finden aus dem Gebiet statt)
  - Verkehrsverteilung (wohin wird gefahren / wo sind die Aktivitätsorte)
  - Verkehrsaufteilung (mit welchem Verkehrsmittel wird der Weg durchgeführt)
  - Umlegung / Routenwahl (wo lang wird gefahren)
- Makroskopisch: es werden Bevölkerungsgruppen und (bei der Umlegung) Verkehrsflüsse betrachtet
- Oftmals keine Wegeketten



Quelle: Thomsen, Nina und Schlaich, Johannes (2021)
Modellierung von Maßnahmen zur deutlichen Reduktion des Pkw-Verkehrs in Städten.
HEUREKA '21 - Optimierung in Verkehr und Transport, 2021-04-13 - 2021-04-14, Deutschland

Das agentenbasierte Verkehrsnachfragemodell TAPAS

- TAPAS ist ein agentenbasiertes Nachfragemodell
- Was bedeutet „agentenbasiert“?
  - Jede einzelne Person wird für sich abgebildet
  - Hat Eigenschaften wie Alter, Geschlecht, Erwerbsstatus (inkl. Schülern und Studenten), ggf. ein Führerschein, ÖPNV-Abonnement, etc.
  - Ist einer Personengruppe zugehörig
- Besonderheit: Gruppierung zu Haushalten
  - Bestimmte Mobilitätsoptionen (z.B. ein Pkw) können entlang des Tages von verschiedenen Personen benutzt werden
  - Der Besitz und die Nutzung werden über den Haushalt abgebildet







Das agentenbasierte Verkehrsnachfragemodell TAPAS

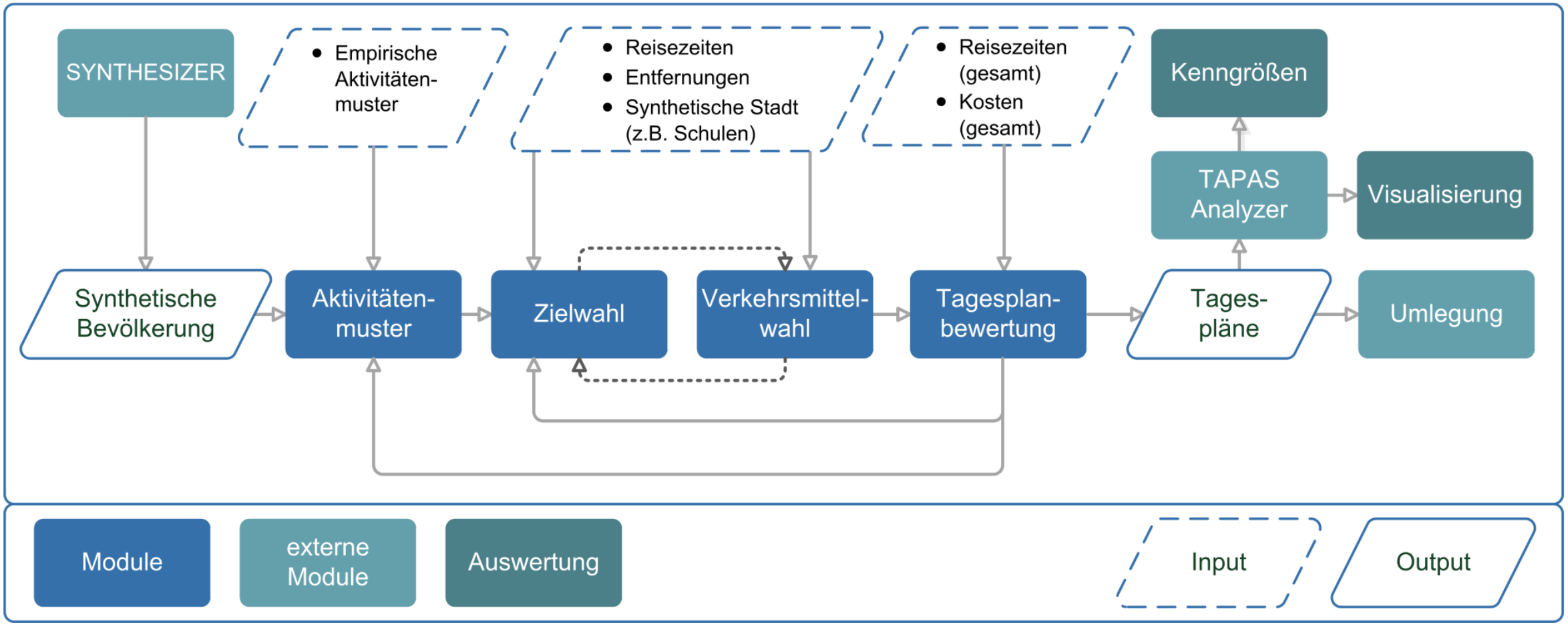
- Das Modell iteriert über alle Haushalte innerhalb des modellierten Gebietes und über alle Personen des Haushalts
- Für jede Person wird ein empirischer Tagesablauf gewählt, der zu der Soziodemografie der Person passt
- Für die Aktivitäten innerhalb des Tagesablaufs werden passende Zielorte (Aktivitätsorte) bestimmt sowie die der Verkehrsmodus, den die Person nutzen würde
- Der berechnete Plan wird validiert und ggf. verworfen / neu berechnet
- Ergebnis einer Simulation: Wegeketten einzelner Personen an einem durchschnittlichen Wochentag







