



MoVMI Modellierung des
innerstädtischen
Verkehrsaufkommens als
Datengrundlage für Mikrologistik
und autonomen Verkehr

MoVMi

Motivation

Leipzig

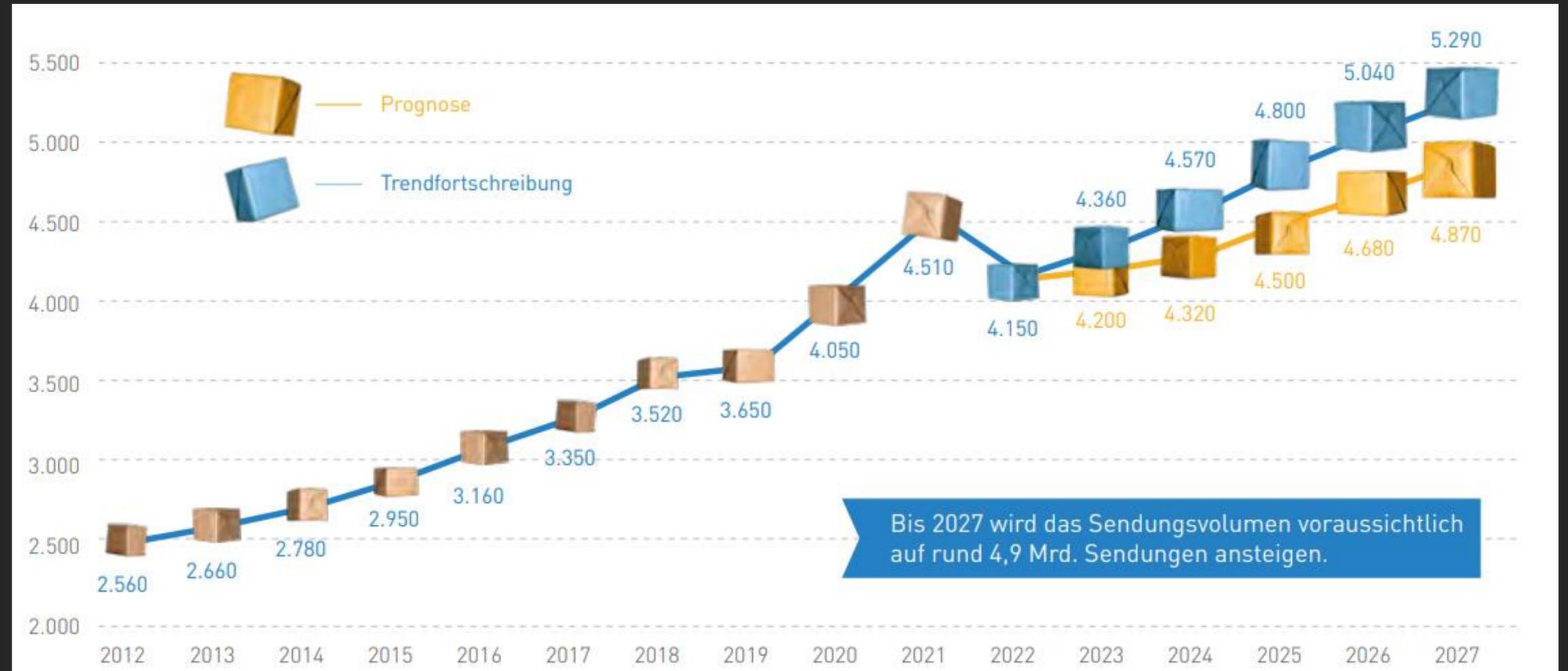
- Mischverkehr: Transporter, Lastenräder, Fußgänger
- Luftverschmutzung, Lärmbelästigung
- Lieferzeitbeschränkung
- Platzbedarf durch Zustellfahrzeuge → Staubildungen
- Stadtbild: Lieferfahrzeuge parken in zweiter Reihe
- Bevölkerungswachstum
- Wachstum E- Commerce → Paketzustellungen nehmen zu
- Arbeitskräftemangel im KEP-Dienstleistungsbereich
- Green City Plan:
 - Bei 4 Depots Feinverteilung von 24.000 Paketen
 - Mögliche Standorte:
 - Hauptbahnhof
 - Wilhelm-Leuschener-Platz
 - Durchmesser Innenstadt ca. 1km

