

Deutscher Bundestag

Parlamentarischer Beirat für
nachhaltige Entwicklung
und Zukunftsfragen

Ausschussdrucksache

21(26)43

Neue Wege in der nachhaltigen Mobilität

**Stellungnahme im Parlamentarischen Beirat für nachhaltige
Entwicklung und Zukunftsfragen**

22. April 2026

Prof. Dr. Anita Schöbel

Mathematik und nachhaltige Mobilität?

Wer bin ich?

Anita Schöbel

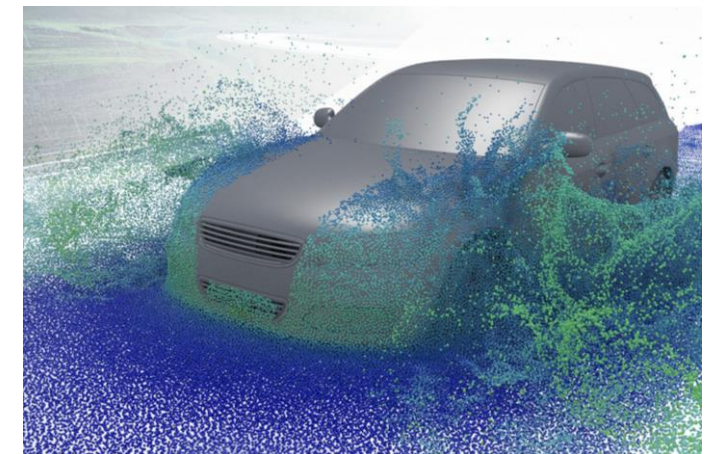
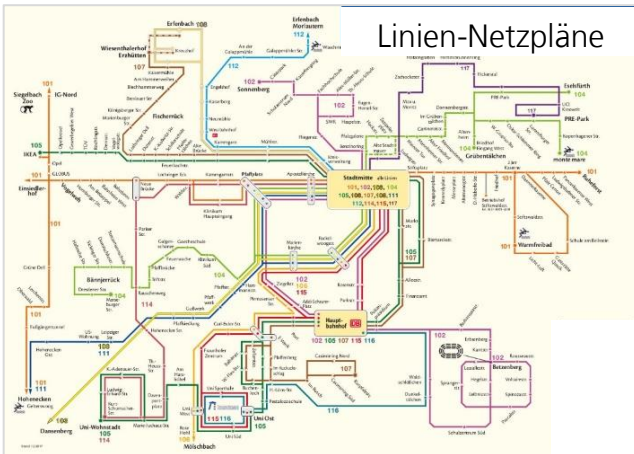
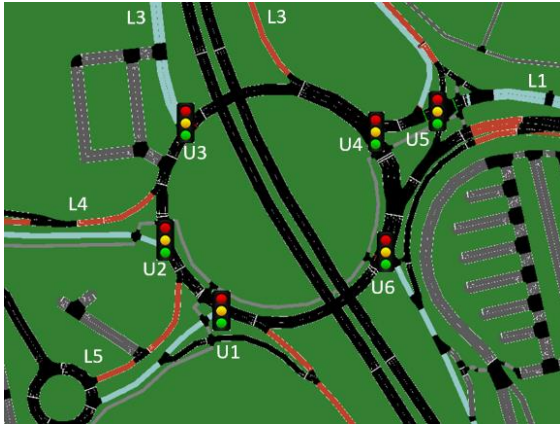
- Professorin für Angewandte Mathematik an der RPTU Kaiserslautern-Landau
- Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
 - ca. 500 Mitarbeitende
 - Budget von ca. 45 Mio. Euro

Mathematik ist in fast allen Branchen nützlich – wir unterstützen bei konkreten Projekten.



Wir haben Erfahrung mit vielen Anwendungen in der Mobilität

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM



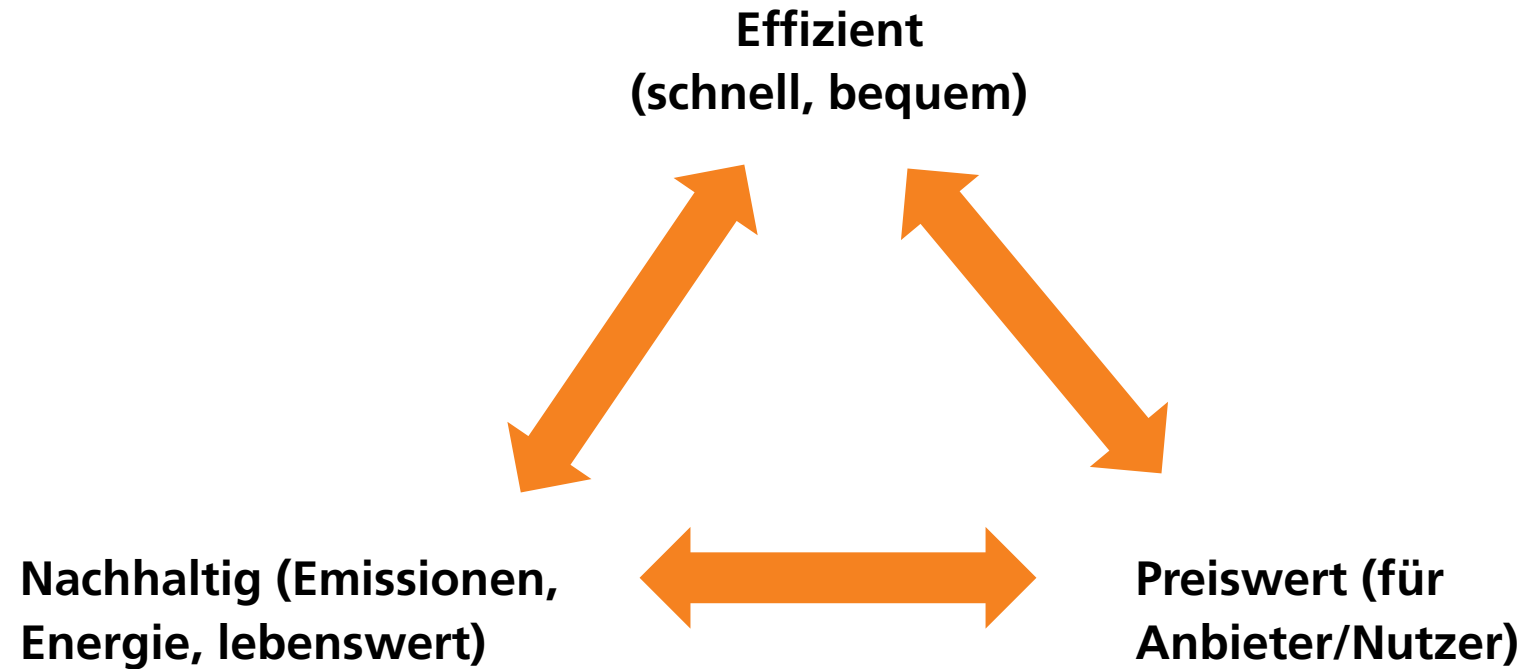
Neue Wege in der nachhaltigen Mobilität

Fortschritt durch Mathematik

1. Nachhaltigkeit als Zielkonflikt
2. Neue Wege zur nachhaltigen Mobilität: drei Beispiele
3. Das Gesamtkonzept ist wichtig
4. Zusammenfassung

