

Simulierte Bewegungsprofile vs. (Mobilfunk-) Bewegungsdaten als Datenbasis der Emissionsberechnung



Michael Haberl | Invenium Data Insights GmbH

michael.haberl@invenium.io | +43 664 88 199 005

Herrengasse 28 | 8010 Graz | www.invenium.io



1. **Intro & Motivation**
2. **(Simulierte) Trajektorien
als Datenbasis der
Emissionsberechnung**
3. **(Mobilfunk-)
Bewegungsdaten als
Datenbasis der
Emissionsberechnung**

Intro



Quelle: www.freepik.com



Motivation



Motivation

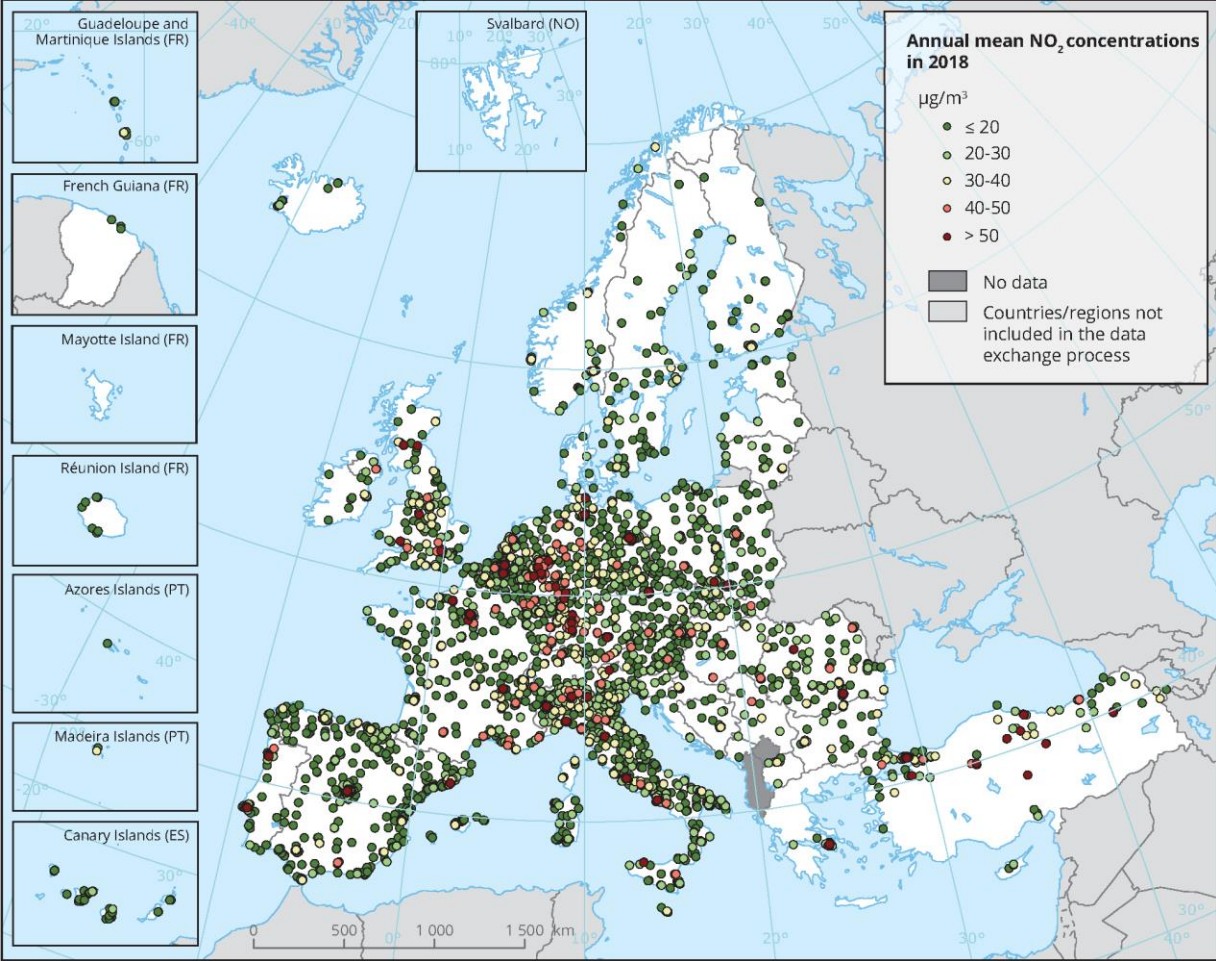
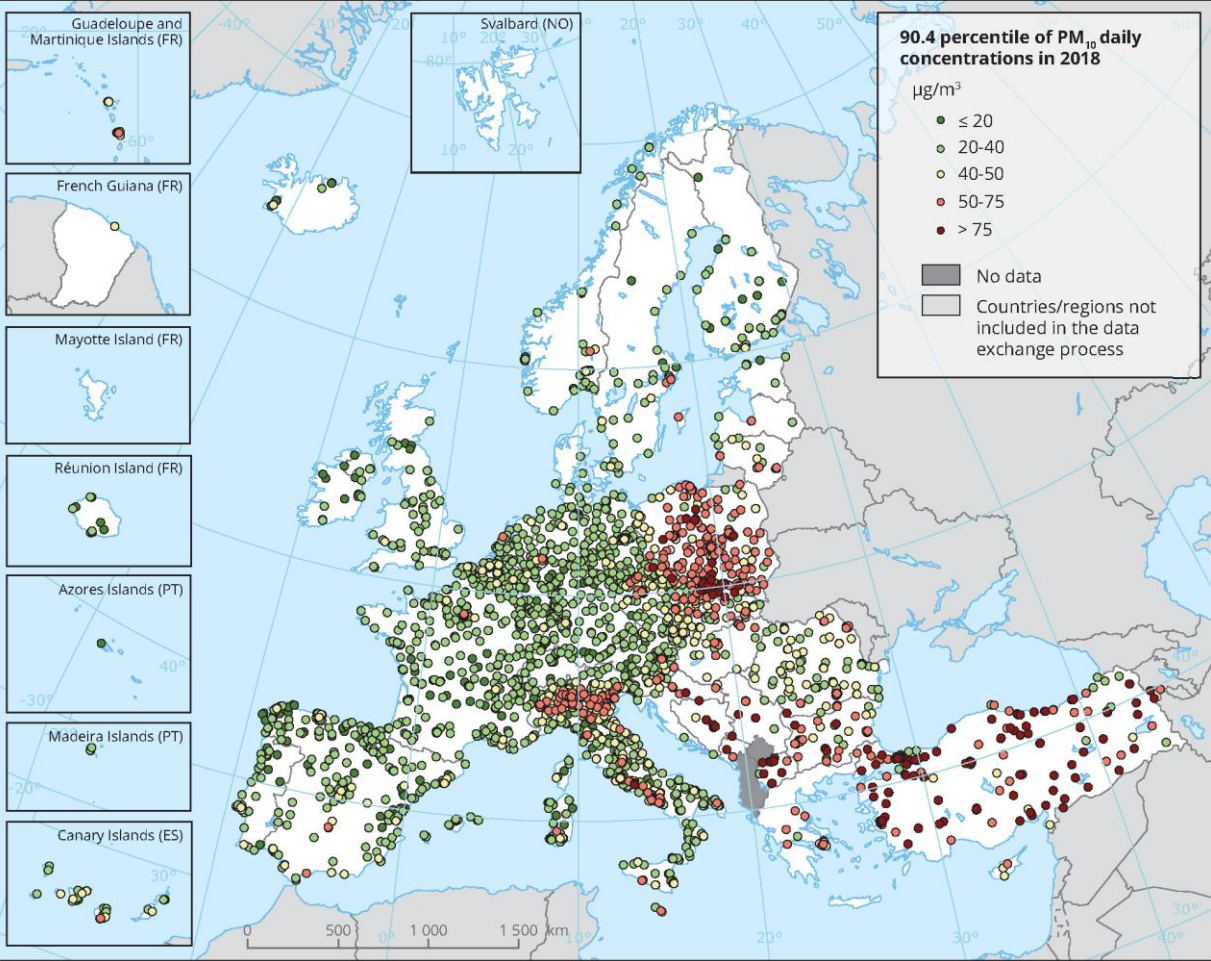


Motivation



PM10 - EU daily limit value 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

NO₂ - EU annual limit value 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Reference data: ©ESRI | ©EuroGeographics

https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/90-4-percentile-of-pm10-8/120092-map4-1-concentrations-of-eps/120092-Map4.1-Concentrations-of-PM10-daily_v03_cs6.eps.75dpi.png/download

