

12.06.2024

KI zur Steuerung von Lichtsignalanlagen – Erfahrungen aus dem Feld

KI4LSA - Motivation und Projektziele

Künstliche Intelligenz für Lichtsignalanlagen

Motivation

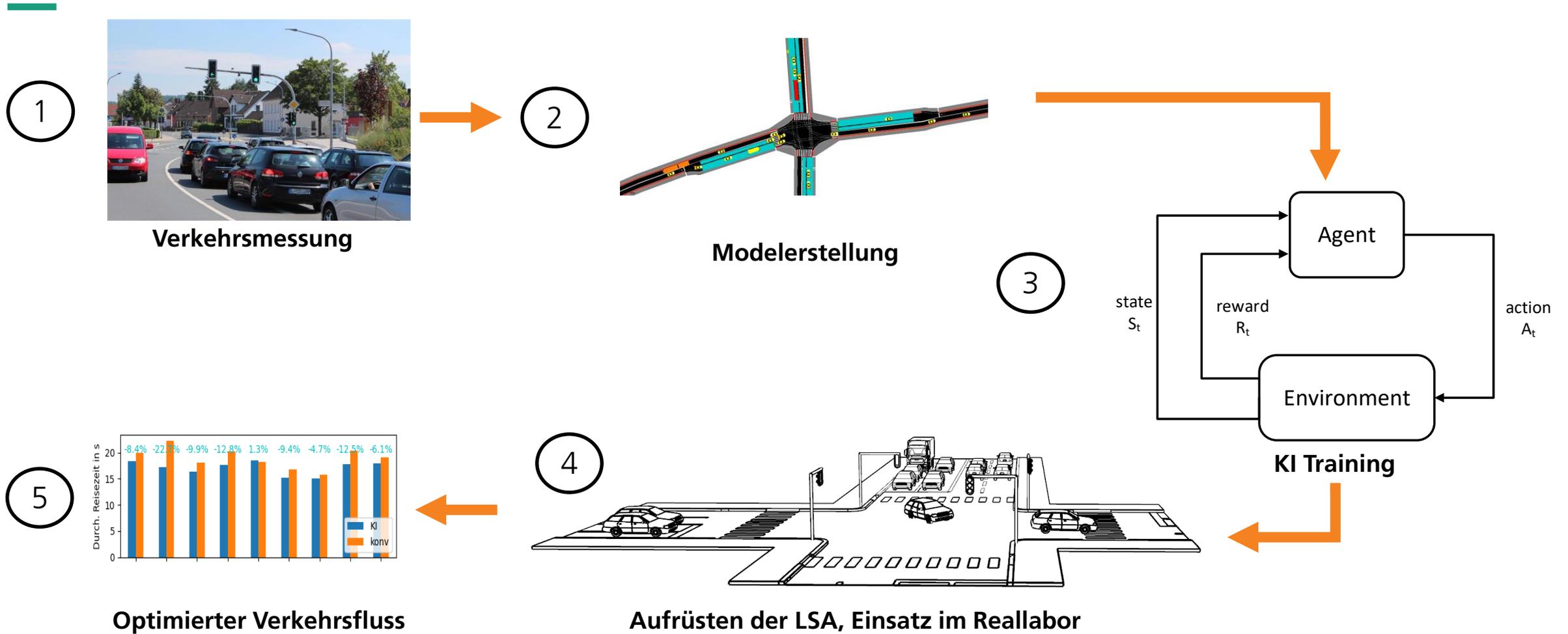
- Regelbasierte Steuerung von LSA
→ Optimalität in allen Verkehrssituationen schwierig zu erreichen
- Hauptsächlich Verwendung von Induktions- und einfachen Kamerasensoren
→ grobe Repräsentation des realen Verkehrs
- Ineffiziente Nutzung vorhandener Infrastruktur
→ Negative Effekte auf Ökonomie, Gesundheit, Umwelt und Mobilität

Projektziele

- Entwicklung Kamera- und Radar-basierter Sensorik zur Erfassung der Verkehrssituation in Echtzeit
- Entwicklung einer adaptiven Verkehrssignalsteuerung auf Basis von KI (**Reinforcement Learning**)
- Forschungsfrage: **Kann KI eine LSA steuern und den Verkehrsfluss an einer Kreuzung optimieren?**
- Einsatz im Realbetrieb, Proof-of-Concept
- Weltweit erstes Projekt bei dem RL als LSA-Steuerung im Realbetrieb eingesetzt wird