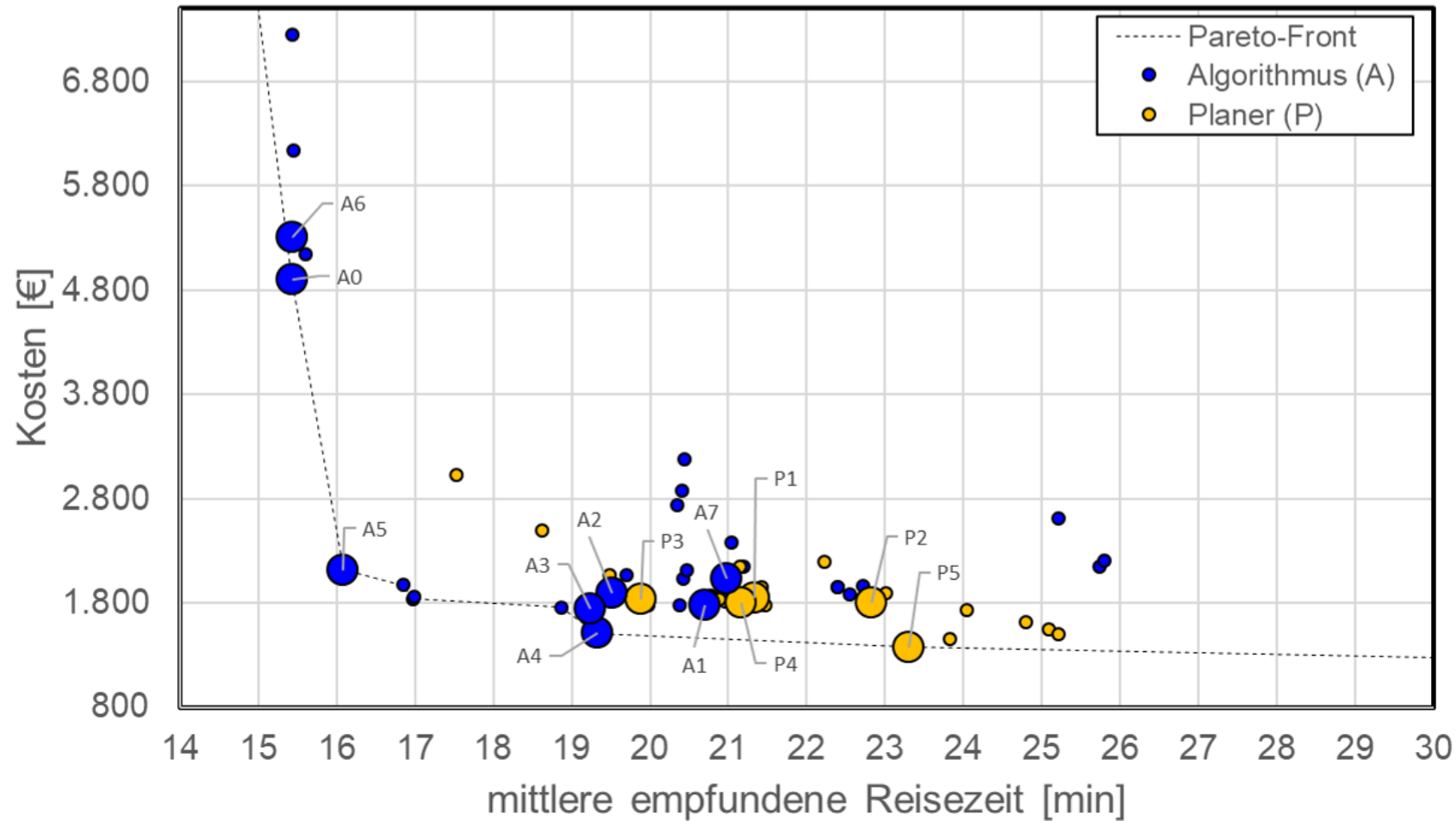
Zielsetzungen in der Mobilität

Das Dreieck der Zielkonflikte



Zielkonflikte quantifizieren

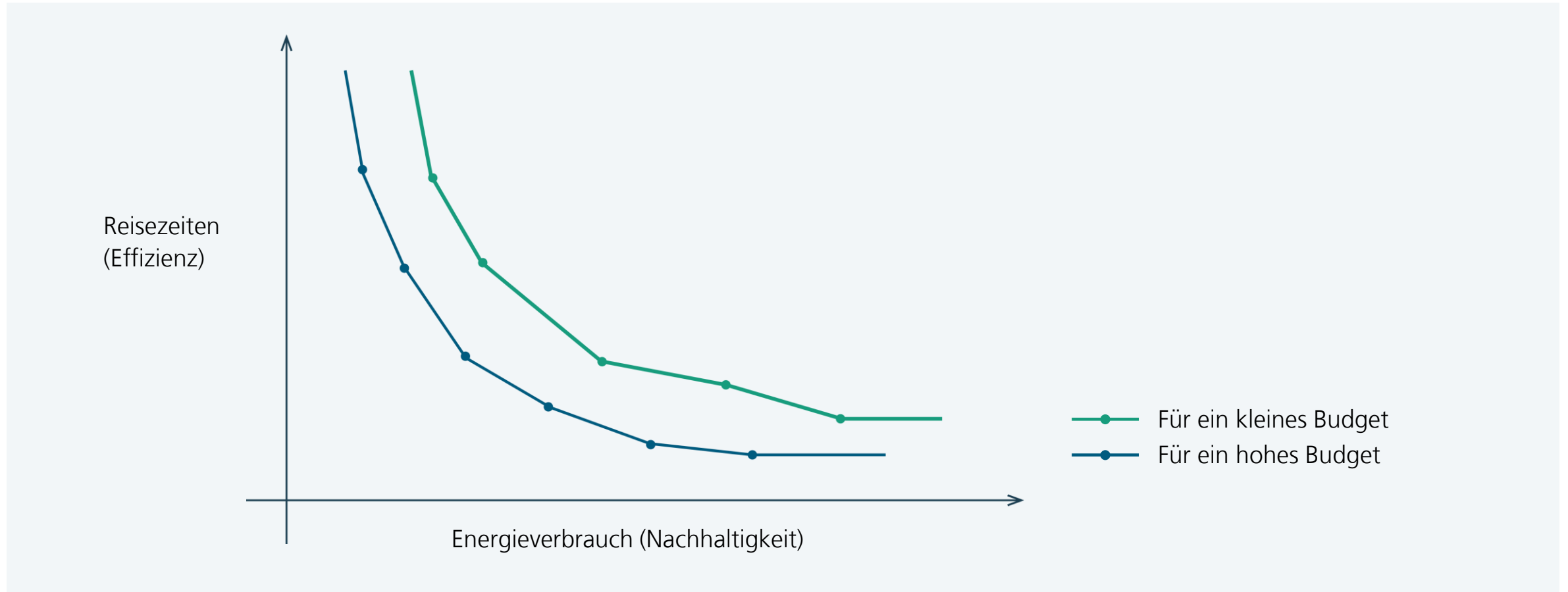
Beispiel: Design eines ÖV-Netzes mit Linien, Fahrplan, Umlaufplan