Reference data: ©ESRI | ©EuroGeographics

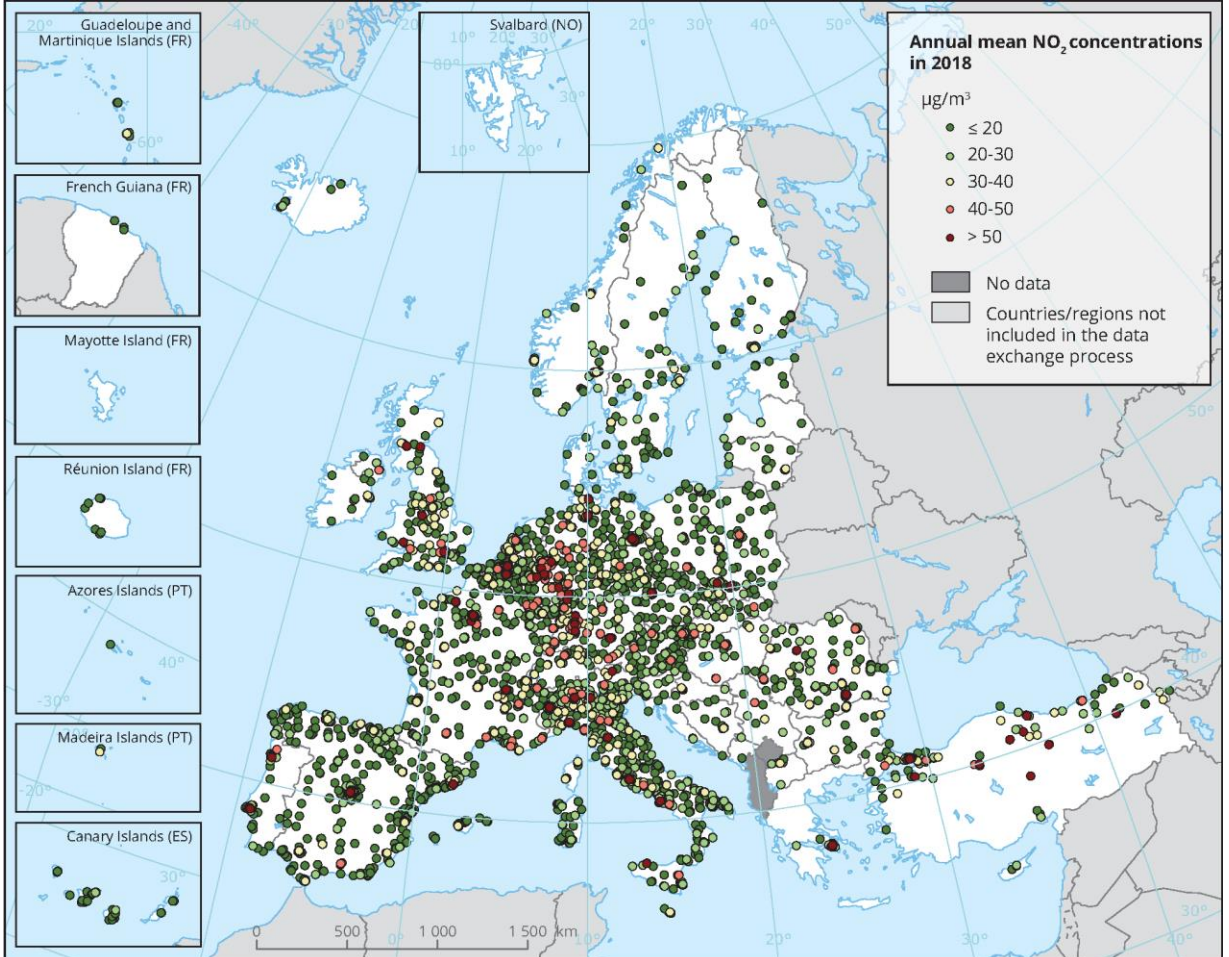
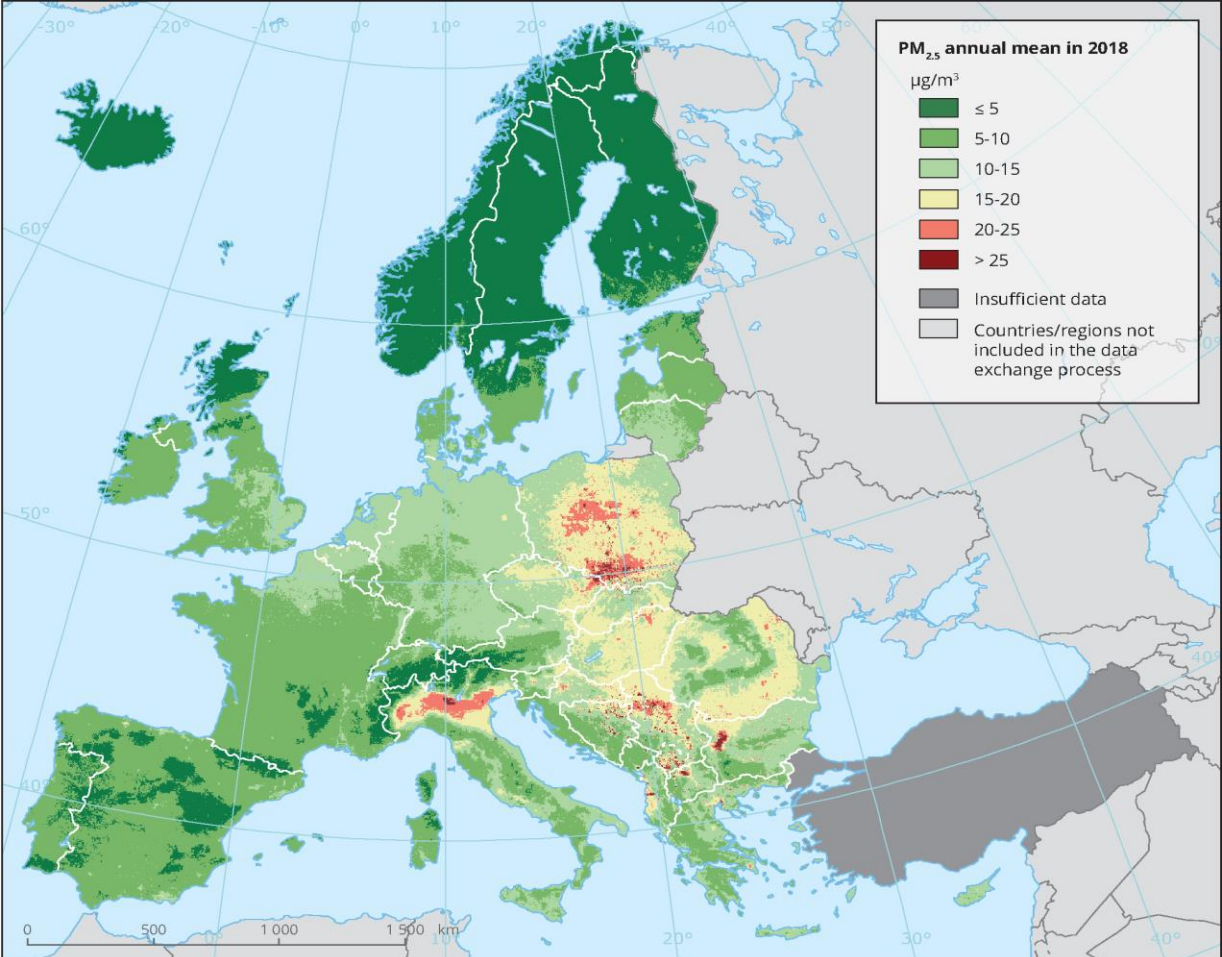
https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-mean-no2-concentrations-in-3/120120-map6-1-concentrations-of-eps/120120-Map6.1-Conc-of-NO2-2018_v02.eps.75dpi.png/download

Motivation



PM_{2.5} – EU annual limit value 25 µg/m³

NO₂ - EU annual limit value 40 µg/m³



Reference data: ©ESRI | ©EuroGeographics
https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/pm2-5-annual-mean-in-2/pm2-5-annual-mean-in-2015/120142_MAP9.1-MAP-AQ-Conc-interpolated-PM2.5_v02.eps.75dpi.png/download

Reference data: ©ESRI | ©EuroGeographics
https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-mean-no2-concentrations-in-3/120120-map6-1-concentrations-of-eps/120120-Map6.1-Conc-of-NO2-2018_v02.eps.75dpi.png/download

Lösungsansätze → Verstetigung des Verkehrsflusses



- Die Stadtverwaltungen müssen die Emissionen reduzieren, um die Grenzwerte der europäischen Richtlinie 2008/50 zur Luftqualität einzuhalten
- Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung“
 - Analyse ausgewählter Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrs und Quantifizierung der Effekte einer Verstetigung auf die Emissionen (inkl. Rebound-Effekte)