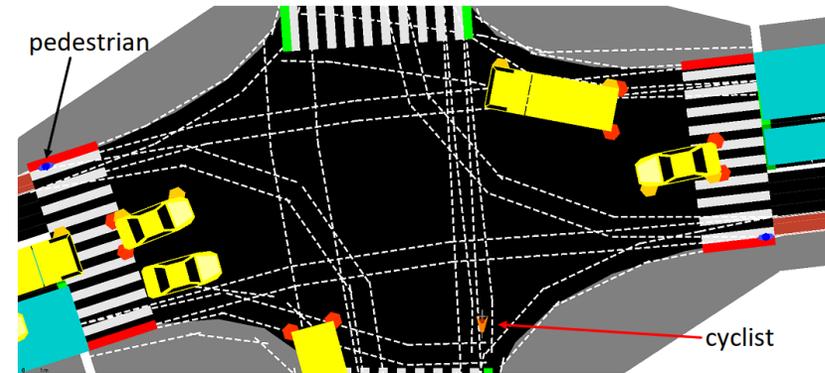
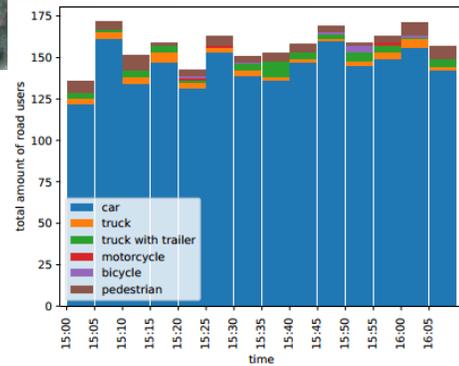
Methodischer Ansatz – KI4LSA in a Nutshell



