

Nachhaltige Mobilität, quo vadis?

Prof. Dr. Martin Raubal

Institut für Kartografie und Geoinformation

2. Oktober 2025

Verkehrsrechtstag 2025

WU Wien



Agenda

1. Nachhaltige Mobilität
2. Location Intelligence & Urbane Geoinformatik
3. Geodaten & Geotechnologien für nachhaltige urbane Mobilität
 - Mobility as a Service
 - Elektromobilität: Smart Charging & Vehicle-to-Grid Technologien
 - Vision: E-bike City
4. Fazit

Unsere Gesellschaft wird immer mobiler.

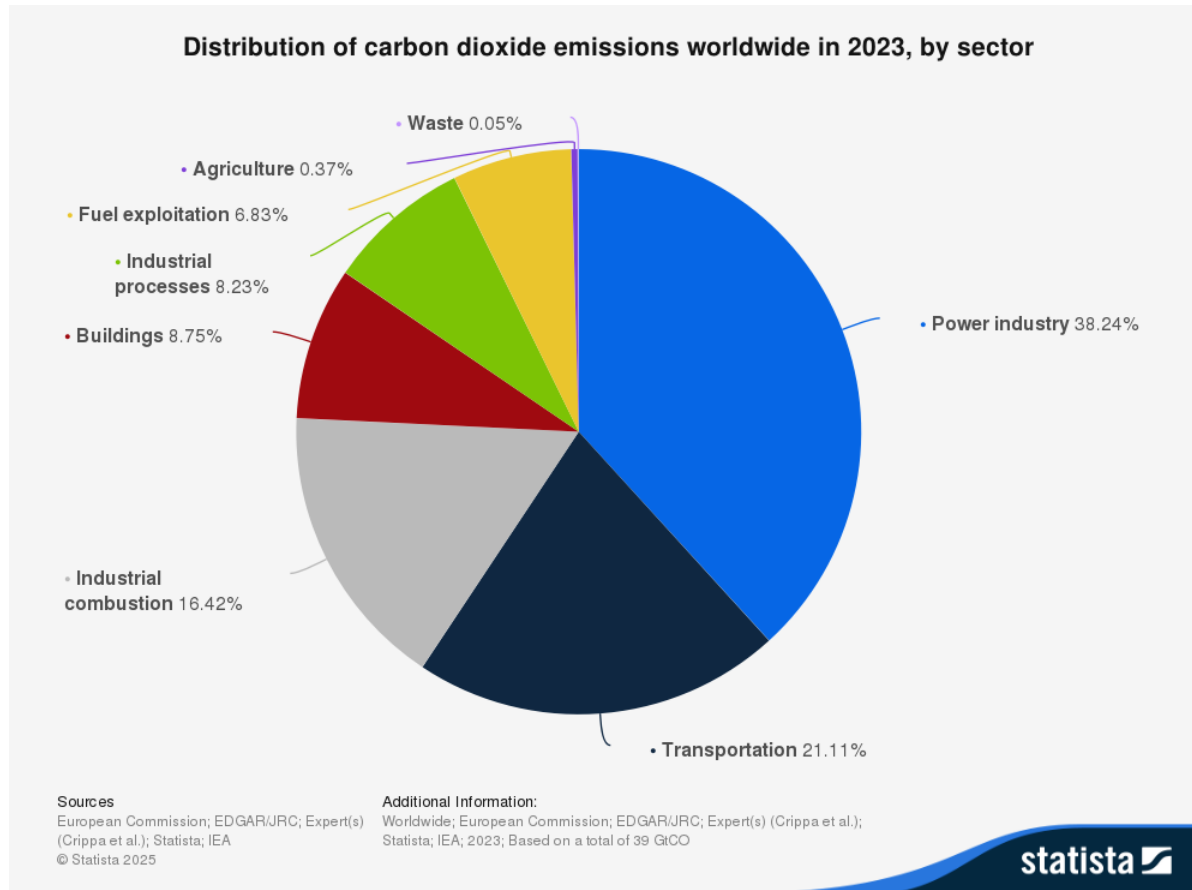


Foto: Maxiphoto / iStock

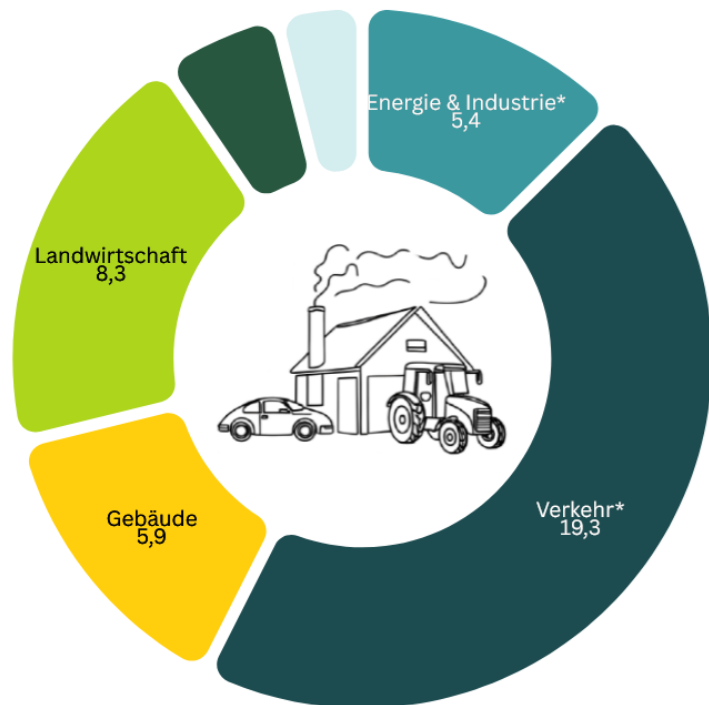


Foto: imago/Volker Preußner; <https://www.derstandard.at/story/3000000175773/mit-dem-zug-unterwegs-alles-auf-schiene>

Österreichs Treibhausgas-Emissionen nach Sektoren

Nowcast für 2024

THG-Emissionen 2024 außerhalb des EH



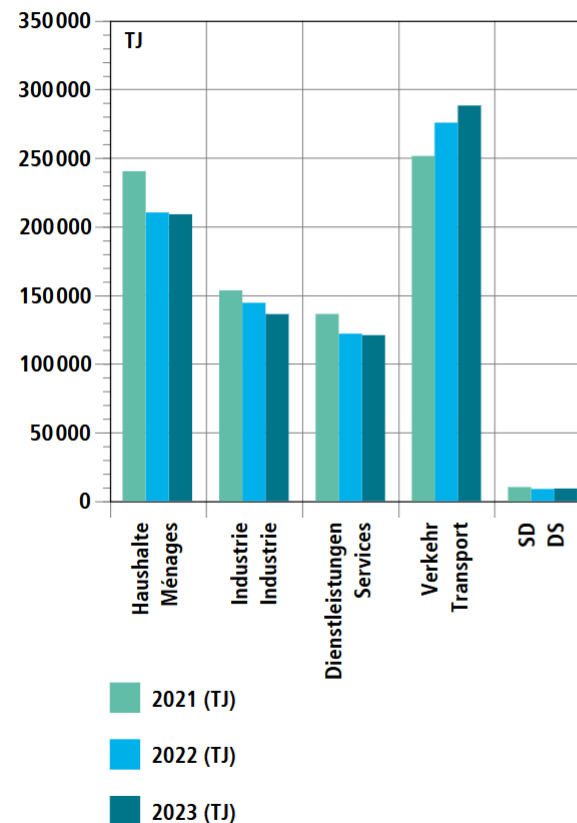
Angaben in Mio. t CO₂-Äquivalent, *Energie und Industrie ohne Emissionshandel
 *Verkehr (inkl. nationalem Flugverkehr); Vorläufige Daten von 2024 aus NowCast

© 2025 Umweltbundesamt

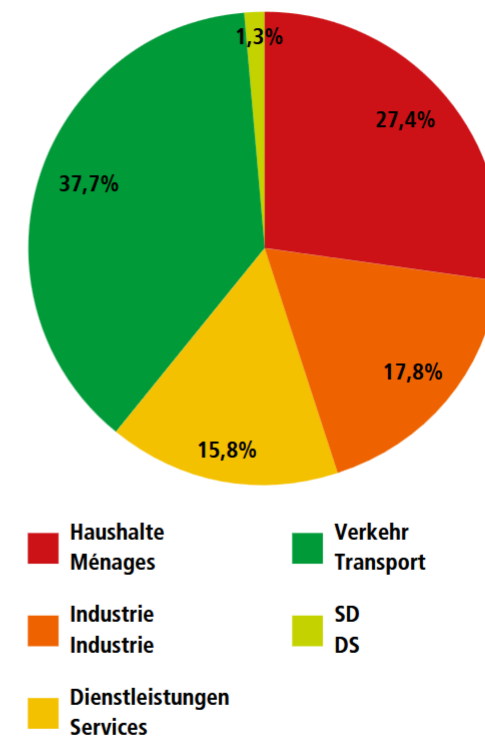
<https://www.umweltbundesamt.at/news250813-treibhausgas-emissionen-2024>

Fig. 3 Aufteilung des Energie-Endverbrauchs nach Verbrauchergruppen
 Répartition de la consommation finale d'énergie selon les groupes de consommateurs

Endverbrauch in TJ
 Consommation finale en TJ



Anteil 2023 der vier Sektoren in %
 Parts en 2023 des quatre secteurs en %



SD: Statistische Differenz inklusive Landwirtschaft
 DS: Différence statistique y compris l'agriculture

BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2023 (Fig. 3)
 OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2023 (fig. 3)

Nachhaltige Mobilität

- Langfristige Sicherstellung der Mobilitätsbedürfnisse auf umweltfreundliche (und verkehrssichere) Art
- Technische und nicht-technische Maßnahmen

Mobility-as-a-Service (MaaS)



Image: Transport advancement

Verkehrssicherheit!

