

# Is the Last Mile Really the End?

**Kai Gutenschwager**

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel  
k.gutenschwager@ostfalia.de

- Problemstellung
- Modellierungsansätze zur Bewertung der Kosten für die „letzte Meile“
- Berücksichtigung der Kundenfahrten
- Numerische Ergebnisse
- Ausblick

- Verschiedene Kriterien für die Bewertung der Distributionslogistik (für die letzte Meile)
  - Gefahrene Kilometer
  - Anzahl eingesetzter Fahrzeuge
  - Verbrauchte Energie (Kraftstoffverbrauch)
  - CO<sub>2</sub>-Emission
- Auslieferungen über unterschiedliche Strukturen möglich
  - **Auslieferungen direkt an Kunden**
    - Tourenplanung
    - ggf. mehrstufige Systeme
    - Problem des Nichtantreffens von Kunden
  - **Auslieferungen über Packstationen**
    - Tourenplanung für die Belieferung der Packstationen
    - Entkopplung des Auslieferungsprozesses
- Ziel: Vergleich der beiden Ansätze bzgl. ausgewählter Kennzahlen



Quelle: K. Gutenschwager, M. Rabe, M. Kuhl, J. Chicaiza-Vaca: Retail. Erscheint in: M. Rabe, C. von Viebahn, S. Straßburger, S. Wenzel (Hrsg.) Energy-related Material Flow Simulation in Production and Logistics, Springer.

## Auslieferung direkt an Kunden

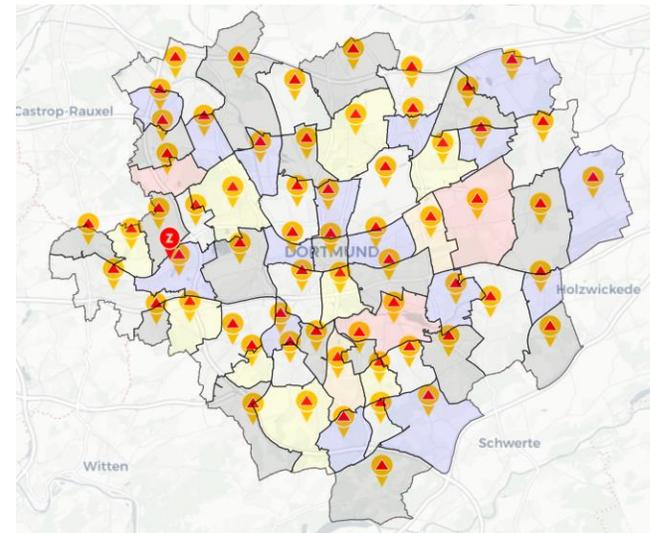
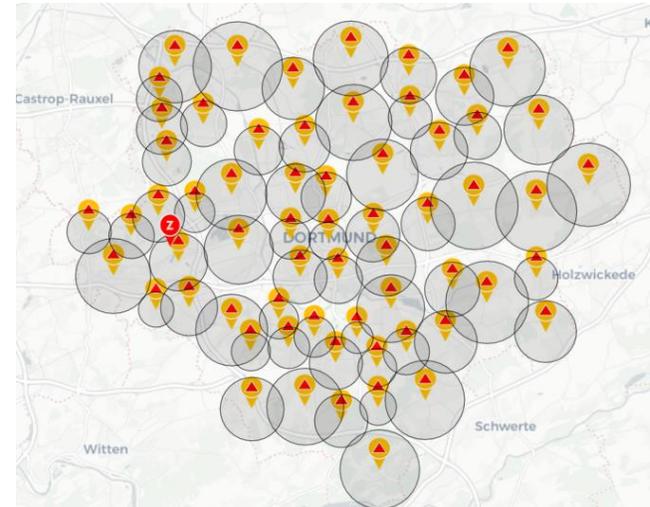
### ▪ Verschiedene Abstraktionsebenen

1. Schätzung der gefahrenen Kilometer  $d$  **einer** Rundtour (in einem Teilgebiet) über die Größe der Fläche  $A$  und die Anzahl anzufahrender Kunden  $n$  mit