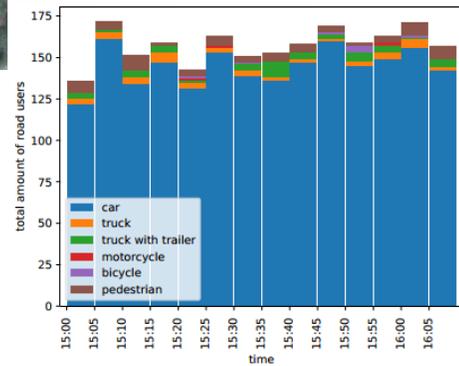


Reinforcement Learning –
Eine moderne KI-Methode
zur Optimierung

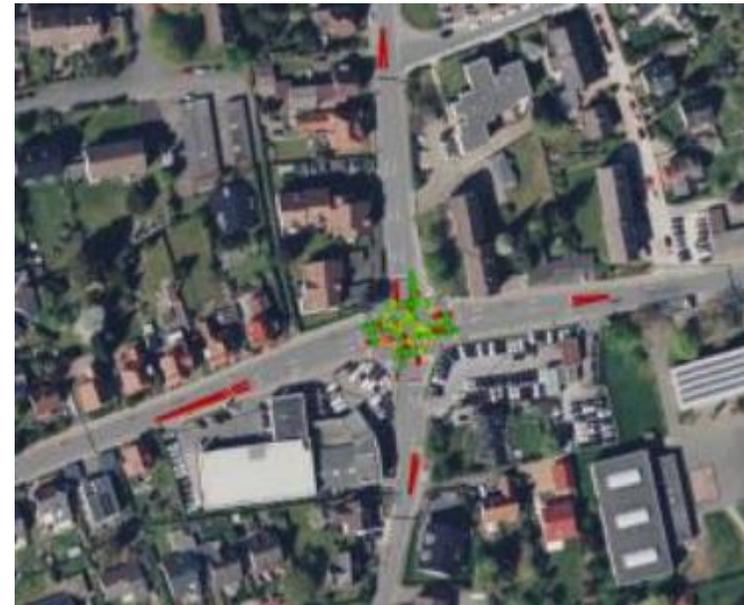
Kreuzung und Simulationsmodell



Kreuzung und Simulationsmodell