➔ Umbau Güterversorgung ist notwendig



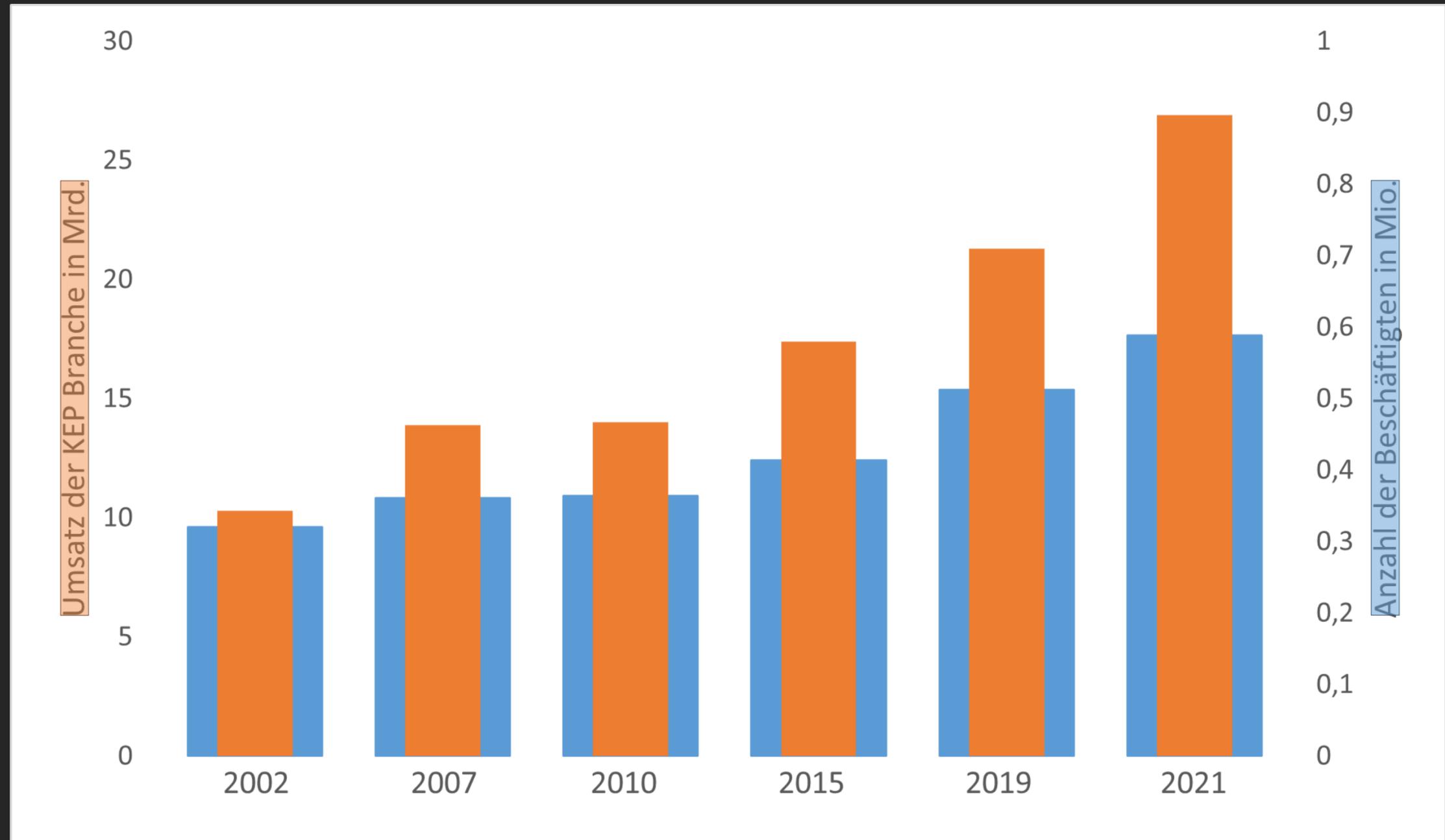
Sendungsvolumen

- Wachstum E-Commerce
→ Paketzustellungen nehmen zu
- Ca. 5% Wachstum jedes Jahr



Fachkräftemangel

- Arbeitskräftemangel im KEP-Dienstleistungsbereich bei gleichzeitigem Bedarf



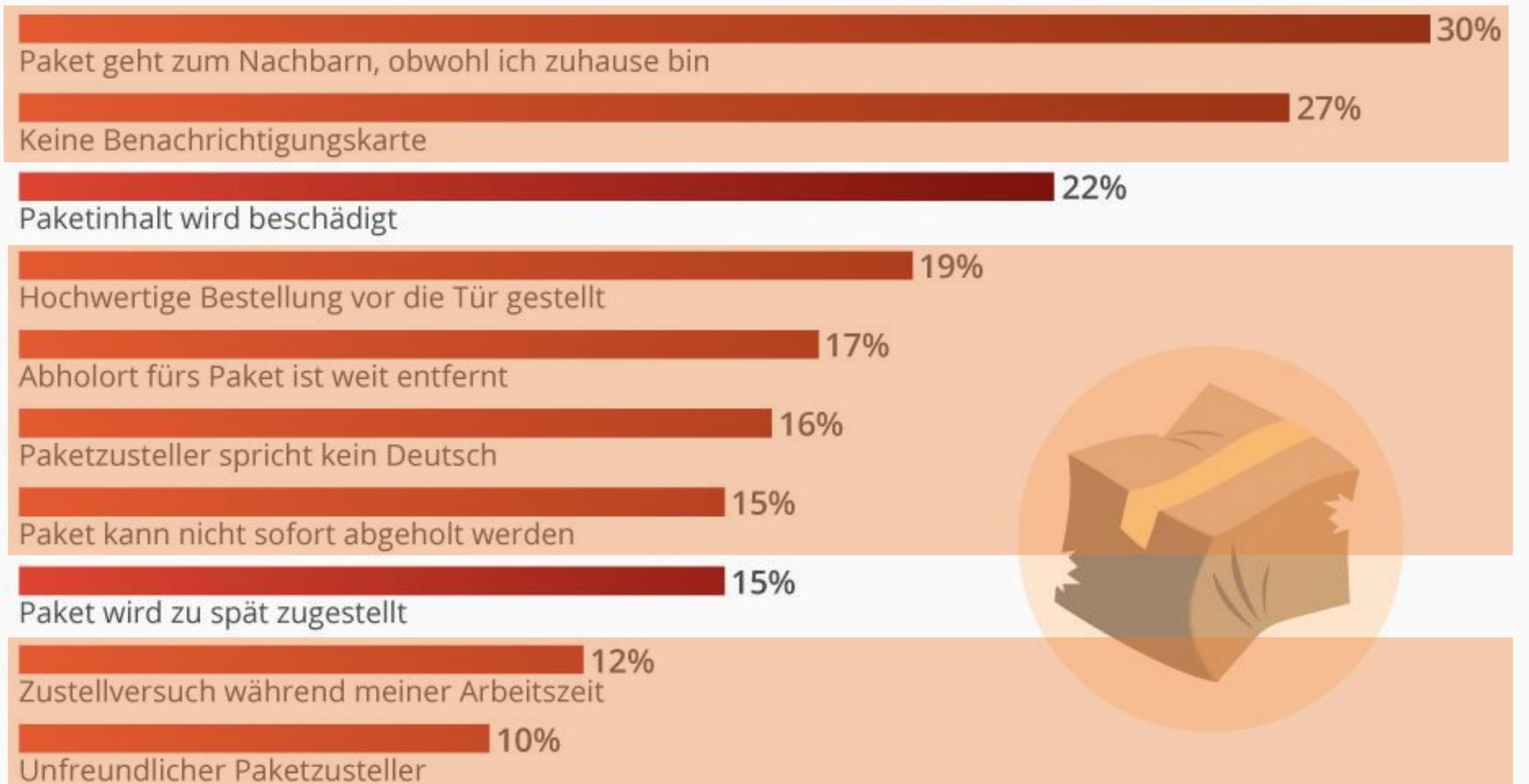
Quelle: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/290020/>

Erwartungshaltung

- Ansprüche der Kunden
 - Unmittelbare & direkte Übergabe gewünscht
 - Kurze Abholwege
- Flexible Arbeitsmodelle

Das ärgert die Deutschen bei der Paketzustellung

Anteil der Befragten, die sich über Folgendes aufregen



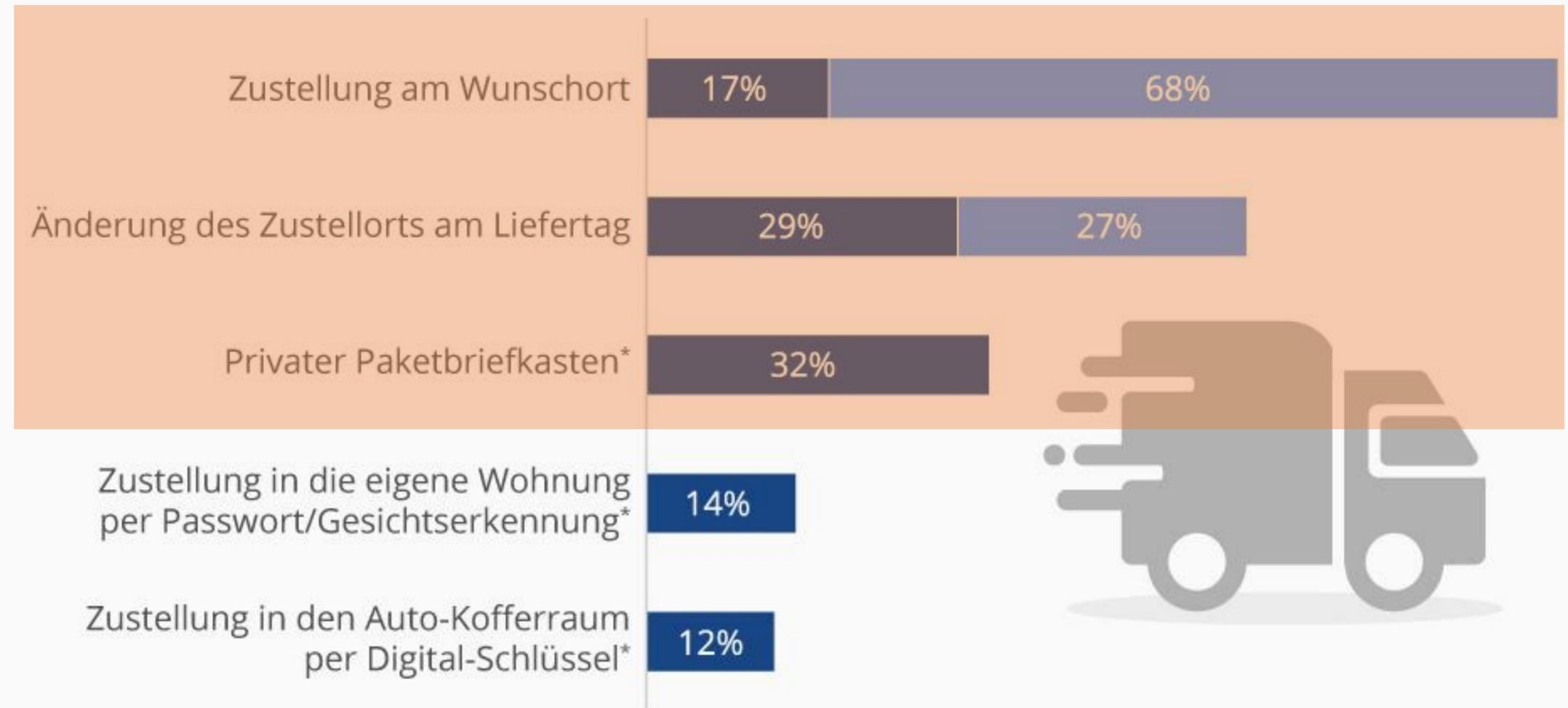
Alternativen?

- 1/3 wünscht Paketbriefkasten
- Flexibilität bzgl. Zustellzeit

Jeder Dritte wünscht sich eigenen Paketbriefkasten

Welche dieser Paketdienst-Services würden Sie gerne nutzen?