$$d = 0,765 \cdot \sqrt{A \cdot n}$$

+ Fahrt vom Depot zum Teilgebiet und zurück

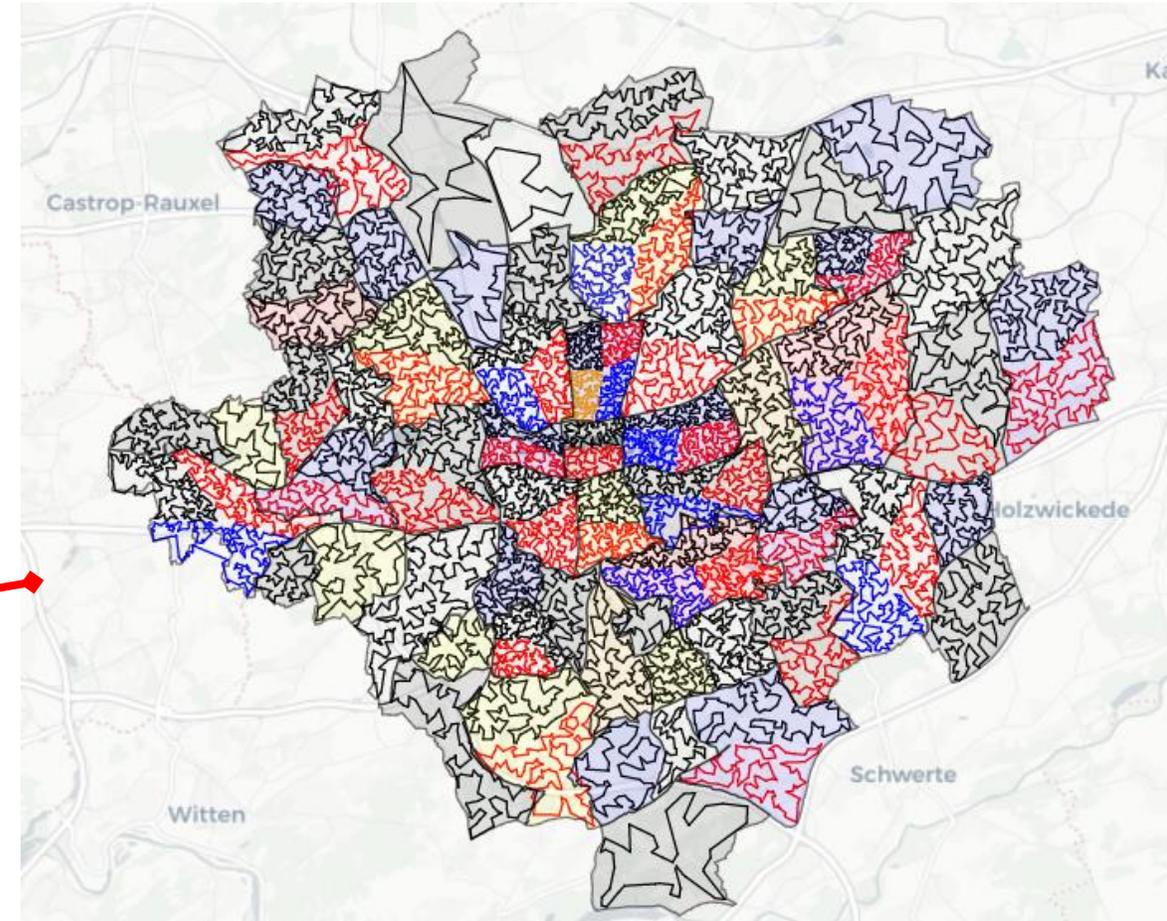
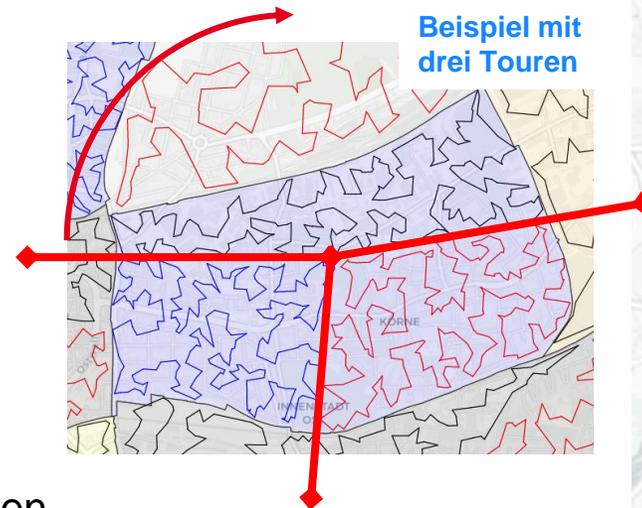
2. Lösen des zugrundeliegenden Tourenplanungsproblems **pro Tour und Teilgebiet** (Travelling Salesman Problem + Fahrt vom Depot zum Teilgebiet und zurück)
3. Lösen des **Vehicle Routing Problems** über alle Gebiete (z.B. Sweep- oder Savingsverfahren)