Elektromobilität



Image: dpa-tmn

Shared Mobility

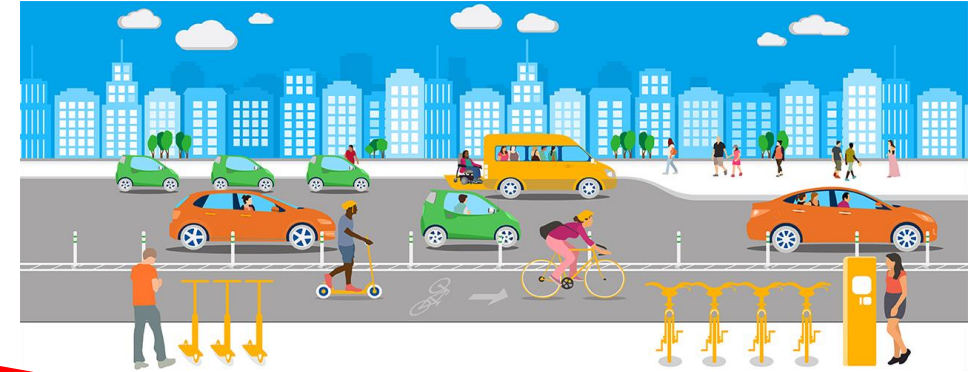


Image: SAE International

Visionen!?



Warum sind Geodaten & Geotechnologien wichtig?

- Dinge geschehen im Raum.
- 80% menschlicher Entscheidungen betreffen Raum oder sind von räumlichen Situationen betroffen.
- Verantwortungsbewusster Umgang mit Ressourcen unseres Lebensraumes

=> Digitale Speicherung, Bereitstellung und Analyse raumbezogener Information

Die «80%»: Eine häufige Argumentation für GIS-Bedarf

“80% of the world’s data includes some kind of spatial aspect”

“80% of data possesses a geographic reference”

“80% of data has a location component”

80%

“80% of transactional data has a location component”

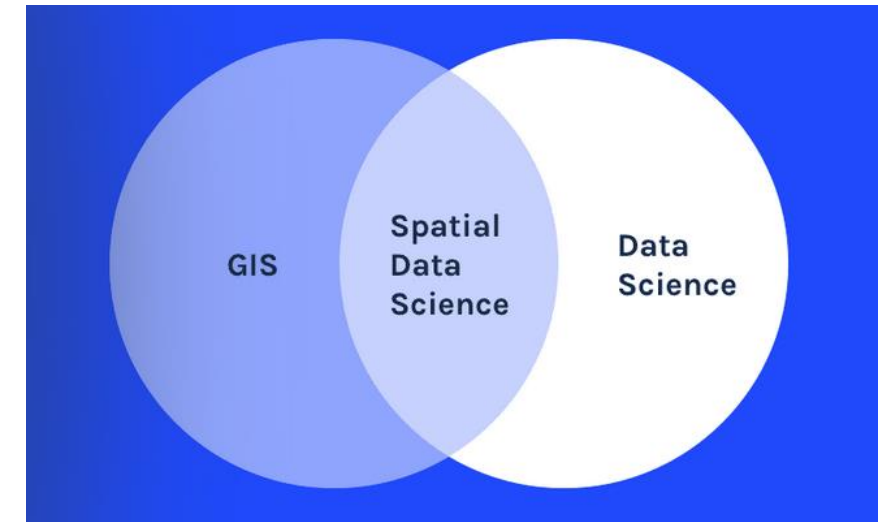
“80% of data collected, stored, and maintained by local governments includes some reference to geography”

“It is estimated that 80% of the informational needs of local government policymakers are related to geographic location”

<https://www.gislounge.com/80-percent-data-is-geographic/>

Spatial Data Science – Geosmartness

Location Intelligence



<https://carto.com/what-is-spatial-data-science/>



Big spatial
data

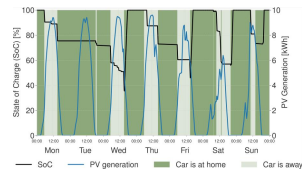


Location Based Services
Location-Aware
Technology



Mensch-Computer Interaktion

Raum-zeitliche Analysen



Geo-
Webservices

Raubal, M., Bucher, D., & Martin, H. (2021). Geosmartness for personalized and sustainable future urban mobility. In W. Shi, M. Goodchild, M. Batty, M.-P. Kwan, & A. Zhang (Eds.), *Urban Informatics* (pp. 59-83). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6>

Urbane Geoinformatik

- Bis 2050 werden mehr als 2/3 der Weltbevölkerung in Städten leben.
- Nachhaltige Entwicklung?