■ Könnte ich mir vorstellen
 ■ Schon genutzt



Lösungen

- Micro-Hubs
- Lastenräder
- In-Car-Delivery
- Packstationen
- E-Fahrzeuge
- ÖPNV (CargoTram)
- Lieferroboter

- Intelligente Routenplanung
- Smarte Lieferzonen
- Autonome Last Mile
- Wasserstraßen
- U-Space (Drohnen)



Zielstellung

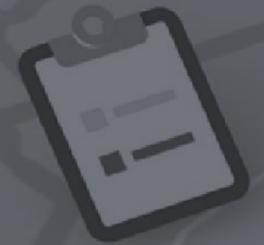
Schaffung einer Datengrundlage zur Analyse der Effektivität von Mikrologistik im Innenstadtbereich Leipzig

- Erfassung des logistischen Bedarfs von Wirtschaftsakteuren
- Modellierung der orts- und zeitabhängigen Verkehrsdichte
- Generierung eines Modells zur Schätzung der Transportgeschwindigkeit von FTS
- Analyse von Abhängigkeiten, wie Verkehrsdichte; Straßenbreite und Fahrzeugparametern
- Simulative Analyse des logistischen Ablaufs mittels FTS

➔ **Durchgehende Funktionskette zur simulativen Analyse des logistischen Ablaufs mittels FTS**



Ergebnisse der Umfrage
Straßenbreite
Verkehrsdichte (im Speziellen Fußgänger)
Größe und Geschwindigkeit Lieferroboter



Simulationsframework



Fußgänger-
verteilung

Multimodale
Verkehrs-
simulation

Logistik-
simulation

Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse durch geeignete Kartendarstellung



Zielgebiet

Struktur Zielgebiet

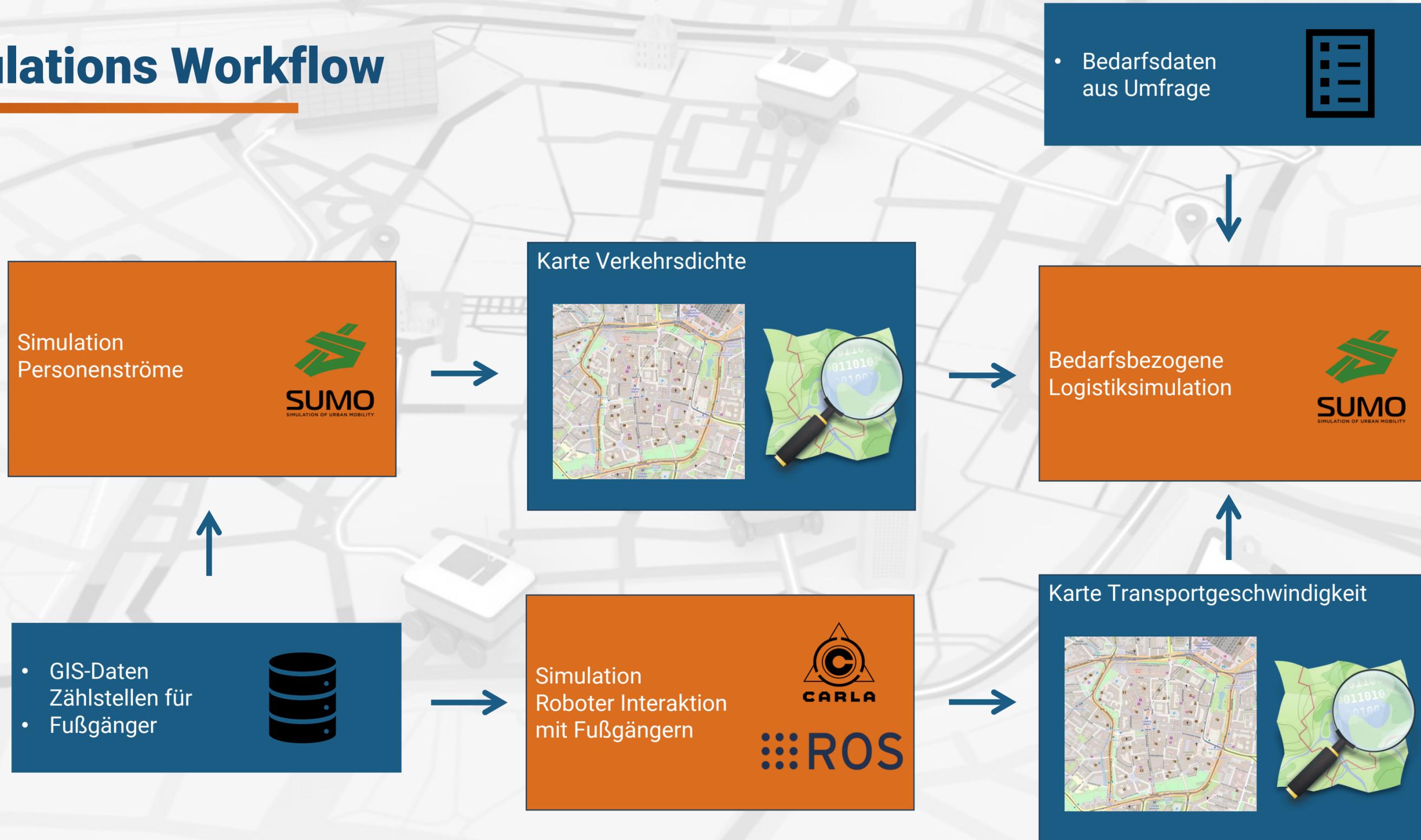
- 0,7 km² großes Gebiet
- Lieferbeschränkungen:
 - Auslieferungen nur zwischen 5-11 Uhr
 - Einige Straßen (rot) auch für Fahrräder zwischen 11-20 Uhr verboten oder reine Fußgängerzone (blau)

Gewerbe in der Innenstadt

	2023
Firmen insgesamt	2 019
Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen	530
Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	396
Grundstücks- und Wohnungswesen	222
Gastgewerbe	187
Information und Kommunikation	170
Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen	154
Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	126
Verarbeitendes Gewerbe	51
Weitere	183



