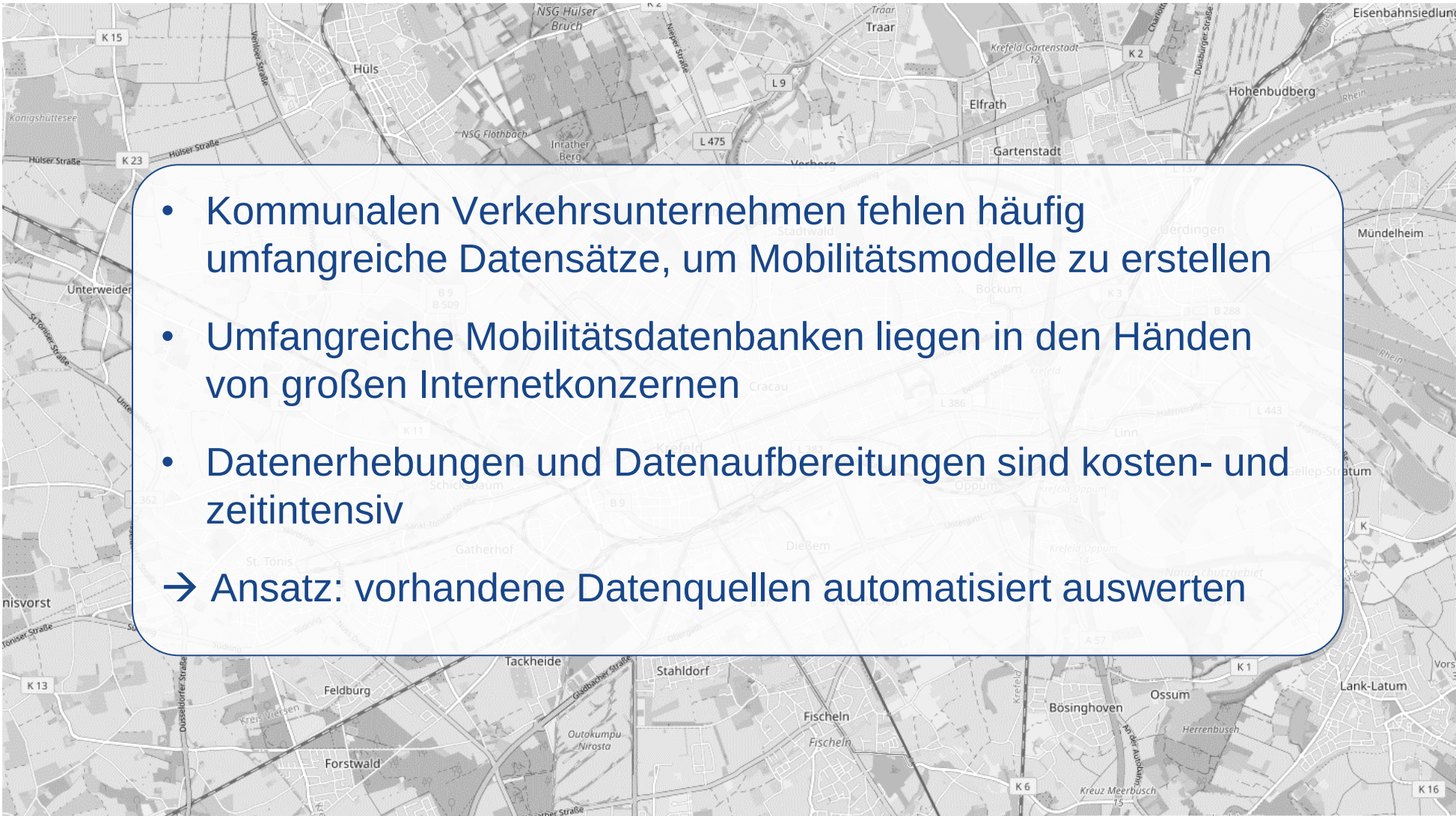


Berechnung von räumlich und zeitlich aufgelösten Durchschnittsgeschwindigkeiten aus FCD zur Effizienzsteigerung im Straßenverkehr