UN - Ziele für nachhaltige Entwicklung

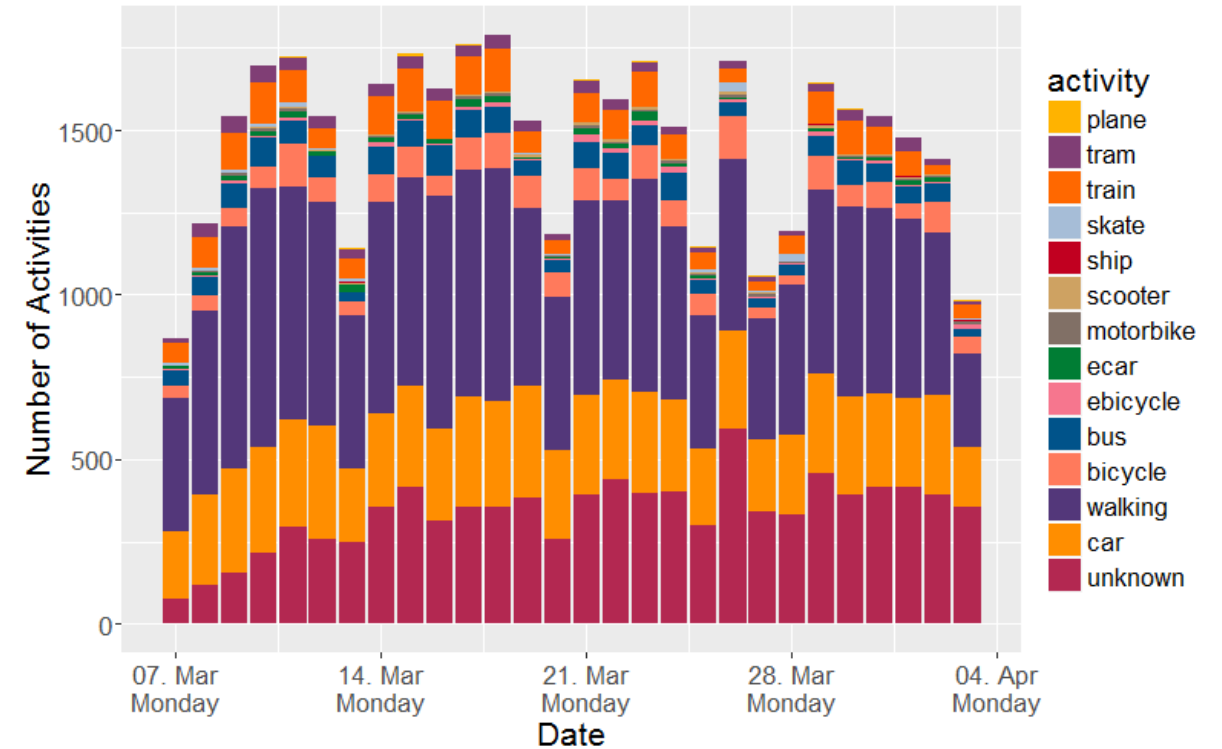
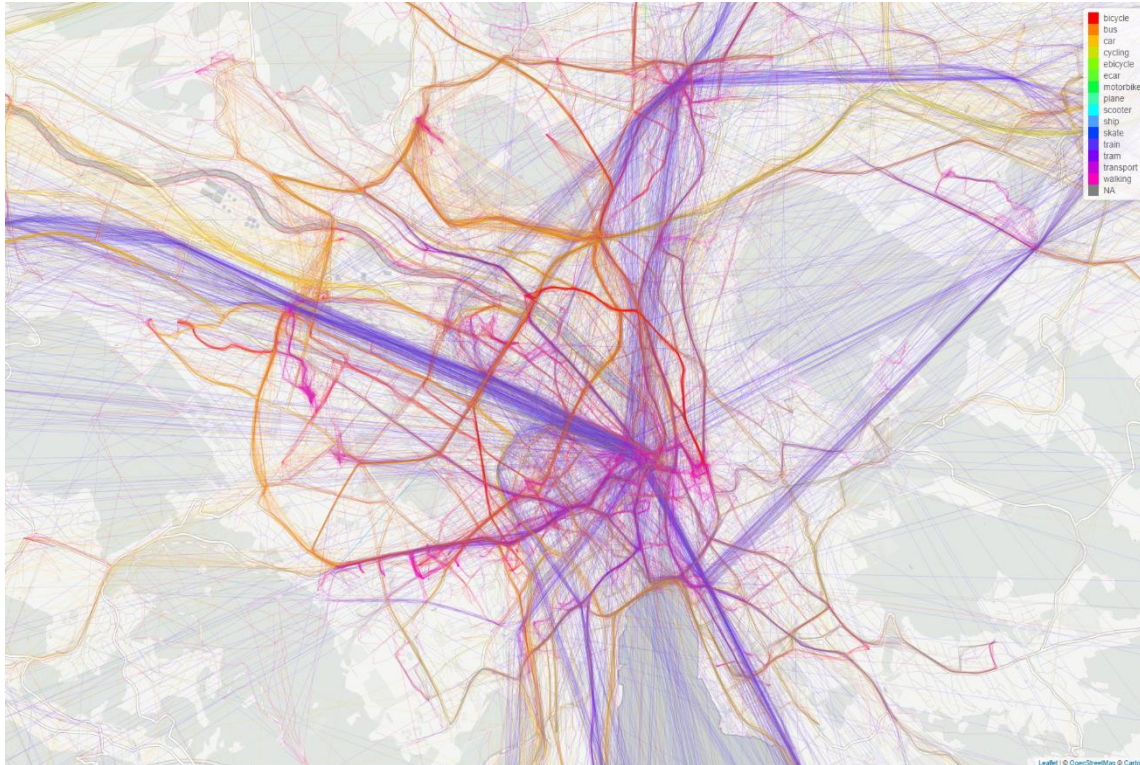
Wo?

Wann?



Warum?

Wer?



Mobility as a Service



www.motorfinanceonline.com

Mobility-as-a-Service (MaaS)



Bild: Transport advancement

Schlüsselfaktoren für den Erfolg von MaaS-Angeboten:

- Einfacher Zugang zu allen verfügbaren Verkehrsmitteln über **eine einzige App**
- **Kombinierter Vertrag** für alle Verkehrsmittel (Pakete)

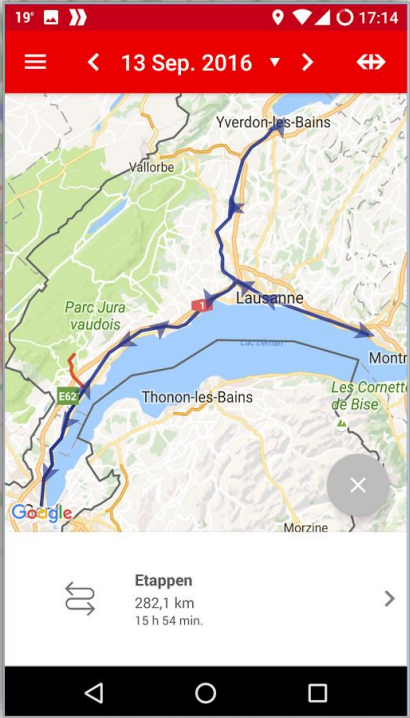
Herausforderungen:

- Unklar, wie Mobilitätspakete das **Mobilitätsverhalten** beeinflussen (nachhaltiger?)
- MaaS erzeugt Mobilitäts- und Kontextdaten aus unterschiedlichen Quellen; großflächige Analyse individueller Mobilität erfordert **effiziente und vielseitige Darstellung von Mobilitätsdaten**

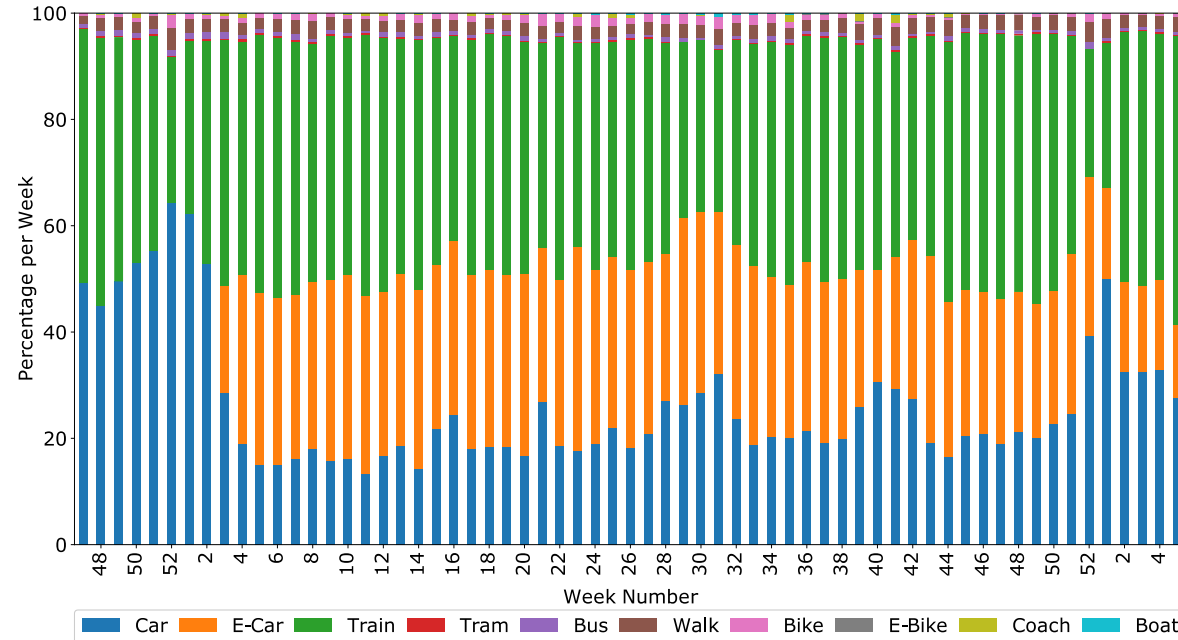
SBB Green Class



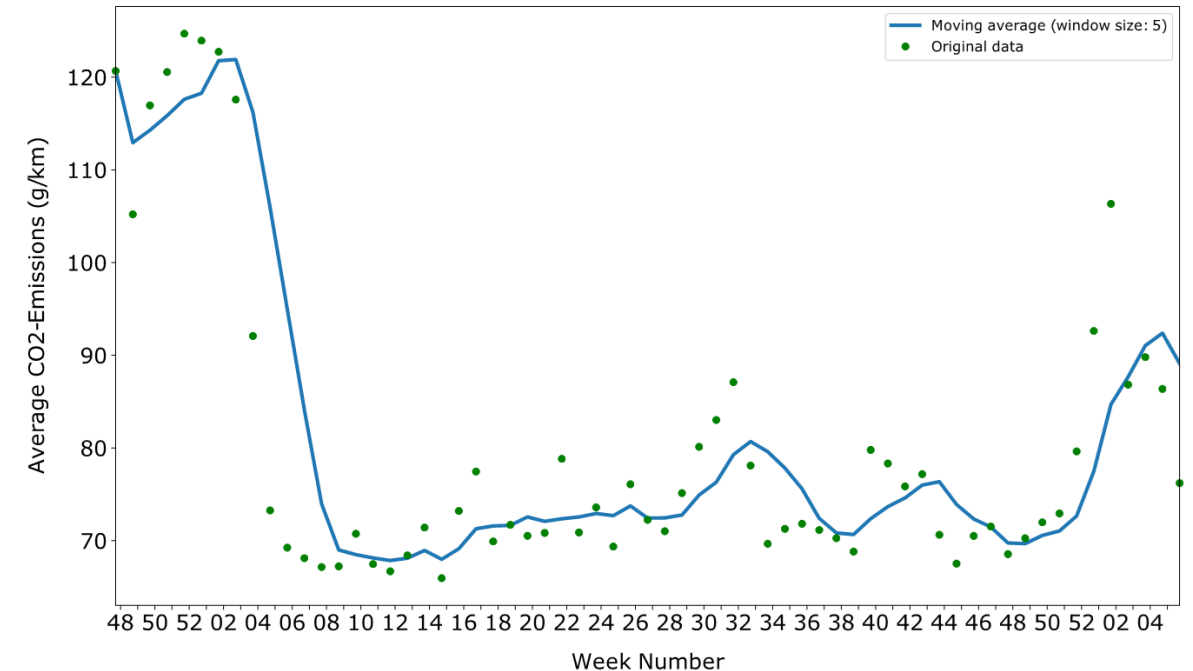
	Green Class 1
Nutzer	139
Zeitraum	15 Monate
GPS Positionen	227 M
Aufenthaltspunkte	326'926
Wege	242'012
Zurückgelegte km	5.7 M