Simulations Workflow



- Bedarfsdaten aus Umfrage



Simulation
Personenströme



Karte Verkehrsdichte



Bedarfsbezogene
Logistiksimulation



- GIS-Daten
Zählstellen für
Fußgänger



Simulation
Roboter Interaktion
mit Fußgängern



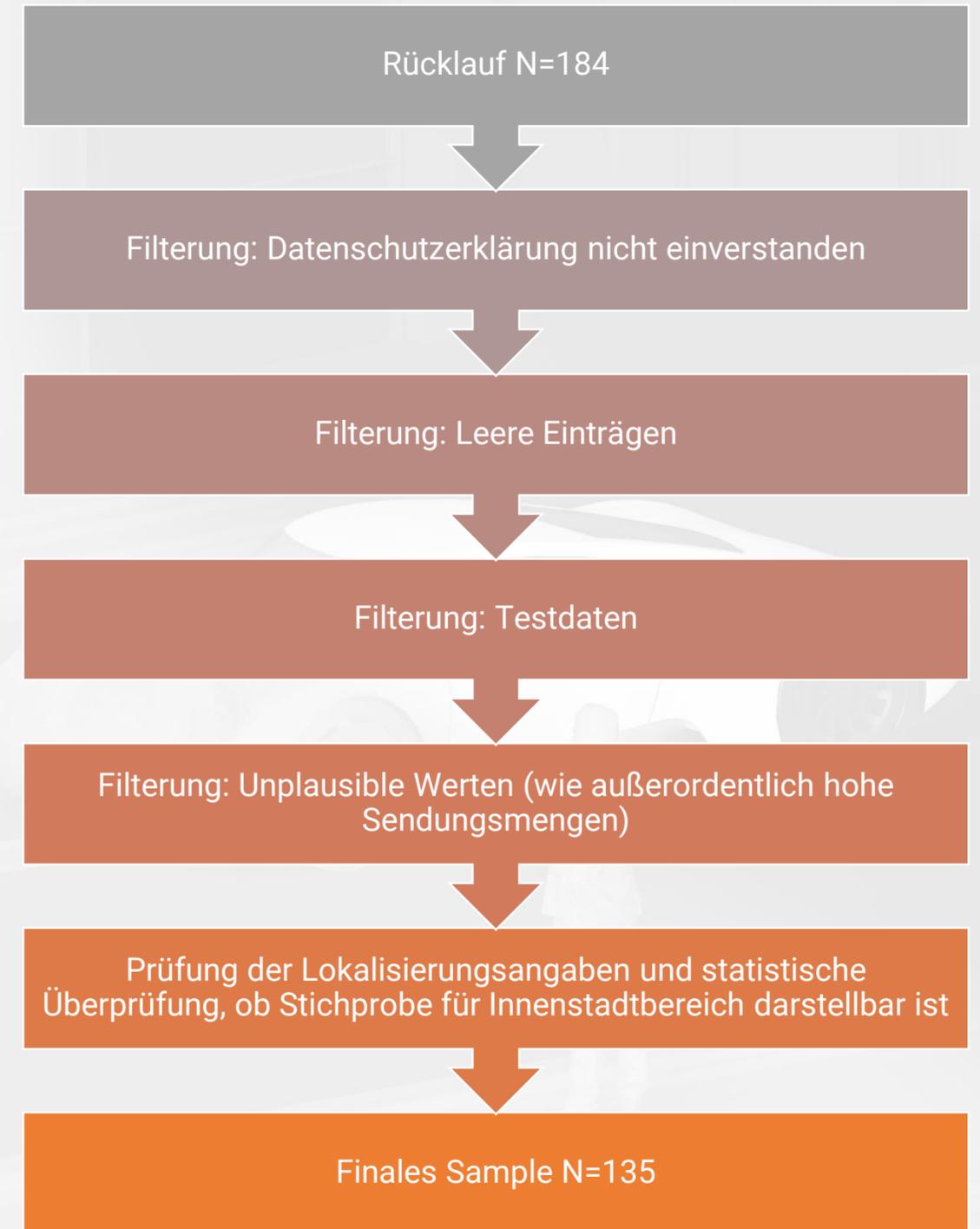
ROS

Karte Transportgeschwindigkeit

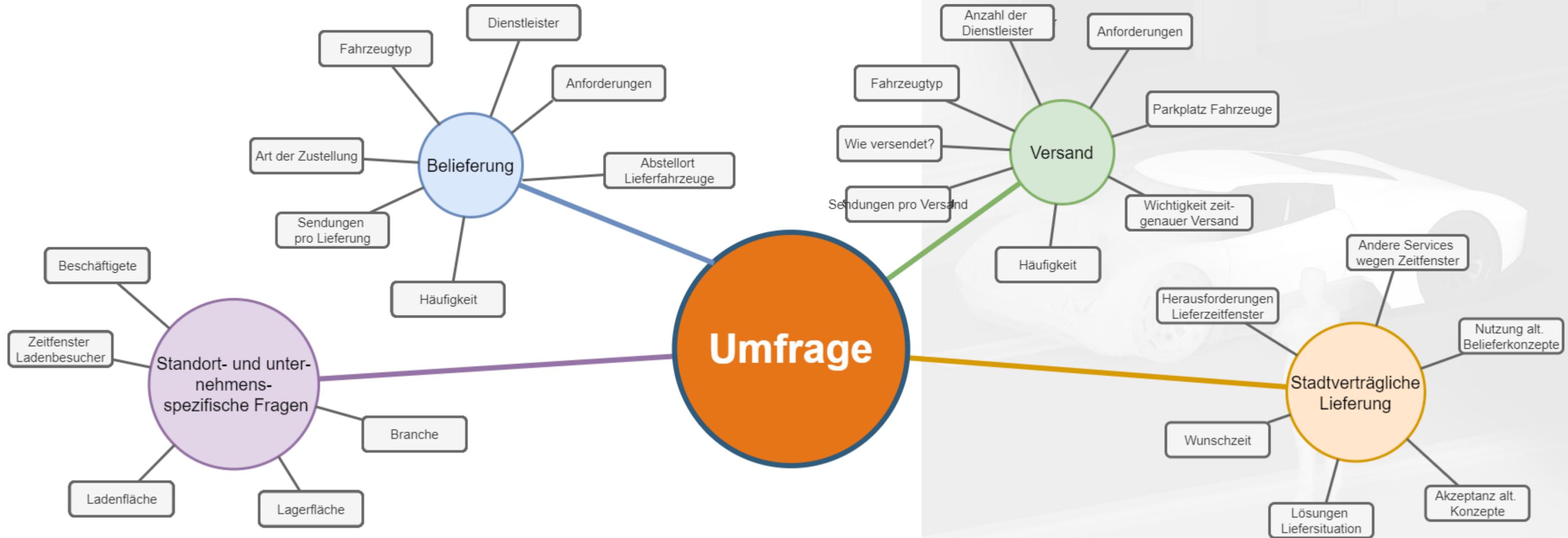


Methodik der Umfrage

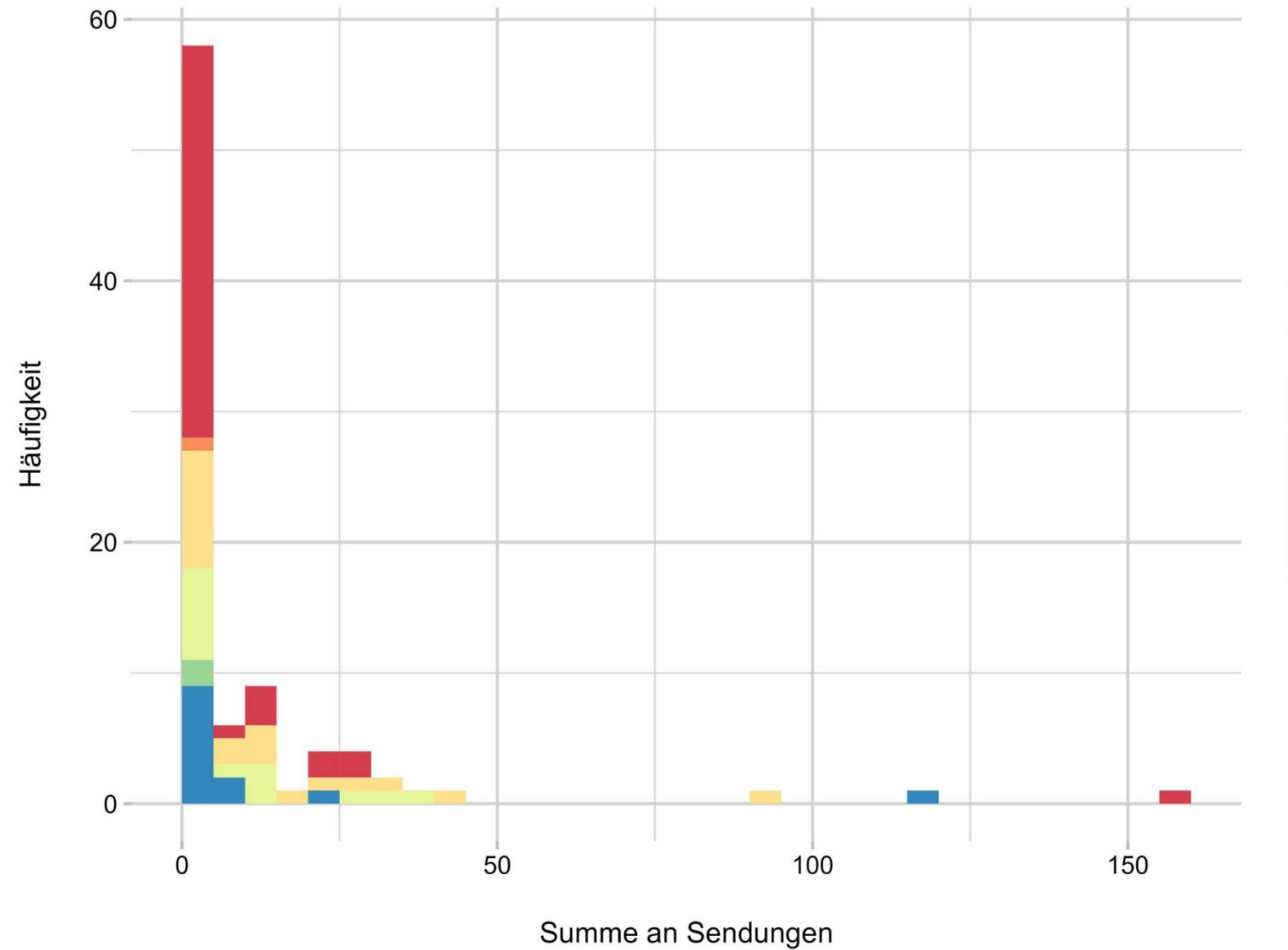
- Sammlung einer Kontaktliste i.H.v. 913 Email Kontakten (Datenbankabfrage und Scraping von Unternehmensregistern)
- Systematisierte Ansprache mittels E-Mail Benachrichtigung der Kontaktliste: Aufruf zum Ausfüllen der Umfrage
- Bereinigung der Daten (siehe rechte Grafik)
 - Ergebnis N=135
- Auswertung erfolgte in R Studio
- Darstellung der wichtigsten Parameter für die Simulation (u.a.):
 - Frequenz der Anlieferung und Versand
 - Sendungsmenge gesamt und pro Anlieferung
 - Clusterung u.a. nach Branche / Unternehmensgröße
- Zu beachten: Die Daten spiegeln - insbesondere bei der räumlichen Verteilung - nicht die Grundgesamtheit wieder, dienen jedoch als Annäherung für das Paketaufkommen und Sendungsfrequenz
- Experteninterviews stützen jedoch die Aussagen um Paketaufkommen