Ergebnis aus DFG
FOR 2088

Zielkonflikte quantifizieren

Nachhaltigkeit versus Effizienz



Neue Wege in der nachhaltigen Mobilität

Fortschritt durch Mathematik

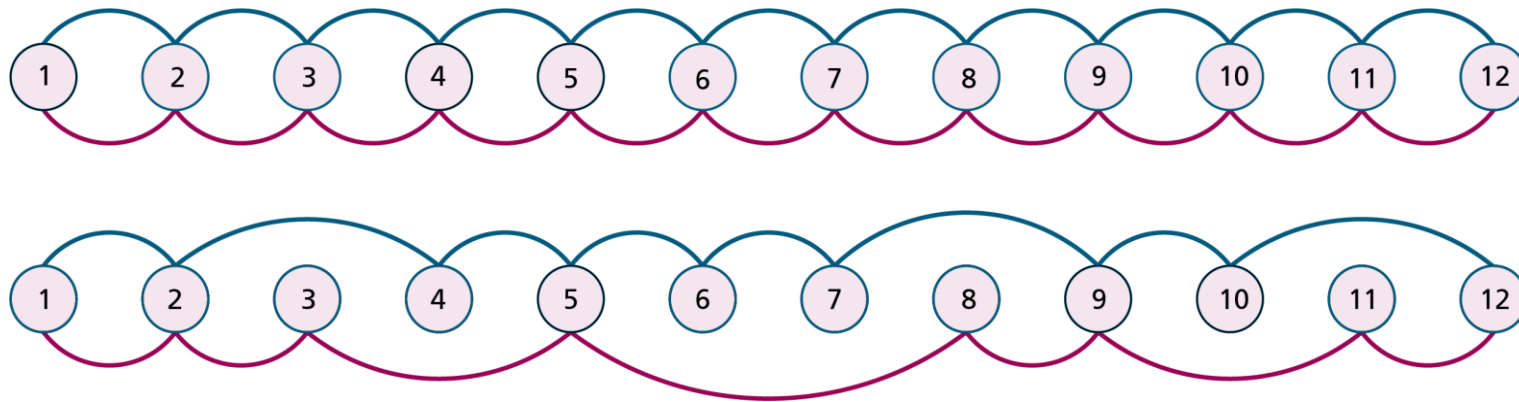
- 1. Nachhaltigkeit als Zielkonflikt**
- 2. Neue Wege zur nachhaltigen Mobilität: drei Beispiele**
 - Energie sparen durch weniger Halte
 - Lebensqualität in Wohnvierteln erhöhen
 - Reifen-Emissionen verringern
- 3. Das Gesamtkonzept ist wichtig**
- 4. Zusammenfassung**

Energie sparen durch weniger Halte

Das »Skip-Stop-Problem«

Idee

- Anfahren eines vollen Fahrzeugs kostet viel Energie
- Braucht man auf einer Linie mit sehr hoher Frequenz wirklich alle Halte?
- Teile eine Linie auf in eine **rote** und eine **blaue**, die jeweils unterschiedliche Haltestellen anfahren



Beobachtung: Lässt man einzelne Halte weg

- können manche Fahrgäste schneller reisen (z.B. von 1 nach 12 oder von 3 nach 9)
- für andere wird es unbequemer (z.B. von 3 nach 6, von 6 nach 8)

