Verkehrssteuerung in Netzwerken auf Grundlage dynamischer Preise

Daniel Wesemeyer, Sten Ruppe

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik

Motivation

Quelle: https://innovationorigins.com/tomorrow-is-good-less-asphalt-to-solve-the-traffic-jam/, 23.03.2021

Motivation

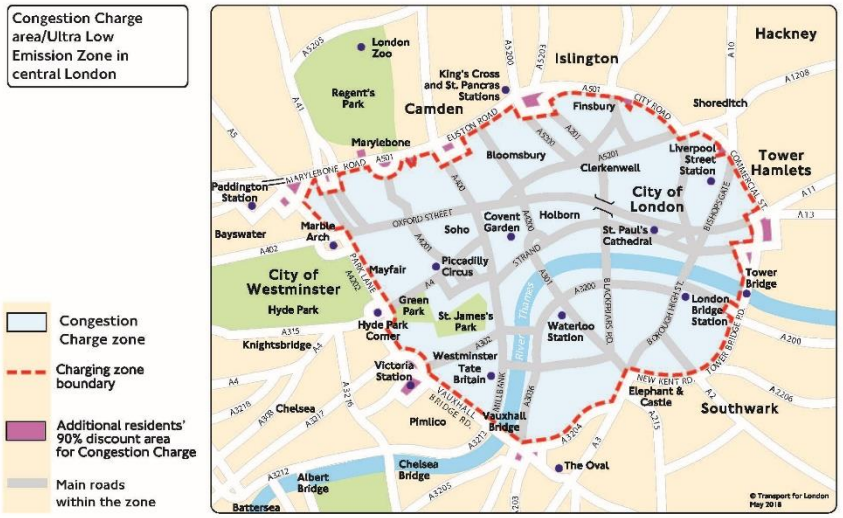
- Bepreisung von Mobilität
  - Steuerungsinstrument für typische Wahldimensionen von Verkehrsteilnehmern
    - Routenwahl
    - Zeitwahl
    - Verkehrsmittelwahl
  - Mögliche Ziele:
    - Vermeidung
    - Verlagerung
    - Lenkung von Verkehr

Motivation

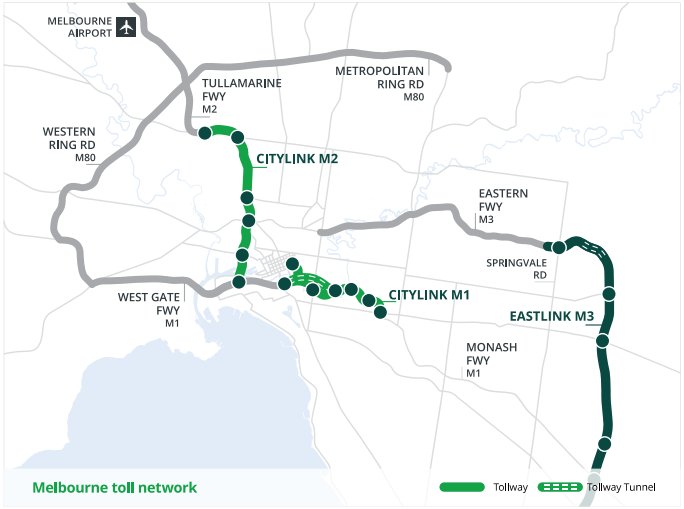
- Beispiele Bepreisungsmodelle:
  - City-Maut (London, Stockholm)
  - Objektmaut (City-Link Melbourne)
  - Streckenbezogene Maut (Lkw-Maut D)

- Effekte der Mauten sind statisch, da die Mauten hauptsächlich statisch sind

- Einsatz zur Erzielung dauerhafter Effekte geeignet



Quelle: tlf.gov.uk, 24.03.2021



Quelle: https://www.linkt.com.au/melbourne/using-toll-roads/about-melbourne-toll-roads, 24.03.2021