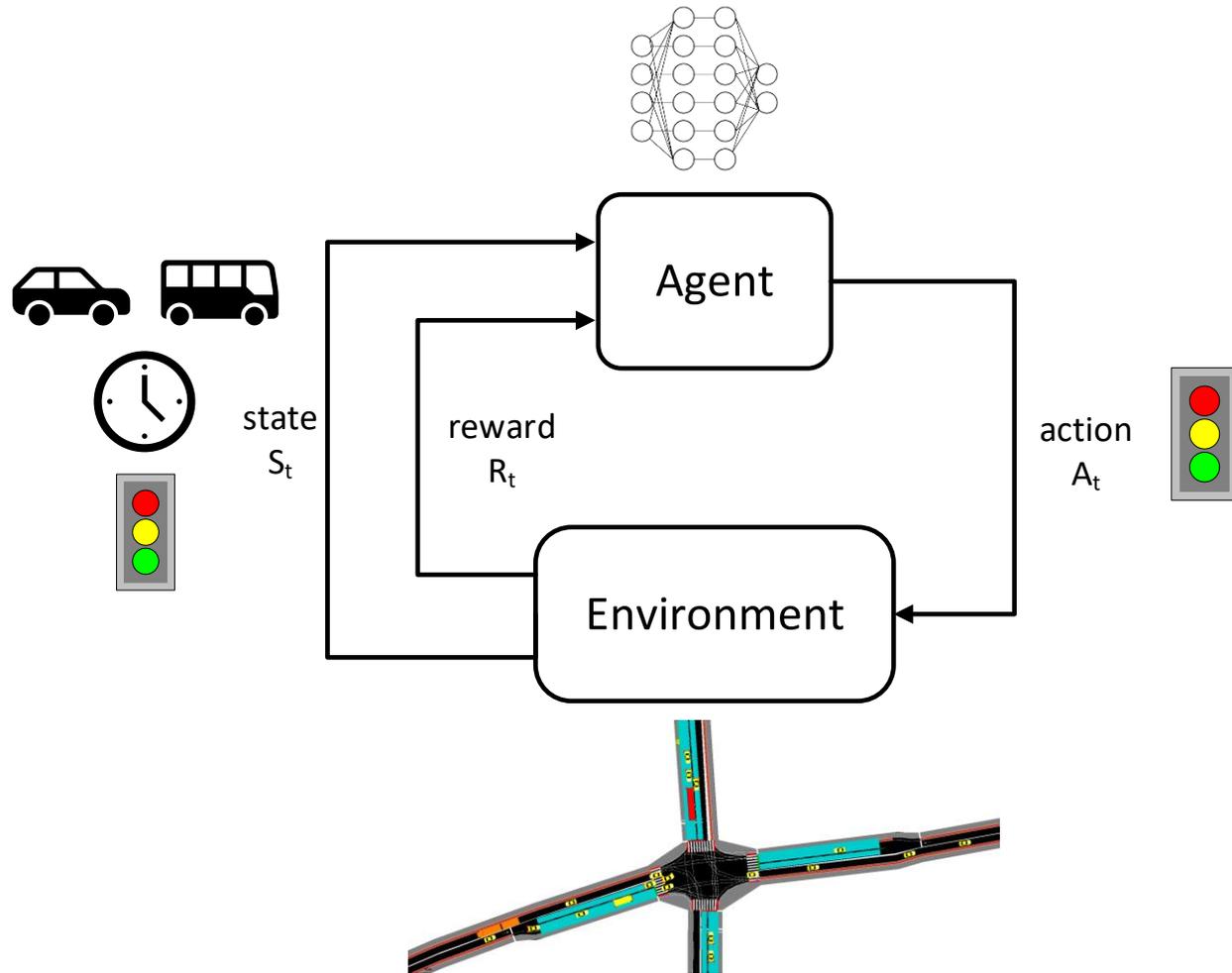


PTV VISSIM
the mind of movement



Reinforcement Learning

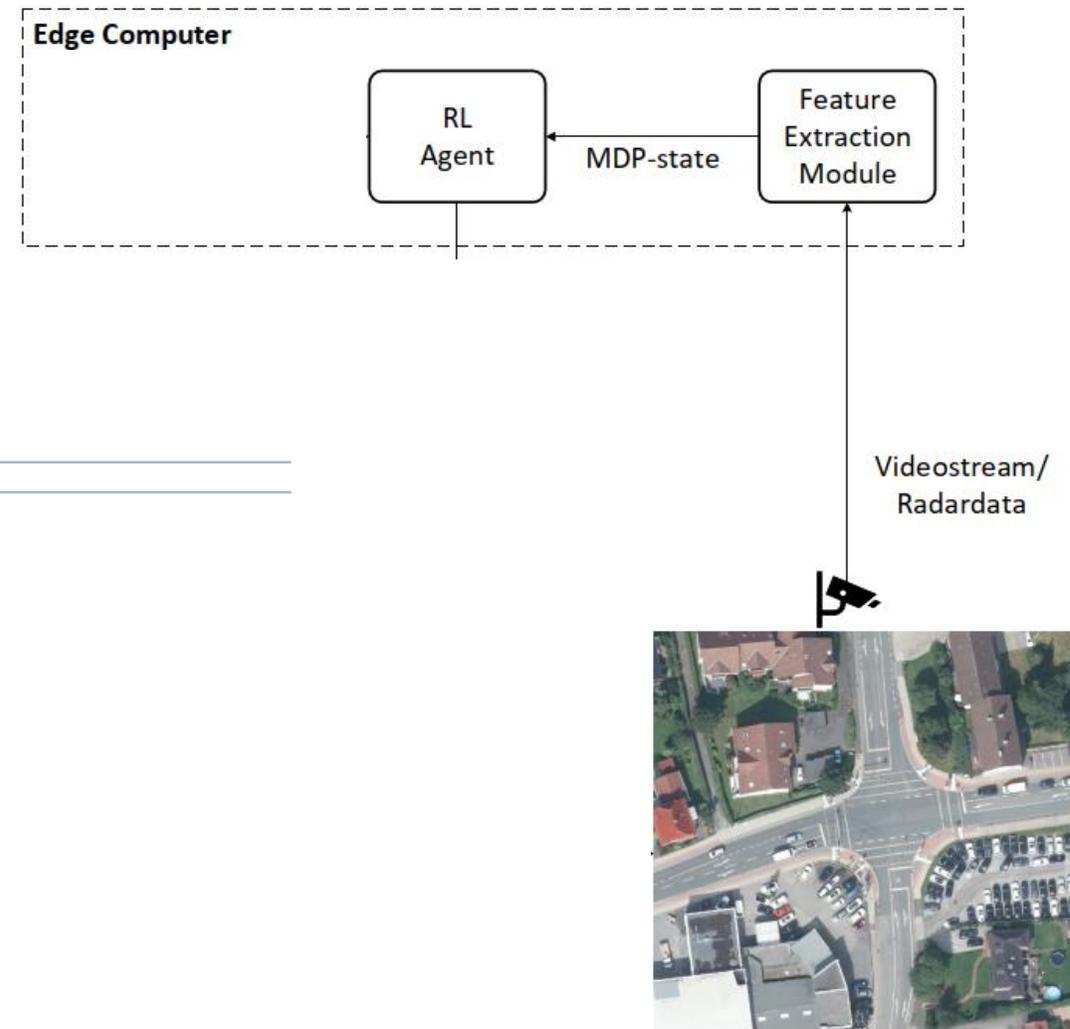
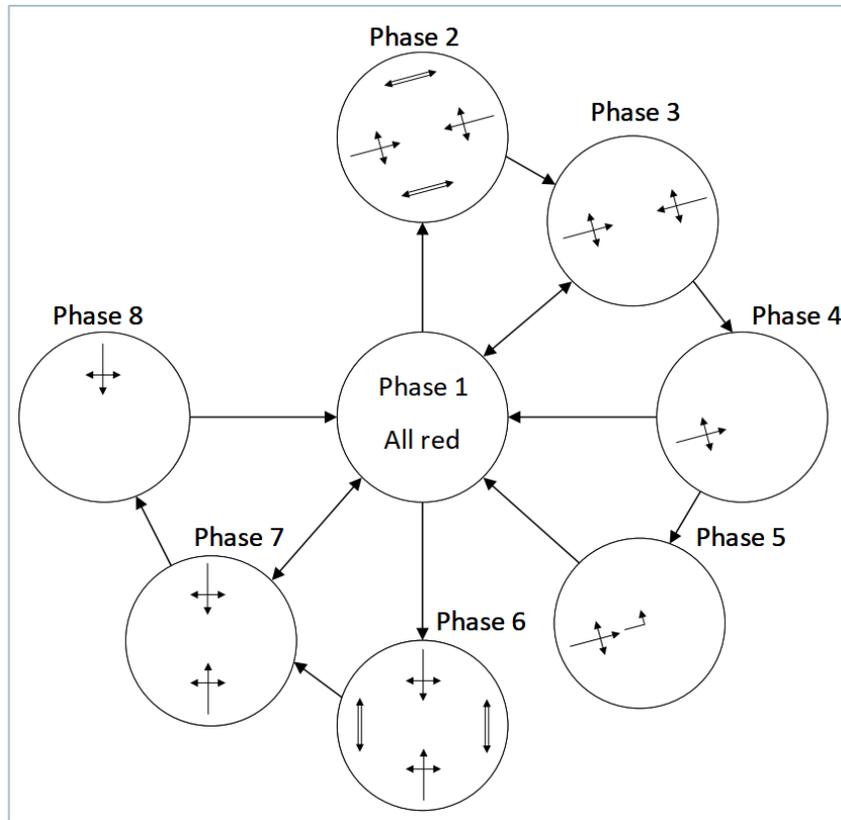
Modernes KI-Verfahren zur Optimierung