Elektroauto wird Teil des Mobilitäts-Mix

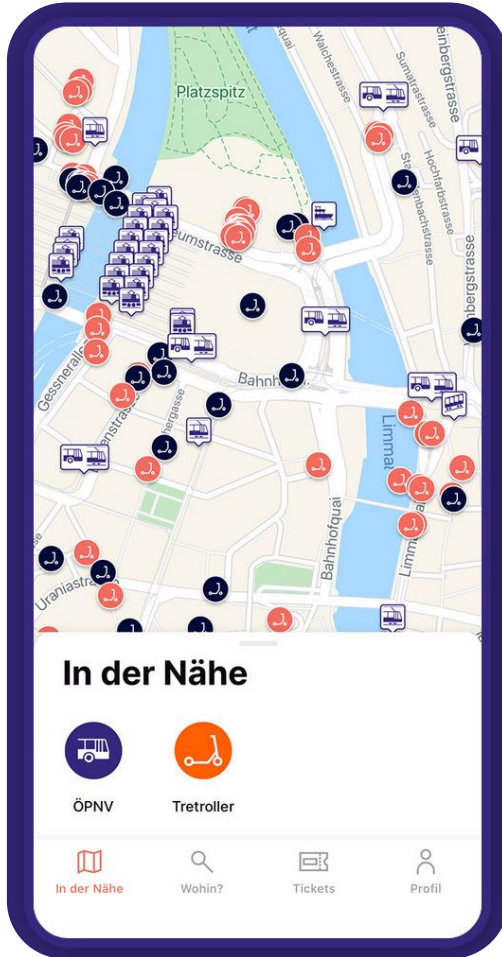


Neue Mobilitätsoptionen reduzieren CO₂-Emissionen

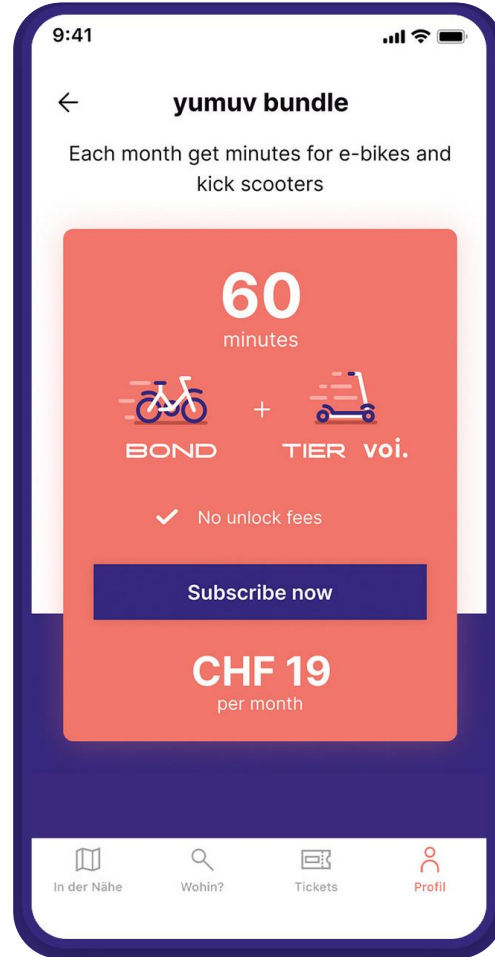


Martin, H., Becker, H., Bucher, D., Jonietz, D., Raubal, M., & Axhausen, K. (2019). *Begleitstudie SBB Green Class - Abschlussbericht (Arbeitsberichte Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme)*. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000353337>

yumuv



Yumuv.ch



Wie wirken sich MaaS-Mobilitätsbündel auf das menschliche Mobilitätsverhalten aus?

- **Erhöhte Nutzung*:** Öffentlicher Verkehr und geteilte E-Scooter
- **Verringerte Nutzung*:** eigene Fahrräder und eigene Elektrofahrräder
- Nicht signifikant: eigenes Auto, geteilte E-Bikes, eigene E-Scooter

*95% Signifikanzniveau

News >
Climate change >

Shared e-bikes and e-scooters 'do climate more harm than good'



Popular Stories



SWISS ABROAD
Switzerland Today

WORKPLACE SWITZERLAND
Mass tourism in
Switzerland:
beneficial or
detrimental?



ALPINE ENVIRONMENT
Swiss storm
fatalities double
to four



DEMOCRACY
Hungarians in
Switzerland look
at momentous
past and Orbán's
present

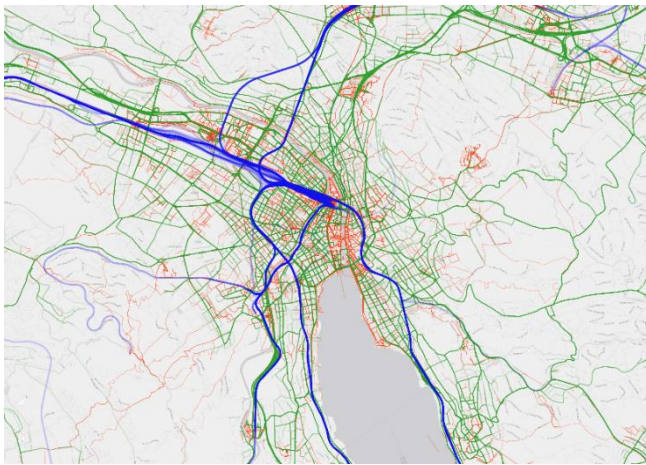


Smart Charging: Solarenergie für Elektroautos

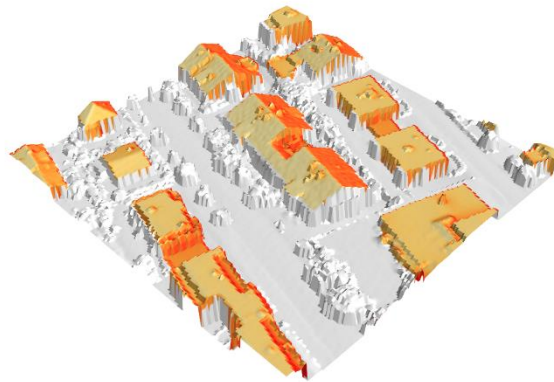


#68305513 | © arsdigital - Fotolia.com
photovoltaik.org

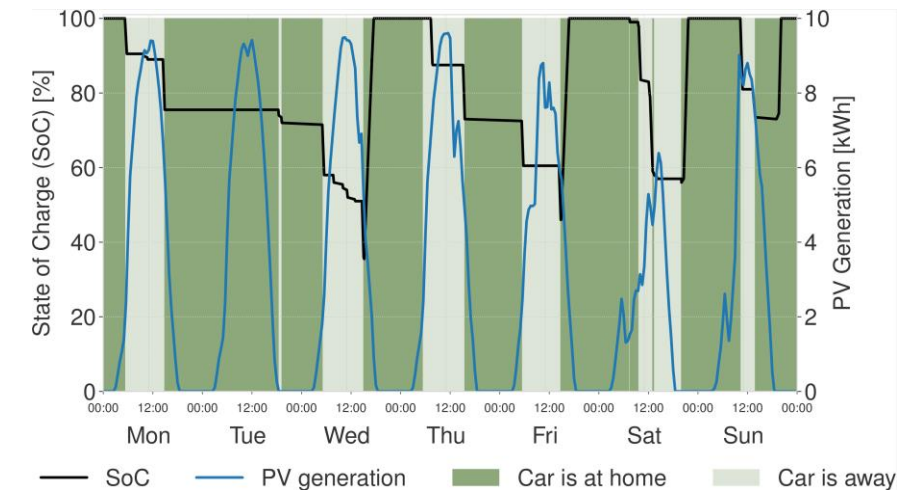
Laden von elektrischen Autos mittels Solarenergie auf Hausdächern