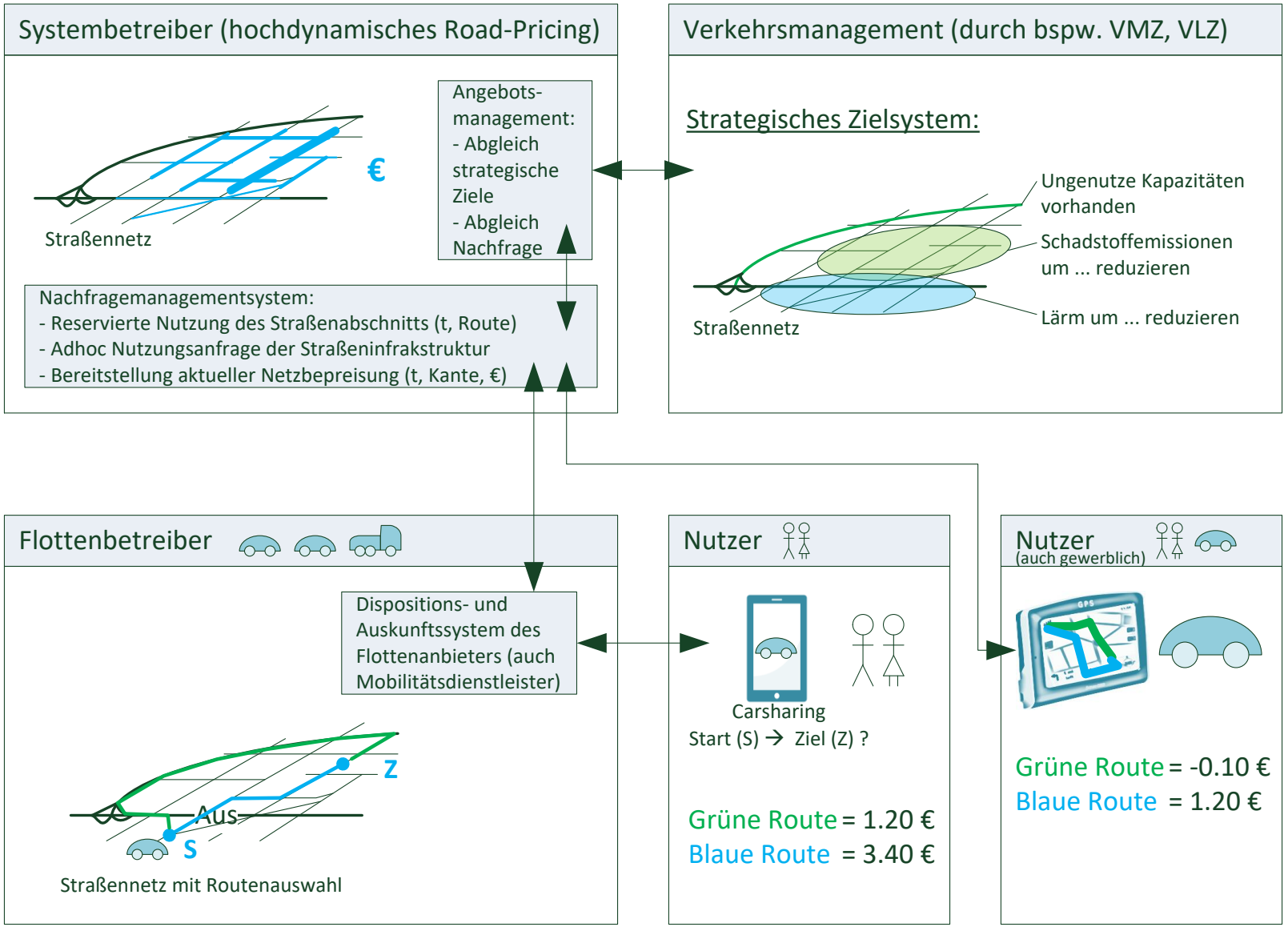
Motivation

- Bessere Möglichkeiten der Nachfrageerhebung und Verkehrssteuerung durch Vernetzung und Automatisierung des Verkehrs

- Kontinuierliche Daten des fließenden Verkehrs ermöglichen genaue Erfassung der aktuellen Verkehrslage

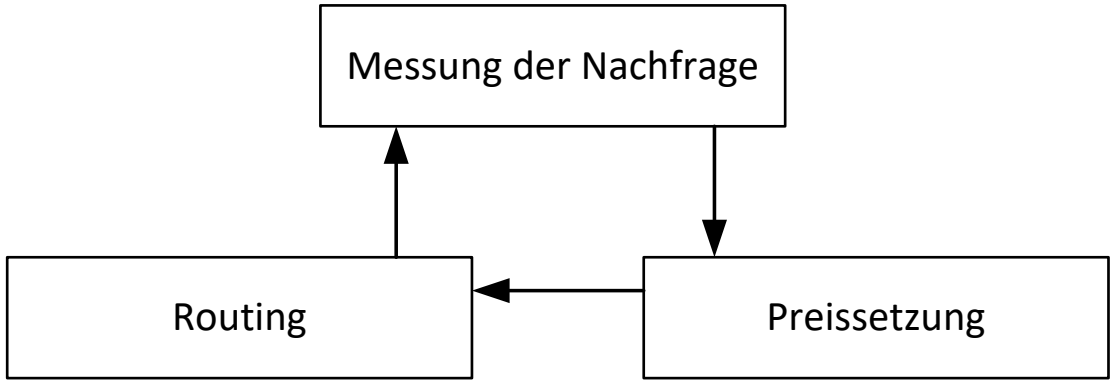
- Dynamische Steuerung und Lenkung des Verkehrs, z.B. über Bepreisung
  - Automatisierung reduziert Häufigkeit und Tiefe der Nutzereingriffe
    - Bessere Steuerungswirkung (Reponse durch Algorithmik)
    - Komplexere Bepreisungssysteme (Aushandlung durch Algorithmik)