- RL-Probleme werden als **Markov Decision Process (MDP)** formalisiert: **states, actions, rewards**.
- Agenten in modernen RL-Algorithmen typischerweise **Neuronale Netze** → „Deep“ Reinforcement Learning.
- Ziel des Agent: Über die Zeit so viel reward wie möglich zu sammeln (kumulativer reward).
- $\text{reward} = -(\alpha_1 * \text{travel_time_vehicles} + \alpha_2 * \text{travel_time_pedestrians})$
→ Der Agent versucht die Reisezeit der Fahrzeuge und Fußgänger zu minimieren.
- Lernen/Trainieren: Anpassen der Gewichte des Neuronalen Netzes, sodass „gute“ Aktionen gewählt werden, die über einen langen Zeithorizont möglichst viel kumulativen reward sammeln.

Sicherheitsschicht

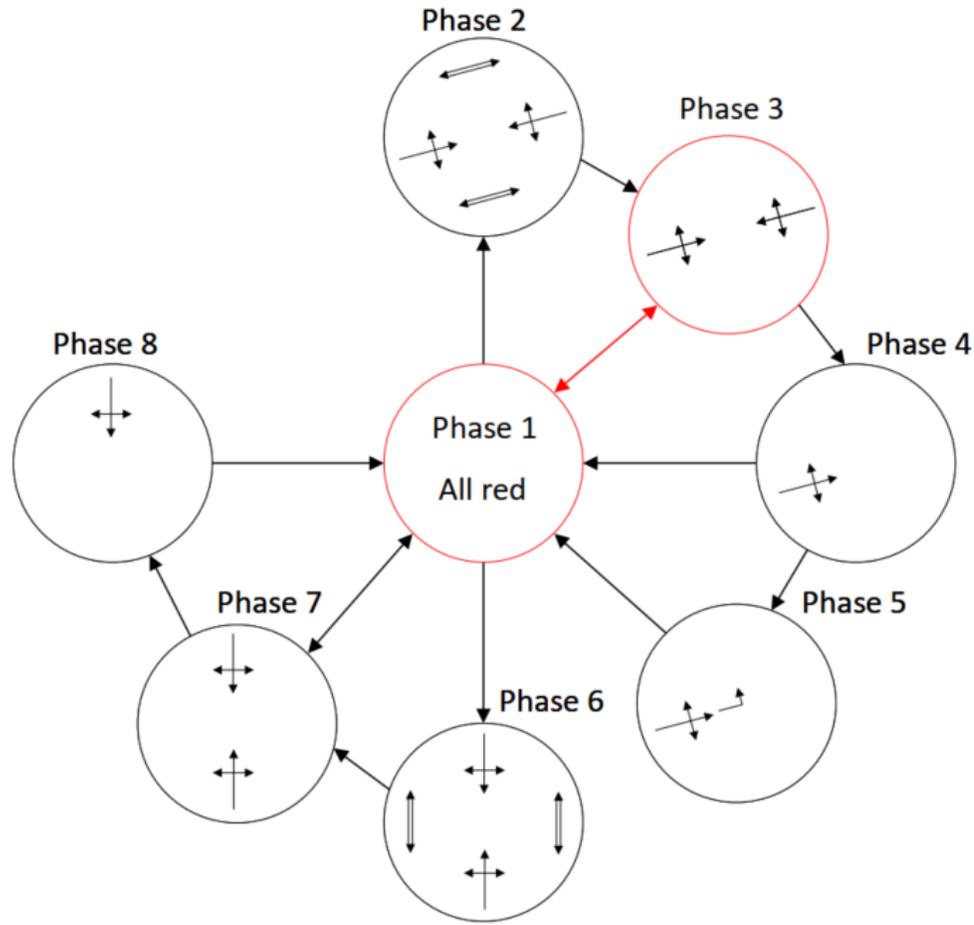
Nachgelagert und/oder integriert



Sicherstellung aller sicherheits- und verkehrsrelevanten Richtlinien.

Integration von Domänenwissen in die KI

Action Masking – Lösung für unerwünschte Transitionen



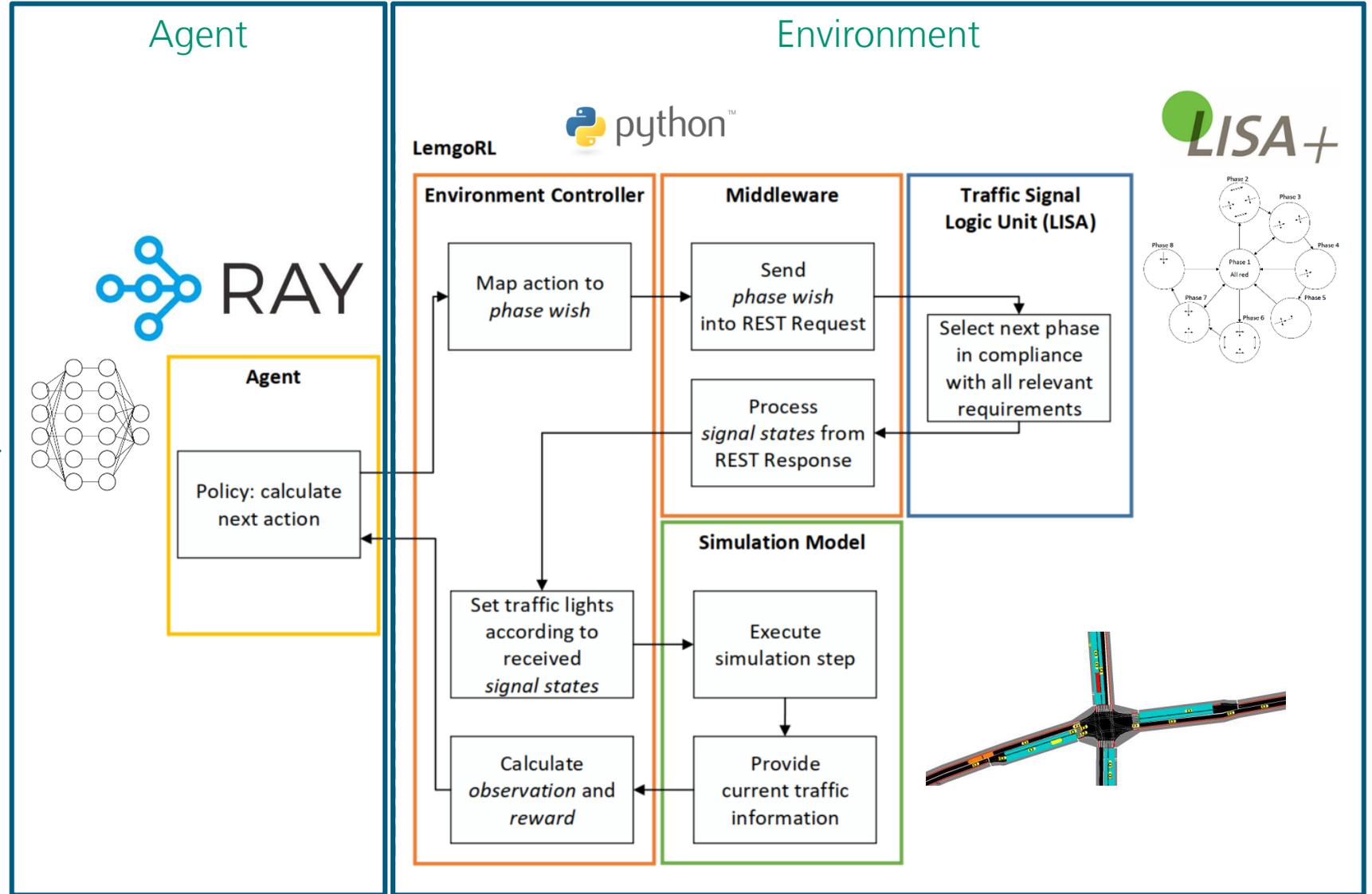
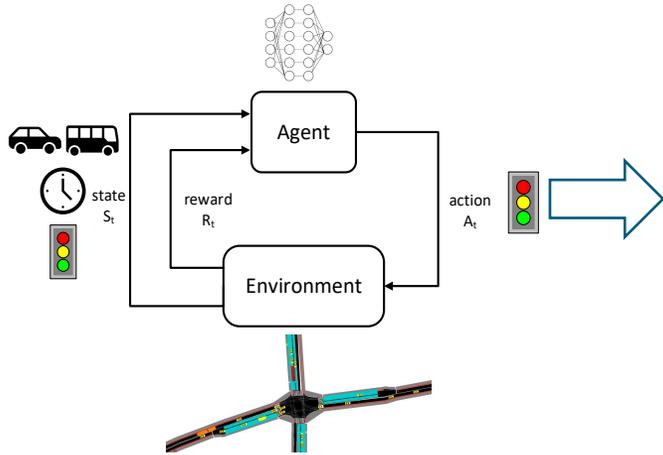
Manches Schaltverhalten der KI ist optimal um das vorgegebene Kriterium (z.B. möglichst geringe Reisezeit) zu optimieren...