17. Symposium Energieinnovation

SWK E² Institut für Energietechnik und Energiemanagement - Hochschule Niederrhein
17.02.2022 | M.Sc. Lukas Spengler | M.Eng. Marius Madsen | Prof. Dr.-Ing. Marc Gennat

Einleitung

- 
- Kommunalen Verkehrsunternehmen fehlen häufig umfangreiche Datensätze, um Mobilitätsmodelle zu erstellen
 - Umfangreiche Mobilitätsdatenbanken liegen in den Händen von großen Internetkonzernen
 - Datenerhebungen und Datenaufbereitungen sind kosten- und zeitintensiv
- Ansatz: vorhandene Datenquellen automatisiert auswerten

Methode

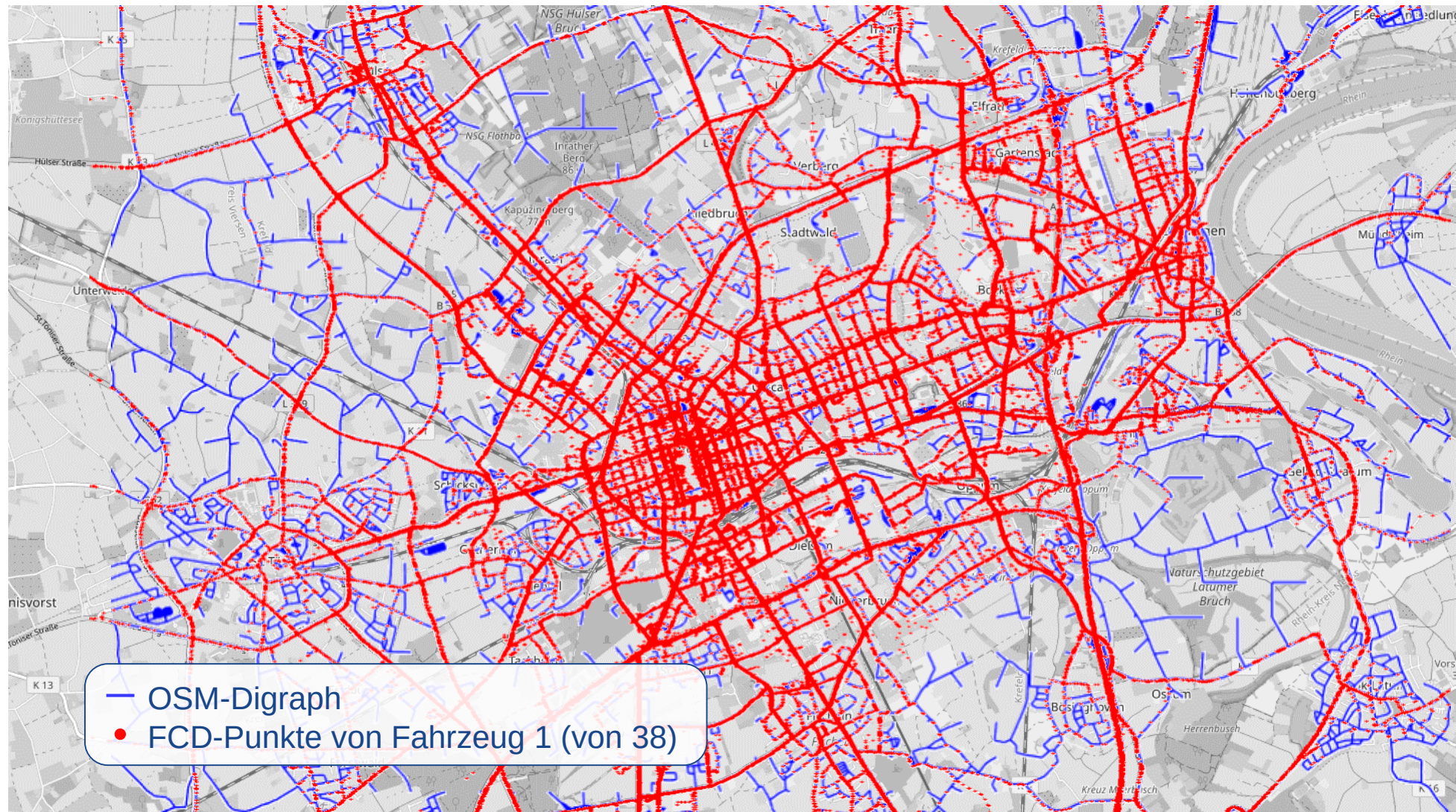


Rohdaten

- FCD einer Taxiflotte
 - 38 GPS-überwachte Fahrzeuge
 - 01.01.2019 - 31.12.2019
 - 17 Millionen Datenpunkte
 - Zeitstempel ohne Sekunden in unregelmäßigen Abständen

GPS Coordinates Latitude Longitude		Time	Speed [km/h]	Occupation status
51.33277	6.58527	01.01.2019 00:03	0	free
51.33289	6.584786	01.01.2019 00:04	3	occupied
51.33241	6.582649	01.01.2019 00:04	41	occupied
51.33174	6.580633	01.01.2019 00:05	32	occupied