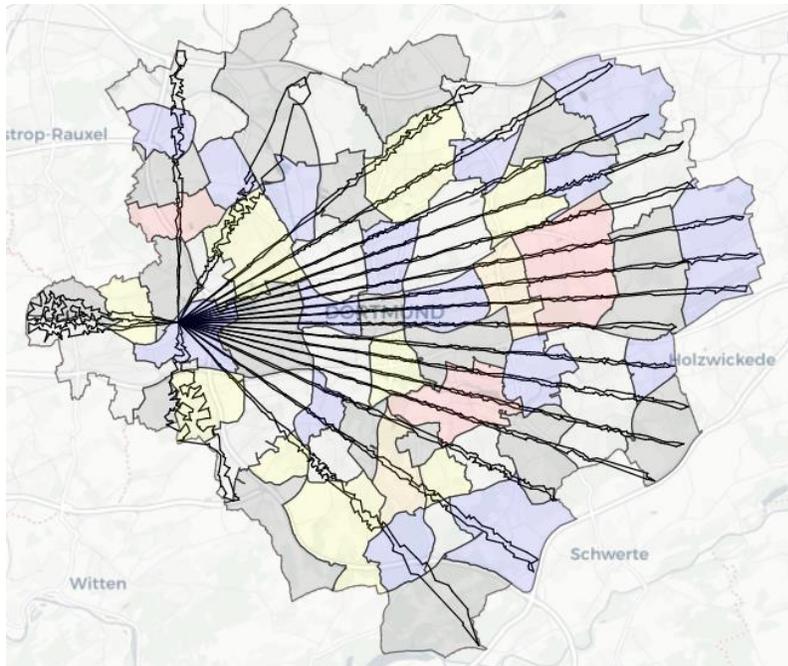
## Datenbasis

- Flächen der Gebiete
- Distanzen vom Lager zu allen Gebieten
- Anzahl Kundenaufträge pro Gebiet / Tour
- Kapazität der Fahrzeuge
- Zusatz: Geo-Informationen zu den Teilgebieten und Kunden- und Lagerstandorten

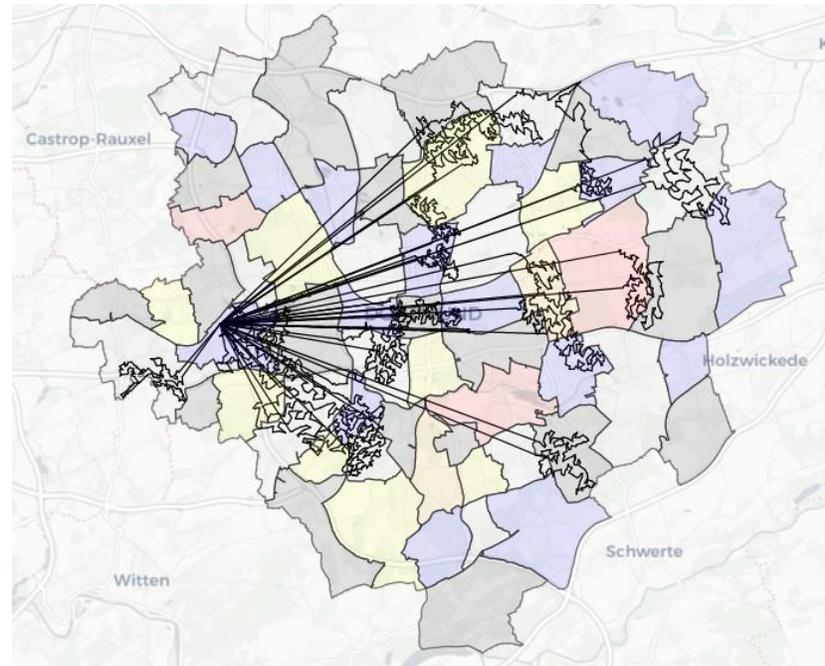
- Lösung des Travelling Salesman Problems pro Teilgebiet
- Bestimmung der Anzahl Touren pro Gebiet (gemäß Kapazität der Fahrzeuge)
- Festlegung der Anzahl Kunden pro Tour (gleichverteilt)
- Zuordnung der Kunden zu Touren gemäß Sweep-Ansatz („Aufsammeln“ von Kunden bis geplante Tourkapazität erreicht ist)
- Lösung der TSP-Instanzen
  - Eröffnungsverfahren *Farthest Insertion*
  - Verbesserungsverfahren *2-Opt*
- Gesamtdistanz pro Gebiet ergibt sich aus den Lösungen der TSP-Instanzen und den Fahrten vom Depot in das Teilgebiet und zurück



- Lösung des Vehicle Routing Problems über alle Gebiete
- (Vereinfachte) Sweep- und Savings-Verfahren umgesetzt