...aber suboptimal aus „verkehrspsychologischer“ Sicht.

- Verkehrspsychologische Aspekte nicht/kaum in Reward-Funktion abbildbar
- Lösung: Integration von Domänenwissen in das Action Masking Module → RL-Agent „kennt“ damit unerwünschtes Verhalten

LemgoRL

Trainings-Framework



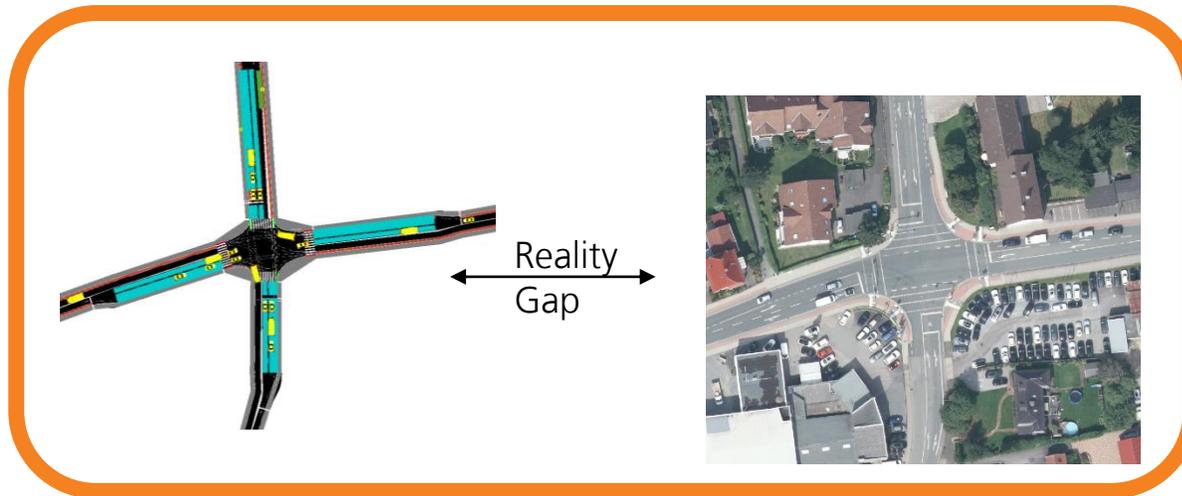
<https://github.com/rl-ina/lemgorl>

Simulation-to-Reality Gap