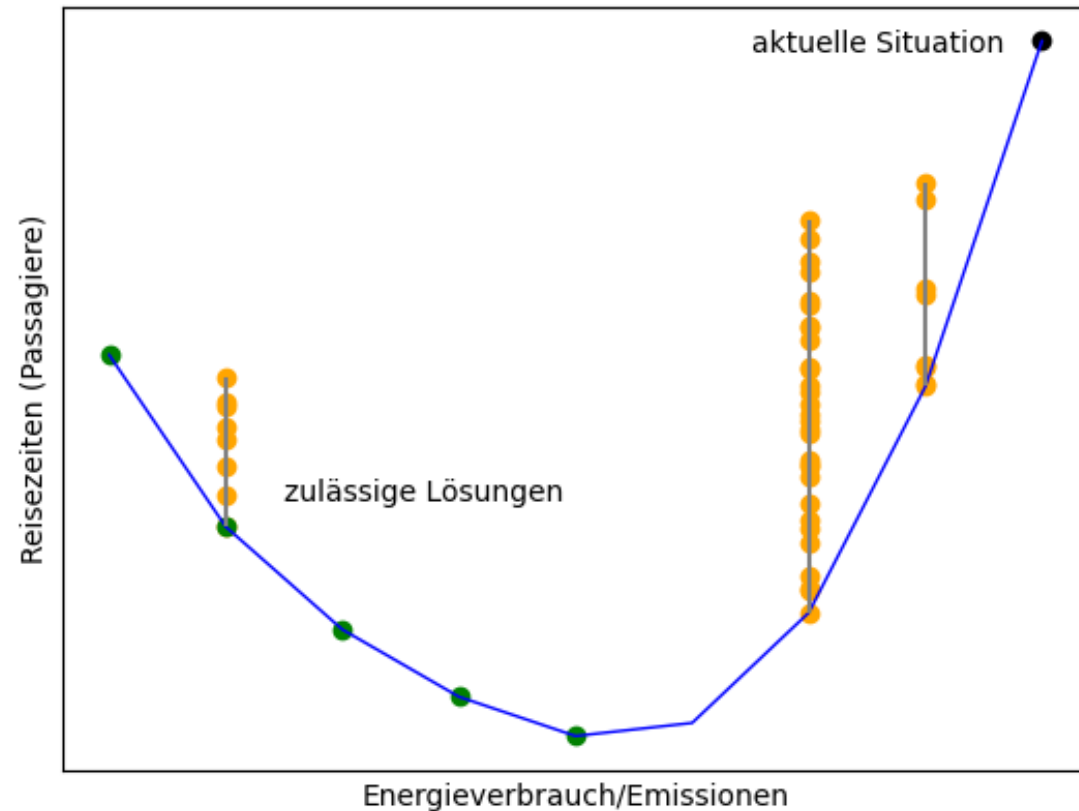
Energie sparen durch weniger Halte

Das »Skip-Stop-Problem«

Ergebnis

Die Wahl, *welche* Halte man auslässt, ist sehr wichtig!

- kleine Anzahl an Halten auslassen
→ man kann gleichzeitig Energie und Reisezeit sparen!
- mittlere Anzahl an Halten auslassen
→ man spart Energie, aber die Reisezeit erhöht sich
- große Anzahl an Halten auslassen
→ es können nicht mehr alle reisen



Lebensqualität in Wohnvierteln

Durchgangsverkehr vermeiden

Idee

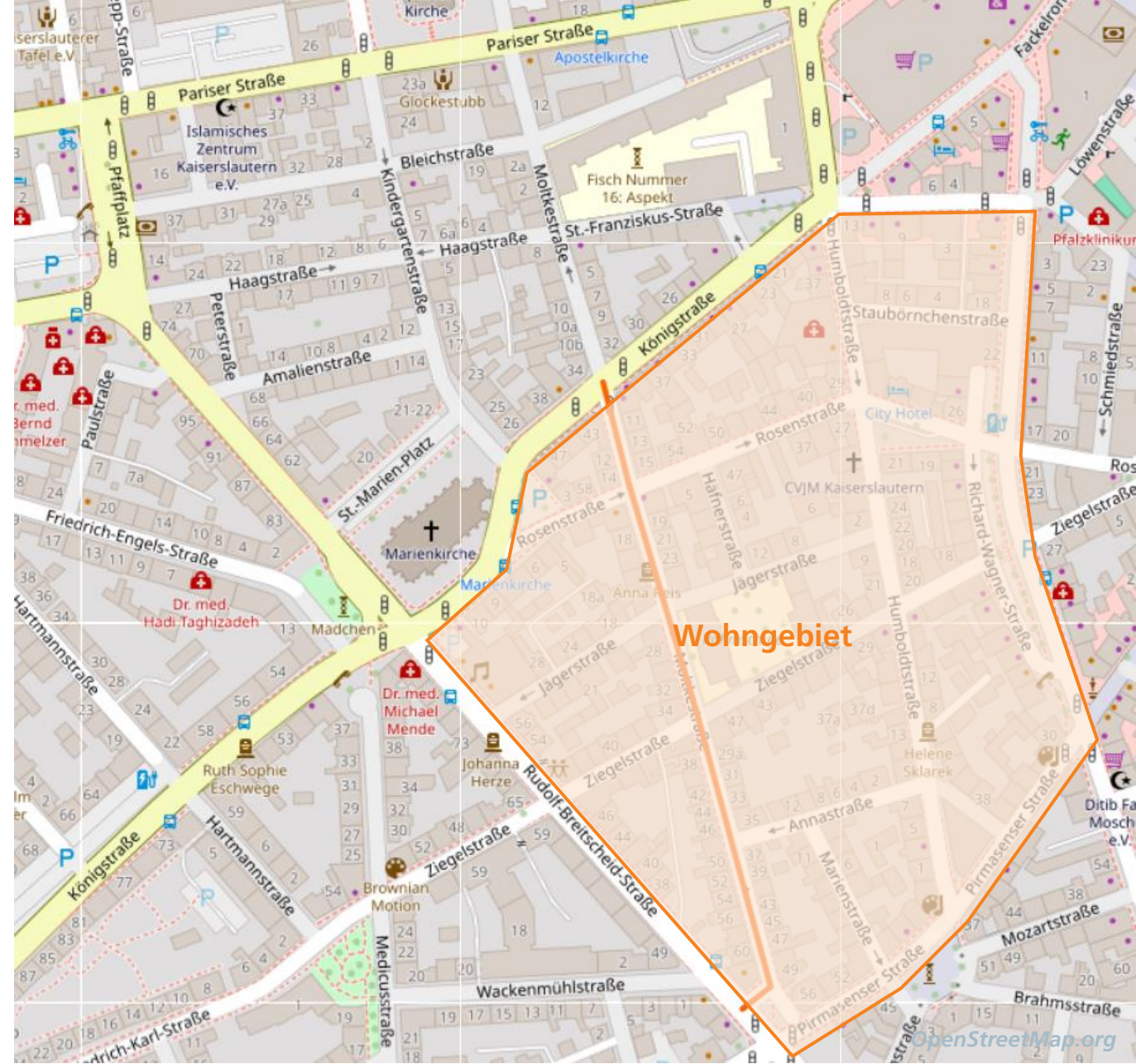
- Die von gängigen Navigationssystemen angezeigten Wege gehen durch ein Wohnviertel
- Lässt sich das durch eine geschickte Umorientierung der Einbahnstraßen verbessern?