**Sweep-Verfahren:**  
Darstellung jeder 5. Tour

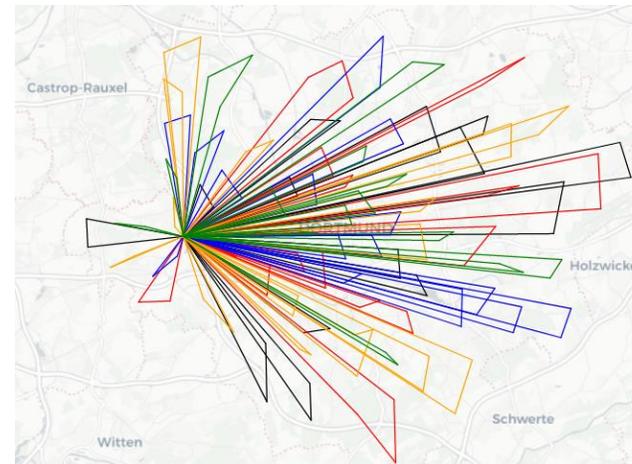
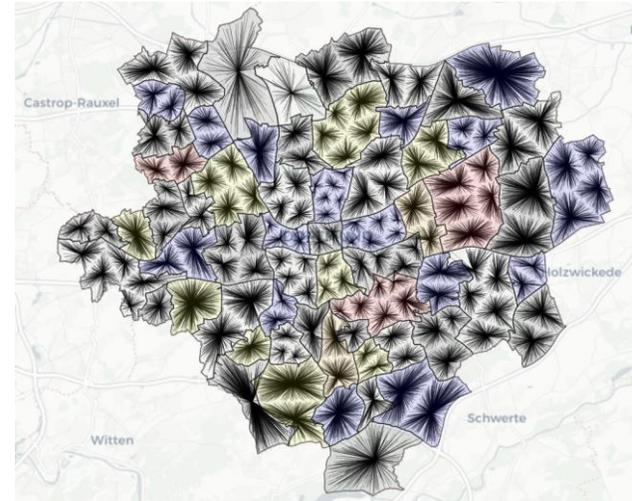


**Savings-Verfahren:**  
Darstellung jeder 5. Tour

## Savings-Verfahren:

- Initialisierung mit Pendeltouren (*Depot – Kunde – Depot*)
- Bestimmung der **Savings** durch Zusammenlegung von jeweils zwei Touren (Erstellung einer Savings-Liste)
- Iterative Umsetzung der jeweils höchsten Savings bis die Liste der Savings leer ist (und Anpassung der Liste nach jeder Zusammenlegung)

- **Nutzung von Packstationen bzw. Automated Parcel Lockers (APLs)**
  1. Festlegung der Lokationen für Packstationen: **Heuristische Verfahren** zur Auswahl von Lokationen im jeweiligen Teilgebiet (**Ziel:** Min. der Summe der Entfernungen der Kunden zur jeweils nächstgelegenen Packstation)
  
  2. Schätzung der gefahrenen Kilometer zur Belieferung der Packstationen:
    1. Zufällige Auswahl an Kunden
    2. Bestimmung der (täglichen) Anzahl Pakete pro Packstation (gemäß zu beliefernder Kunden)
    3. Lösen des Vehicle Routing Problems für die Belieferung der Packstationen