Systemübersicht



Systemübersicht

- Dynamische Bepreisung setzt strategisches Zielsystem eines Netzbetreibers um
  - Strategisches Zielsystem → Parameter einer Bepreisungsfunktion



- Erhebung von Netzentgelten zur operativen Verkehrssteuerung
  - Steuerung von Verkehrsflüssen
  - Kurze Zeitskalen, häufige Aktualisierungen

- Zyklischer Durchlauf eines Regelungskreises

Systemübersicht

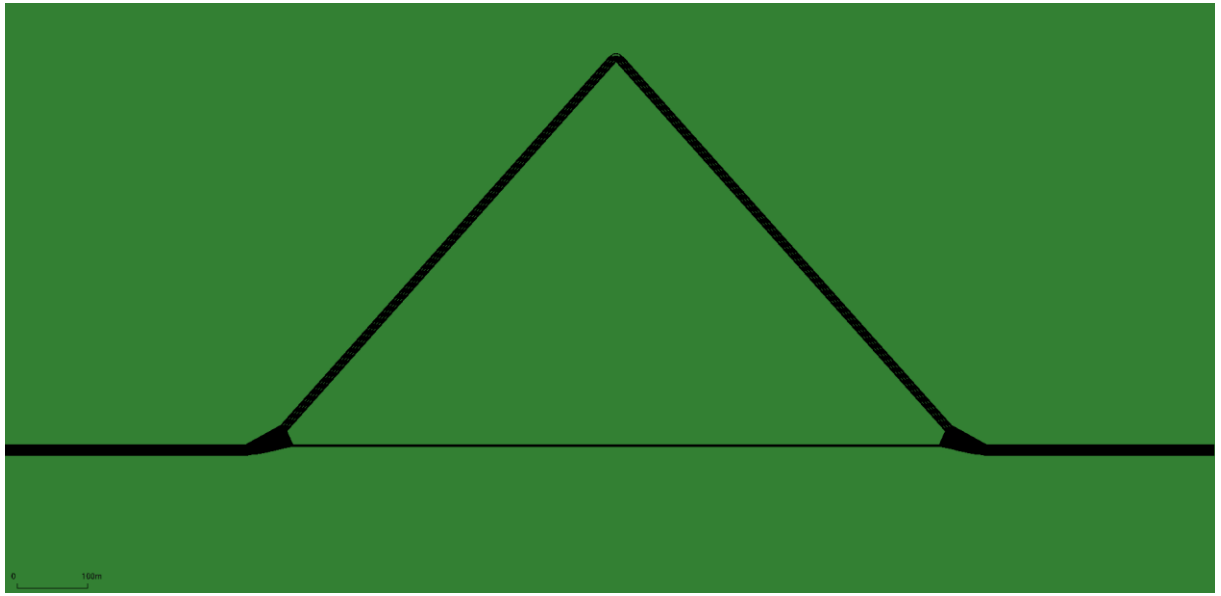
- Messung der Nachfrage
  - Umsetzung eingehender Detektordaten in eine Verkehrslage
    - Ortsfeste Detektion (Kameras, Induktionsschleifen usw.)
    - Daten vernetzter Fahrzeuge

- Preissetzung
  - Festsetzung von Preisen auf Basis der Verkehrslage
    - $T(t) = T_0 * \frac{q(t)}{k*(1-q(t))}$
    - $P(t) = T(t) * V$
  - Aktualisierung der Preise innerhalb eines festzulegenden Intervalls

- Routing
  - Verteilung der Fahrzeugrouten auf Grundlage von Preisen, Nutzerpräferenzen und Parametern (z.B. Value of Travel Time Savings, VTTS)