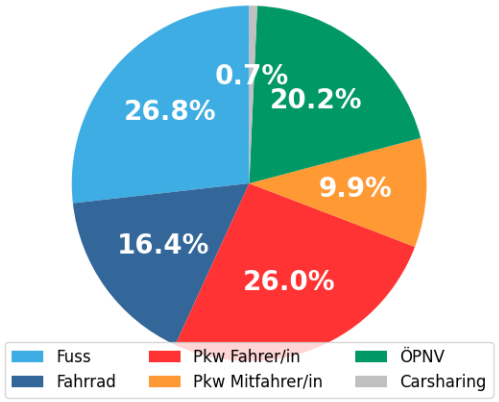
Das agentenbasierte Verkehrsnachfragemodell TAPAS



Das agentenbasierte Verkehrsnachfragemodell TAPAS
Nutzungsbeispiele – Simulation Änderung ÖPNV in Hamburg

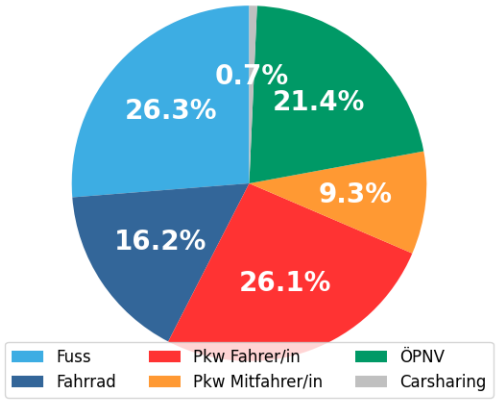
Hamburg 2030
- Keine Erweiterungen des ÖPNV

Nutzung Verkehrsmodi 2030



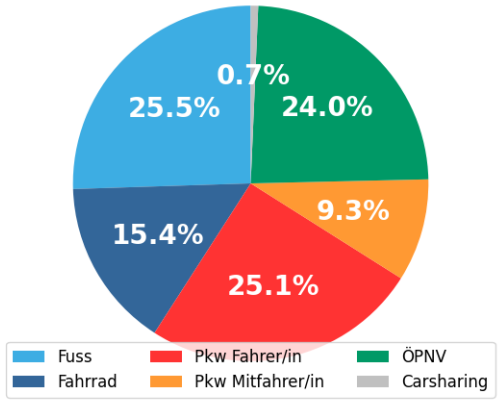
Hamburg 2030
- Erweiterung U4 und Fertigstellung Bauabschnitt 1 der U5

Nutzung Verkehrsmodi 2030 nach U-Bahn-Ausbau



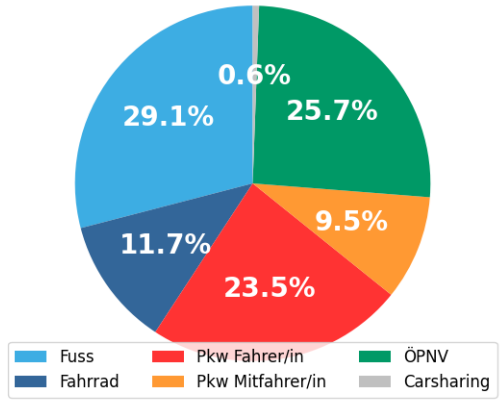
Hamburg 2030
- (autonomes) Zubringerangebot zum ÖPNV

Nutzung Verkehrsmodi 2030 bei first-/last-mile DRTs



Hamburg 2030
- ÖPNV umsonst

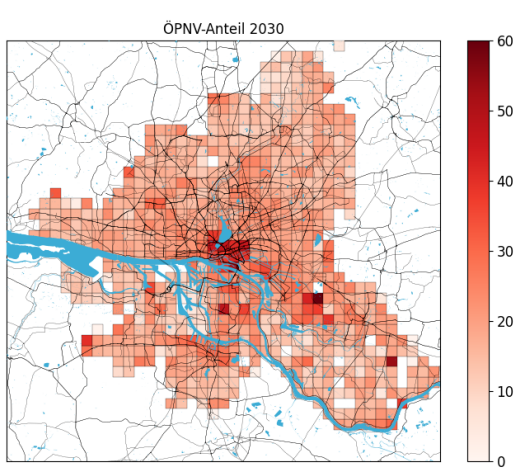
Nutzung Verkehrsmodi 2030 bei freiem ÖPNV

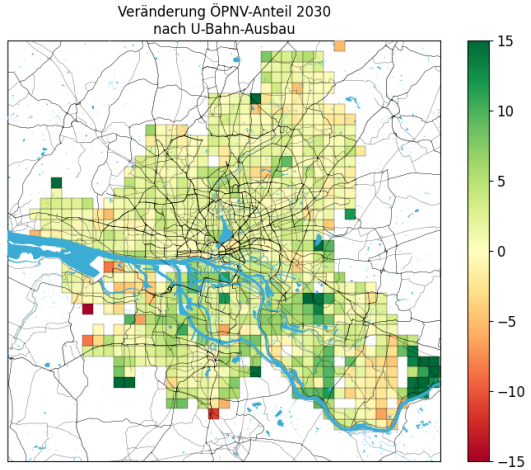


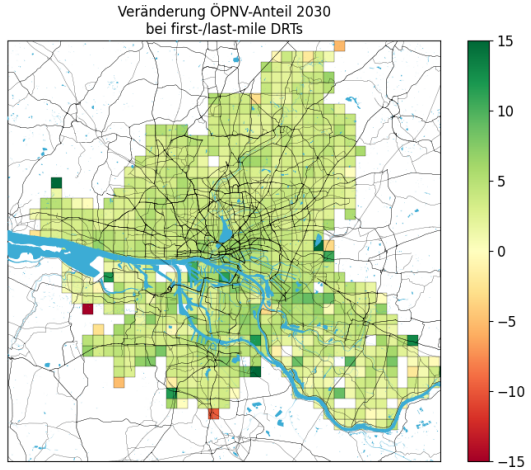
- Es sind keine weiteren Mobilitätsvorhaben (z. B. Ausbau Radschnellnetz oder zusätzliche Park+Ride-Anlagen), umgesetzt worden