Ziele

- Durchgangsverkehr vermeiden
- alles soll weiterhin erreichbar sein
- wenig Umorientierungen

Unser Projekt

26 Einbahn-Kanten → 67 Mio. mögliche Lösungen!



Lebensqualität in Wohnvierteln

Durchgangsverkehr vermeiden

Die Mathematik dahinter:

$$\min \sum_{e \in E_I \cup E_{VB}} a_e c_e \quad (\text{FlipOW}') \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{\substack{s, t \in V: \\ s \neq t}} p_{st} x_{st}^e \leq c_e \quad \forall e \in E \quad (1)$$

$$y_e + y_{e'} = 1 \quad \forall e = (i, j) \in E_{ow} \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{s, t \in V: \\ s \neq t}} \sum_{e \in E} p_{st} w_e x_{st}^e = \sum_{\substack{s, t \in V: \\ s \neq t}} \left(\pi_{st}^s - \pi_{st}^t - \sum_{e \in E_{ow}} \mu_{st}^e y_e \right) \quad (3)$$

$$\sum_{e \in \delta^+(i)} x_{st}^e - \sum_{e \in \delta^-(i)} x_{st}^e = b_{st}^i \quad \forall i, s, t \in V \quad (4)$$

$$x_{st}^e \leq y_e \quad \forall e \in E_{ow}, s, t \in V \quad (5)$$

$$\pi_{st}^i - \pi_{st}^j - \mu_{st}^{(i,j)} \leq p_{st} w_{(i,j)} \quad \forall (i, j) \in E_{ow}, s, t \in V \quad (6)$$

$$\pi_{st}^i - \pi_{st}^j \leq p_{st} w_{(i,j)} \quad \forall (i, j) \notin E_{ow}, s, t \in V \quad (7)$$

$$c_e \in \mathbb{N} \quad \forall e \in E$$

$$y_e \in \{0, 1\} \quad \forall e \in E_{ow}$$

$$x_{st}^e \in \{0, 1\} \quad \forall e \in E, s, t \in V$$

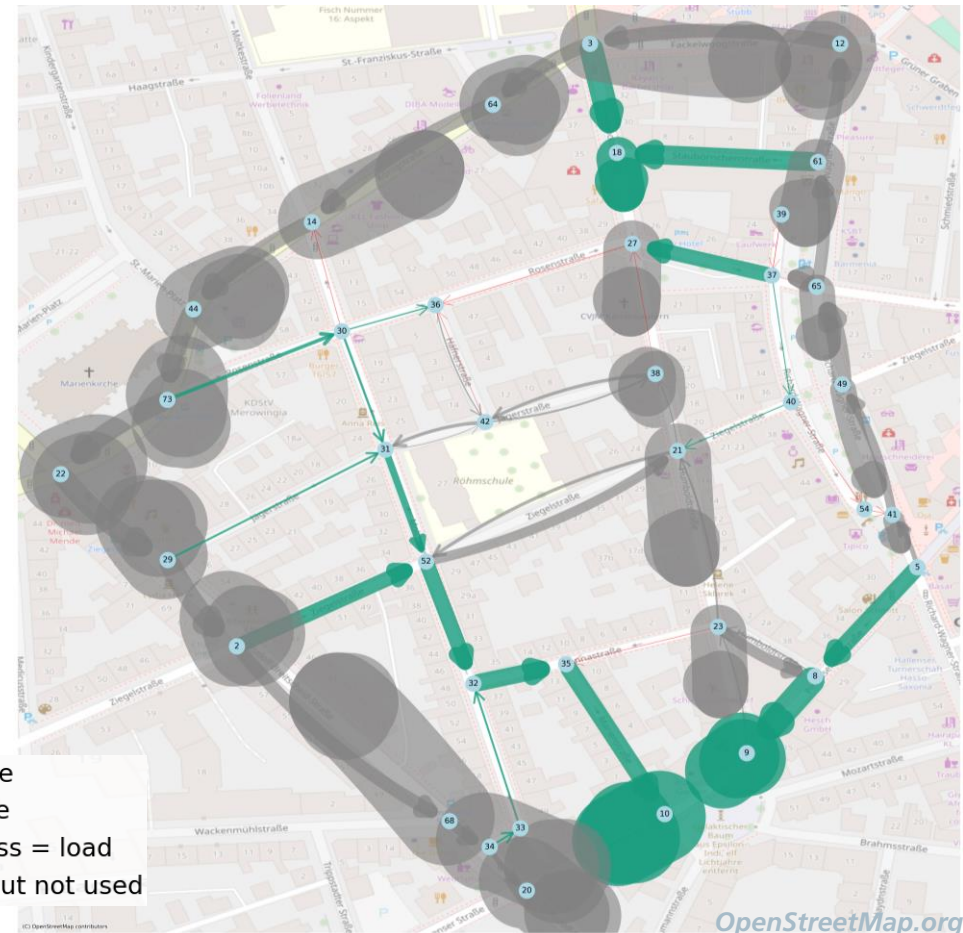
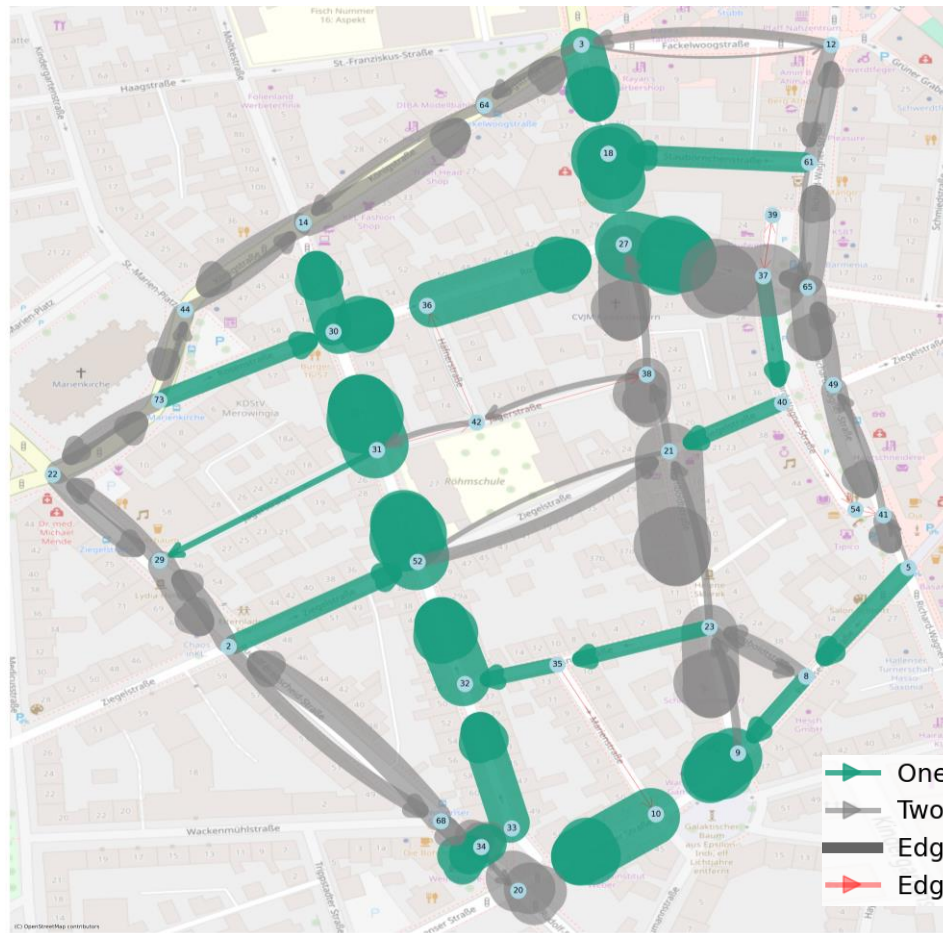
$$\pi_{st}^i \in \mathbb{R} \quad \forall i, s, t \in V$$