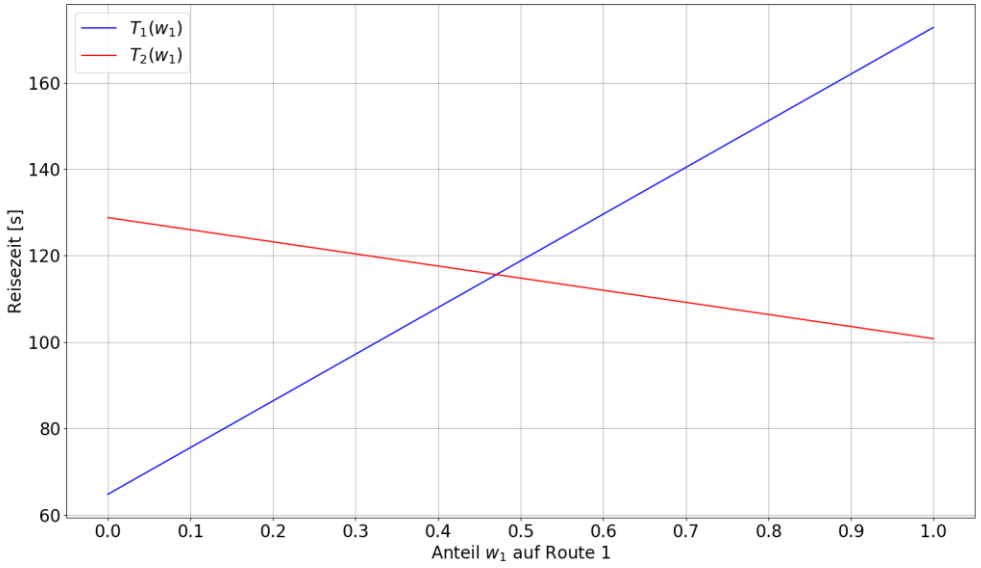
Anwendungsbeispiele

- Fallbeispiel 1: Umfahrung
  - Eine Quelle, eine Senke für Fahrzeuge
  - Zwei Routenalternativen:
    - Kurze Direktverbindung mit geringerer Kapazität durch LSA
    - Längere Umfahrung mit hoher Kapazität
  - Statische Verkehrsnachfrage über eine Stunde