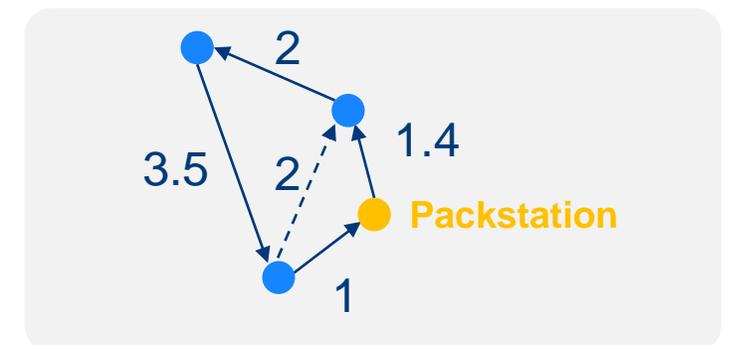


## Datenbasis (Zusatz)

- Anzahl der Packstationen pro Gebiet
  
- Kundenstandorte

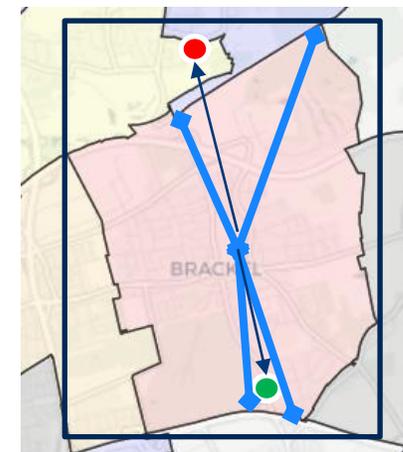
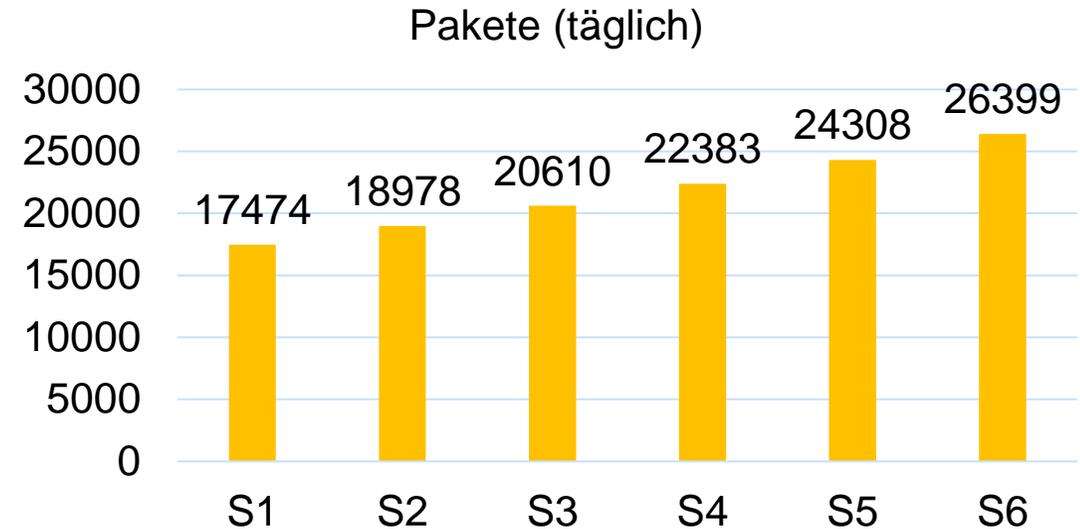
- Letzte Meile ist nicht an den Packstationen beendet
- Für eine Gesamtbewertung muss auch das Verhalten der Kunden (bzw. deren Kosten für Fahrten zu den Packstationen) berücksichtigt werden
- **Annahmen für ein einfaches Modell**
  - In Abhängigkeit der Distanz zur Packstation gehen Kunden zu Fuß (oder nehmen das Fahrrad) oder nehmen ein privates Fahrzeug
  - Falls ein Kunde ein privates Fahrzeug nutzt, handelt es sich entweder um eine Einzelfahrt (Kunde – Packstation – Kunde) oder der Kunde integriert den Stop an der Packstation auf einer individuellen Tour
  - Im Durchschnitt verlängert sich die Tour des Kunden um  $x\%$  **der direkten Distanz** zur Packstation
- Abbildung im Modell über eine Parametertabelle

Bis km	Anteil zu Fuß	Anteil Stop auf Tour	Faktor zus. Distanz auf Tour
0,3	100%		
1,5	50%	50%	30%
sonst	10%	50%	30%



## ▪ Datengrundlage

- Stadt Dortmund mit 62 statistischen Bezirken (Teilgebieten)
- Sechs Szenarien für das Aufkommen an Paketen
- Bestimmung der Kunden (Punkte) pro Gebiet
  - Shapes der Stadtgebiete gegeben  
[https://geoweb1.digistadtdo.de/doris\\_gdi/opengeodata/statistik/Statistischer\\_Bezirk.zip](https://geoweb1.digistadtdo.de/doris_gdi/opengeodata/statistik/Statistischer_Bezirk.zip)
  - Bestimmung von Punkten innerhalb der Shapes
    - Zufällige Bestimmung von Koordinaten zwischen min. und max. Längen- bzw. Breitengrad des Gebiets
    - (Vereinfachte) Überprüfung, ob der Punkt im Gebiet liegt