$$\mu_{st}^e \geq 0 \quad \forall e \in E, s, t \in V$$

Lebensqualität in Wohnvierteln

Durchgangsverkehr vermeiden: Ergebnis

Bei **7** (von 26) umorientierten Kanten Reduktion des Durchgangsverkehrs um **56,1%**. Reisezeiterhöhung: **Ø26.18s**



Reifenemissionen reduzieren

Ganz neue mathematische Modelle

Idee

Reifenemissionen sind relevant (Geräusche, Feinstaub, Mikroplastik, CO₂)

- 1/3 aller Mikroplastik in den Weltmeeren von Reifen
- E-Autos sind schwerer → mehr Abrieb
- 24% des im Straßenverkehr erzeugten CO₂ sind wegen des Rollwiderstands dem Reifen zuzuordnen

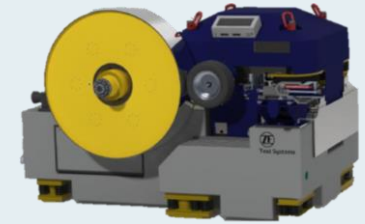
Bisher gibt es keine Modelle und Simulationsmethoden dazu.

Dazu haben wir ein Technikum mit zwei Prüfständen gebaut:

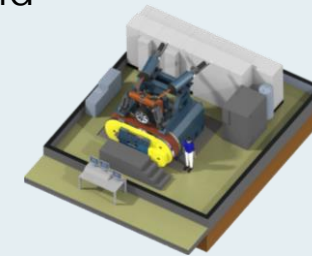
- Rollenprüfstand: erstmalig in einem Forschungslabor, bisher nur bei Reifenherstellern
- Flachbandprüfstand: weltweit einzigartig, Parallelkinematik

Prüflabor im Technikum für zwei Reifen- großprüfstände von ZF

- Rollenprüfstand
(High-Speed
Uniformity Machine)



- Flachbandprüfstand
(Road Belt Tester)



Reifenemissionen reduzieren

Ganz neue mathematische Modelle

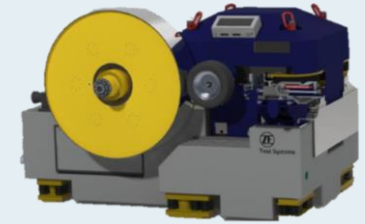
Erwartete Ergebnisse

- Berechnungs- und Simulationsmodelle für Emissionen von Reifen
- neue nachhaltige Materialien für Reifen, Straßenbelag, abhängig von Fahrzeug und Fahrweise
- Designoptimierung von Reifen
- Kontrolle der Geräuschentwicklung
- Assistenzsysteme und Einsatz von KI für Emissions-nachhaltiges Fahren

→ Deutschland als Vorreiter zum Thema Reifen-Emissionen!

Prüflabor im Technikum für zwei Reifen-großprüfstände von ZF

- Rollenprüfstand (High-Speed Uniformity Machine)



- Flachbandprüfstand (Road Belt Tester)



Neue Wege in der nachhaltigen Mobilität

Fortschritt durch Mathematik

- 1. Nachhaltigkeit als Zielkonflikt**
- 2. Neue Wege zur nachhaltigen Mobilität: drei Beispiele**
 1. Energie sparen durch weniger Halte
 2. Lebensqualität in Wohnvierteln erhöhen
 3. Reifen-Emissionen verringern
- 3. Das Gesamtkonzept ist wichtig**
- 4. Zusammenfassung**

Es gibt viele Ziele und ein Sammelsurium an Maßnahmen für Nachhaltigkeit

Beispiele

Ziele:

- Effizient (schnelles und bequemes Reisen)
- Preiswert (beschränktes Budget)
- Nachhaltig (Energie, Emissionen)



Die Ziele widersprechen sich!

Beispiele für Maßnahmen:

- Bessere Linienpläne, Fahrpläne, Umlaufpläne
- Ridepooling-Systeme
- Optimierung von Batterien für E-Fahrzeuge
- Verteilung der E-Ladestationen für Busse
- Emissionsreduktion für Fahrzeuge
- Mobilitätsstationen für Scooter und Leihfahrräder
- Verkehrsflussoptimierung: z.B. Ampeln oder Busvorrangspuren im ÖV
- Preise: Preissenkungen im ÖV, Parkgebühren im IV

Es gibt noch viel mehr!



Maßnahmen beeinflussen sich!

Es gibt viele Ziele und ein Sammelsurium an Maßnahmen für Nachhaltigkeit

Beispiele

Ziele:

- Effizient (schnelles und bequemes Reisen)
- Preiswert (beschränktes Budget)
- Nachhaltigkeit (Energie, Emissionen)



Die Ziele widersprechen sich!

**Wir brauchen eine
gemeinsame Strategie!**

Einzelne Maßnahmen:

- Bessere Linienpläne, Fahrpläne, Umlaufpläne
- Ridepooling-Systeme
- Optimierung von Batterien für E-Fahrzeuge
- Verteilung der E-Ladestationen für Busse
- Emissionsreduktion für Fahrzeuge
- Mobilitätsstationen für Scooter und Leihfahrräder
- Verkehrsflussoptimierung: z.B. Ampeln oder Busvorrangspuren im ÖV
- Preise: Preissenkungen im ÖV, Parkgebühren im IV

Es gibt noch viel mehr!



Maßnahmen beeinflussen sich!