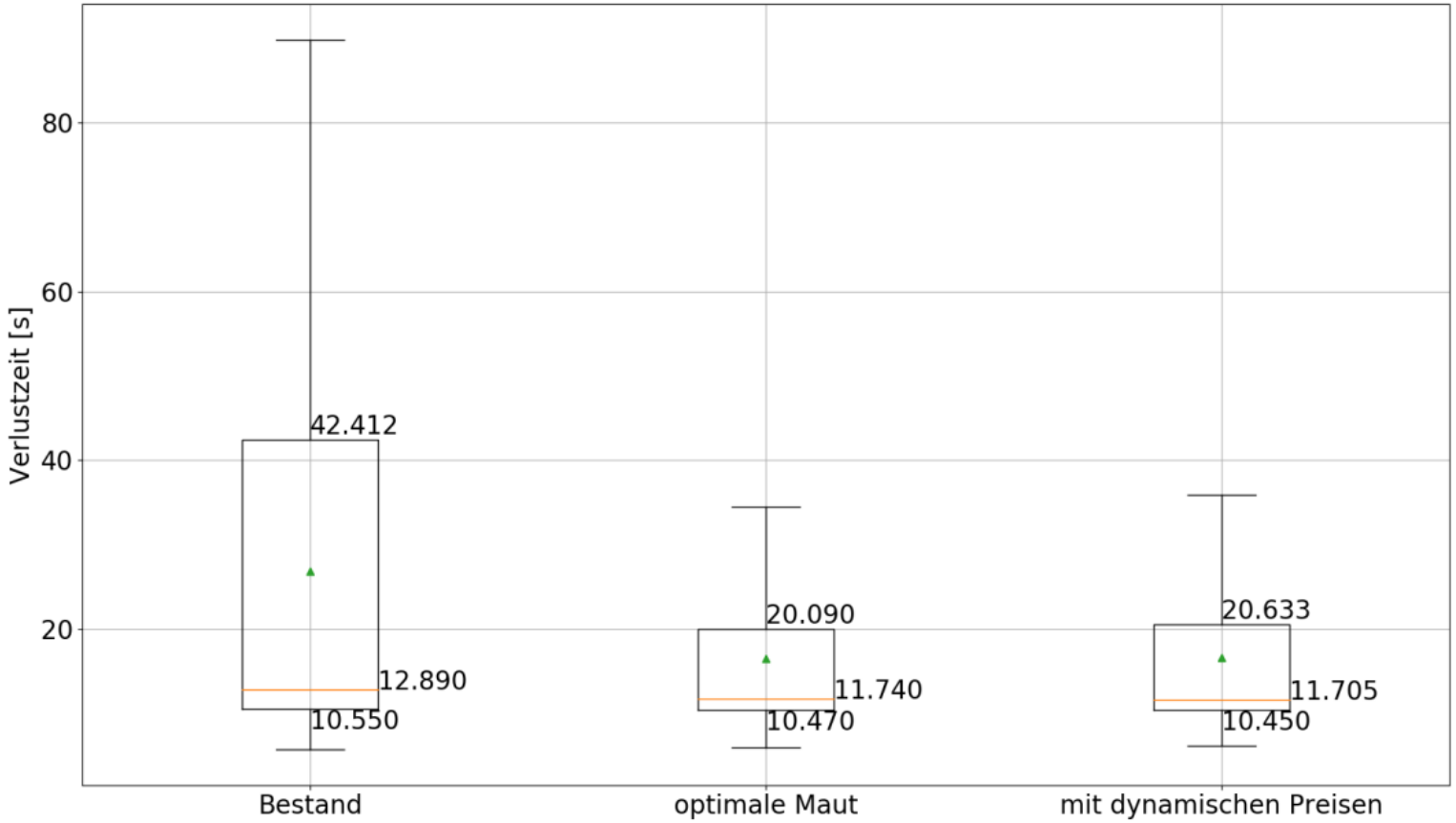
Anwendungsbeispiele

- Szenarien
  - Nullfall
    - Routenwahl entspricht dem Nutzergleichgewicht
      w1 = 0,47
  - Optimale Maut
    - Routenwahl entspricht dem Systemoptimum
      w1 = 0,34
      Maut: $m = VTTS * \sqrt{T_1(w_1) - T_2(w_2)}^2$
  - Dynamische Maut