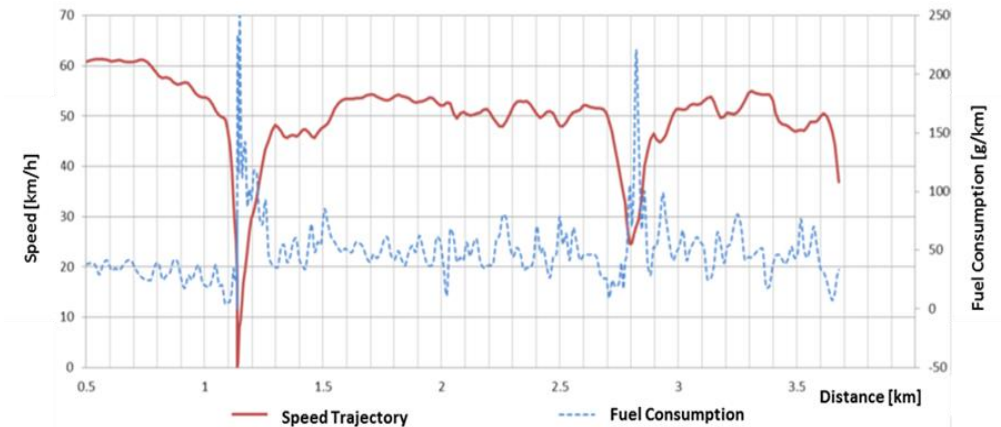
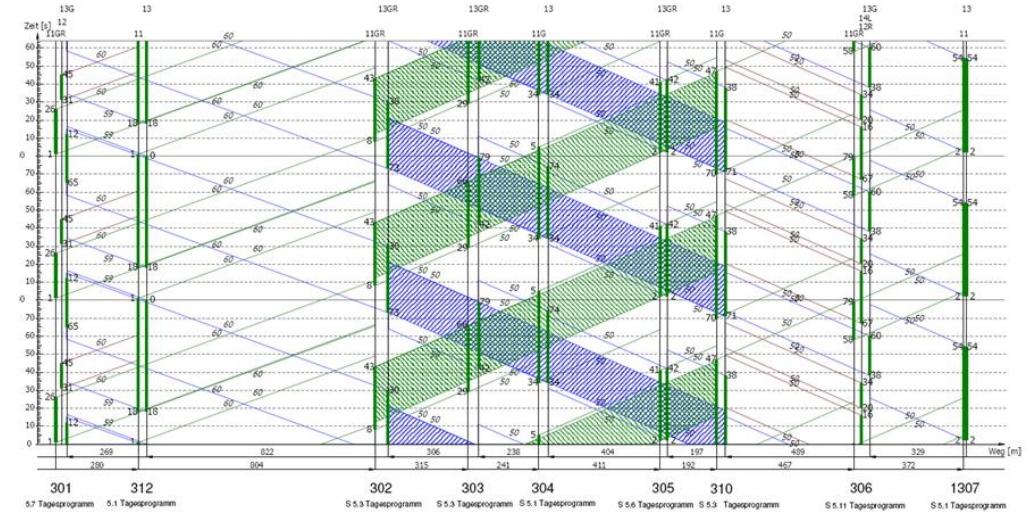
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_14-2023_fluessiger_verkehr_fuer_klimaschutz_und_luftreinhaltung.pdf



Verstetigung des Verkehrsflusses durch Grüne Wellen



- Gute Koordinierung von Lichtsignalanlagen (= Grüne Welle)
 - verkürzt Wartezeiten
 - reduziert die Anzahl der Haltevorgänge
 - erhöht die Reisegeschwindigkeit
 - reduziert Beschleunigungsvorgänge
 - reduziert den Kraftstoffverbrauch
 - reduziert die Luftschadstoffemissionen



Fahrzeugtrajektorien zur Qualitätsbewertung von LSA



- Qualitätsanalysen von koordinierten LSA (Koordinierungsmaß nach HBS) werden mit aufwendigen, statistisch nicht signifikanten Befahrungen durchgeführt



Wiener Straße (Steuerungsgebiet X)

Messprogramm / Fahrtrichtung: VSA 301 → VSA 1807

Messfahrt Nr.	Steuerungsgebiet und Endzonenpunkte (VSA Nr.)										Z-Dur	Kor [m]	QDV _{kor}	Startzeit Messfahrt	Verkehrsstärke [Kfz/15min]
	301	312	302	303	304	305	310	306	1807						
1	D	D	D	H2	D	D	D	D	D	D	7	88	B	06:05:06	101
2	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	8	100	A	06:13:01	204
3	H2	D	D	D	D	D	D	D	D	D	8	100	A	06:24:48	279
4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	8	100	A	06:37:08	279
5	D	D	H2	D	D	D	D	D	D	D	7	88	B	06:49:01	352
6	D	D	D	D	H2	D	D	D	D	D	7	88	B	07:00:59	379
7	H2	D	H2	D	D	H2	D	D	D	D	6	75	C	07:14:40	431
8	H2	D	H2	D	D	H2	D	D	D	D	Steuerungsgebiet 1807		07:31:32	451	
Z-Dur	7	7	5	6	6	6	7	7	7	7			Mittelwert	288	
Kor [m]	100	100	71	86	86	80	100	100	100	100			Mittelwert	93,1	
QDV _{kor}	B	A	B	B	B	B	A	A	A	A					
Auffälligkeiten*														(8 Kfz/15)	1191
Kor [m]	81													(8 Kfz/15)	1191
QDV _{kor}	B													(8 Kfz/15)	1191

*Aufzählung von auffälligen Folgen im Straßenverkehr

Fahrzeugtrajektorien zur Emissionsberechnung



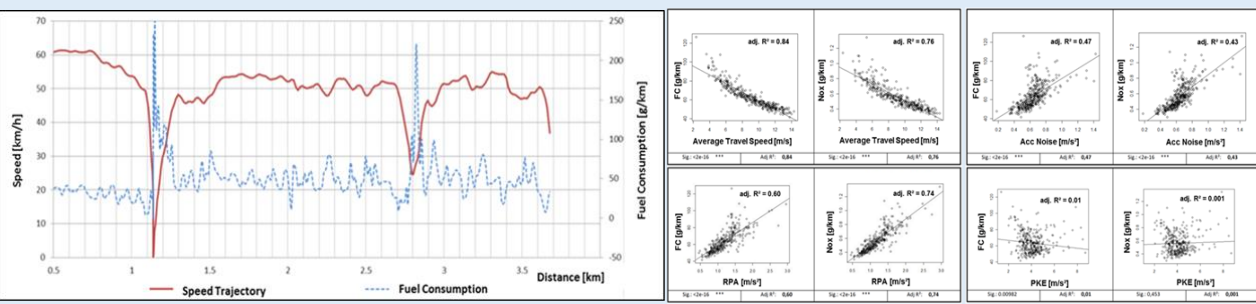
GPS-Messkampagnen

- Koordinierungsmaß
- Halteursachen
- Verkehrsstärken
- GPS-Trajektorien
- ...



Messfahrt Nr.	Messprogramm / Fahrleistung: VISA 335 - VISA 1307										Verkehrssituation (Hz/5min)				
	301	312	313	314	315	316	317	318	319	320					
1	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	7	88	B	06:01:05	161
2	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	8	200	A	05:33:51	256
3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	8	100	A	05:28:48	279
4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	8	100	A	05:37:08	279
5	D	10	D	D	D	D	D	D	D	D	7	88	B	05:48:51	352
6	D	D	D	D	H2	D	D	D	D	D	7	88	B	07:00:59	379
7	D	10	D	D	D	D	D	D	D	D	6	75	C	07:38:40	481
8															
T.O. (h)	7	5	6	6	6	7	7	7						Mittelwert	298
km (h)	100	71	85	86	86	100	100	100							
km (km)	4	*	B	B	B	A	A	A							
Auffälligkeiten											91	112/14		1193	
km (h)															
km (km)															

Emissionstechnische Bewertung

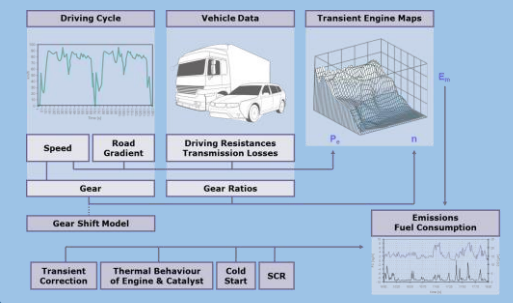


Trajektorien Datei

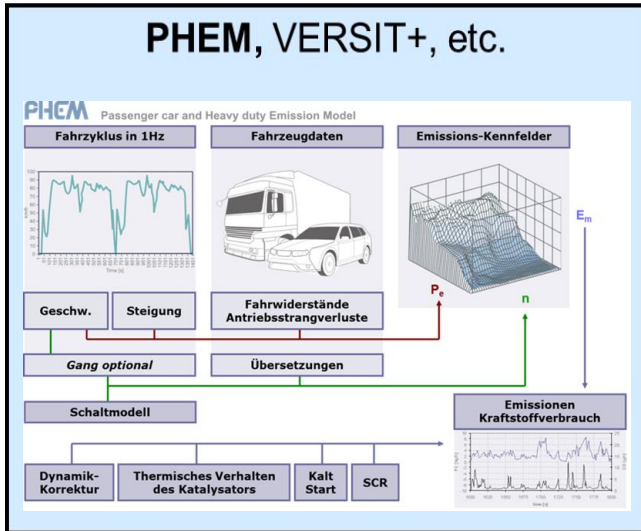
- Simulationslauf
- Positionskoordinaten
- ...