Mobilitätsdaten und Ladepläne von 78 E-Auto-Besitzern über 1 Jahr

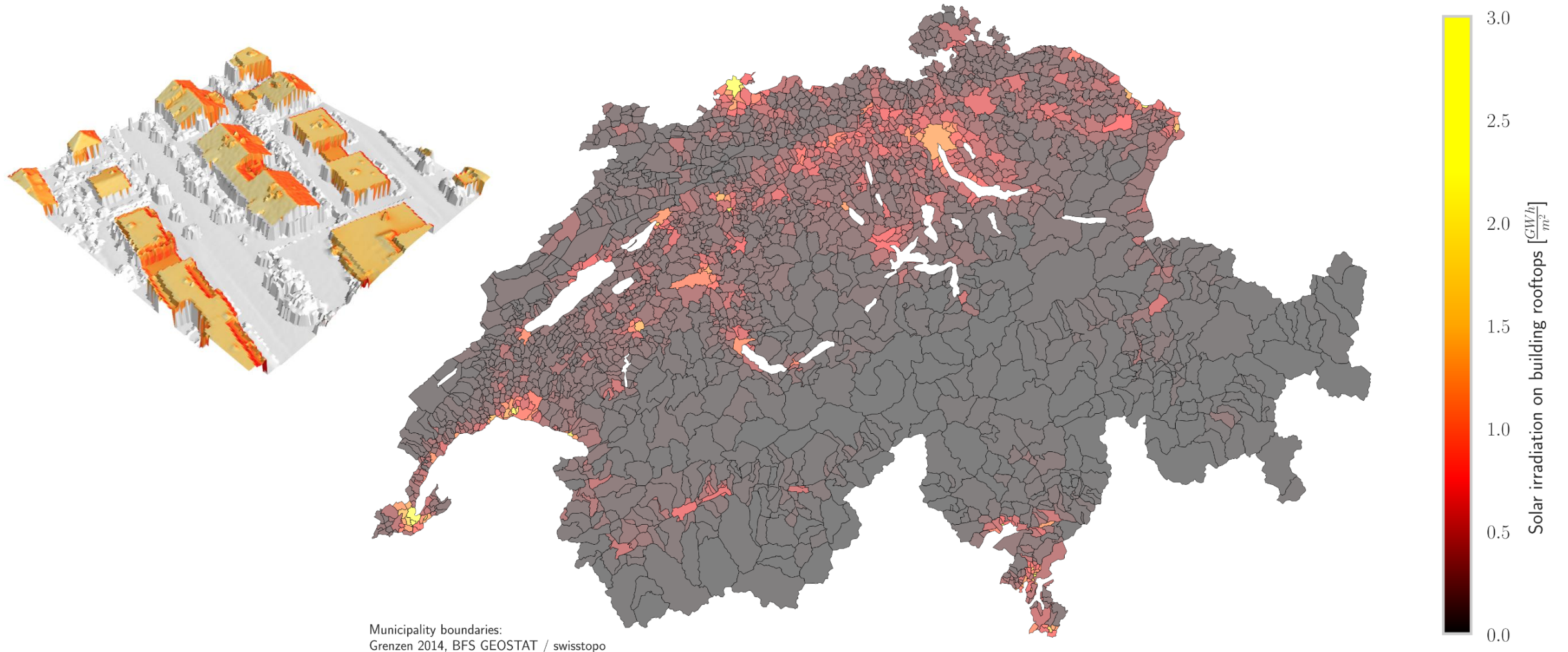


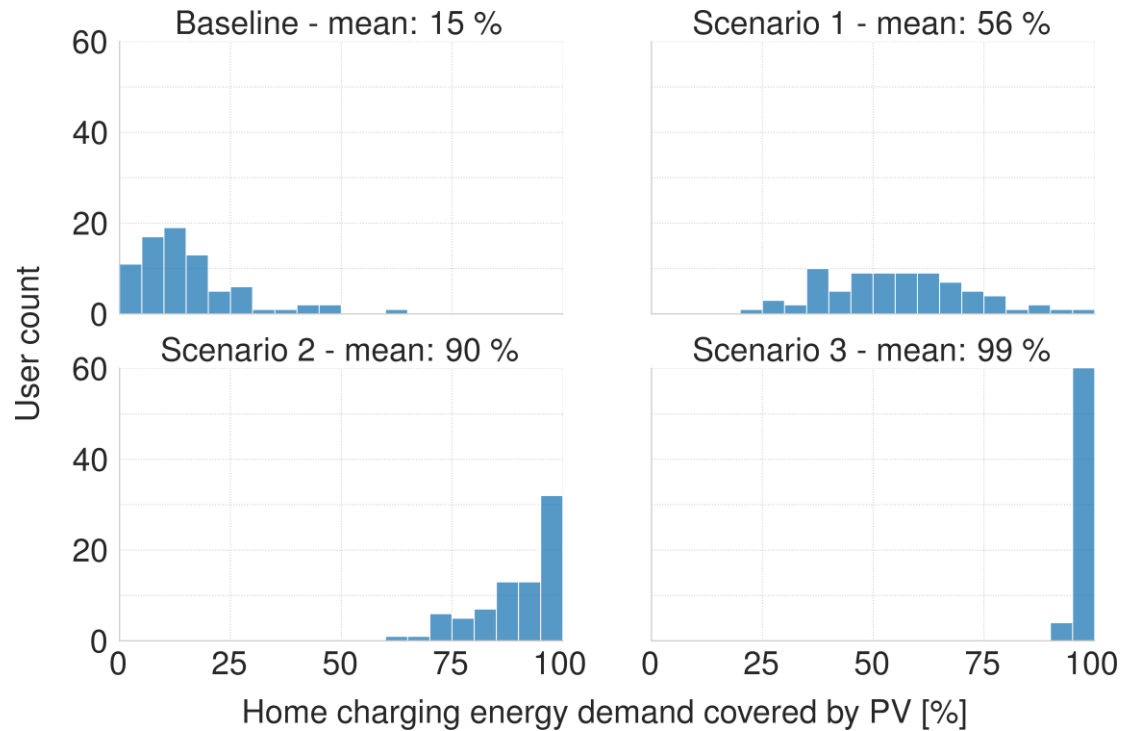
Solare Erzeugungskurve für Häuser aller E-Auto-Besitzer



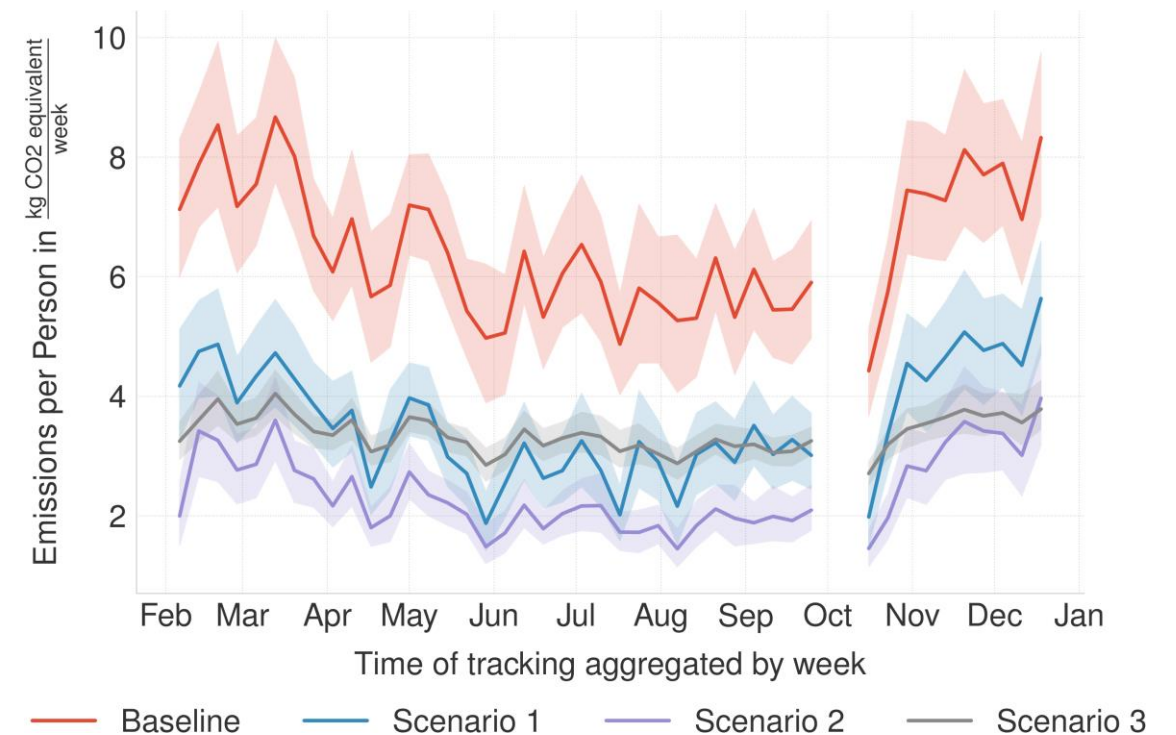
Raum-zeitliche Überschneidung von Generierung und Nachfrage für verschiedene Smart Charging - Szenarien

Solarpotenzial auf Hausdächern





Smart Charging kann den Eigenverbrauch von Solarstrom markant erhöhen.