Fahrverhalten

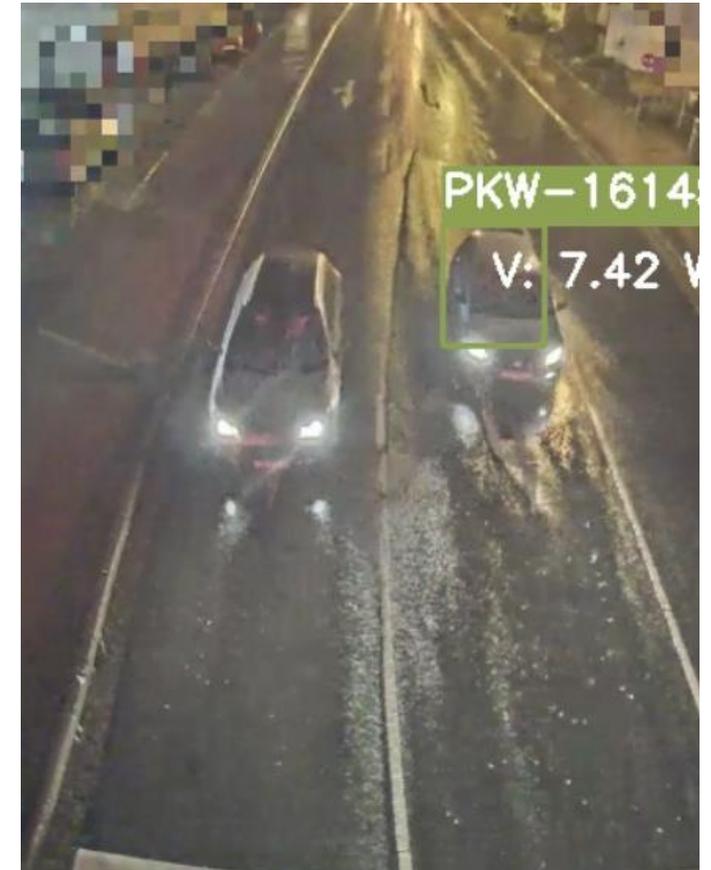
Verkehrsaufkommen
und -muster

Kreuzungs-
geometrie



Fahrzeugeigenschaften

Sensorrauschen



Methoden um das Sim-2-Real Gap zu überwinden

Domain Randomization und Meta Reinforcement Learning

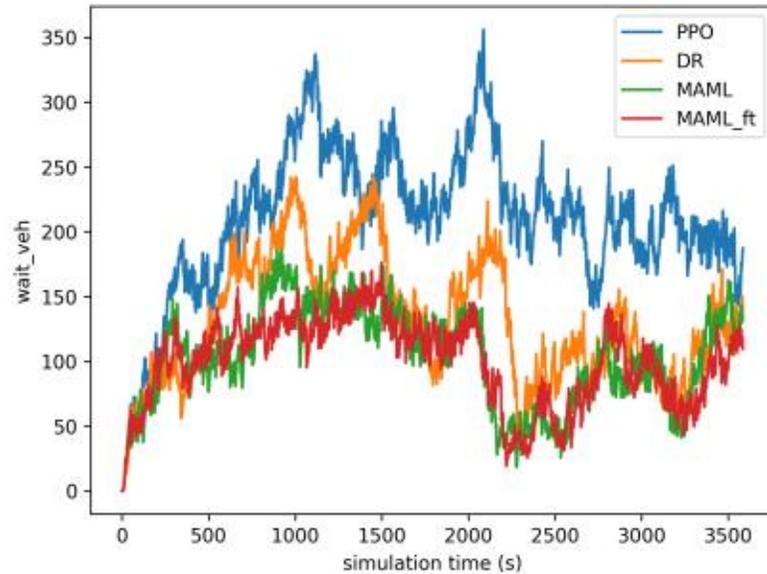
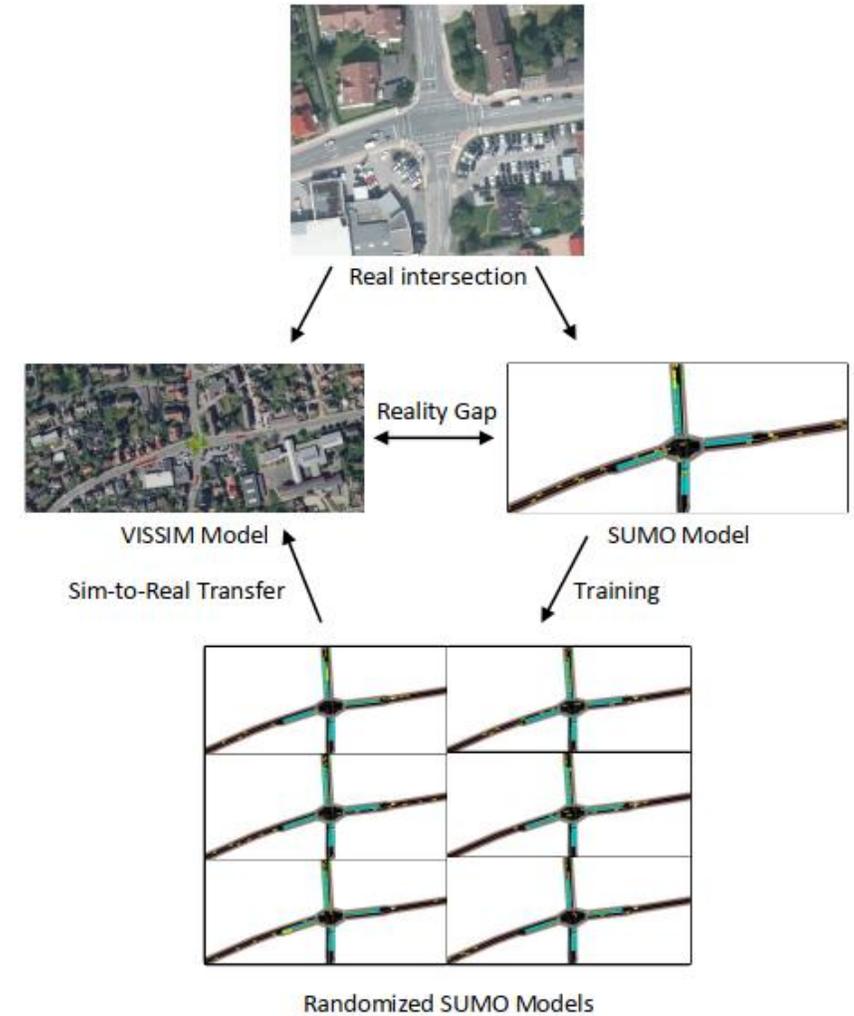
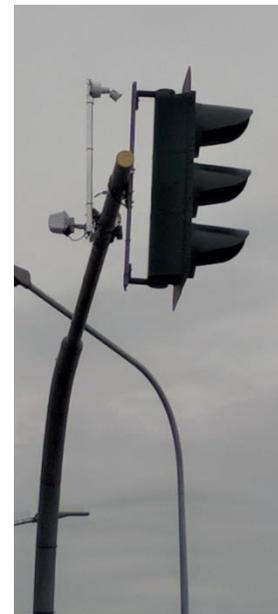