Auf dem Weg zu einer gemeinsamen Strategie

Erste Ansätze: BMFTR-Projekt »SynphOnie«

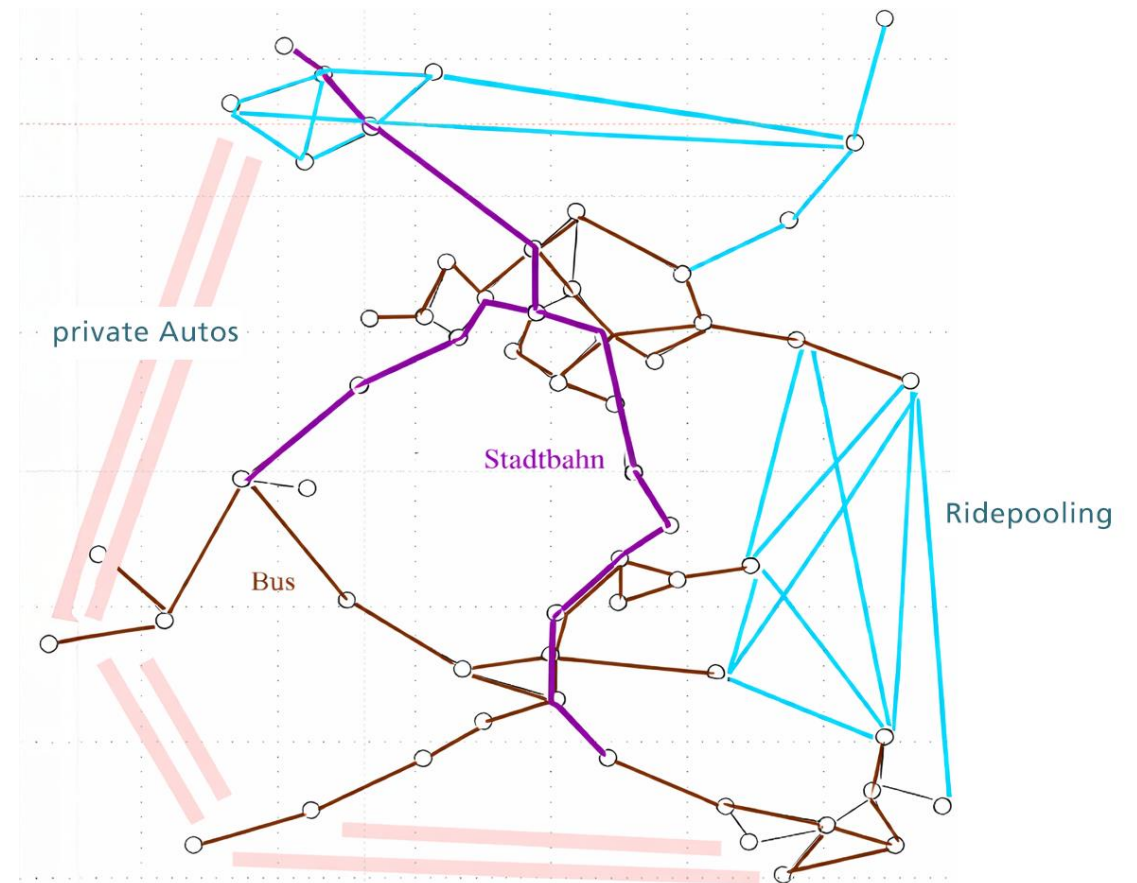
Betrachte eine Stadt als Ganzes!

- Wo lohnt eine Metro?
- Wo bieten wir normalen Busverkehr an?
- Wo ergänzt man durch Ridepooling?
- Wo sollte besser das Auto empfohlen werden?

Ziele:

- Kosten
- Reisezeit
- Energie

Wichtig: Kunden bestimmen selbst, wie sie fahren (anhand der Reisezeit)



Auf dem Weg zu einer gemeinsamen Strategie

Erste Ansätze: BMFTR-Projekt »SynphOnie«

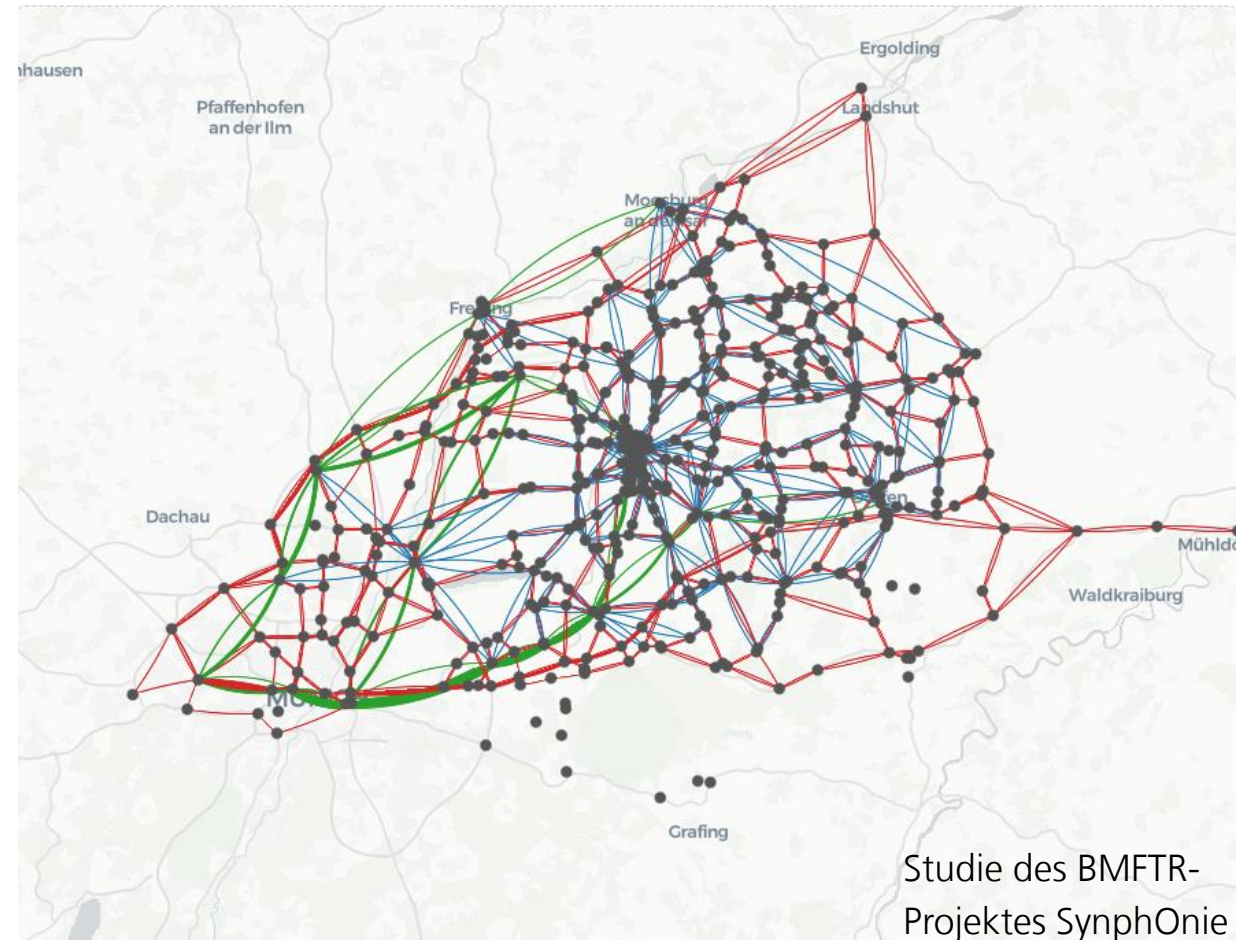
Betrachte eine Stadt als Ganzes!