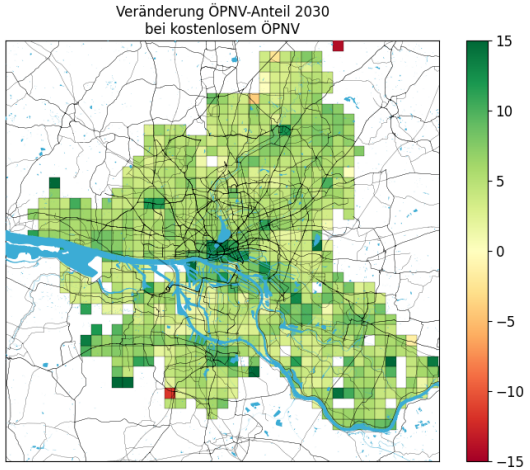
Das agentenbasierte Verkehrsnachfragemodell TAPAS
Nutzungsbeispiele – Simulation Änderung ÖPNV in Hamburg

Hamburg 2030	Hamburg 2030	Hamburg 2030	Hamburg 2030
• Keine Erweiterungen des ÖPNV	• Erweiterung U4 und Fertigstellung Bauabschnitt 1 der U5	• (autonomes) Zubringerangebot zum ÖPNV	• ÖPNV umsonst





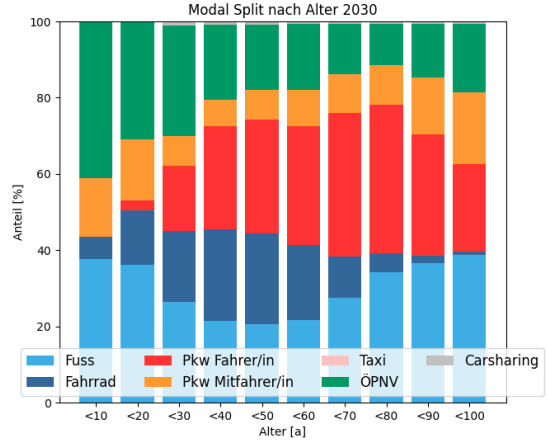


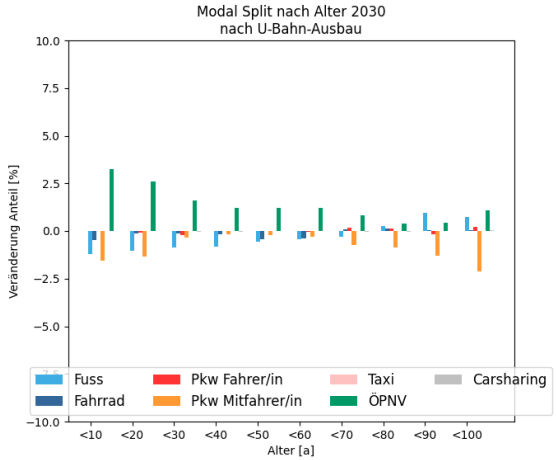


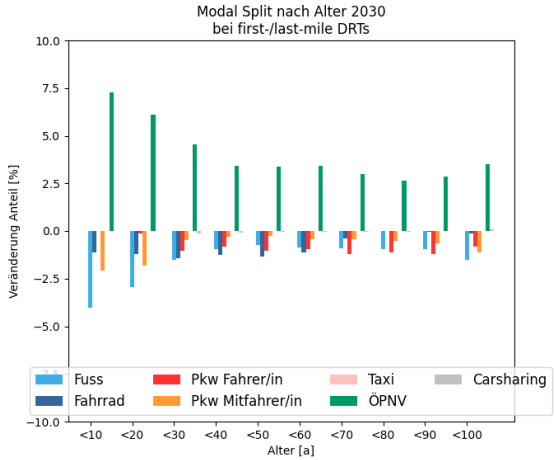
- Es sind keine weiteren Mobilitätsvorhaben (z. B. Ausbau Radschnellnetz oder zusätzliche Park+Ride-Anlagen), umgesetzt worden

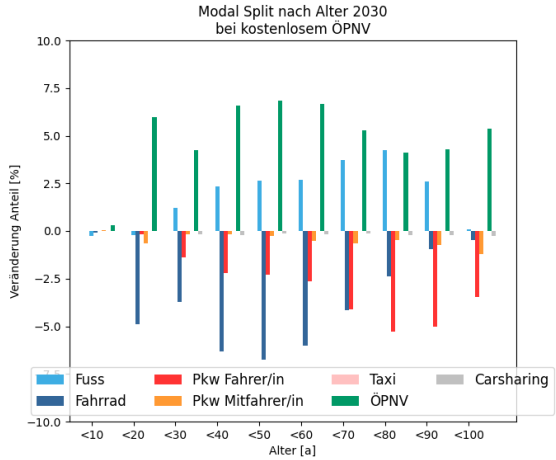
Das agentenbasierte Verkehrsnachfragemodell TAPAS
Nutzungsbeispiele – Simulation Änderung ÖPNV in Hamburg

Hamburg 2030	Hamburg 2030	Hamburg 2030	Hamburg 2030
• Keine Erweiterungen des ÖPNV	• Erweiterung U4 und Fertigstellung Bauabschnitt 1 der U5	• (autonomes) Zubringerangebot zum ÖPNV	• ÖPNV umsonst