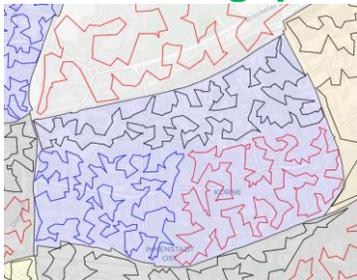
Beispiel

## Vergleich Tourenplanung pro Teilgebiet

- Approximation TSP mit

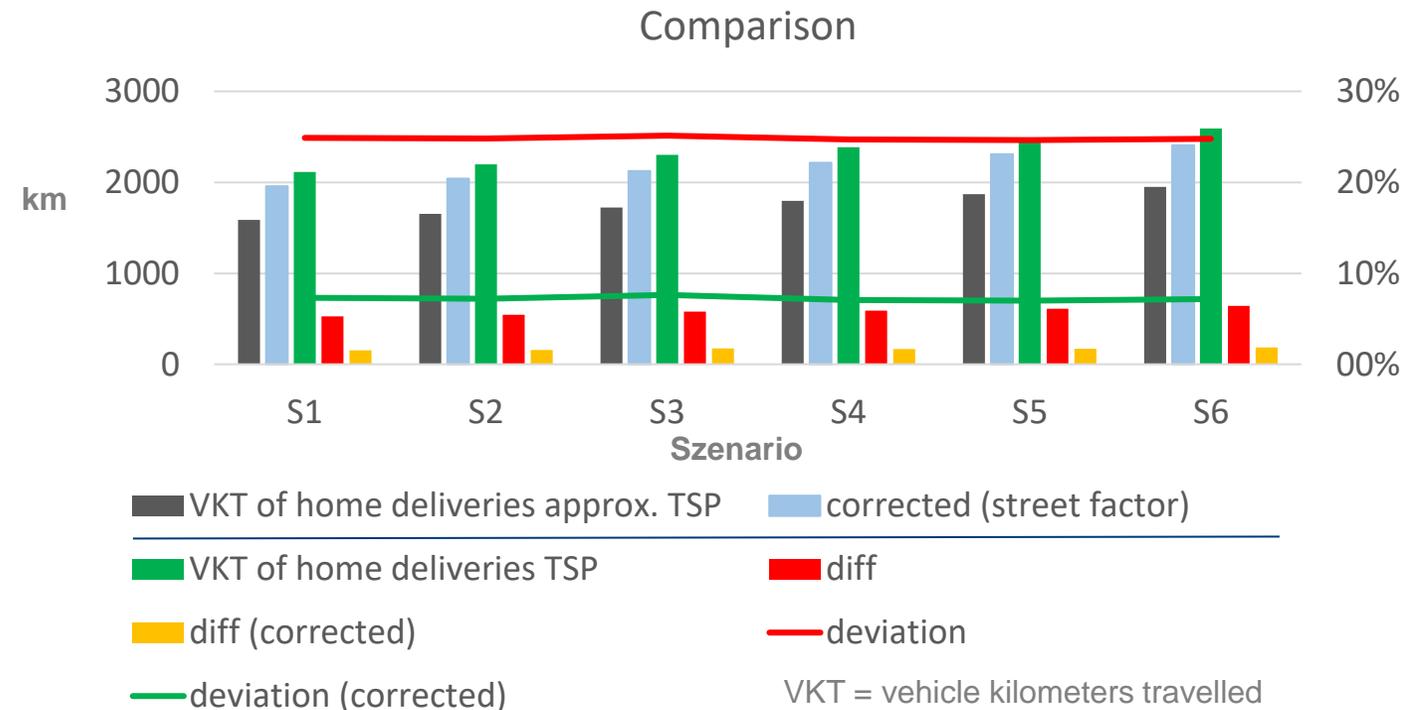
$$d = 0,765 \cdot \sqrt{A \cdot n}$$

- Individuell geplante Touren (TSP)



### Ergebnis

- ca. 25% Abweichung der gefahrenen Km
- Approximation ist zu optimistisch
- Bei **Korrektur der gefahrenen Kilometer** über den Faktor 1,234 (Luftdistanz zu Straßenkilometer), liegt die **Abweichung noch bei durchschnittlich 7,2%** (weiterhin zu optimistisch)
- Für einen groben Vergleich ist die Approximation der gefahrenen Kilometer möglich, der Korrekturfaktor sollte aber überprüft und ggf. individuell (pro Gebiet) einmalig angepasst werden



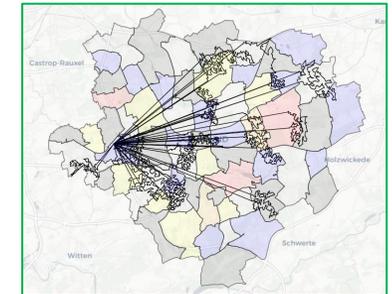
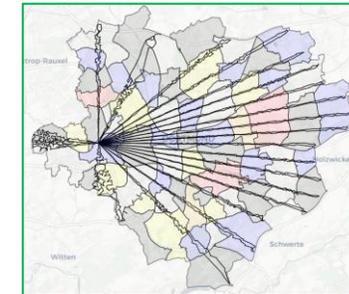
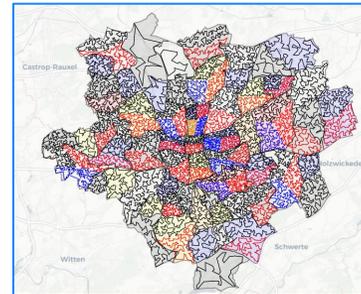
- Vergleich TSP pro Teilgebiet für vorab definierter Gebiete vs. Vehicle Routing Problem (Sweep und Savings)

- 101 Touren (Szenario S1) bis 141 Touren (Szenario S6)