*.csv-File

PHEM



Simulierte Trajektorien zur Emissionsberechnung

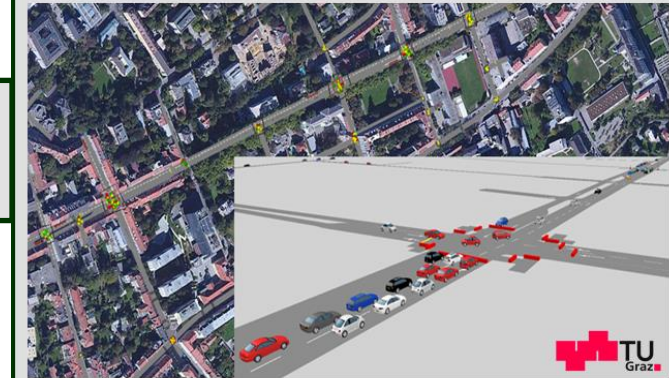


Trajektorien

Mikroskopisches Emissionsmodell

Mikroskopisches Verkehrsflussmodell

VISSIM, SUMO, AIMSUN, etc.



Ergebnisse

- Reisezeit/Geschwindigkeit
- Verlustzeiten/Wartezeiten
- Kraftstoffverbrauch (FC)
- Emissionen (CO₂, NO_x, PM etc.)
- fahrdynamische Kennwerte: RPA, Acc. Noise
- Anzahl Haltevorgänge

Emissionsberechnungen mit PTV VISSIM & Bosch ESTM



Emissions calculation with PTV Vissim and Bosch ESTM

Emission of Road Transport

How traffic emissions result

Verkehrsvolumen
Vehicle / h

„to much vehicles“

Traffic situation
1/ average speed

„time“

Driving-Dynamic
Emissionen / Second

„bad driving behavior“

Einfluss: 1x Factor: 4-10x

<https://www.youtube.com/watch?v=DpFgbwqciPE>

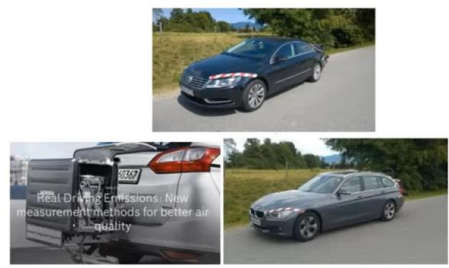


Tabelle 7-2: Mittelwerte der NO_x-Emissionen für unterschiedliche Betriebszustände

	Mittelwerte						
	Constant driving between 20 and 40km/h	Constant driving between 40 and 140km/h	Constant driving >140km/h	All acceleration states	Acceleration states between 0 and 20 km/h	Acceleration states between 25 and 100 km/h	Acceleration states >100km/h
	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]
Fahrzeug 1	100%	69%	<200%	490%	>650%	>400%	>400%
Fahrzeug 2							
Fahrzeug 3							

Source: Umweltamt BW

Forschungsfragen und Zielsetzungen

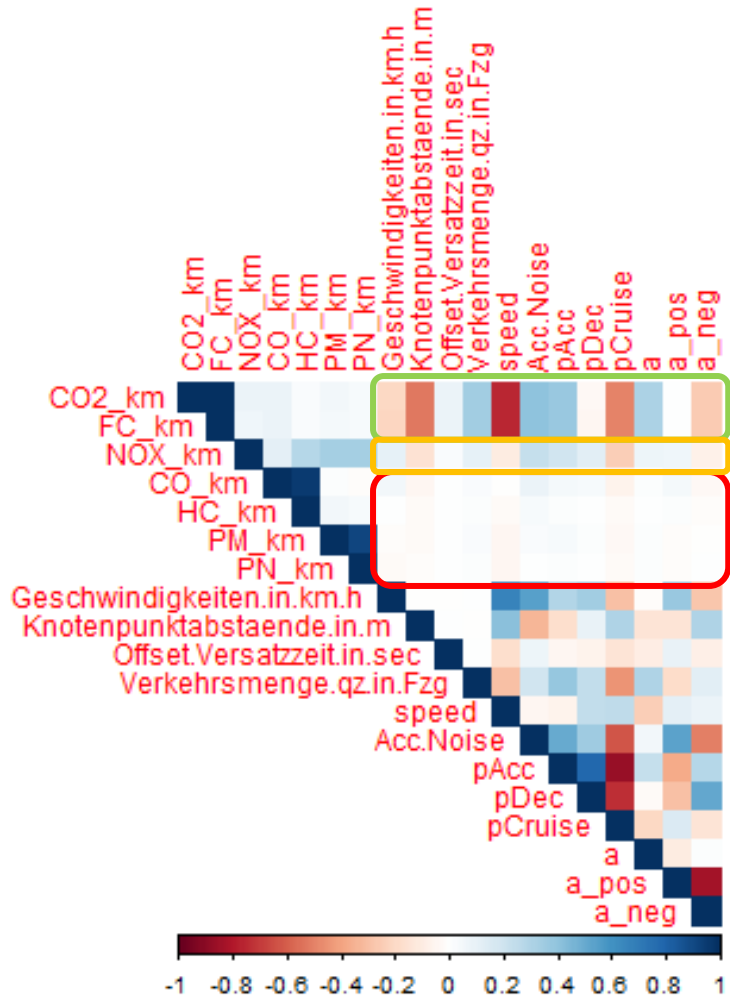


- Welchen Einfluss haben unterschiedliche verkehrstechnische und organisatorische Randbedingungen der Signalkoordinierung auf die Fahrzeugemissionen?
- Ist eine schnelle Bewertung der Fahrzeugemissionen für koordinierte Hauptverkehrsstraßen anhand derer Randbedingungen möglich?
- Simulationsstudiendesign Laborbeispiele
 - Knotenpunktabstände & zul. Geschwindigkeiten
 - Verkehrsmenge / Auslastungsgrad / Schwerverkehrsanteil
 - Signalsteuerung und Koordinierung (Umlaufzeit, Grünzeitanteil und Versatzzeitvariation)

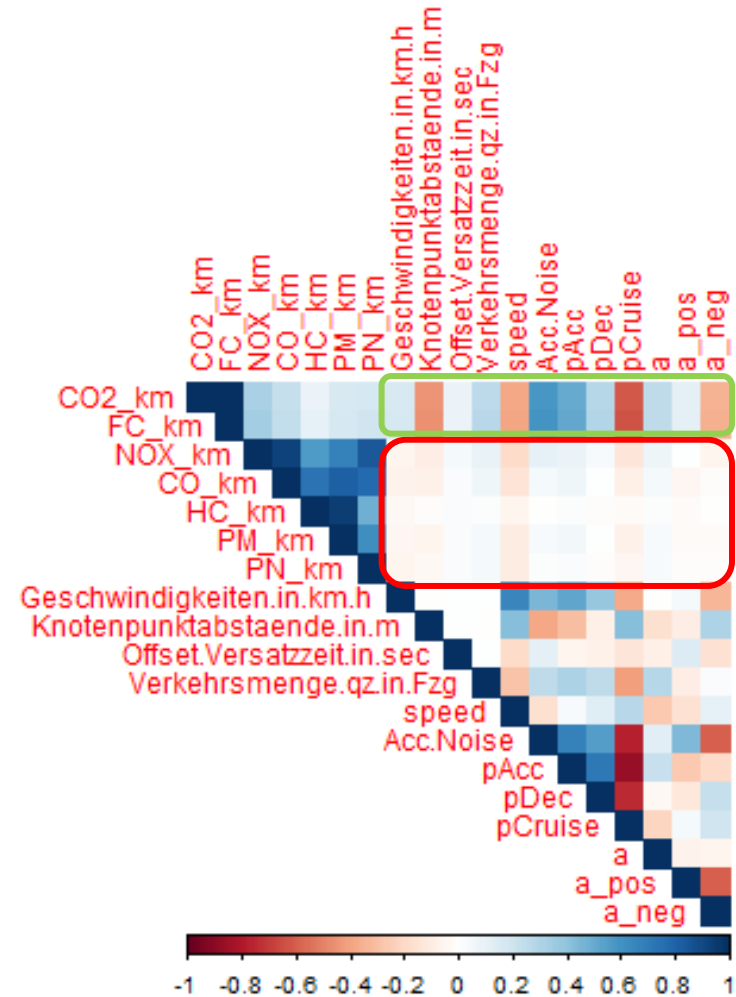
Pearson-Korrelationskoeffizienten bei 60s Umlaufzeit