Smart charging in Kombination mit Solarenergie auf Hausdächern reduziert die Treibhausgaswirkung von E-Autos signifikant.

Mobilitätsdatenanalyse und Optimierung für Vehicle-to-Grid (V2G) in Car-Sharing





2021

Q1: In Anbetracht des **derzeitigen** Mobilitätsverhaltens von Car-sharing Nutzern,



2030

Q2: Unter Annahme der projizierten Car-sharing Nutzung in 2030,

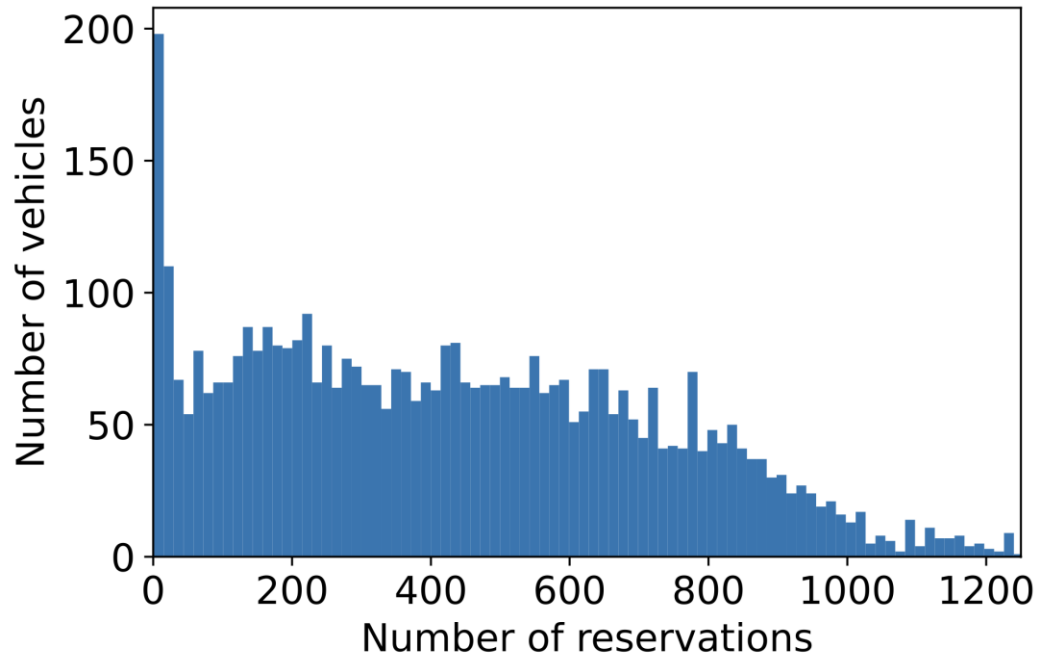


dynamic pricing

Q3: Mit dynamischer Preisgestaltung, die Anreize für Auto-Reservierungen außerhalb von V2G-Zeiten gibt,

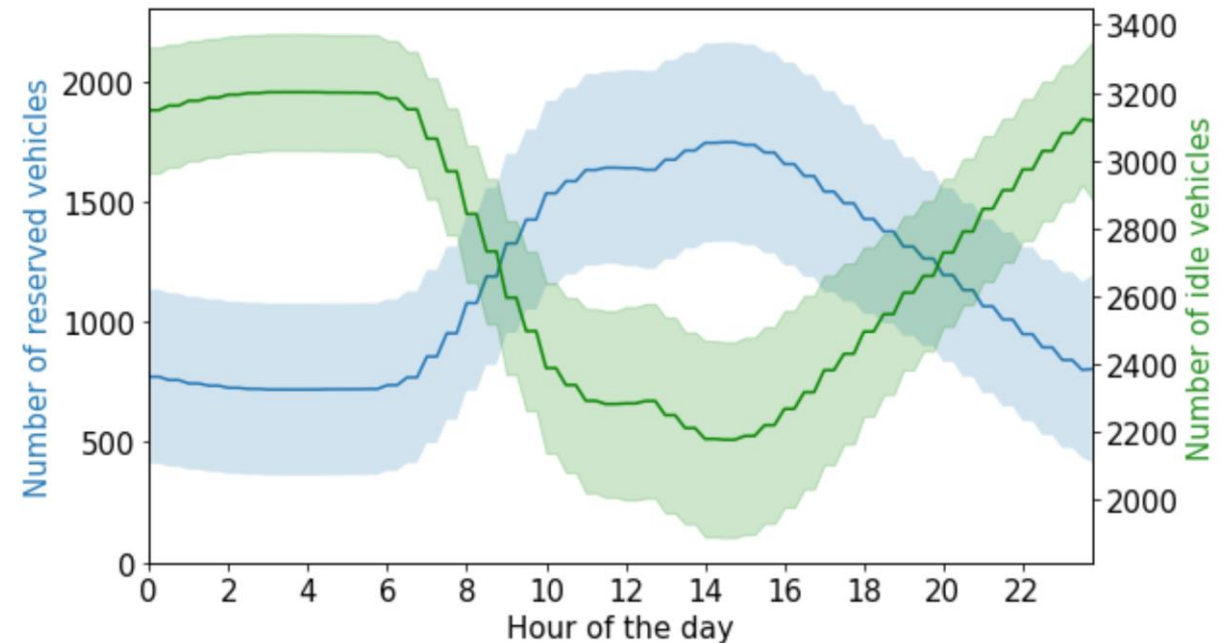
was sind die potenziellen Effekte auf **Einnahmen und Netzstabilität**, wenn V2G in Car-sharing integriert wird?

Analyse der derzeitigen Flexibilität



Anzahl der Reservationen pro Auto

- 48% der Autos werden maximal jeden zweiten Tag genutzt
- Große V2G-Flexibilität



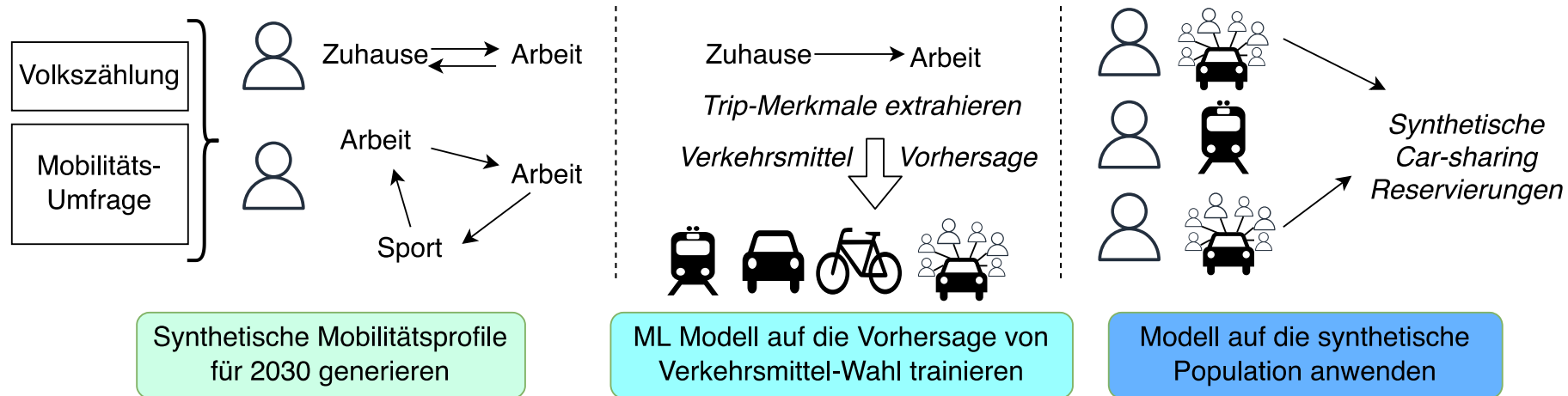
Nutzung nach Tageszeit:

- Im Durchschnitt sind 21% der Autos reserviert
- Höchste Flexibilität in der Nacht

V2G-Potential in Szenarien für 2030



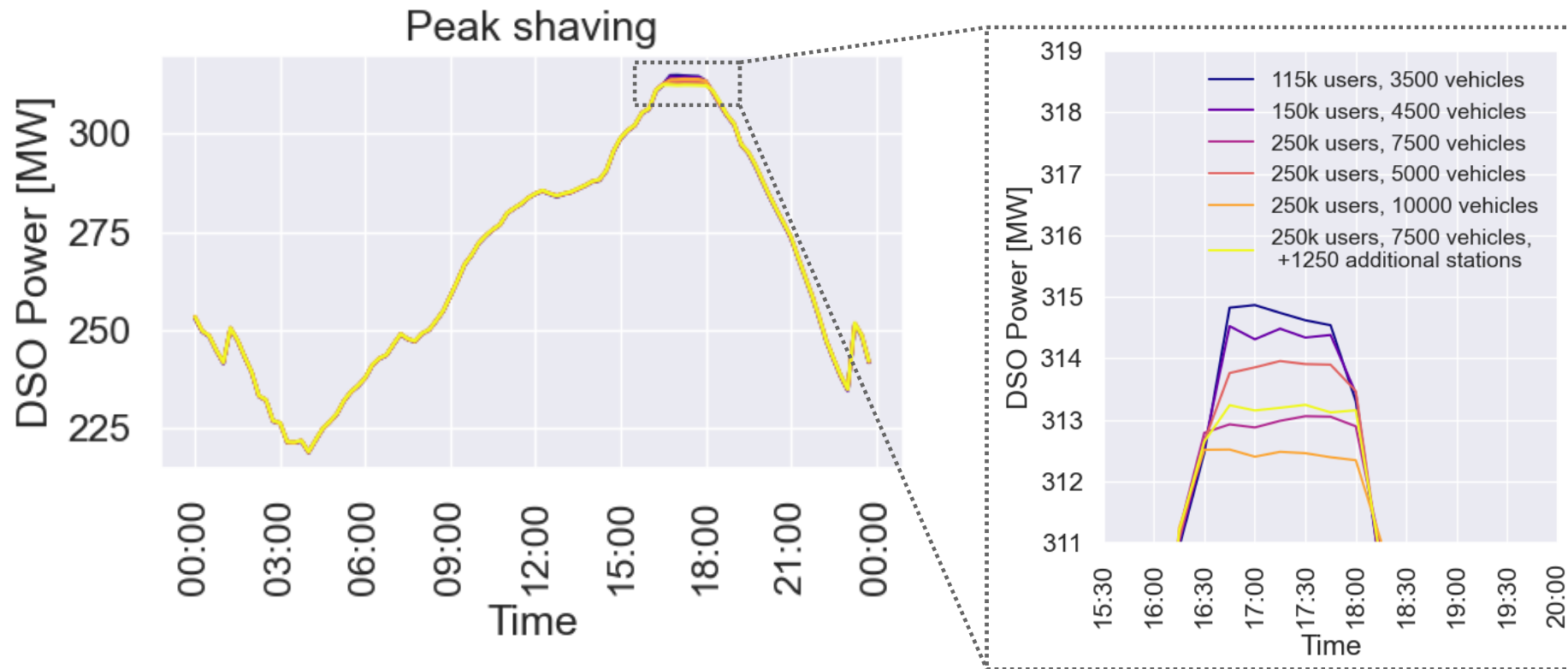
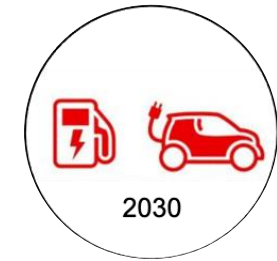
1. Agentenbasierte Simulation von Car-Sharing



2. Design möglicher Car-Sharing Szenarien

- **Szenario 1** derzeitige Situation $\times 1.15$ (Nutzer & Autos $\times 1.15$)
115k U, 3500 V
- **Szenario 2:** derzeitige Situation $\times 1.5$
150k U, 4500 V
- **Szenario 3:** derzeitige Situation $\times 2.5$
250k U, 7500 V
- **Szenario 4:** Mehr Nutzer-Zuwachs als Autos:
250k U, 5000 V
- **Szenario 5:** Mehr Systemerweiterung als Nutzer:
250k U, 10000 V
- **Szenario 6:** Eröffnung neuer Stationen
250k U, 7500 V, +1250 Stationen

V2G-Potenzial in 2030 - Lastmanagement



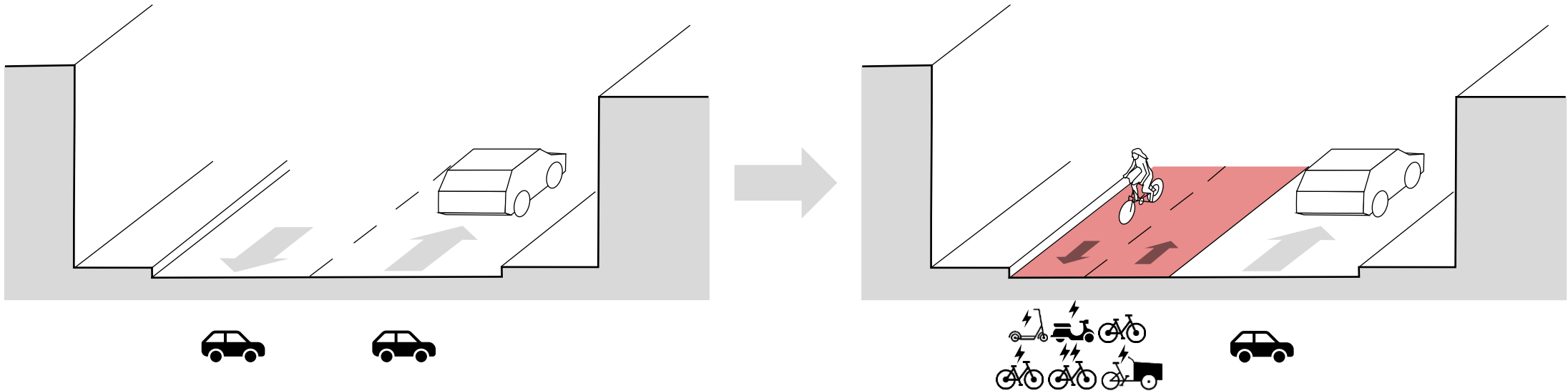
Fallstudie zur Spitzenlastreduzierung am Beispiel des DSO von Zürich. Die Leistungsflexibilität bei einem Preisniveau von **1000 CHF/MW** wird für alle Szenarien dargestellt.

E-bike City

Räumliche Optimierung zur Planung von Fahrradstädten



Vision E-Bike City



50% der Strassenfläche für E-Bikes und andere kleine Fahrzeuge?