51.33081	6.578855	01.01.2019 00:05	20	occupied

Straßenverkehrsnetz



Zuordnungsprobleme

Wenden an nächstem Autobahnkreuz



Wenden an nächster Kreuzung

- Ungenauigkeiten in GPS-Koordinate und OSM-Straßennetz
- Zuordnung zu nächster Kante muss überprüft werden
- Falsche Zuordnung kann zu enormen Abweichungen führen

→ In diesem Fall Punkt 2 auf Abbiegespur: +10.4 km

Datenvorbereitung

Formatierung

- Transformieren der GPS-Koordinaten in **Universal Transverse Mercator System (UTM)**
- Zuordnung von Tour-Nummer

GPS Koor. [deg]		UTM Koor. [m]		Zeit	Geschw. [km/h]	Besetzungs- status	Tour- Nummer
Latitude	Longitude	Ost	Nord				
51.3358	6.5393	328598	5690046	01.04.2019 10:03	0	frei	-
51.33828	6,54166	328768	5690313	01.04.2019 10:04	4	besetzt	1
...	...			...	...	...	1
51.36163	6.622004	334448	5692725	01.04.2019 10:16	16	besetzt	1
...	...			01.04.2019 10:16	1	frei	-
...	...			...	...	...	-
...	...			01.04.2019 10:30	4	frei	-
51.36416	6.62096	334384	5693009	01.04.2019 10:31	11	besetzt	2
...	...			...	...	...	...