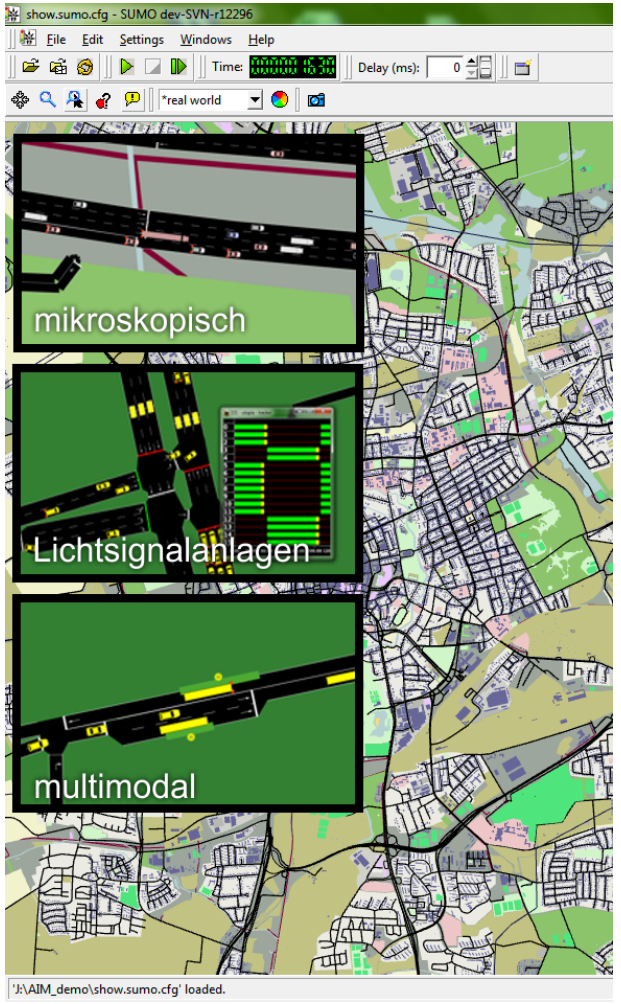




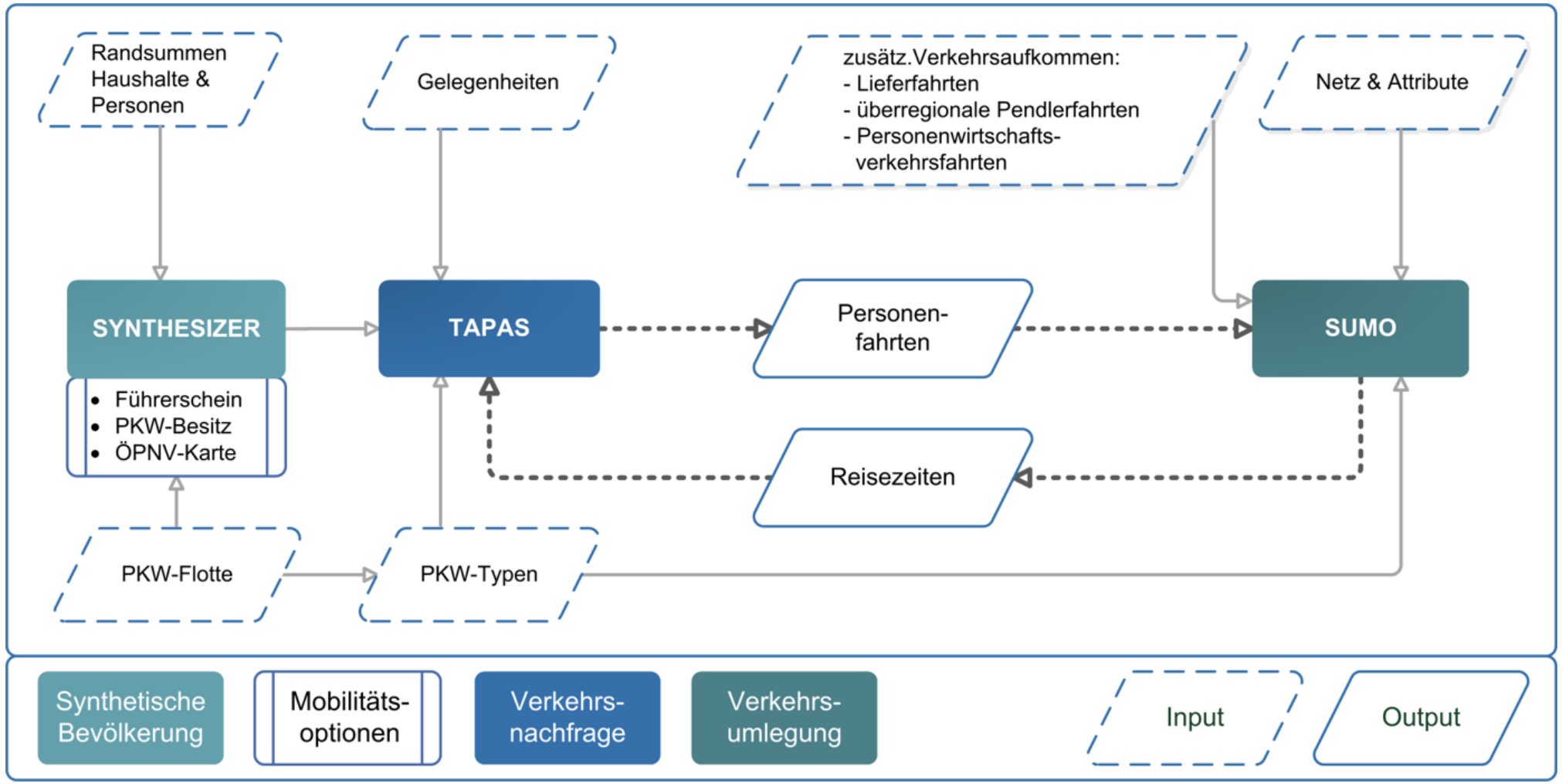
- Es sind keine weiteren Mobilitätsvorhaben (z. B. Ausbau Radschnellnetz oder zusätzliche Park+Ride-Anlagen), umgesetzt worden