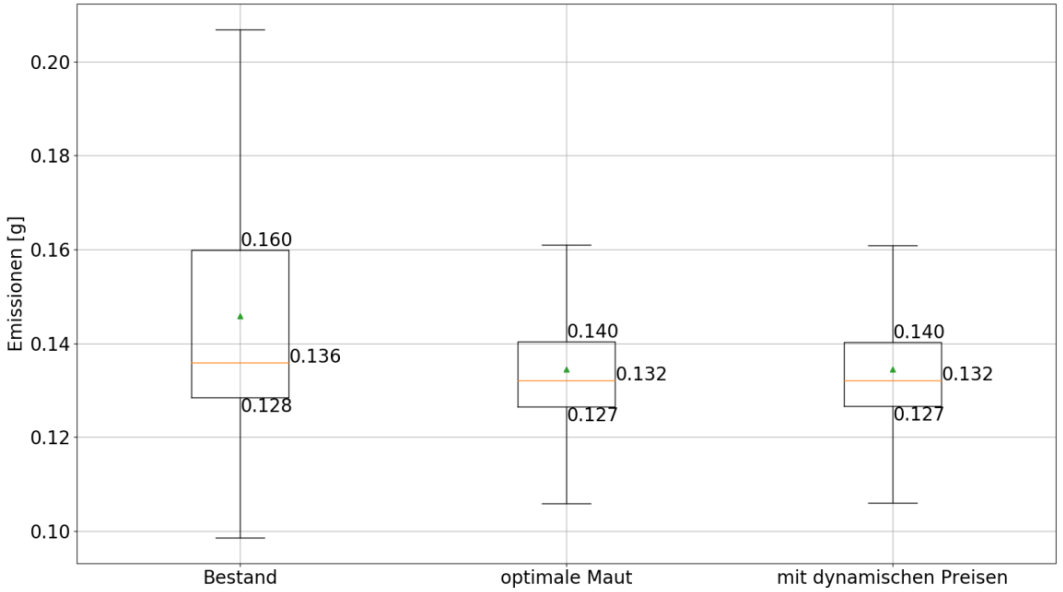
Anwendungsbeispiele

- Fallbeispiel 1: Ergebnisse
  - Verlustzeit

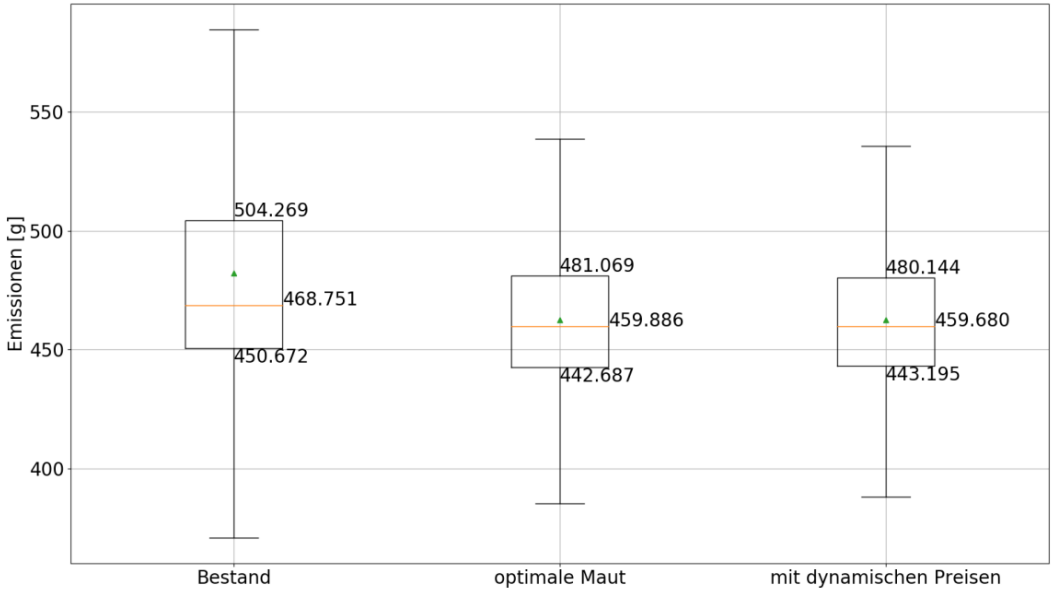


Anwendungsbeispiele

- Fallbeispiel 1: Ergebnisse
  - Emissionen



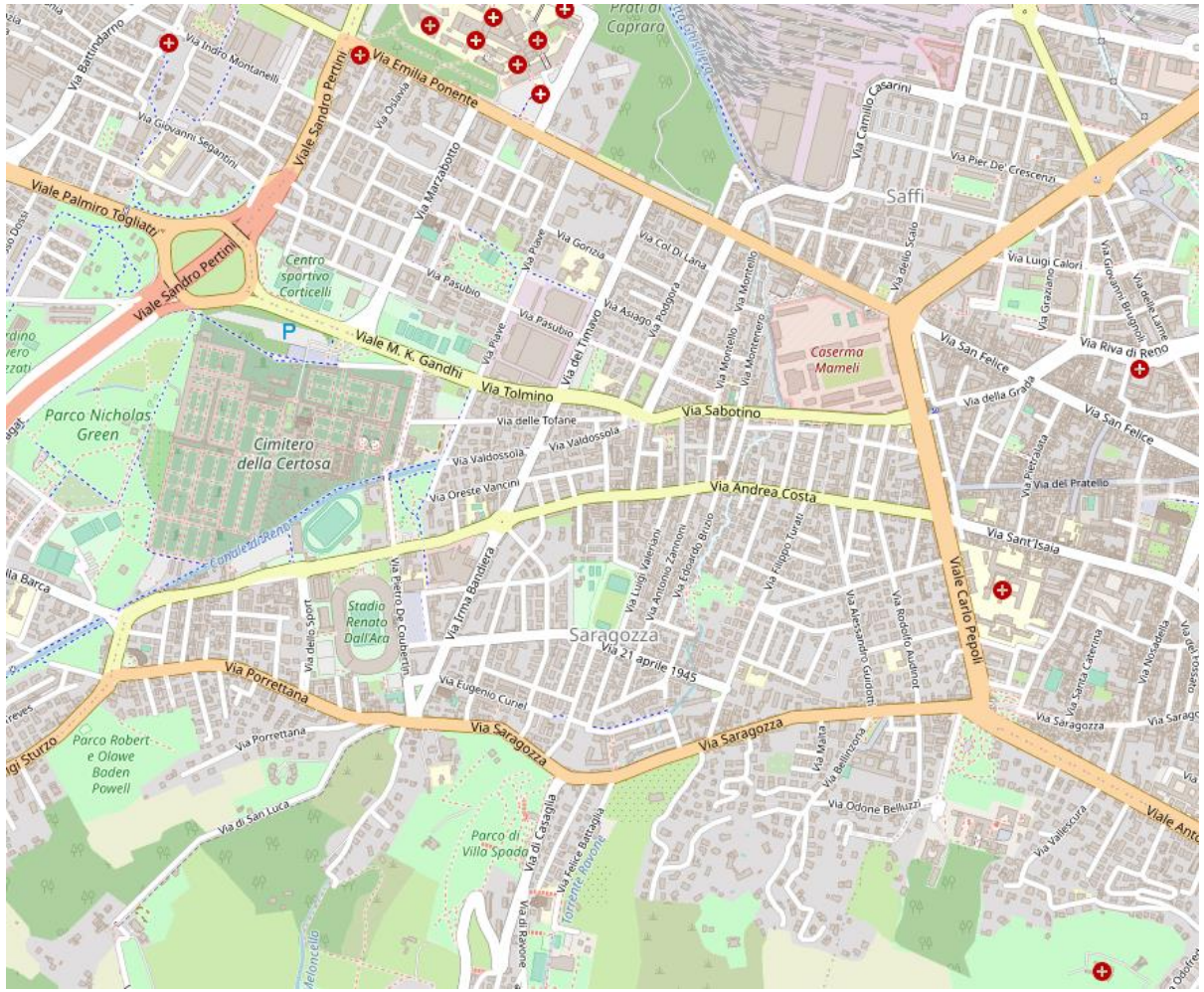
Stickoxide (NOx)