Datenvorbereitung

Sortieren

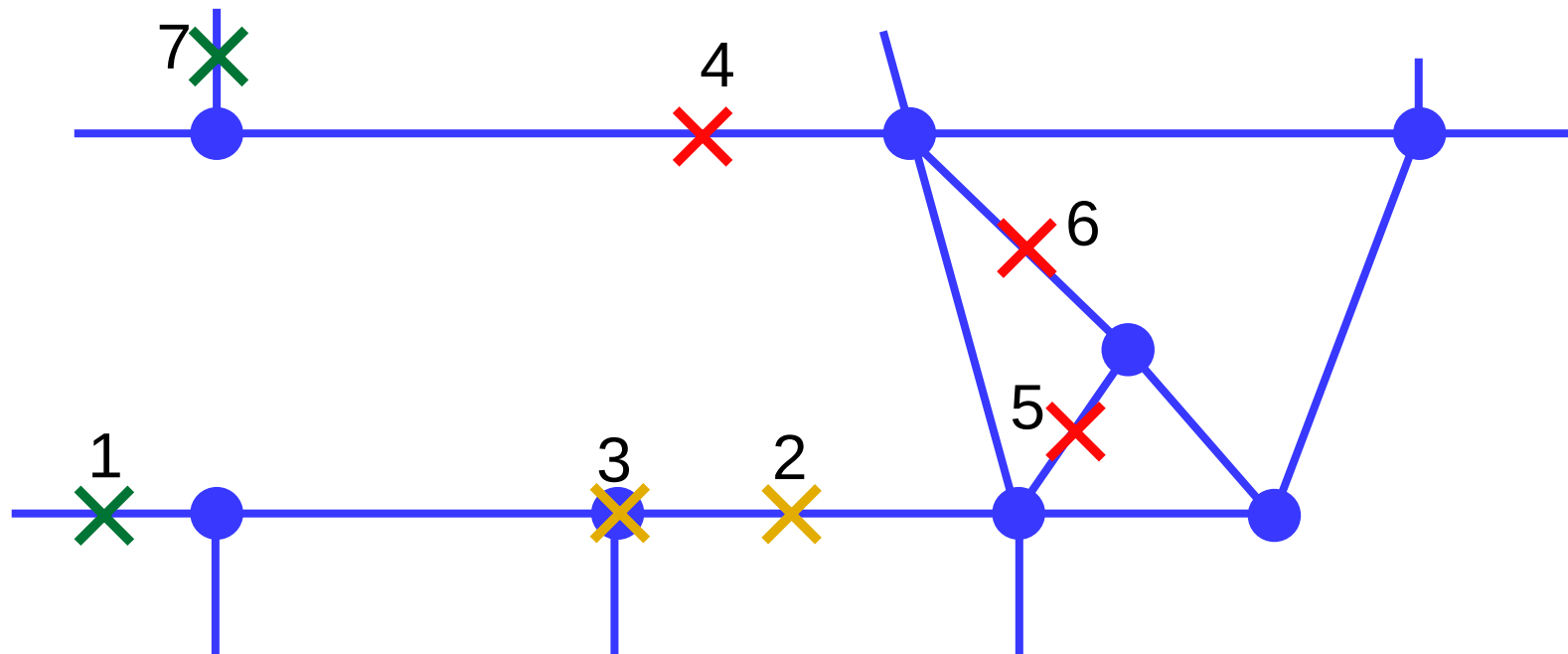
FCD-ID	Zeitschritt	Zeitstempel
1	1	13:04:00
2	2	13:05:00
3	2	13:05:00
4	3	13:06:00
5	3	13:06:00
6	3	13:06:00
7	4	13:07:00

Sortiere Zeitschritt 2:

Start ID	Ziel ID	Distanz [m]
1	2	600
1	3	500

Sortiere Zeitschritt 3:

Start ID	Ziel ID	Distanz [m]
2	4	800
2	5	300
2	6	500



Datenvorbereitung

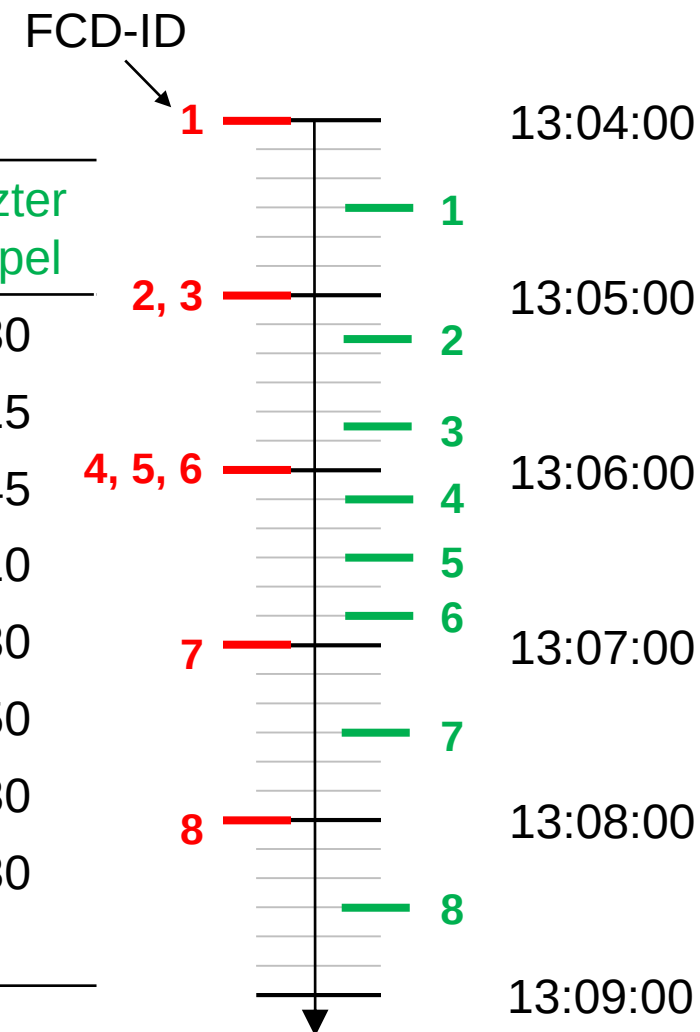
Abschätzung der Sekunden im Zeitstempel

Für jeden Zeitschritt:

$$\Delta t_i = \frac{60}{2n} + (i - 1) \frac{60}{n}$$

$$i = 1, \dots, n$$

FCD-ID	i	n	Zeit-schritt	Gespeich. Zeitstempel	Geschätzter Zeitstempel
1	1	1	1	13:04:00	13:04:30
2	1	2	2	13:05:00	13:05:15
3	2	2	2	13:05:00	13:05:45
4	1	3	3	13:06:00	13:06:10
5	2	3	3	13:06:00 $\xrightarrow{+\Delta t_i}$	13:06:30
6	3	3	3	13:06:00	13:06:50
7	1	1	4	13:07:00	13:07:30
8	1	1	5	13:08:00	13:08:30
...	...	...	...	...	...



Datenvorbereitung

Stündliche Intervalle

- Um Tagesgang zu bestimmen, werden Touren in stündliche Intervall-Gruppen aufgeteilt
 - Annahme: Verkehrsaufkommen zwischen 23 und 6 Uhr ist so gering, dass Durchschnittsgeschwindigkeit hier pro Straßenabschnitt gleich bleibt
 → $D = 18$ Intervalle
- Separate Parameterschätzung für jedes Intervall d
- Je nach verfügbarer Datenmenge kann zeitliche Auflösung erhöht werden

d	Beginn	Ende
1	06:00	07:00
2	07:00	08:00
...	...	...
17	22:00	23:00
18	23:00	06:00

$$d = 1, \dots, D$$

Datenvorbereitung

Erstellung des Gleichungssystems

Für jedes Intervall d :

$$\mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{s}} = \mathbf{b}$$

$a_{t,e}$: Distanz auf Kante e während Tour t

s_e : Geschw. Auf Kante e , $\tilde{\mathbf{s}}$ ist Kehrwert von $\mathbf{s}$

b_t : Fahrzeit von Tour t

$$A_{t,e} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,e} & \cdots & a_{1,E} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,e} & \cdots & a_{2,E} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{t,1} & a_{t,2} & \cdots & a_{t,e} & \cdots & a_{t,E} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{T,1} & a_{T,2} & \cdots & a_{T,e} & \cdots & a_{T,E} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{s}_e = \frac{1}{s_e}$$

$$\tilde{\mathbf{s}} \in \mathbb{R}^E$$

$$e = 1, \dots, E$$

$$t = 1, \dots, T$$

$$d = 1, \dots, D$$

Datenvorbereitung

Vereinfachung des Gleichungssystems

- Entferne **Zeilen** von A , die nur Nullen enthalten
 - Touren beinhalten keine Datenpunkte im Betrachtungsraum
- Entferne **Spalten** von A , die nur Nullen enthalten
 - Kanten wurden nicht befahren
- Zusammenführen identischer Spalten zu einer Spalte
 - Alle Fahrzeuge sind entweder auf beiden oder auf keiner dieser Kanten gefahren
 - Eine Unterscheidung der Durchschnittsgeschwindigkeit ist hier nicht möglich → diese Kanten werden die selbe Geschwindigkeit aufweisen
- Wenn notwendig
 - Zusammenführung unwichtiger Straßenabschnitte
 - Zusammenführung sehr kurzer Straßenabschnitte