SUMO – Simulation of Urban Mobility
Mikroskopische Verkehrsflusssimulation

- Mikroskopisch (simuliert einzelne Fahrzeuge / Personen)
- multi- und intermodal
- entwickelt seit 2001 – stabil
- portabel (Windows/Linux/MacOS)
- hohe Ausführungsgeschwindigkeit
- keine Einschränkungen der Netzgröße
- frei (open source)
- Umfasst Werkzeuge:
  - zum Netzimport und -aufbereitung
  - zur Nachfragegenerierung und -import
  - zur Visualisierung



SUMO – Simulation of Urban Mobility
Mikroskopische Verkehrsflusssimulation

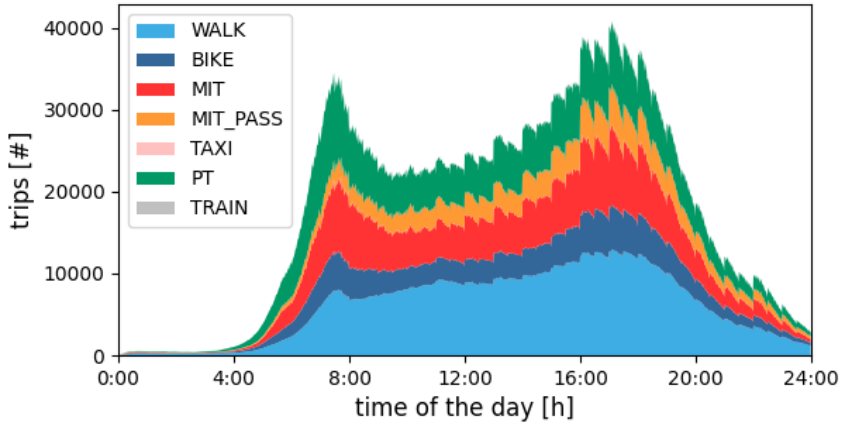


SUMO – Simulation of Urban Mobility
Mikroskopische Verkehrsflusssimulation

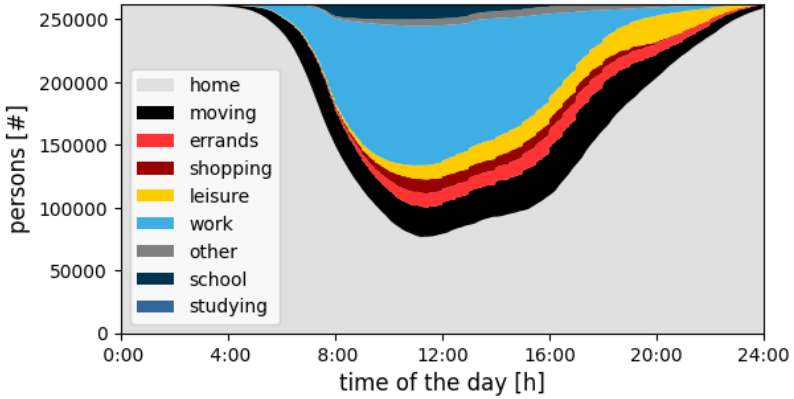


Projekt InterBDL
Umsetzung Ulm/Neu-Ulm

- Ergebnis: lauffähige TAPAS-Simulation

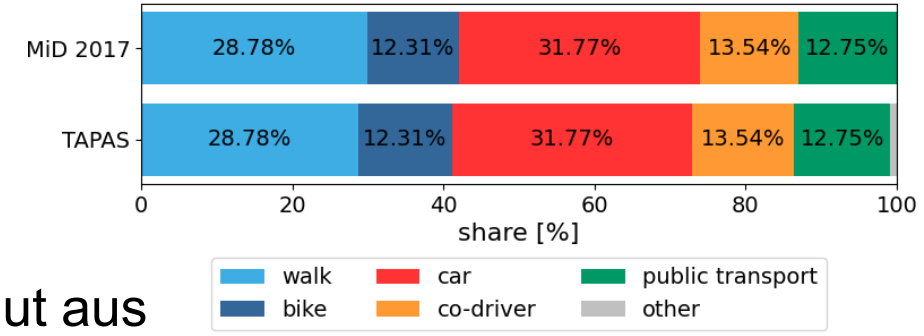


Fahrten über Tag nach Verkehrsmittel



Aktivitäten über den Tag

- Insgesamt eine gute Abbildung des Mobilitätsverhaltens
  - Modal Split (Verteilung Verkehrsmittelnutzung) sieht gut aus

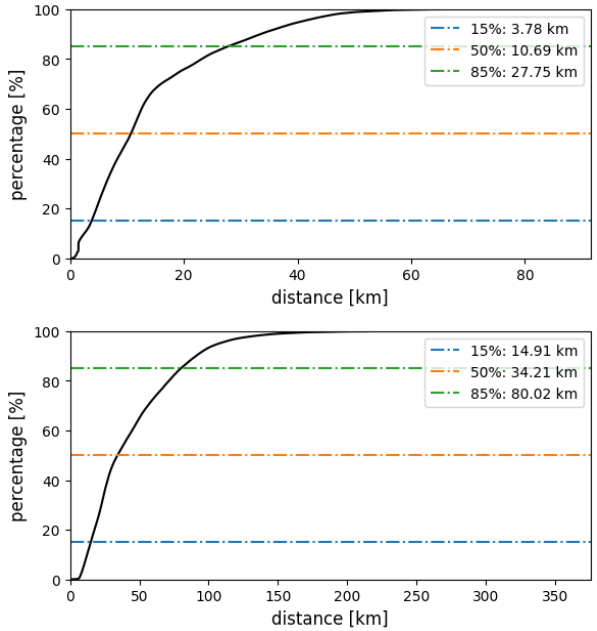


Vergleich Modal Split Simulation / MiD 2017

Projekt InterBDL
Auswertungen – Verkehrsnachfrage

- Innerhalb einer Fahrt werden im Schnitt ca. 11 km zurückgelegt
- Die durchschnittliche Tagesfahrleistung eines Pkw beträgt ca. 35 km