CO_2

Anwendungsbeispiele

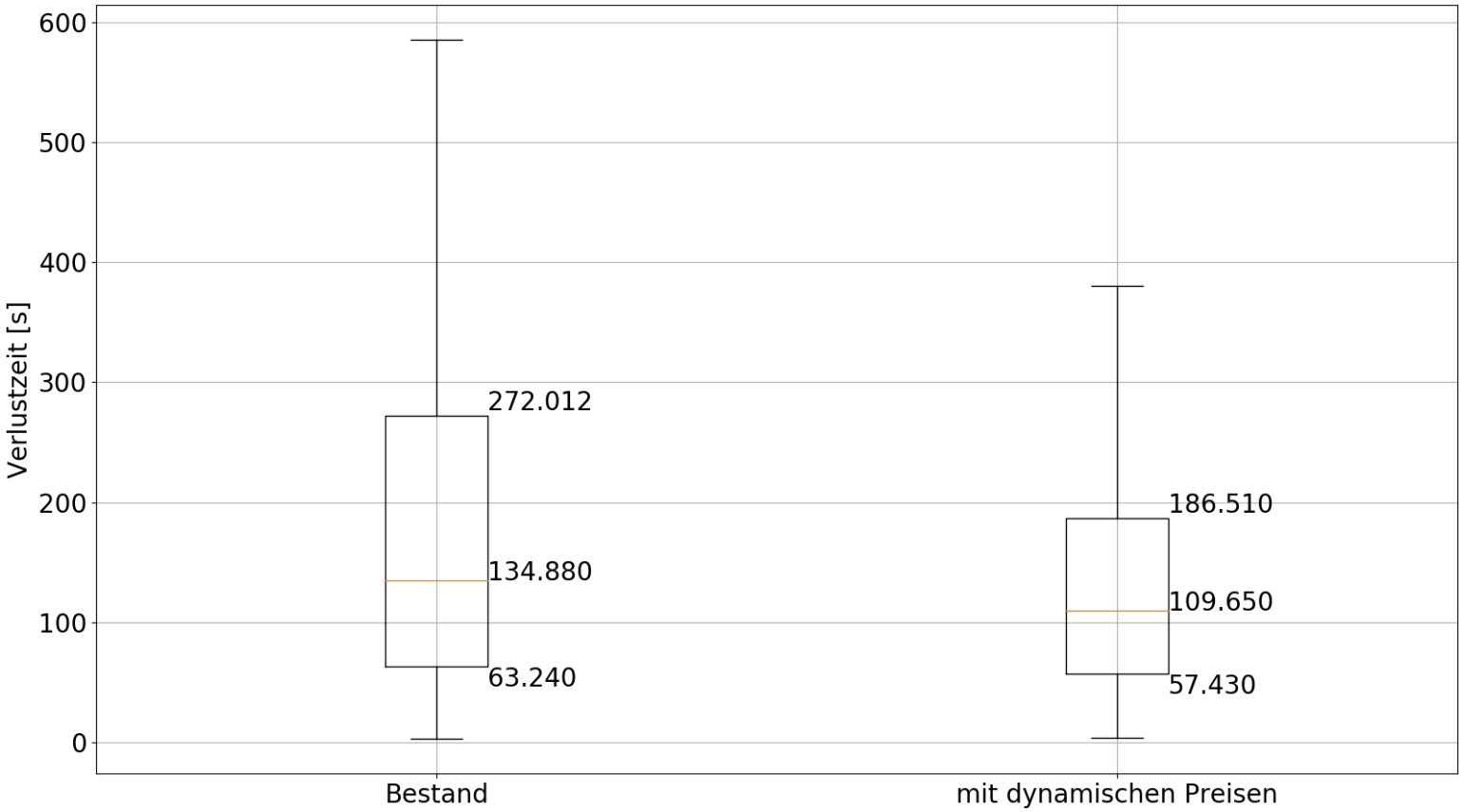
- Fallbeispiel 2: Bologna
  - Offenes SUMO-Szenario
  - Relativ komplexes Innenstadt-Szenario
  - Dynamische Nachfrage
  - Szenarien:
    - Nullfall
    - Dynamische Maut
    - Systemoptimum?