- Wo lohnt eine Metro?
- Wo bieten wir normalen Busverkehr an?
- Wo ergänzt man durch Ridepooling?
- Wo sollte besser das Auto empfohlen werden?

Ziele:

- Kosten
- Reisezeit
- Energie

Wichtig: Kunden bestimmen selbst, wie sie fahren (anhand der Reisezeit)

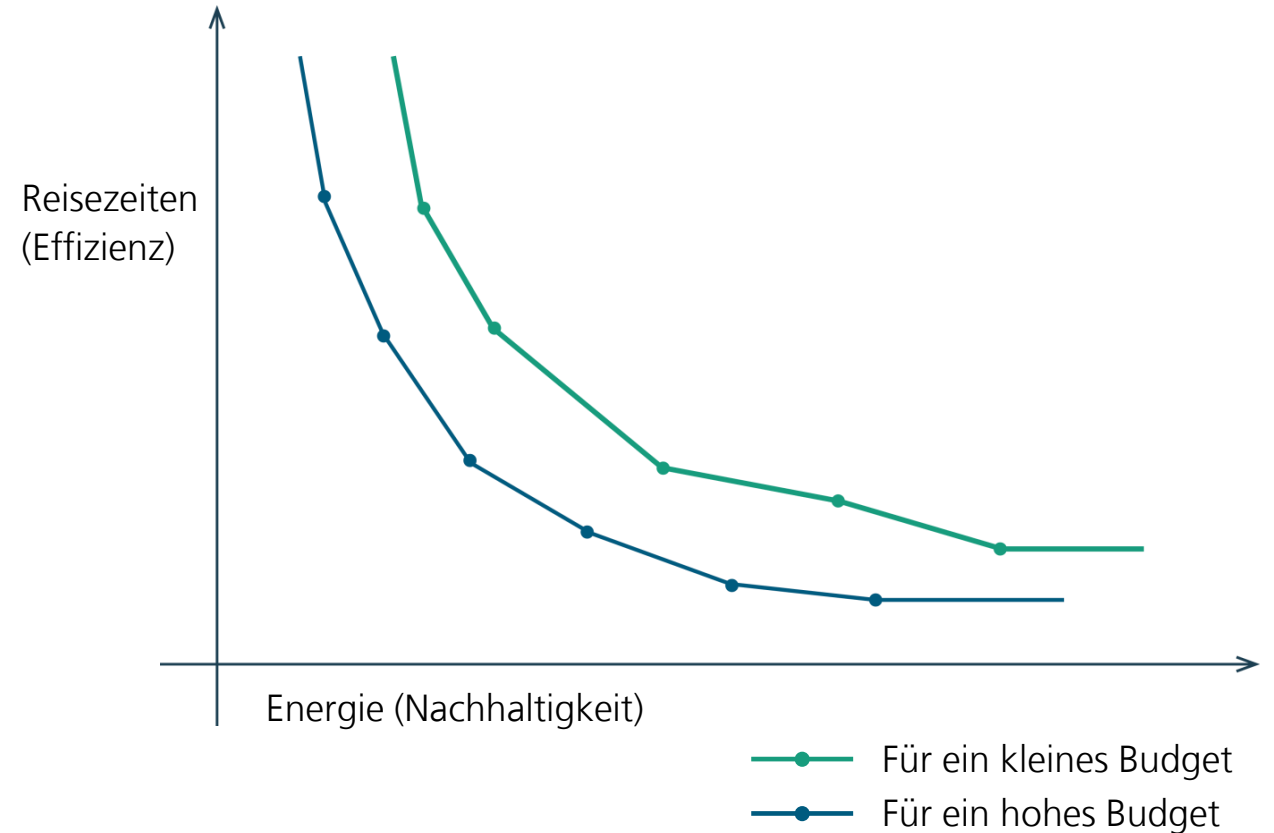


Auf dem Weg zu einer gemeinsamen Strategie

Erste Ansätze: BMFTR-Projekt »SynphOnie«

Ergebnisse:

- Wenn die Reisenden selbst entscheiden, ist oft das Auto am schnellsten.
- Steuerung durch CO₂-Preise hilft zum Erreichen von nachhaltigerem Mobilitätsverhalten
- mehr Budget hilft zur Steigerung von Nachhaltigkeit und Effizienz
- Einzelne Verbindungen besonders gut zu gestalten, hilft für die Nachhaltigkeit mehr als überall ein bisschen zu verbessern.



Neue Wege in der nachhaltigen Mobilität

Fortschritt durch Mathematik

1. Nachhaltigkeit als Zielkonflikt
2. Neue Wege zur nachhaltigen Mobilität: drei Beispiele
3. Das Gesamtkonzept ist wichtig
4. Zusammenfassung

Zusammenfassung

Ein Gesamtkonzept ist wichtig!

Take-Aways:

- Simulation und Optimierung hilft
- Es gibt (fast) kostenneutrale Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit

Wir brauchen eine Strategie

- Koordination der Einzelmaßnahmen
- Zielvorstellung: Nachhaltigkeit versus Effizienz? Was hoch ist das Budget?

Diskussion

- Maßnahmen bei beschränktem Budget
- Wie gestaltet man den ÖV attraktiv?
 - Tarifrückbildung?
 - Ausbau des ÖV?
- Nachhaltigkeit versus Gleichbehandlung
 - ÖV punktuell oder überall verbessern?

Danke für Ihre Aufmerksamkeit! Ich freue mich auf die Diskussion.

Kontakt

Anita Schöbel
Fraunhofer ITWM
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Innovation Technologie Wissen Menschen