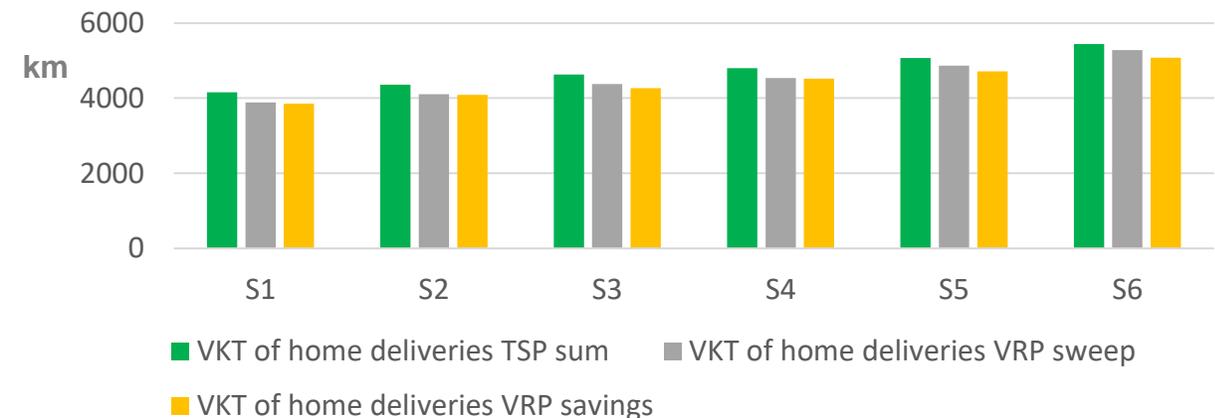
- Ergebnisse

- Täglich zurückgelegte Wegstrecke

- Savings-Verfahren erzielt für alle Szenarien die besten Ergebnisse
    - Sweep-Verfahren jeweils etwas schlechter, im Durchschnitt 1,9% Abweichung (zwischen 0,3% und 3,9%)
    - TSP für vorab definierte Teilgebiete im Durchschnitt **6,8% schlechter** als das Savings-Verfahren (zwischen 6,3% und 8%)



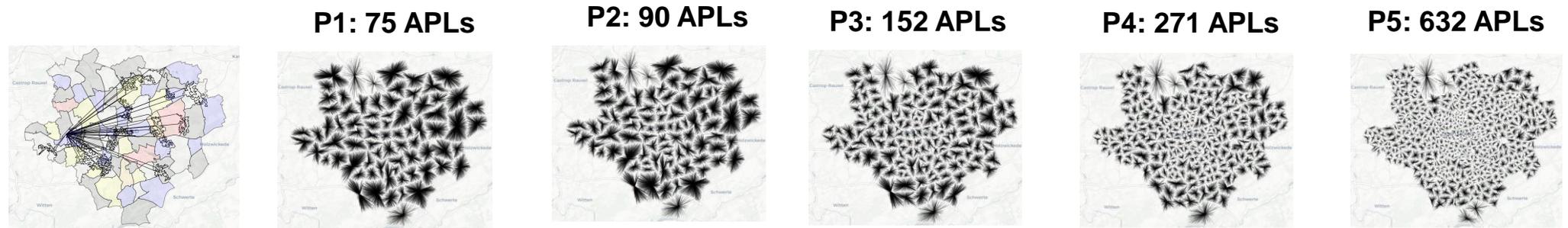
Comparison of distance travelled for different solution approaches



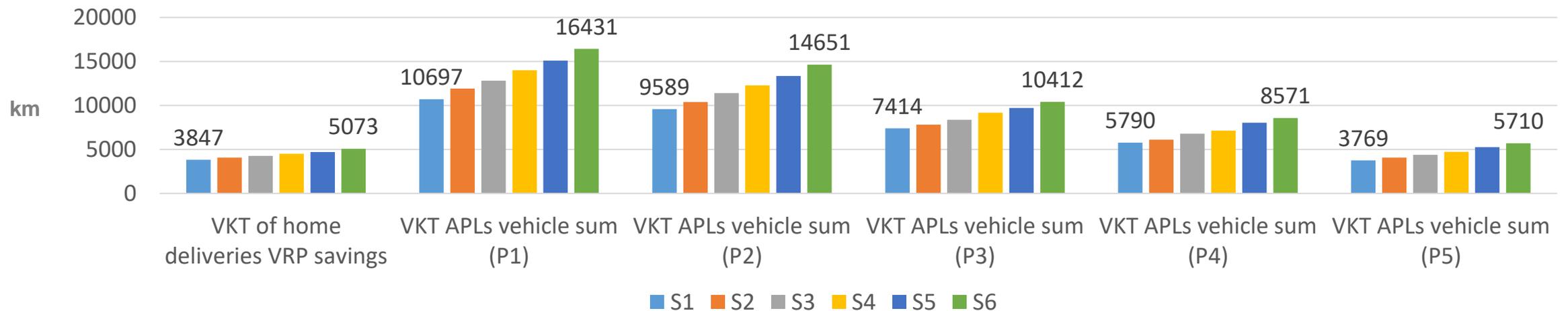
- Aber sehr hohe Rechenzeiten für das Savings-Verfahren (pro Instanz im Durchschnitt 3300 Sek.) / für die TSP-basierten Ansätze („TSP pro Teilgebiet“ bzw. Sweep) pro Instanz ca. 240 Sek).

## Vergleich Direktauslieferung vs. Packstationen

- 5 Szenarien bzgl. der Anzahl Packstationen (P1 – P5)
- Ergebnis:** Vergleichbare Ergebnisse bzgl. gefahrener km erst für Szenario P5