E-Bike City

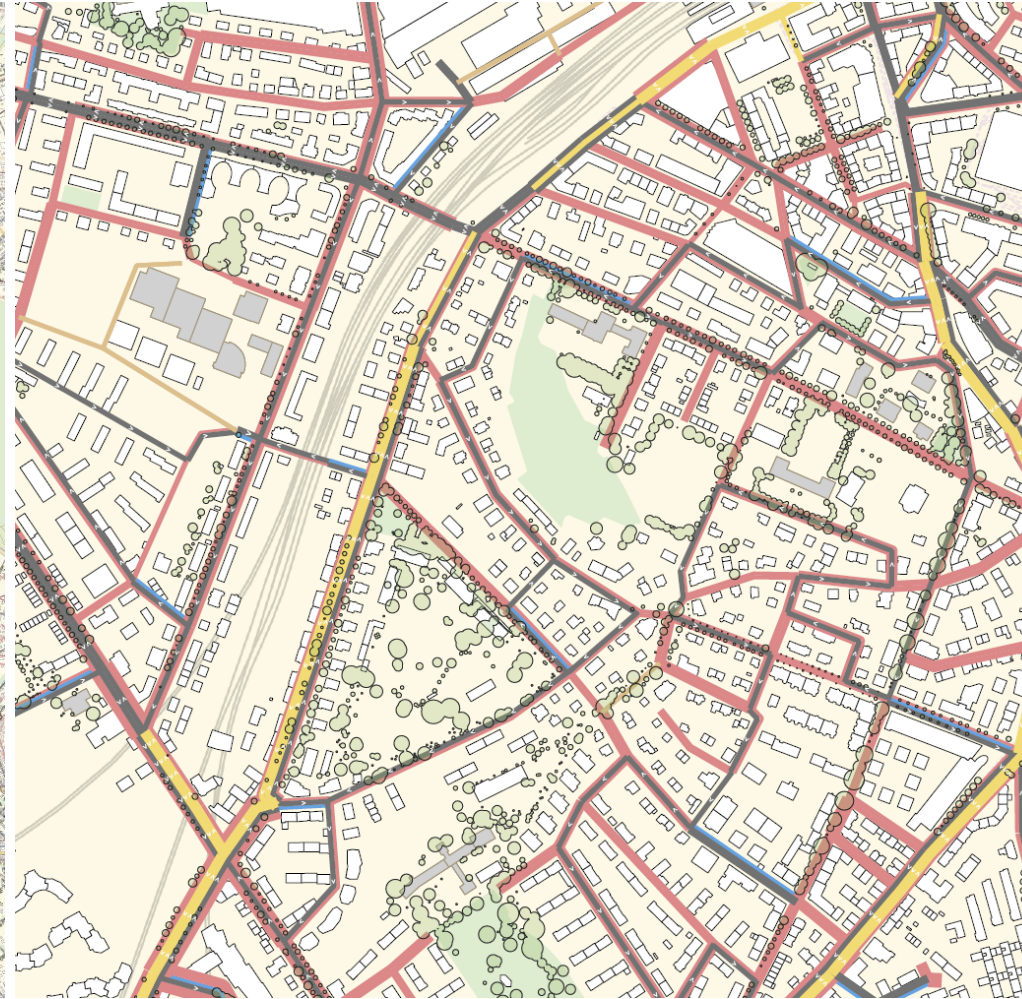
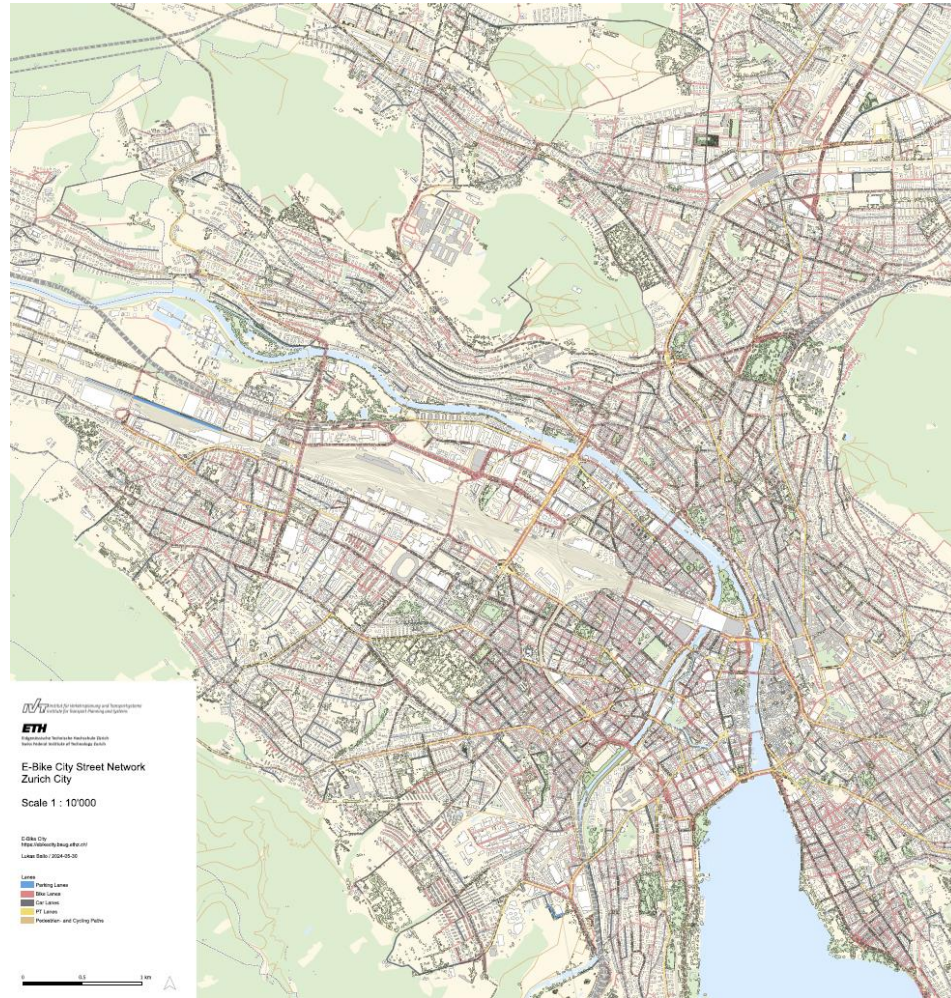


Ballo & Cardoso (2024)
Visualisierung: Nightnurse

Fragestellungen

- Netzentwurf
- Entwurf von Strassen und Knoten
- Planung des öffentlichen Verkehrs
- Auswirkungen auf die Verkehrsmittelwahl und Erreichbarkeit
- Veränderung der Transport-Emissionen
- Kosten-Nutzen-Analyse

SNMan Software: Multimodale Netzpläne für ganze Städte

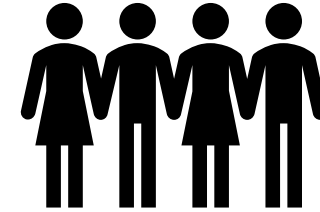


- Lanes
- Parking Lanes
 - Bike Lanes
 - Car Lanes
 - PT Lanes
 - Pedestrian- and Cycling Paths

Fahrradwege mit minimalen Auswirkungen auf den Verkehr

Neue Fahrradwege werden oft durch die Umwidmung von Parkplätzen oder Straßen geschaffen.

→ Öffentliche Akzeptanz?



Fazit

- Zukünftige nachhaltige Mobilität ist abhängig von komplexen und miteinander verbundenen technologischen, sozialen, ökonomischen und politischen Entwicklungen.
- **Geodaten & Geotechnologien für nachhaltige urbane Mobilität:**
 - Bewertung und Prädiktion von menschlichem Mobilitätsverhalten
 - Bestimmung der Auswirkungen auf CO₂ - Emissionen
 - Analyse und Empfehlungen von/für V2G Strategien
 - Bestimmung von langfristigen Verhaltensänderungen
- Reduktion von CO₂ - Emissionen ist abhängig von technischen und nicht-technischen Massnahmen: Mobility as a Service, Anreize, smart charging.
- MaaS & Elektromobilität sind wichtiger Teil nachhaltiger Mobilität.

=> Verkehrssicherheit

Referenzen

- Ballo, L., Raubal, M., & Axhausen, K. (2024). Designing an E-Bike City: An automated process for network-wide multimodal road space reallocation. *Journal of Cycling and Micromobility Research*, 2, 100048. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.jcmr.2024.100048>
- Ballo, L., Meyer de Freitas, L., Meister, A., & Axhausen, K. (2023). The E-Bike City as a radical shift toward zero-emission transport: Sustainable? Equitable? Desirable? *Journal of Transport Geography*, 111, 103663. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103663>
- Martin, H., Becker, H., Bucher, D., Jonietz, D., Raubal, M., & Axhausen, K. (2019). *Begleitstudie SBB Green Class - Abschlussbericht (Arbeitsberichte Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme)* <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000353337>
- Martin, H., Hong, Y., Wiedemann, N., Bucher, D., & Raubal, M. (2023). Trackintel: An open-source Python library for human mobility analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 101, 101938. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2023.101938>
- Nespoli, L., Wiedemann, N., Suel, E., Xin, Y., Raubal, M., Medici, V. National-scale bi-directional EV fleet control for ancillary service provision. *Energy Inform* 6 (Suppl 1), 40 (2023). <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00281-4>
- Raubal, M., Bucher, D., & Martin, H. (2021). Geosmartness for personalized and sustainable future urban mobility. In W. Shi, M. Goodchild, M. Batty, M.-P. Kwan, & A. Zhang (Eds.), *Urban Informatics* (pp. 59-83). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6>
- Reck, D. J., Martin, H., & Axhausen, K. (2022). Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103134. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103134>
- Wiedemann, N., Xin, Y., Medici, V., Nespoli, L., Suel, E., & Raubal, M. (2024). Vehicle-to-grid for car sharing - A simulation study for 2030. *Applied Energy*, 372, 123731. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123731>
- Wiedemann, N., Nöbel, C., Ballo, L., Martin, H., & Raubal, M. (2025). Bike network planning in limited urban space. *Transportation Research Part B*, 192(February 2025), 103135. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.trb.2024.103135>

Prof. Dr. Martin Raubal
mraubal@ethz.ch

ETH Zurich
Institute of Cartography and Geoinformation
HIL G 37.2
Stefano-Franscini-Platz 5
8093 Zürich, Switzerland

gis.ethz.ch
mie-lab.ethz.ch
www.geogaze.org