Aufbau und Umfrage Ergebnisse



Ergebnisse Sendungsmenge Anlieferung



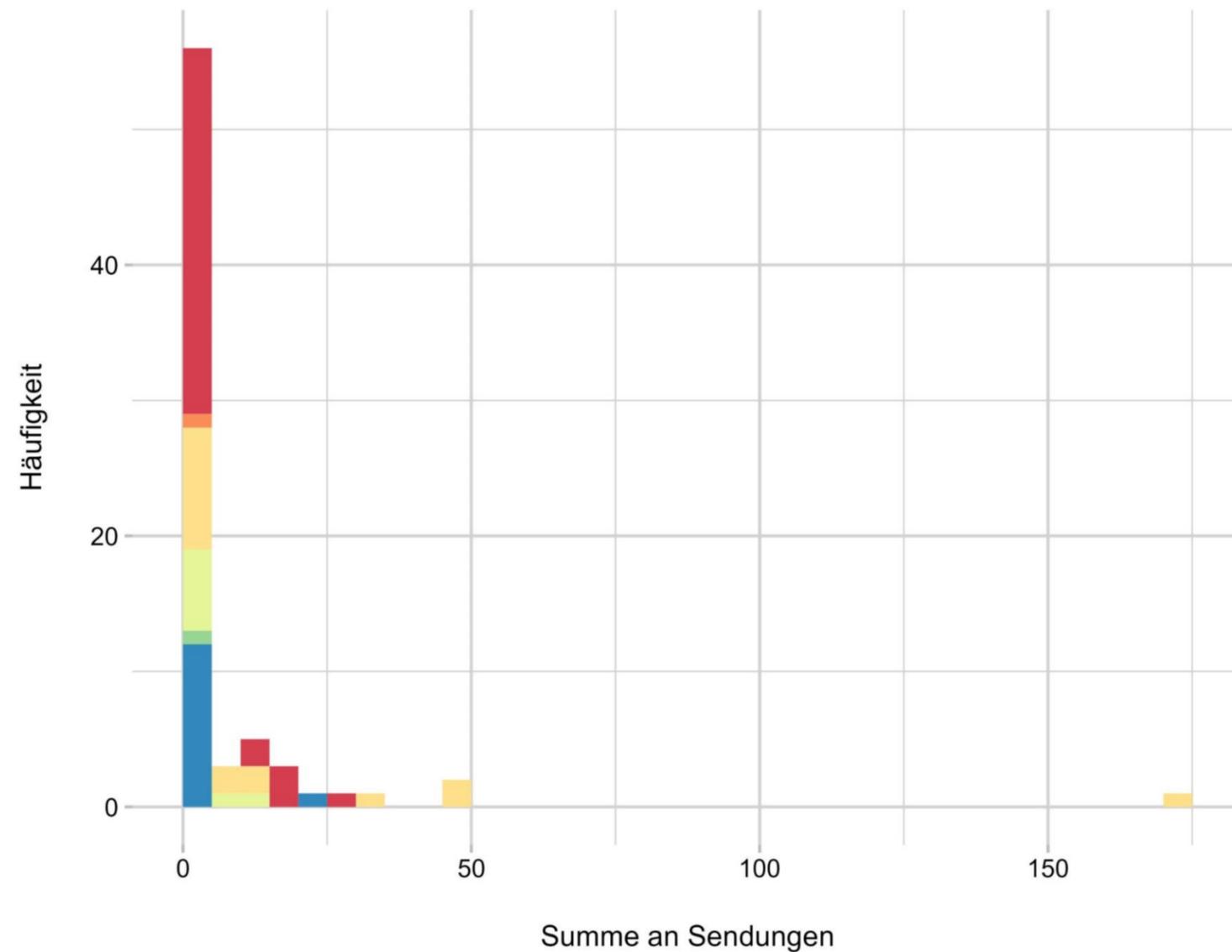
Tägliche Sendungsmenge nach Branche pro Anlieferung

Verteilung der Menge an Sendungen pro Anlieferung ohne Berücksichtigung von Ausreißern

- Dienstleistungsbranche
- Großhandel
- Einzelhandel
- Gastgewerbe
- Gesundheits- und Sozialwesen
- Sonstige Branchen

N=135, Quelle: DLR

Ergebnisse Sendungsmenge Versand



N=135, Quelle: DLR

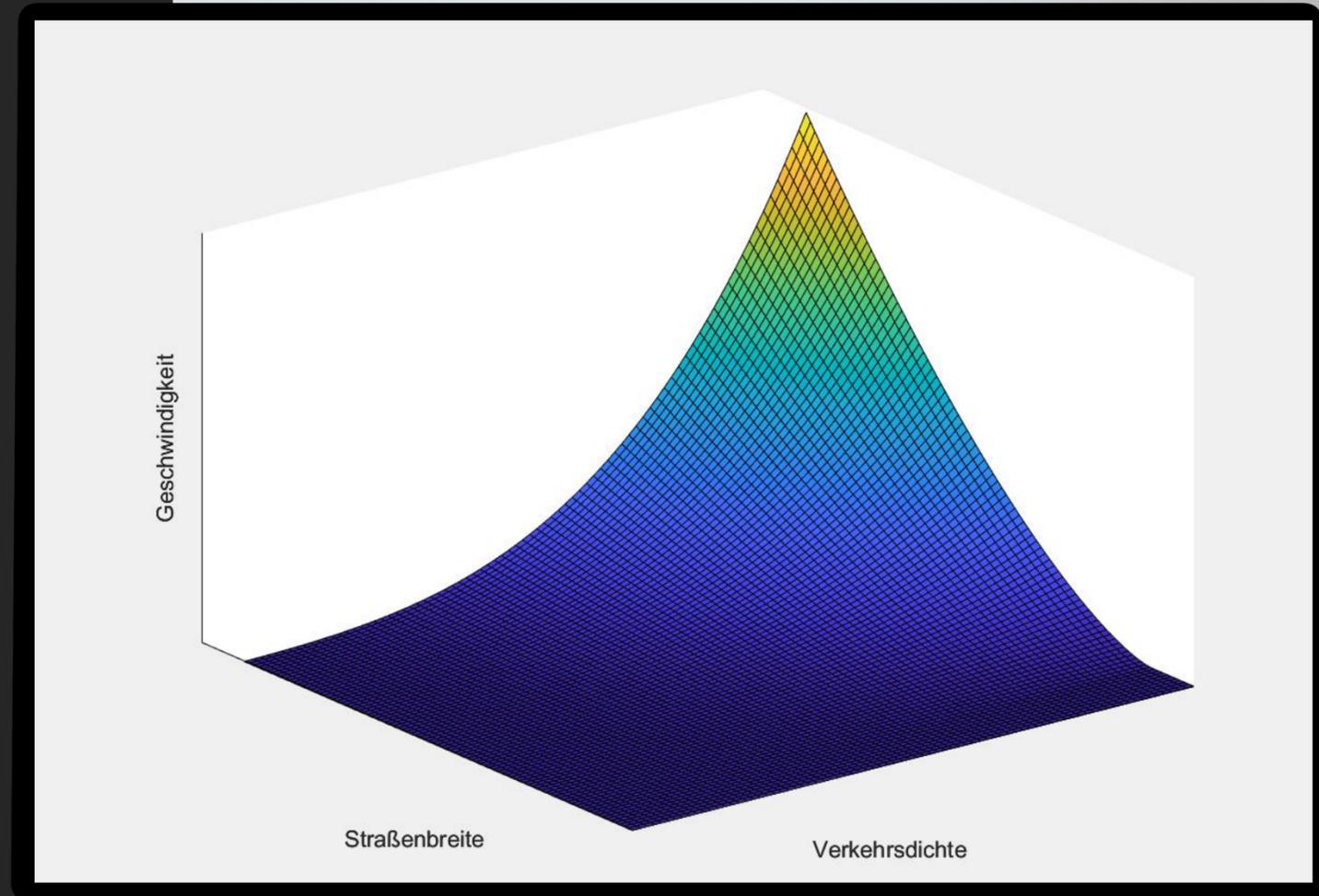
Tägliche Sendungsmenge nach Branche pro Versand

Verteilung der Menge an Sendungen pro Versand ohne Berücksichtigung von Ausreißern