PKW



LKW



Multiple lineare Regression – Umlaufzeit 60sec



Input / Output	30-50km/h	250-750m	250-1000veh	0-50sec	
HGV in [%]	β_{const}	β_V	β_{ID}	β_Q	β_{Offset}
10%	1	50	500	500	0
CO2	185,108	g/km			
FC	59,53875	g/km			
NOX	0,29886	g/km			
PM	0,00441101	g/km			

Car_CT60sec	β_{const}	β_V	β_{ID}	β_Q	β_{Offset}	β_{ID^2}	β_{Q^2}	β_{Offset^2}	R ²	p-Wert
CO2	3,20E+02	-8,92E-01	-3,66E-01	-8,57E-02	2,65E+00	2,52E-04	1,10E-04	-4,89E-02	0,5771	< 2.2e-16
FC	1,03E+02	-2,89E-01	-1,18E-01	-2,76E-02	8,51E-01	8,14E-05	3,52E-05	-1,57E-02	0,5712	< 2.2e-16
NOX	1,98E-01	3,05E-03	-2,20E-04	-5,27E-05	5,95E-03		1,28E-07	-1,11E-04	0,05704	< 2.2e-16
PM	4,47E-03	-1,80E-05	-3,30E-06		5,36E-05	1,79E-09	9,93E-10	-1,03E-06	0,001719	< 2.2e-16

HGV_CT60sec	β_{const}	β_V	β_{ID}	β_Q	β_{Offset}	β_{ID^2}	β_{Q^2}	β_{Offset^2}	R ²	p-Wert
CO2	9,60E+02	5,45E+00	-1,50E+00	-5,10E-01	1,74E+01	7,99E-04	6,41E-04	-3,16E-01	0,3804	< 2.2e-16
FC	3,12E+02	1,76E+00	-4,91E-01	-1,66E-01	5,63E+00	2,65E-04	2,08E-04	-1,03E-01	0,4001	< 2.2e-16
NOX	3,66E+00	-1,55E-02	-5,01E-03	-2,38E-03	5,01E-02	3,69E-06	2,63E-06	-8,69E-04	0,03259	< 2.2e-16
PM	1,25E-01	-6,50E-04	-1,75E-04	-7,00E-05	1,42E-03	1,29E-07	7,51E-08	-2,37E-05	0,009843	< 2.2e-16

Zusammenfassung der Ergebnisse



- Vorteilhafter Einsatz und Kopplung von mikroskopischer Verkehrssimulation und mikroskopischem Fahrzeugemissionsmodell
 - zur Erfassung der Fahrzeugdynamik (Beschleunigungen)
 - und Generierung einer großen Anzahl an Fahrzeugtrajektorien
- Die Simulationsstudie lieferte eine schnelle Bewertung der Fahrzeugemissionen für koordinierte Hauptverkehrsstraßen
 - Robuste Ergebnisse für Kraftstoffverbrauch (FC) und Kohlendioxid (CO₂)
 - Niedriges Bestimmtheitsmaß (R²) für Stickoxide (NO_x) und Partikel (PM)

Können (Mobilfunk-)Bewegungsdaten als Datenbasis für Emissionsberechnungen herangezogen werden?



Was sind anonymisierte „Mobilfunkdaten“ überhaupt?



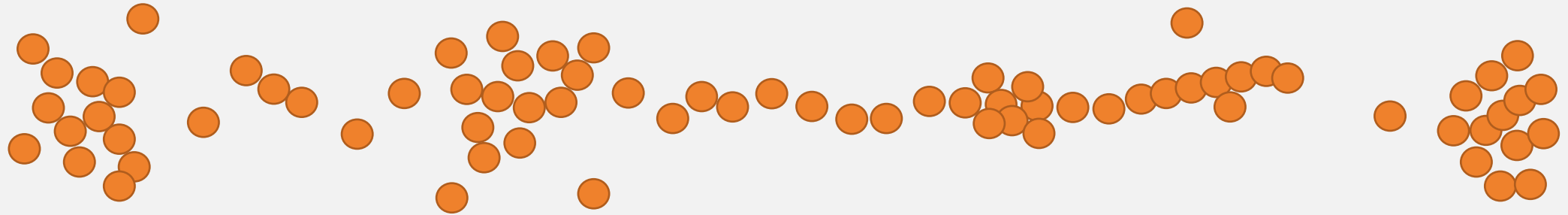
Täglich ~ **3,2 Mio.** Geräte im A1 Netz, Täglich ~ **37 Mio.** Geräte im O2/Telefonica Netz

Der Weg von Rohdaten zu Mobilitätsdaten



Anonymisierte Mobilfunkrohtrajektorie

1



2

Stationäres
Segment

Bewegendes
Segment

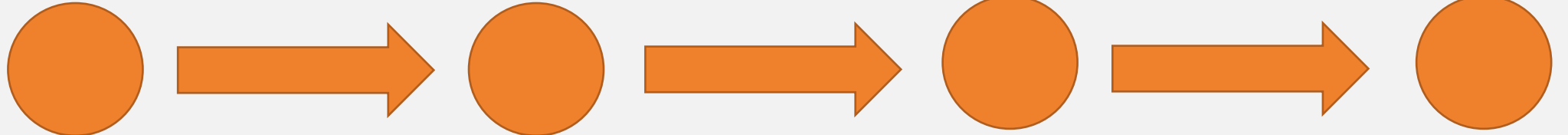
Stationäres
Segment

Bewegendes
Segment

Stationäres
Segment

Bewegendes
Segment

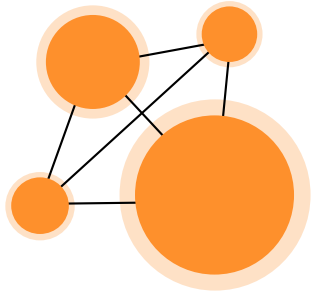
Stationäres
Segment



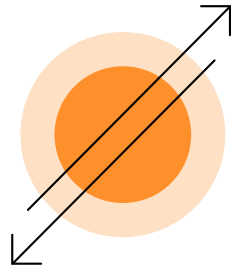
3

Projektion stationärer Segmente auf Verkehrszellen → Generierung einer Quelle-Ziel-Matrix
Raum-zeitliche Informationen der bewegenden Segmente → Aufschluss auf Mobilitätsverhalten

Data Analytics Solutions



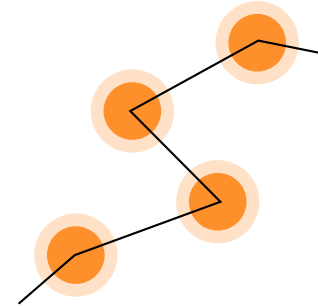
**Quelle-Ziel
Matrizen**



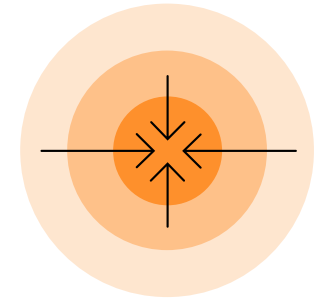
**Frequenz-
messungen**



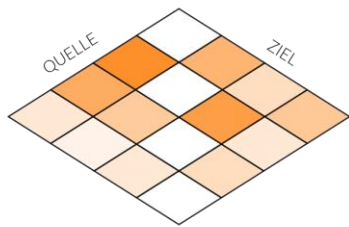
**Aufenthalts-
messungen**



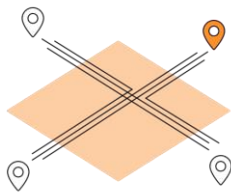
**Bewegungsketten-
analysen**



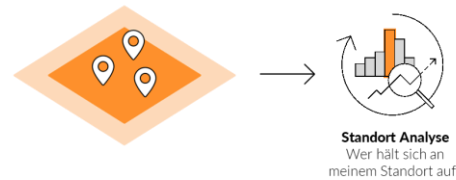
**Einzugsgebiet-
analysen**



Quelle-Ziel-Matrix



Passanten



Standort Analyse
Wer hält sich an
meinem Standort auf?



Besucher-Merkmale
Soziodemografie, Nationalität,
Herkunft, Aktivitäten



Wie bewegen sich Menschen durch Gebiete?



Einzugsgebiet

Welche Menschen werden erreicht?



Erster/letzter
stationärer Aufenthalt



Vorheriger/nächster
stationärer Aufenthalt



Wer fährt an meinem
Standort vorbei?