Parameterschätzverfahren

Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeiten

Für jedes Intervall d :

$$f(\tilde{s}) = \sum_{t=1}^T (a_t \cdot \tilde{s} - b_t)^2$$

a_t : Distanz-Vektor gefahren während Tour t

s_e : Geschw. auf Kante e , $\tilde{s}$ ist Kehrwert von s

b_t : Fahrzeit von Tour t

Grenzen

$$0 < s_e \leq 35 \frac{m}{s}$$

$$\tilde{s}_e = \frac{1}{s_e}$$

$$\tilde{s} \in \mathbb{R}^E$$

$$a_t = a_{t,1}, \dots, a_{t,E}$$

$$e = 1, \dots, E$$

$$t = 1, \dots, T$$

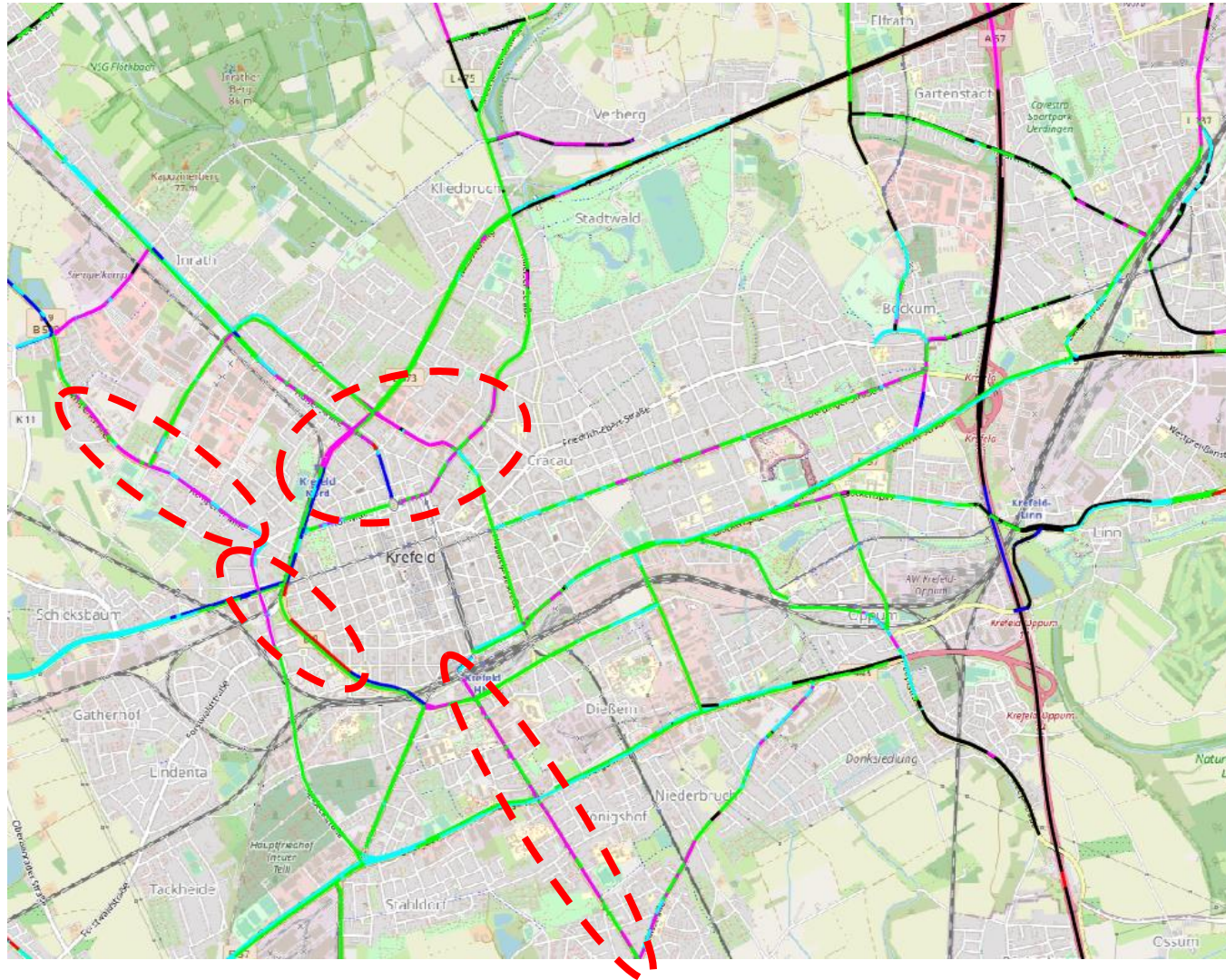
$$d = 1, \dots, D$$

Für jedes d :

Anzahl Touren $T \approx 16,000$

Anzahl Kanten $E \approx 1,500$

Ergebnisse



Geschwindigkeiten auf Hauptverkehrsstraßen

Farbe	Geschw. [km/h]
Rot	≤ 10
Magenta	≤ 20
Grün	≤ 30
Cyan	≤ 50
Blau	≤ 70
Schwarz	> 70

Ergebnisse

- Gerichteter Graph mit zwei möglichen Kantengewichten für Shortest-Path-Algorithmen
 - Fahrzeit für schnellsten Weg (Vektor)
 - Länge für kürzesten Weg

Kanten-ID	Start-knoten	Ziel-knoten	Länge [m]	Fahrzeit [s]	Ø-Geschwindigkeit [m/s]
1	1253	452	$l_1 = 72$	$t_{1,d} = [3.43, 4.00, \dots, 3.13]$	$s_{1,d} = [21, 18, \dots, 23]$
2	753	823	80	$t_{2,d}$	$s_{2,d}$
3	19	4235	91	$t_{3,d}$	$s_{3,d}$
...	...	...	...	...	...

$$t_{e,d} = \frac{l_e}{s_{e,d}}$$

$$d = 1, \dots, D$$