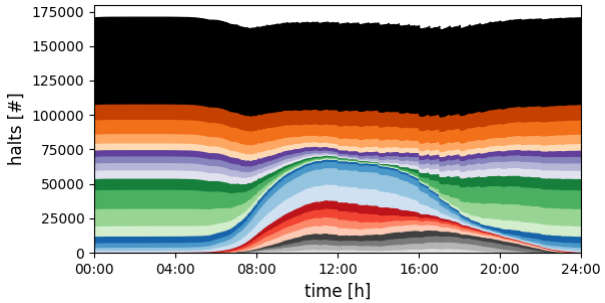
→ Bei einem Verbrauch von 0,20 kWh/km werden für alle Fahrzeuge innerhalb des modellierten Gebietes ca. 3800 kWh benötigt – ca. der Verbrauch eines Einfamilienhauses mit 4 Personen im Jahr



Zurückgelegt Strecken (oben: Fahrten, unten: Tagessummen / Fahrzeug)

Projekt InterBDL
Auswertungen – Verkehrsnachfrage

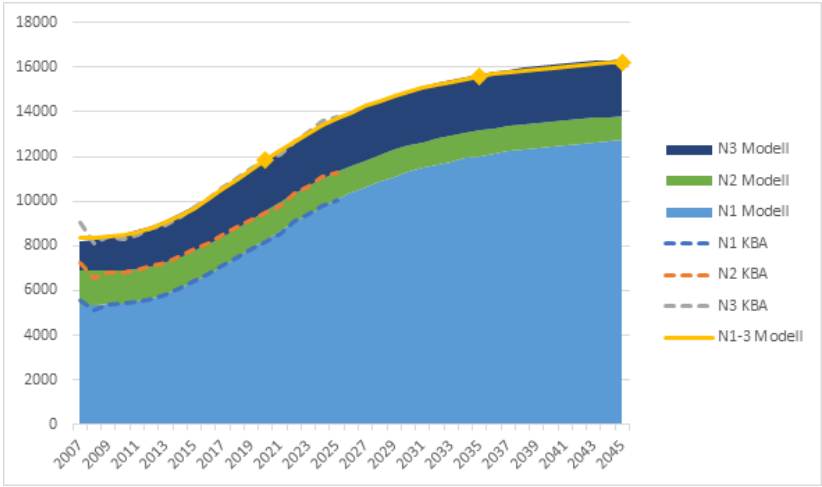
- Ca. 40 % der Fahrzeuge werden an einem normalen Tag gar nicht genutzt
- Die meisten Haltezeiten > 4 h
- Höchstens 10 % der Fahrzeuge sind gleichzeitig auf der Straße unterwegs
  - →Es ist tatsächlich eine große Menge an Batteriekapazität verfügbar



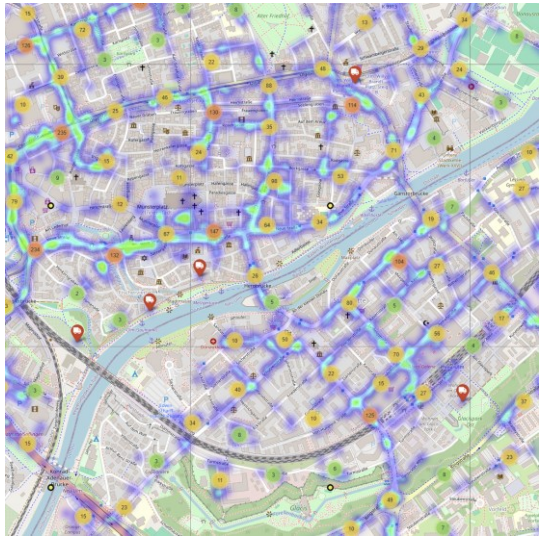
Verteilung Haltedauern über Tag

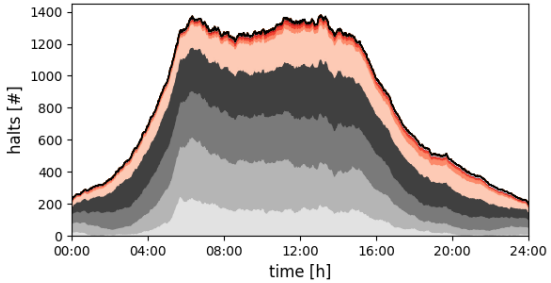
Projekt InterBDL
Auswertungen – Wirtschaftsverkehr

- Daher sind Daten der Firma INRIX gekauft worden
  - Haltepositionen von Fahrzeugen des Wirtschaftsverkehrs, tlw. samt Haltedauer und vorher zurückgelegter Strecke
- Zudem ist ein Modell für die Elektrifizierung der Fahrzeugflotten des Wirtschaftsverkehrs entwickelt worden



Prognose Elektrifizierung Wirtschaftsverkehr


Heat Map der Parkorte



Verteilung der Haltedauern über Tag (Wirtschaftsverkehr)