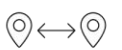
Wieviele kommen zu meinem
Standort? (Abschöpfungsquote)



Besucherherkunft

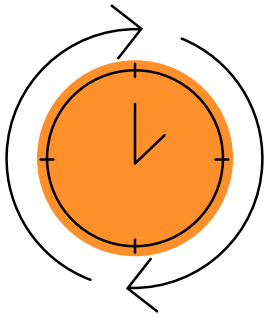


Anreisezeit



Reisedistanz

Datengetrieben Entscheiden



Tagesaktuell

Zählungen und Befragungen brauchen Zeit. So viel Zeit, dass die Ergebnisse veraltet sind bevor sie vorliegen. Mit Data Analytics Solutions können Veränderungen und Trends zeitnah erkannt werden, um für die Zukunft planen zu können.



Umfassend

Befragungen erfassen immer nur einen kleinen Teil der Bevölkerung. Data Analytics Solutions erfassen alle Bewegungen, zu jeder Zeit. Gegliedert nach demografischen Profilen, Herkunftsorten, und Nationalitäten.



Flexibel

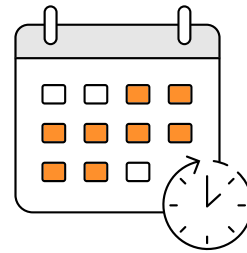
Data Analytics Solutions liefern für jede Fragestellung die passende Antwort. Flexible Auswertungsgebiete, zeitliche Auflösung und Parametrisierung der Analysen

Analysen nach Maß



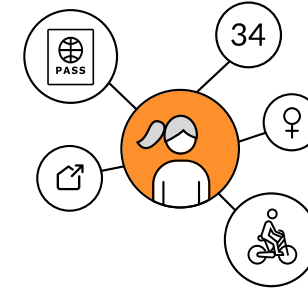
Standort

Analysen auf verschiedenen geografischen Ebenen. Von 500x500 Rastern, über GeoHash 5 und 7, Gemeinden, PLZs uvm.



Zeitraum

Analysen für Zeiträume wie Tage, Wochen, Monate, Quartale, Jahre oder individuelle Perioden gegliedert nach Stunden, Tageszeiten oder Tagen.



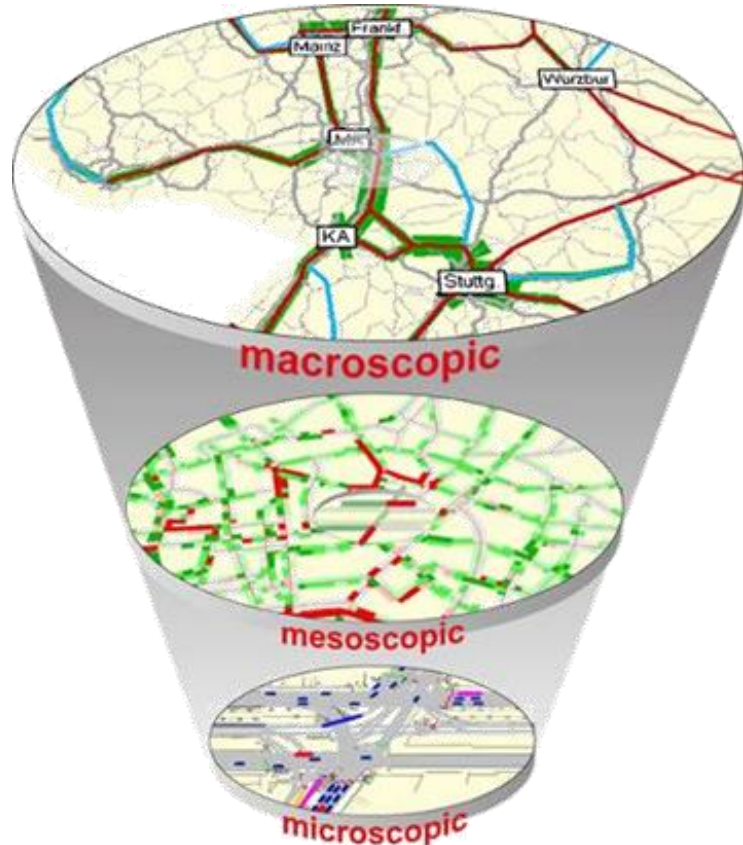
Zielgruppe

Analysen der Herkunftsorte, Aufenthaltsorte, Nationalität und Soziodemografie.

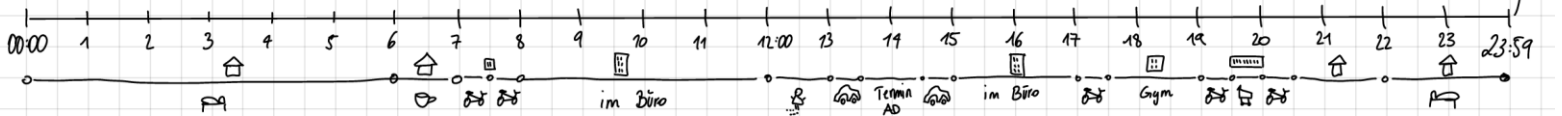
Können (Mobilfunk-)Bewegungsdaten als Datenbasis für Emissionsberechnungen herangezogen werden?



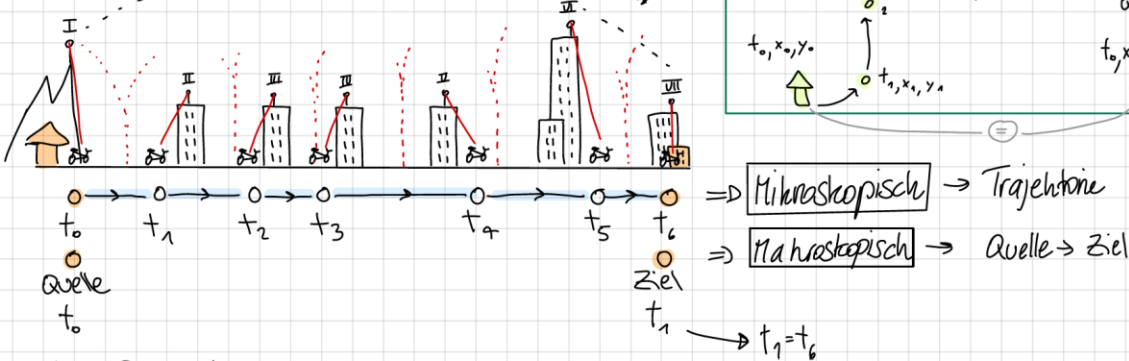
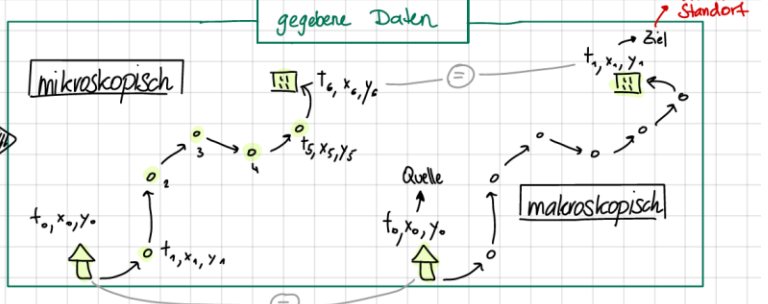
(Mobilfunk-)Bewegungsdaten als Datenbasis der Emissionsberechnung



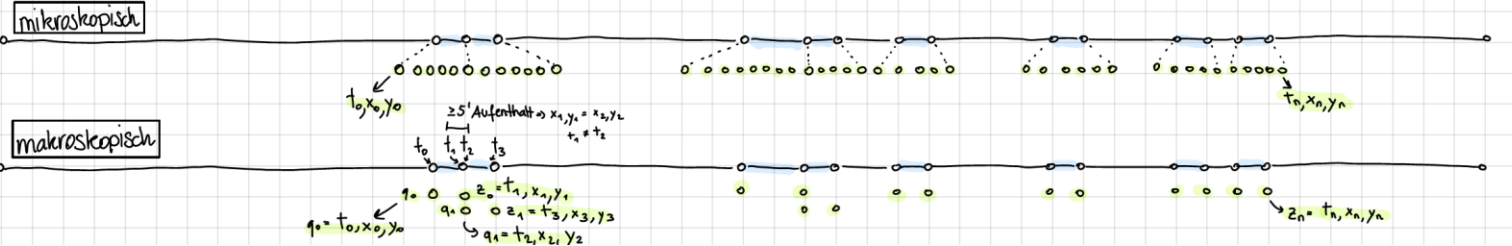
1 Person = 1 ID an 1 Tag ☿



stationär in Bewegung → Trajektorie



→ alle stationären Daten werden vorab entfernt



(Mobilfunk-)Bewegungsdaten als Datenbasis der Emissionsberechnung

Mikroskopische Ebene:

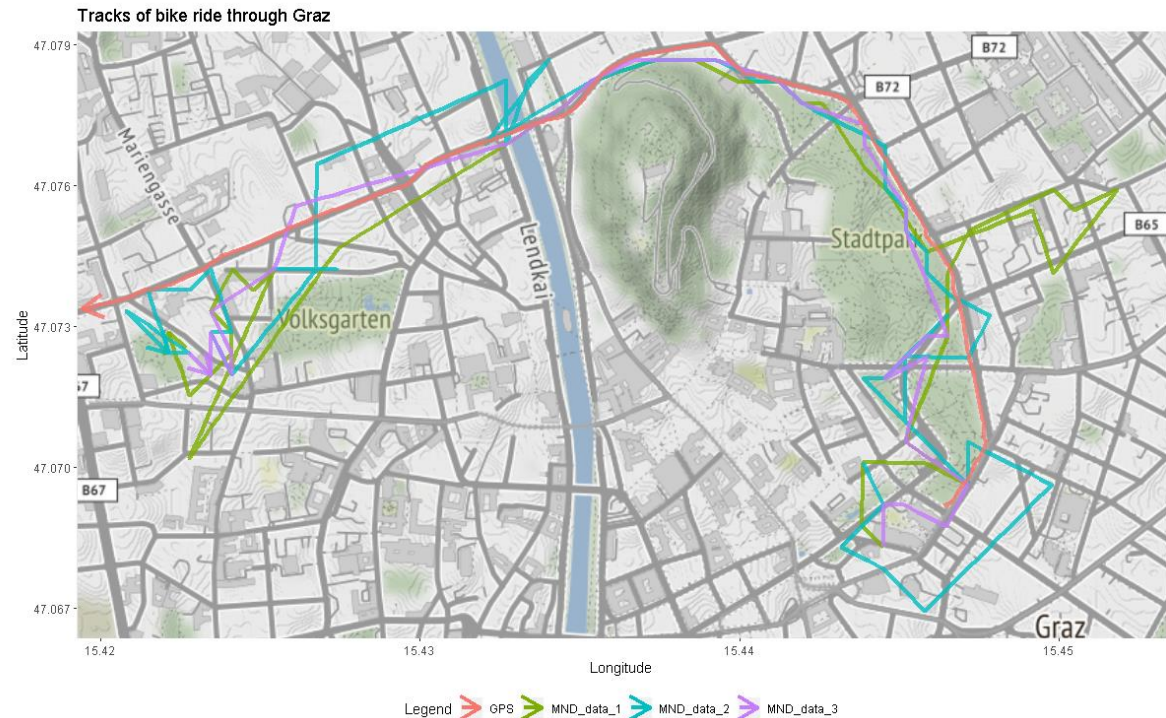
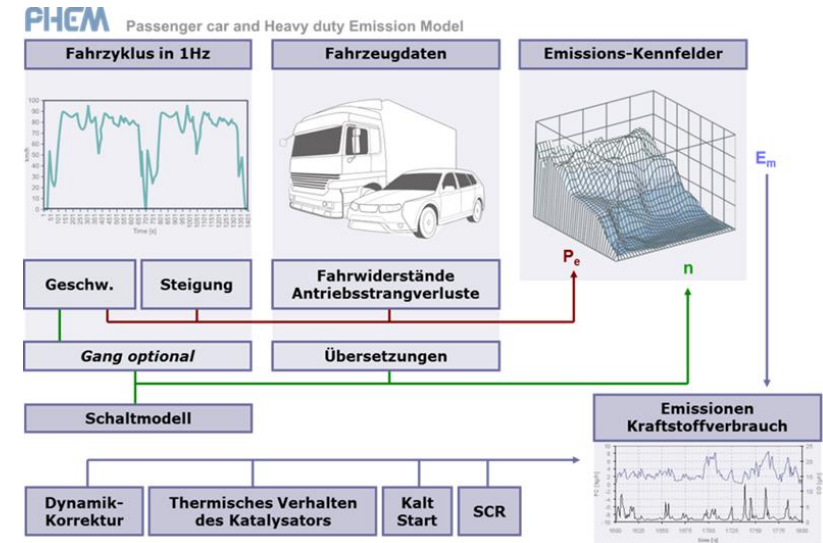
Basierend auf anonymisierten Einzeltrajektorien werden

...relevante Bewegungssegmente identifiziert,

...das verwendete Verkehrsmittel anhand Wahrscheinlichkeitsmodelle geschätzt,

...die Trajektorien feiner synthetisiert

...und Schadstoffemissionen anhand von Motorkennfelder berechnet.

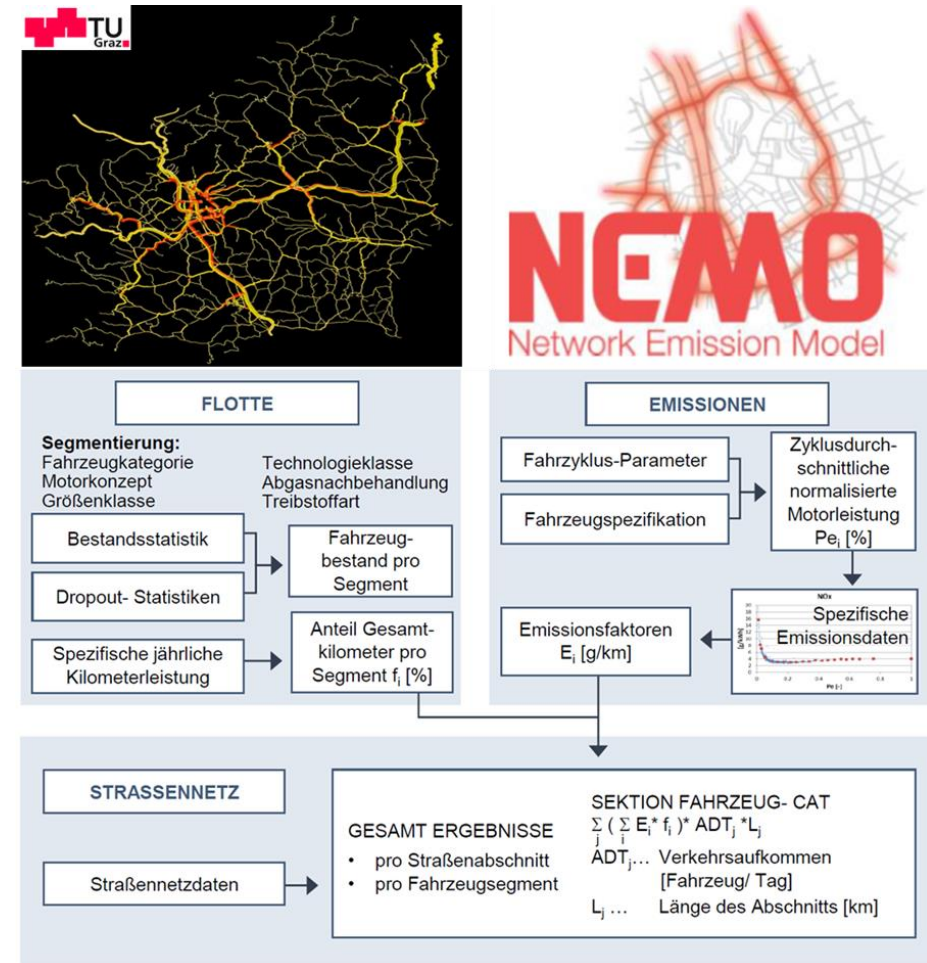


(Mobilfunk-)Bewegungsdaten als Datenbasis der Emissionsberechnung



Mesoskopische Ebene:

Die anonymisierten Einzeltrajektorien werden ...via Map Matching Verfahren auf einen Straßengraph umgelegt, ...das verwendete Verkehrsmittel anhand Wahrscheinlichkeitsmodelle geschätzt ...und anhand normalisierter Motorleistungen die Schadstoffemissionen berechnet.