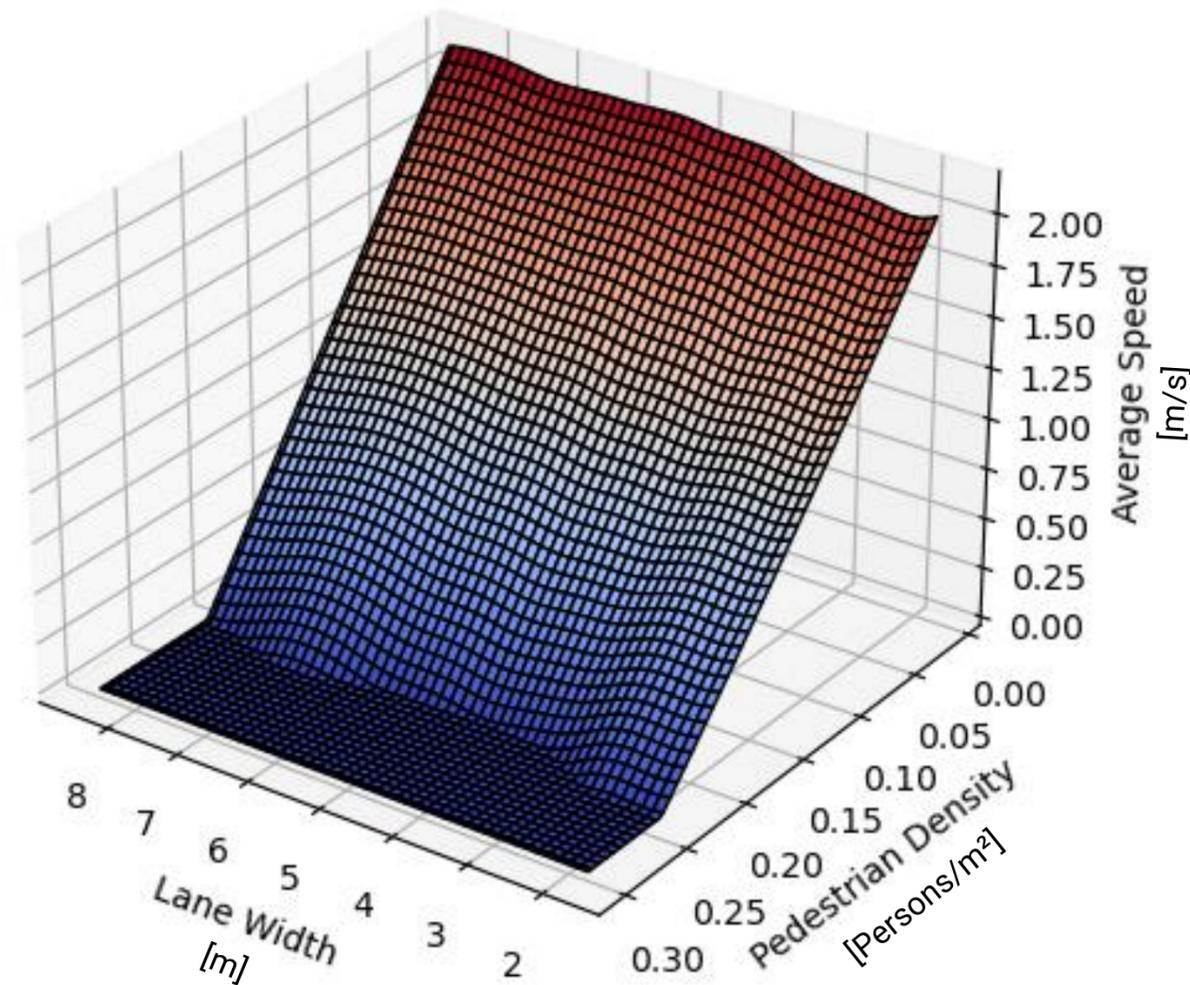
- Dienstleistungsbranche
- Großhandel
- Einzelhandel
- Gastgewerbe
- Gesundheits- und Sozialwesen
- Sonstige Branchen

Mikroskopische Verkehrssimulation

- Mikroskopische Simulation von Einzelszenarien mit unterschiedlichen Randbedingungen wie Anz. Fußgänger und verschiedene Straßenbreiten
 - Roadrunner: Kartenerstellung
 - Carla:
 - Platzierung Fußgänger
 - Roboternavigation
- Simulation der Dynamik und Wechselwirkung zwischen Robotern und anderen Verkehrsteilnehmern
- Variation von Parametern und Sensitivitätsanalyse zur **Ableitung von relevanten Kenndaten via py Skript**
- Generierung eines mehrdimensionalen Kennfeldes zur Abbildung der Transportgeschwindigkeit
- Anwendung auf Straßennetz der Leipziger Innenstadt



Kennfeld Bewegungsgeschwindigkeit



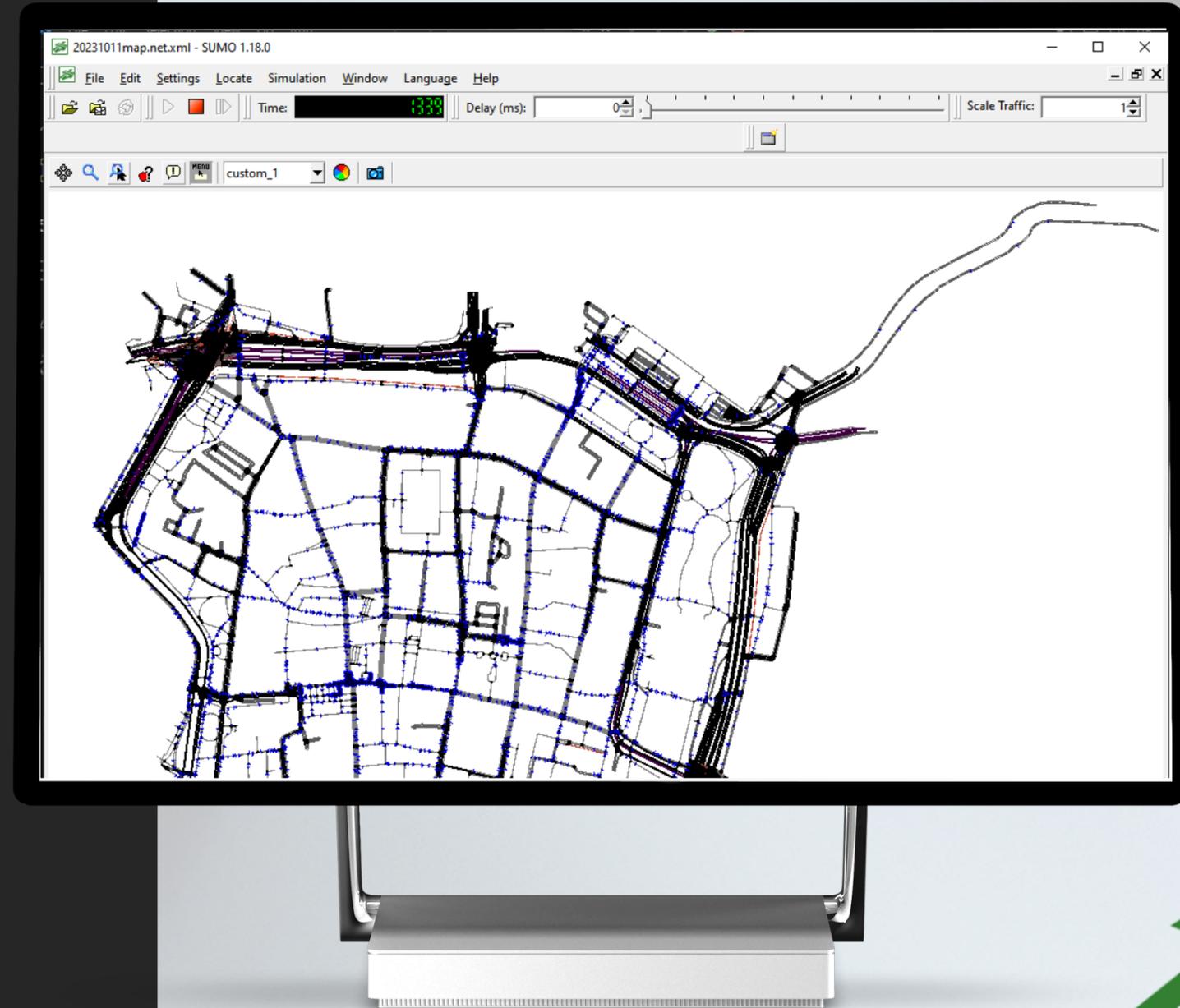
Simulationsergebnisse

- Visualisiert die Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters bei verschiedenen Personendichten und Spurweiten
- Linearer Abfall der Geschwindigkeit, wenn sich die Personendichte erhöht
- Ist die Personendichte größer 0,25 Personen/m², dann bewegt sich der Roboter kaum.
- Je mehr Fußgänger sich vor dem Roboter befinden desto schwieriger wird es für ihn sich zu bewegen.