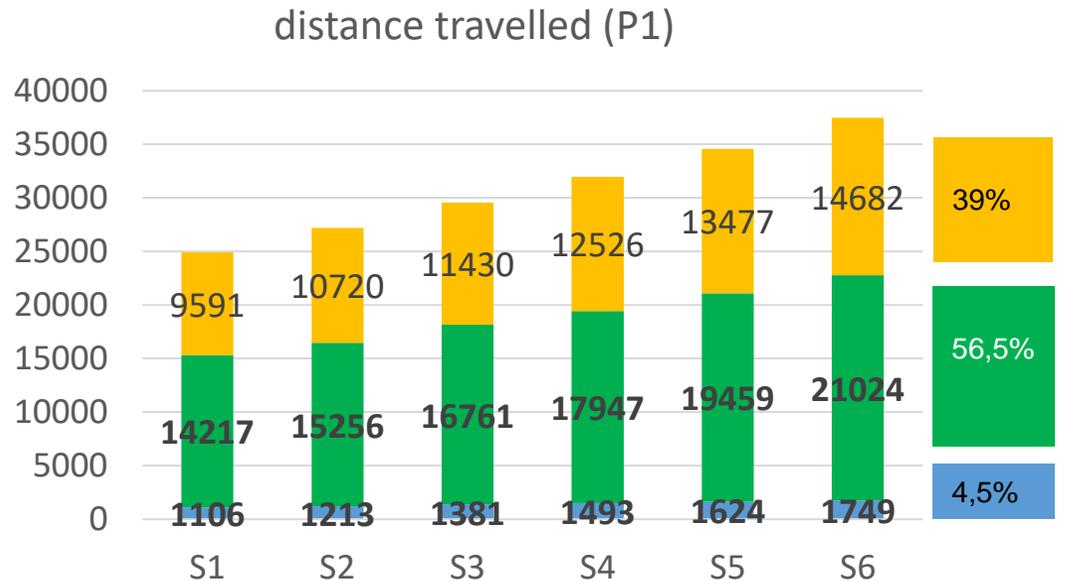


comparison of distance travelled for home deliveries vs. APLs

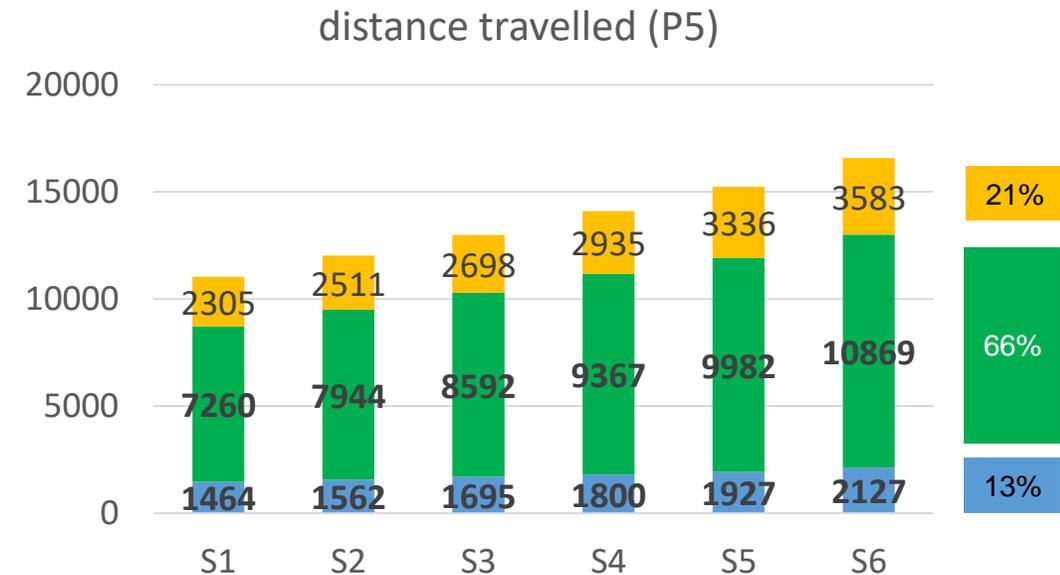
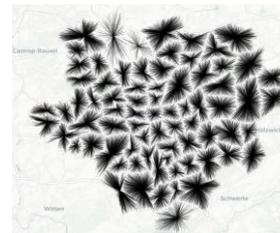


## Vergleich Direktauslieferung vs. Packstationen

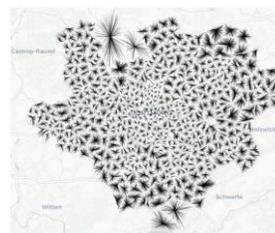
- Anteil der zu Fuß / Fahrrad zurückgelegten km zwischen 56,5% (P1) und 66% (P5) der Gesamtstrecke



- VKT customer to APL by vehicle (P1)
- VKT customer to APL by foot / bike (P1)
- VKT DC to APLs VRP (P1)



- VKT customer to APL by vehicle (P5)
- VKT customer to APL by foot / bike (P5)
- VKT DC to APLs VRP (P5)



- Erweiterung und Prüfung der Annahmen und Parameter zum Kundenverhalten bei Nutzung von Packstationen
- Sensitivitätsanalysen bzgl. der Annahmen zum Kundenverhalten
  
- Untersuchung von realen Kundenstandorten (Straßennetz als Basis) und ggf. Entfernungen zwischen den einzelnen Standorten