$t_{e,d}$: Fahrzeit auf Kante e

$s_{e,d}$: Geschw. auf Kante e während Intervall d

l_e : Länge von Kante e

Zusammenfassung

- Zeitliche und räumliche Auflösung von realen Fahrzeiten und Ø-Geschwindigkeiten kann ermittelt werden
- Anwendbar auch bei schlechter Rohdaten-Qualität
 - Minutenweise Zeitstempel
 - Ungenaue GPS Punkte
 - Unregelmäßige Erhebungsintervalle
- Kosteneffiziente Analyse
 - Software soll in anstehendem Forschungsprojekt anwenderfreundlich zur Verfügung gestellt werden
- Verkehrsplanende können in ihrem lokalen Kontext ähnliche Datenquellen suchen und diese Methodik anwenden

Ausblick

Verwertung in anderen Forschungsprojekten

- BESTMOD: Bestimmung und Simulation einer optimalen hybriden On-Demand-Mobilität – Eine Studie im städtischen und ländlichen Raum
 - Zeitlich aufgelöste Reisewiderstände von On Demand-Angeboten im ÖPNV
 - Makroskopisches Verkehrsmodell
- In Kombination mit multimodaler Verkehrsstrommatrix können Straßenquerschnittsbelastungen abgeschätzt werden
 - Validierung mit gemessenen Werten
 - Zukünftig vielleicht keine Verkehrszählungen mehr notwendig

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt

M.Sc. Lukas Spengler

Lukas.Spengler@hs-niederrhein.de

Prof. Dr.-Ing. Marc Gennat

Marc.Gennat@hs-niederrhein.de