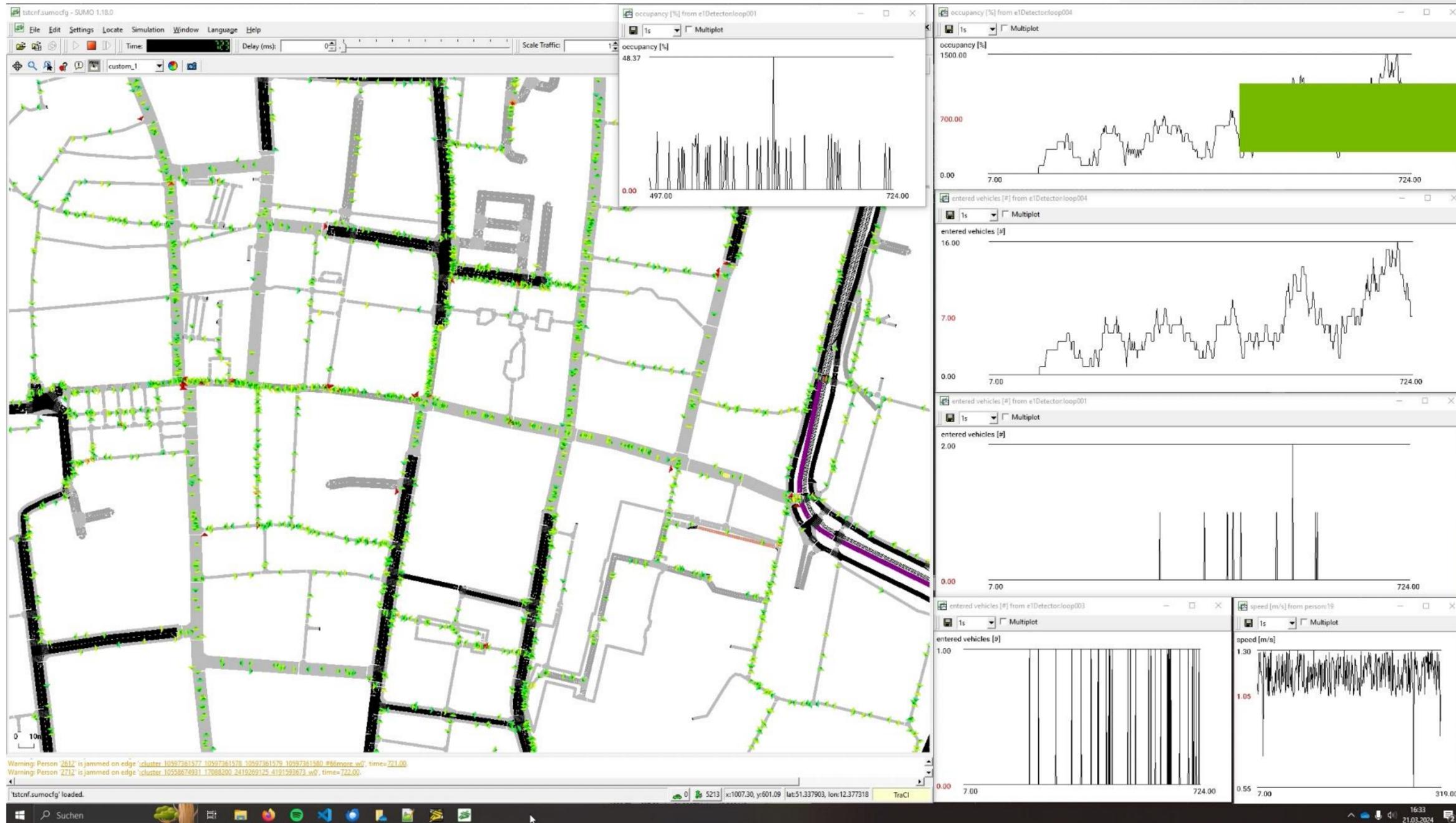
Sumo

Fußgängersimulation

- Platzierung Fußgänger gemäß Anzahl an den Zählschleifen
- Simulation und Darstellung der Verkehrsflüsse im Stadtgebiet
- Darstellung von Personenströmen - wie bewegen sich Passanten in der Innenstadt
- Findung von Engpässen