CHARGIN
Ermittlung des Ladebedarfs von Elektrofahrzeugen

- Das Modell CHARGIN bildet das Ladeverhalten ab – wo wird geladen, gegeben Haltedauer, Kosten, Aktivität vor Ort, Batteriestand
  - Basierend auf einer Befragung von E-Fahrzeugnutzerinnen/-nutzern
- Ausgangspunkt für CHARGIN: Das Projekt Laden2020
  - Konzept zum Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur in Deutschland von damals (~2016) bis 2020
  - Ziel: Die Entwicklung einer systematisch nachvollziehbaren und konsistenten Strategie zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge in Deutschland



CHARGIN
Erweiterung um bidirektionales Laden

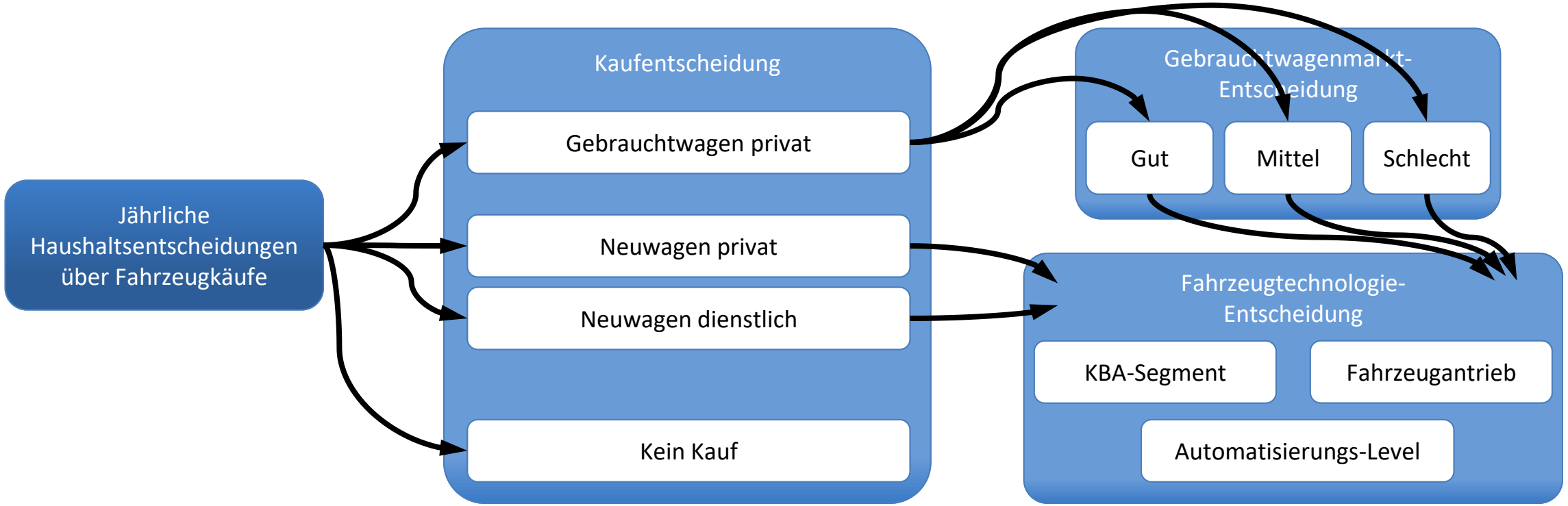
- Das Modell des Ladeverhaltens CHARGIN wird mit den auf die Parkplätze gemappten Standorten und –zeiten gespeist
- Liefert so die Orte, an denen voraussichtlich geladen wird

- Im Rahmen von InterBDL wird CHARGIN um die Abbildung bidirektionalen Ladens erweitert
  - Aber: kein Verhaltensmodell für bidirektionales Laden verfügbar
  - Daher nur Kapazitäten (wie viele Fahrzeuge mit welchen Batteriekapazitäten sind angeschlossen)

  → Kann für die Simulation von Geschäftsmodellen eingesetzt werden

CAST
Prognose Entwicklung der Fahrzeugflotte

- Wie entwickelt sich die Fahrzeugflotte?
  - Wie schnell findet Elektrifizierung in Abhängigkeit von politischen Vorgaben statt?
- CAST bildet Kaufentscheidungen ab



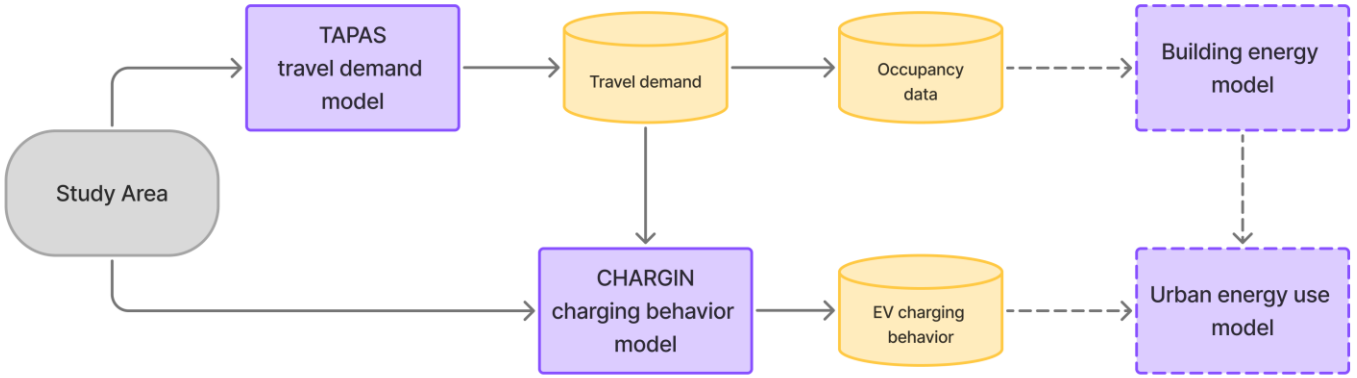
Projekt InterBDL
Zusammenfassung Kenngrößen