Quelle: OpenStreetMap

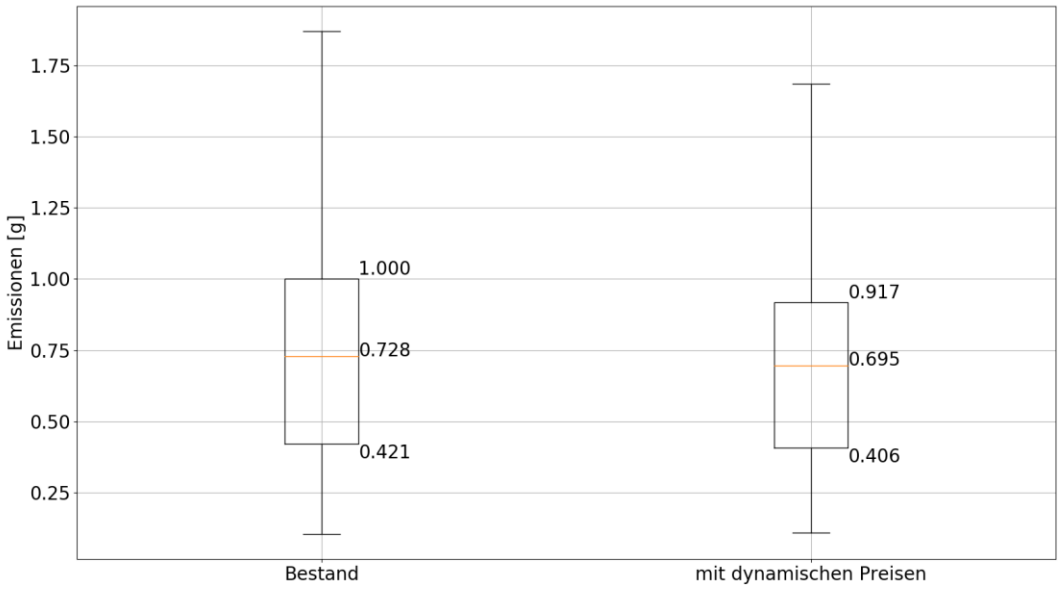
Anwendungsbeispiele

- Fallbeispiel 2: Ergebnisse
  - Verlustzeit

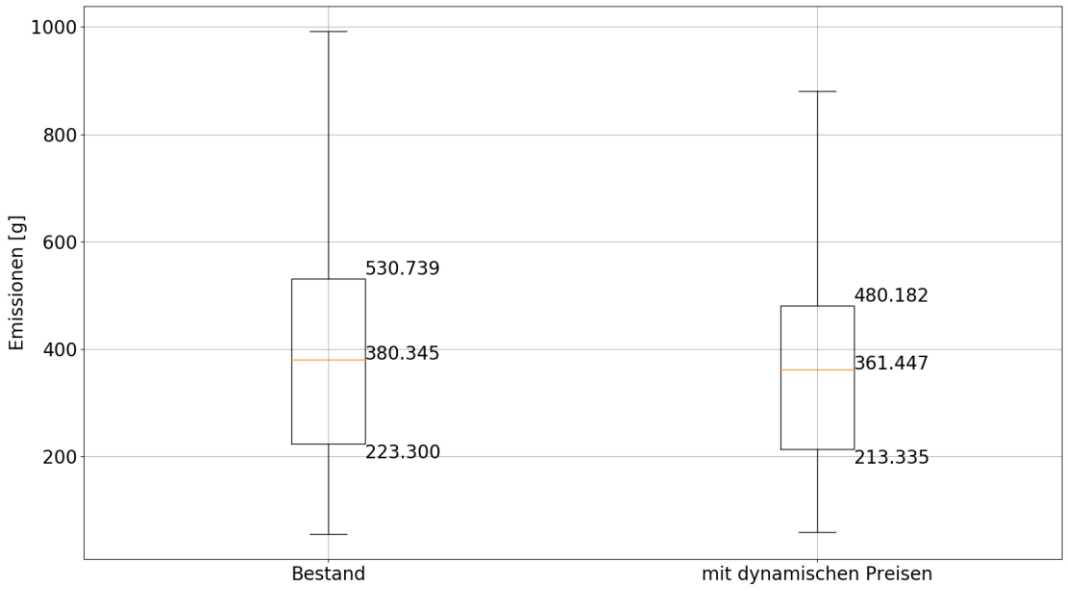


Anwendungsbeispiele

- Fallbeispiel 2: Ergebnisse
  - Emissionen



Stickoxide (NOx)



CO_2

Fazit und Ausblick

- Approximation einer (statischen) optimalen Bepreisung durch dynamische Maut möglich
- Simulative Tests zeigen Verringerung von Verlustzeiten und geringen Rückgang von Emissionen (CO2 und NOx)
- Sowohl in einfachen als auch in komplexeren Netzen anwendbar
  - Gegenüberstellen einer analytischen optimalen Lösung in komplexen Netzwerken nicht möglich

- Zukünftige Arbeiten:
  - Rückkopplung mit Moduswahl
  - Berücksichtigung nicht-automatisierter Fahrzeuge und Betrachtung von Mischverkehrsszenarien
  - Rerouting von Fahrzeugen

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!