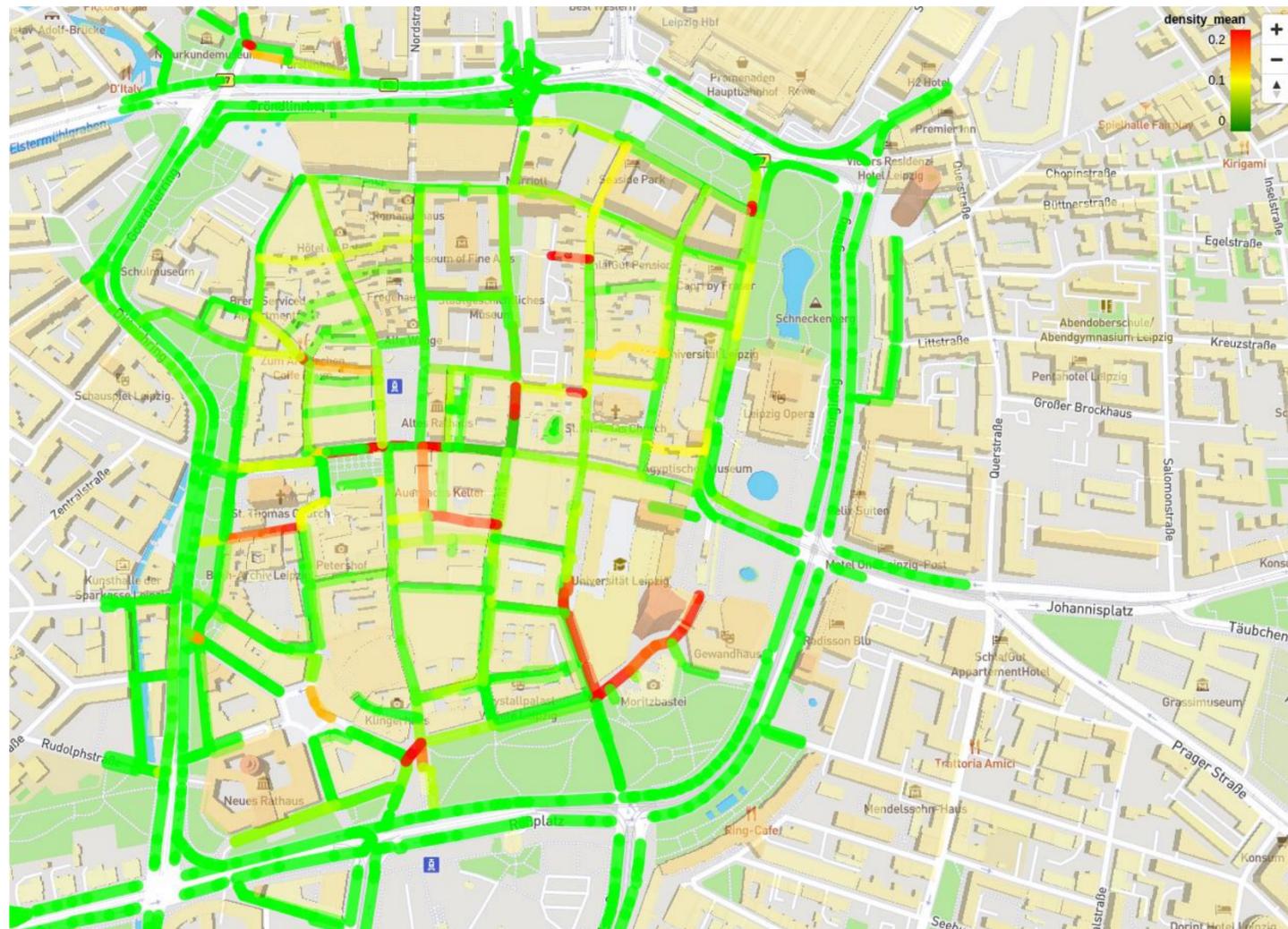


Sumo Fußgänger- simulation Ergebnisse

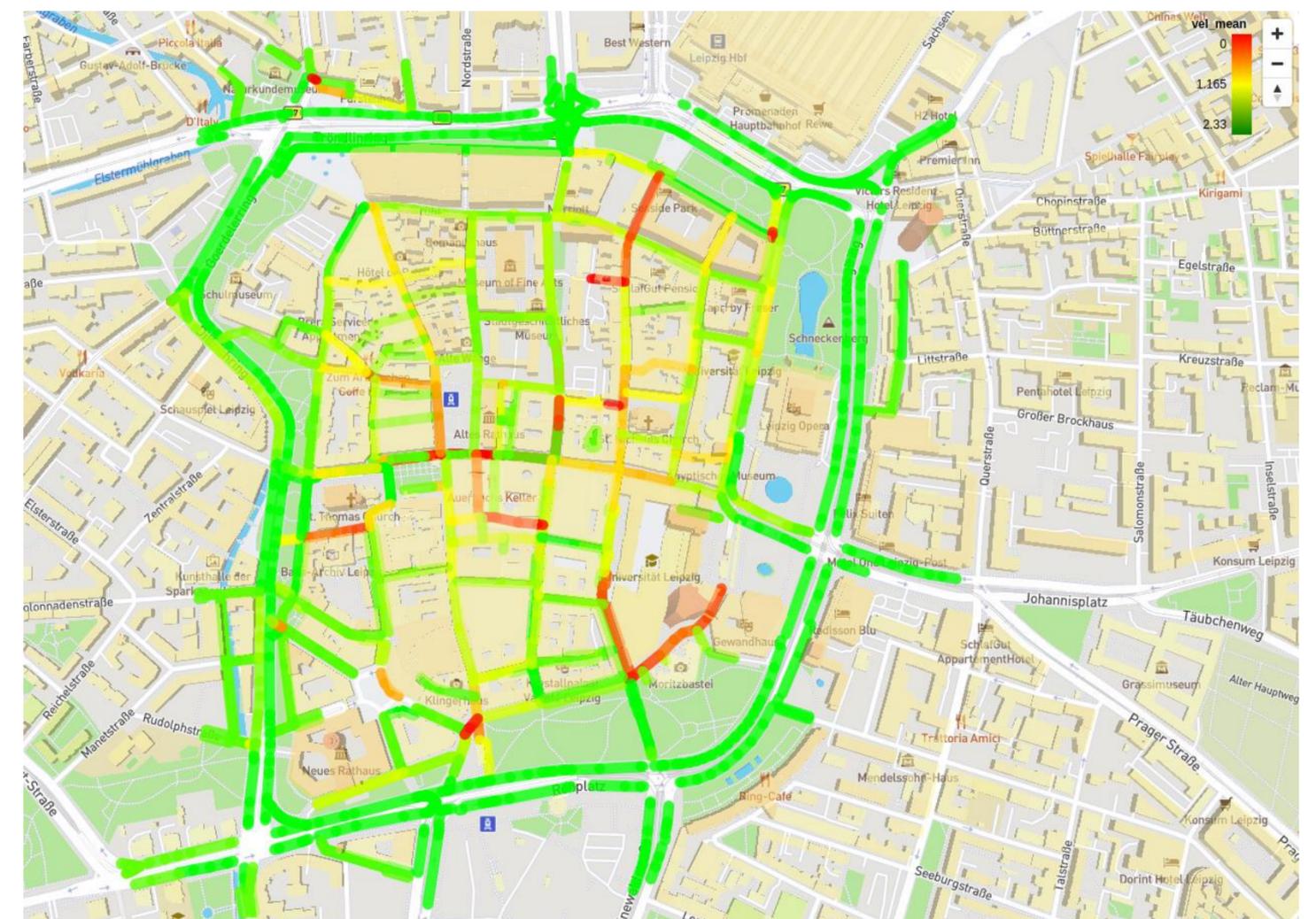


Karte Verkehrsdichte und Transportgeschwindigkeit

Verkehrsdichte



Geschwindigkeit



Zusammenfassung

Umfrage

- Sendungsmenge Pakete/Tag
 - Anlieferung: 600
 - Versand: 400
- Einzelhandel und Dienstleistungsbranche haben ca. 60% Anteil

Simulationsumgebungen

- Pipeline zur Ermittlung von Verkehrsdichte und Transportgeschwindigkeit
- Abbildung Roboter interagiert mit Mensch mit Carla schwierig
→ Anpassungen notwendig um Kennfeld zu generieren
- Bewegungsverhalten Fußgänger mit SUMO
- OSM Kartenmaterial z.T. nicht zuverlässig
- → Sondereffekte bei der Auswertung berücksichtigen

Erkenntnisse Umfrage + Interviews

- Ergänzung der Umfrage mit Experteninterviews
- zw. 1083 - 1750 Paketzustellungen pro Tag
- Größe XS-L (45x35x20 cm): 64% - ca. 694-1120 Pakete pro Tag
- Durchschnittliches geschätztes Gewicht ca. 5 kg – 10 kg

Workshop | **Autonome Zustellung in Leipzig**

- 16.04.24 15:30
- Raum 259 im Neuen Rathaus Leipzig
- Aktive Mitarbeit gewünscht

Kontakt



Marcel Graef
CEO
Sedenius Engineering
marcel.graef@sedenius.com
+49 176 70 97 47 39

Partner

Prof. Dr.-Ing. Rick Vosswinkel
WHZ Zwickau
Lara Daner
Martin Plener
DLR Institut für Verkehrsforschung



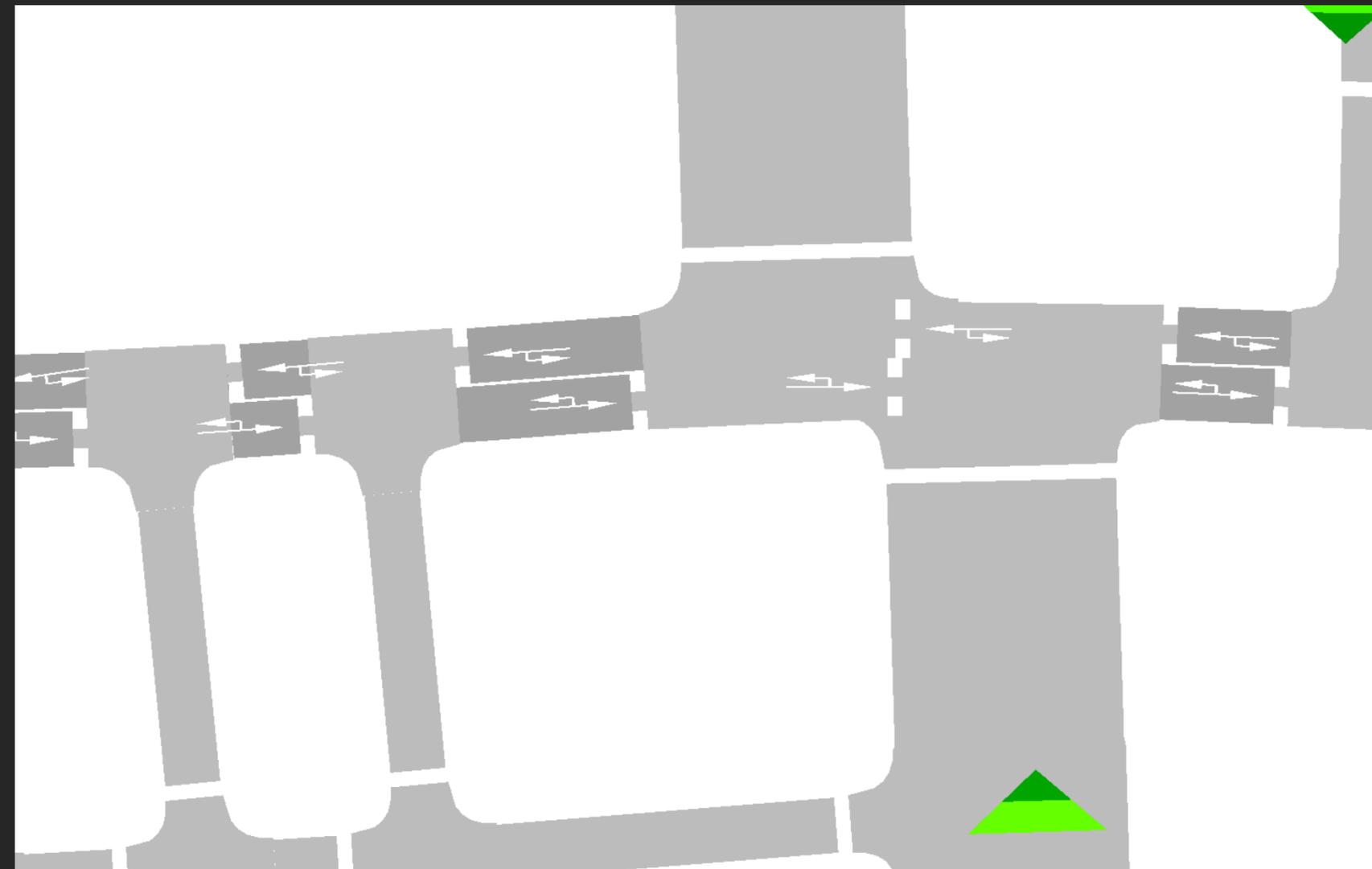
Certified by
ISO 9001:2015



TISAX

Zusatzfolien

Staubbildung – Fehlerhafte Regeln im Kartenmaterial



Zählstellen