- Fahrleistung / Fahrzeug (pro Fahrt / Tagesfahrleistung)
- Energieverbrauch (pro Fahrt / Tagesfahrleistung)
- Stand-/Halteorte, -zeiten, und -dauern (minütlich)
- Geladene Energie (stündlich über eine Woche)
- Freie Batteriekapazität

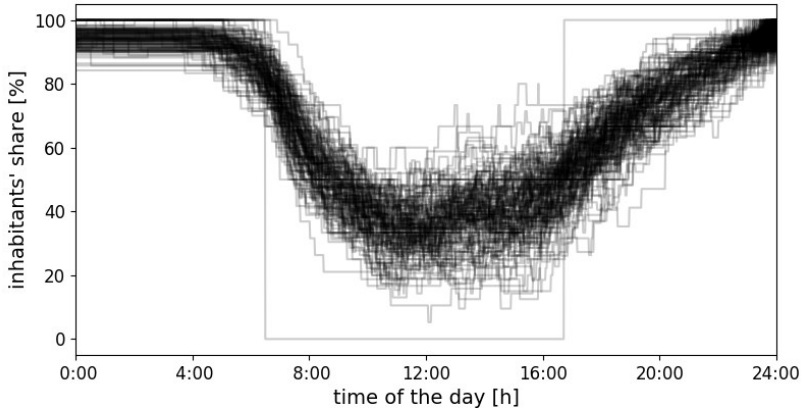
- jeweils im Raum verortet

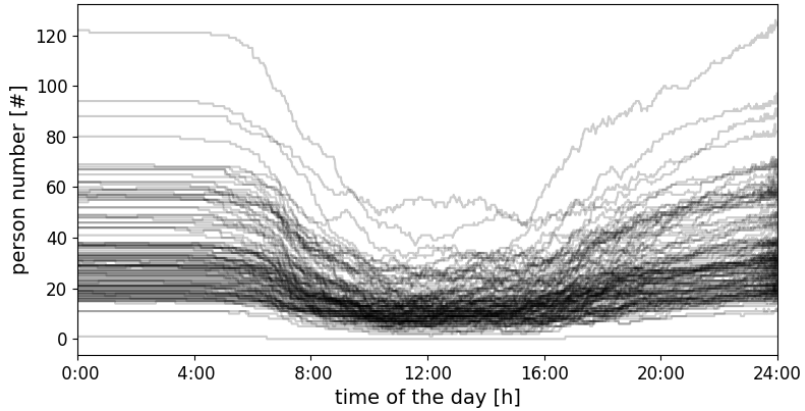
TAPAS
Alternative Nutzung in SekQuaSens[3]

- Üblicherweise werden die Wege der TAPAS-Bevölkerung untersucht
- In SekQuaSens[3] sind dagegen die Aufenthaltszeiten in den Gebäuden betrachtet worden









PowerForecastMapper
Vorhersage Ladebedarfe und Ladestellenverortung



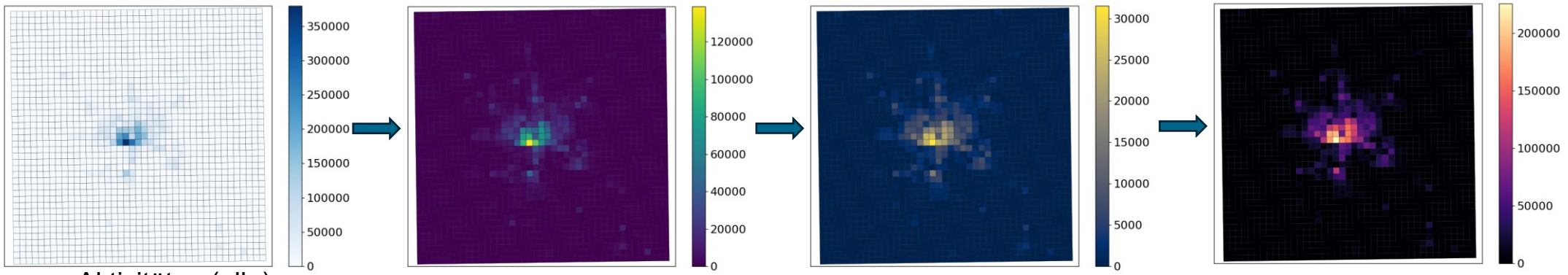
Leistung angeschlossener Fahrzeuge an einem Mittwoch, 16:00 Uhr, in 2045.



Anschlussleistung im Zeitverlauf je Ladeort-Typ und Zugänglichkeit.

Neben der Anzahl ladender Fahrzeuge lassen sich auch die **Leistung der angeschlossenen Fahrzeuge** sowie die **verladene Energie** darstellen. Dabei wird zwischen kontrollierten und unkontrollierten Ladevorgängen unterschieden, sodass das Potenzial von **gesteuertem Laden zur Entlastung des Energiesystems** ermittelt werden kann.

Projekt InterBDL
Auswertungen – aktuell laufend



Aktivitäten (alle) in Personen

Aktivitäten (alle) mit Auto in Personen

Aktivitäten (alle) mit Auto und Dauer>2 h in Personen

Aktivitäten (alle) mit Auto und Dauer>2 h in Stunden

→ + Kapazität / Ladestand
+ Durchdringung

- Ableitung der für bidirektionales Laden verfügbarer Fahrzeuge / Batteriekapazitäten (in Arbeit)

Impressum

Thema:	**Bidirektionales Laden – Abbildung von Elektromobilität in Verkehrsmodellen und abgeleitete Kennwerte**
Datum:	05.05.2026
Autor:	D. Krajzewicz, M. Bergfeld, J. E. Anderson
Institut:	Institut für Verkehrsforschung
Bildcredits:	DLR, ESA