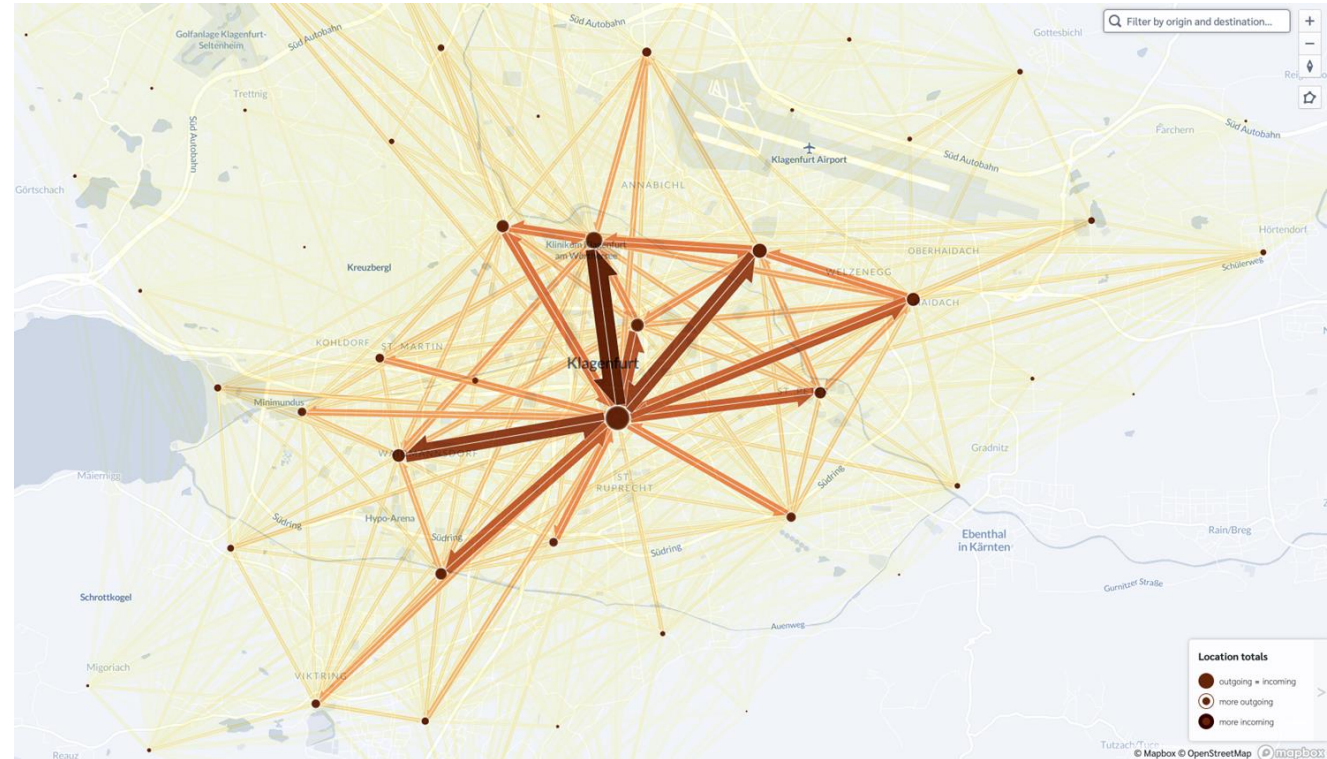
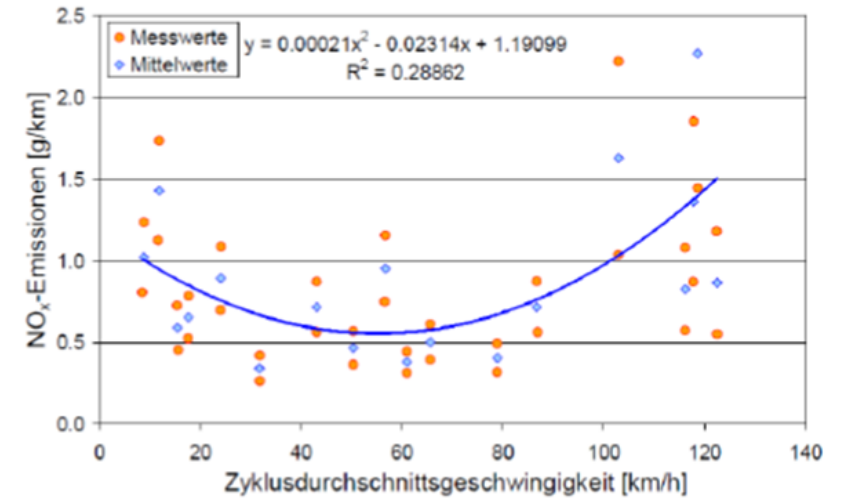
(Mobilfunk-)Bewegungsdaten als Datenbasis der Emissionsberechnung

Makroskopische Ebene:

Basierend auf mobilfunkbasiertem Quell- und Zielverkehr wird

....mittels Erhebungsdaten (z.B. ÖU) unter Anwendung eines Wahrscheinlichkeitsmodelles der Modalsplit geschätzt

...und daraus die Schadstoffemissionen anhand datenbankbasierter Modelle (HBEFA) oder Modelle mit Regressionskurven berechnet.



(Mobilfunk-) Bewegungsdaten als Datenbasis der Emissionsberechnung ... MORE TO COME



- Viele Vorteile:
 - tagesaktuell, umfassend, flexibel → keine Momentaufnahme
- Einige Nachteile:
 - Abbildung der Fahrdynamik nicht möglich → keine Konkurrenz für Mikrosimulation
 - Verschneidung mit anderen Datensätzen (z.B. Erhebungen) notwendig → Verkehrsmittelschätzung, etc.
- Offene Forschungsfragen als Ausblick
 - Können (Mobilfunk-)Bewegungsdaten als Datenbasis für Emissionsberechnungen herangezogen?
 - Auf welchem Aggregationslevel können Emissionsberechnungen zuverlässig und robust realisiert werden?

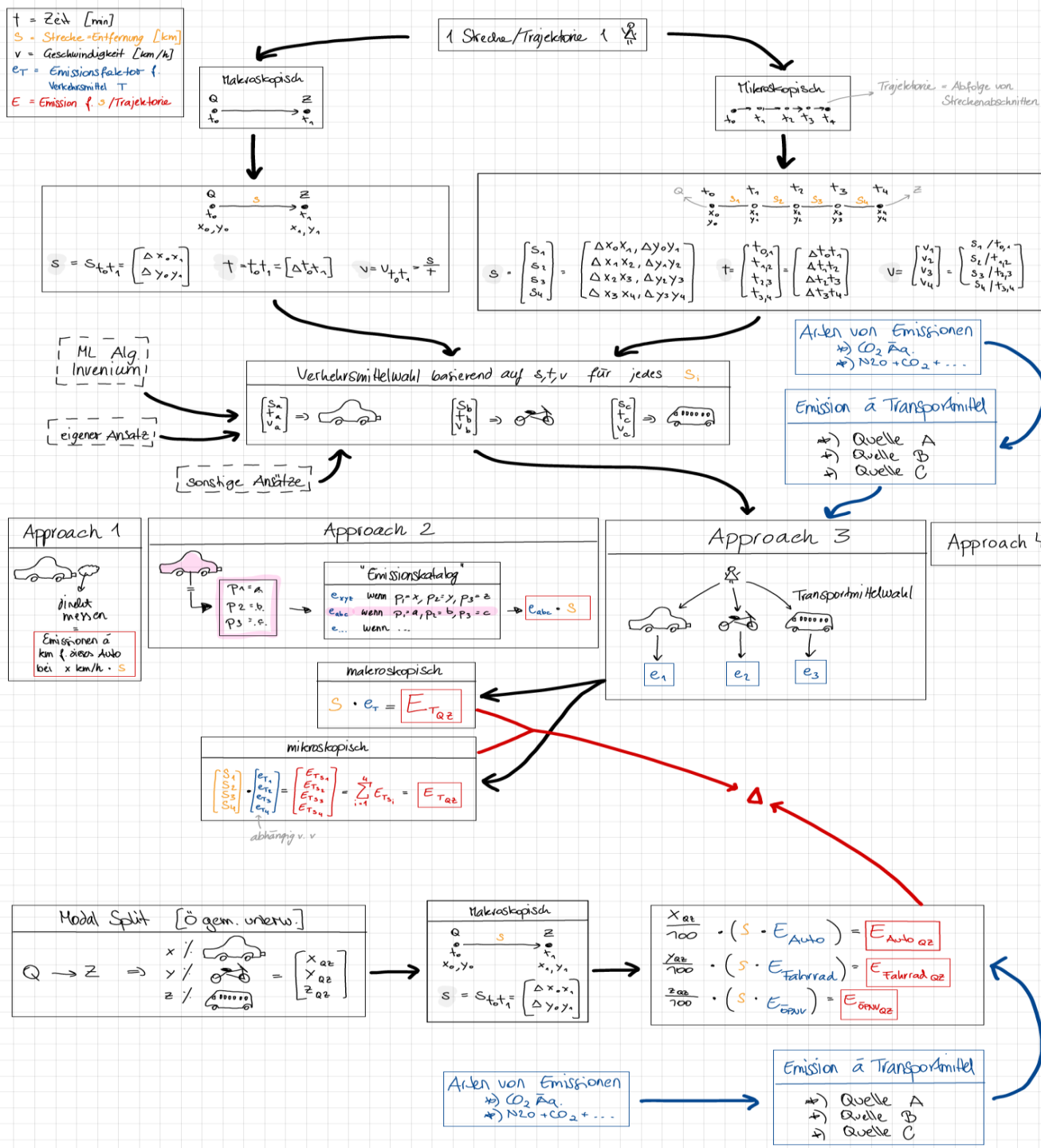
Treffen wir gemeinsam datenbasierte Entscheidungen



Michael Haberl | Invenium Data Insights GmbH

michael.haberl@invenium.io | +43 664 88 199 005

Herrengasse 28 | 8010 Graz | www.invenium.io





INVENIUM

DATA INSIGHTS