Fig. 3: wait_veh for all algorithms in evaluation setting B. The curves show the average of 5 episodes.





Integration der KI & Hardwarenachrüstung

Sensorik

Positionierung der Kameras



Schaltkasten



Edge-Computer



Kamera an LSA



RiWa 2022-04-12 12:28:37



GB 2022-04-12 14:55:28



EWN 2022-04-12 12:51:54

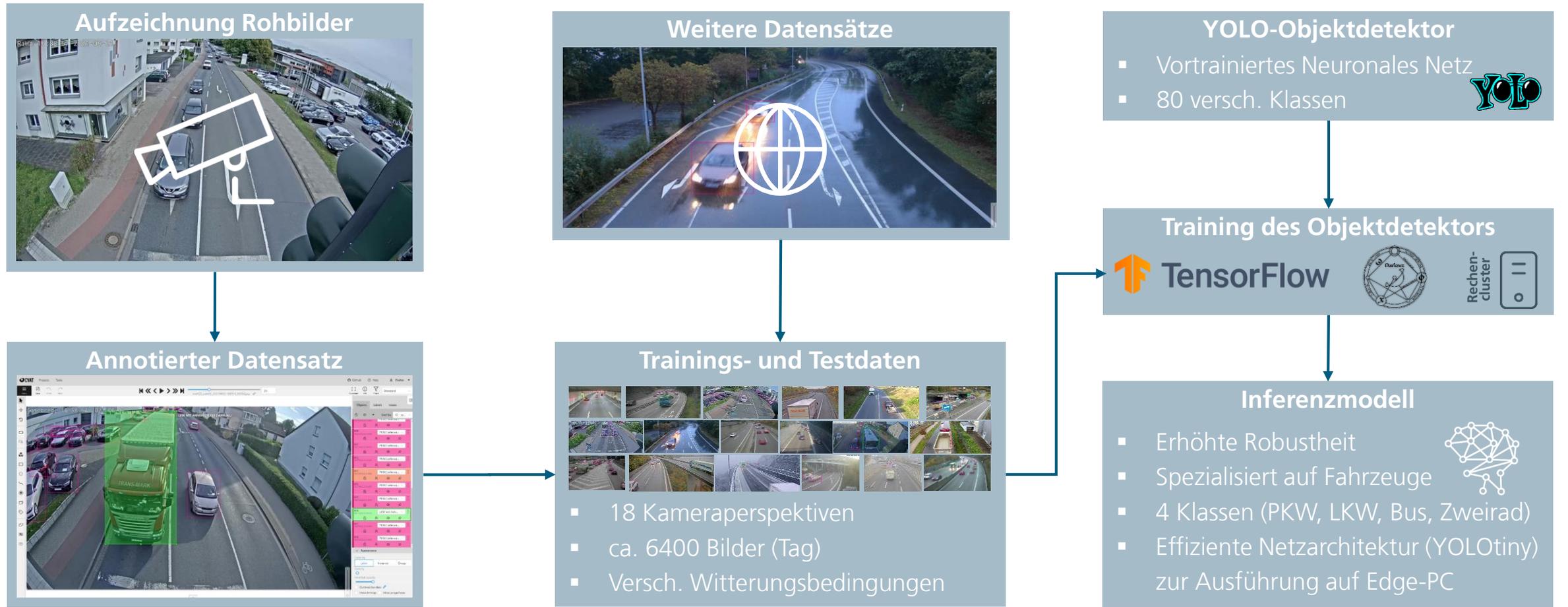


EWS 2022-04-12 15:54:11



Computer Vision

Software und Datensatz





East

Richard-Wagner-Straße

Cam 1



Signal Color

red

Pedestrian Signa...

red

Elapsed Time

42s

Pedestrian Elaps...

6s

Wave

6

Wave

0

Pedestrian WaitL...

0s

Traffic Flow

0

Traffic Flow

0

Pedestrian Elaps...

72s

Travel Time

236

Travel Time

0

Validierung der Bildverarbeitung im Realbetrieb

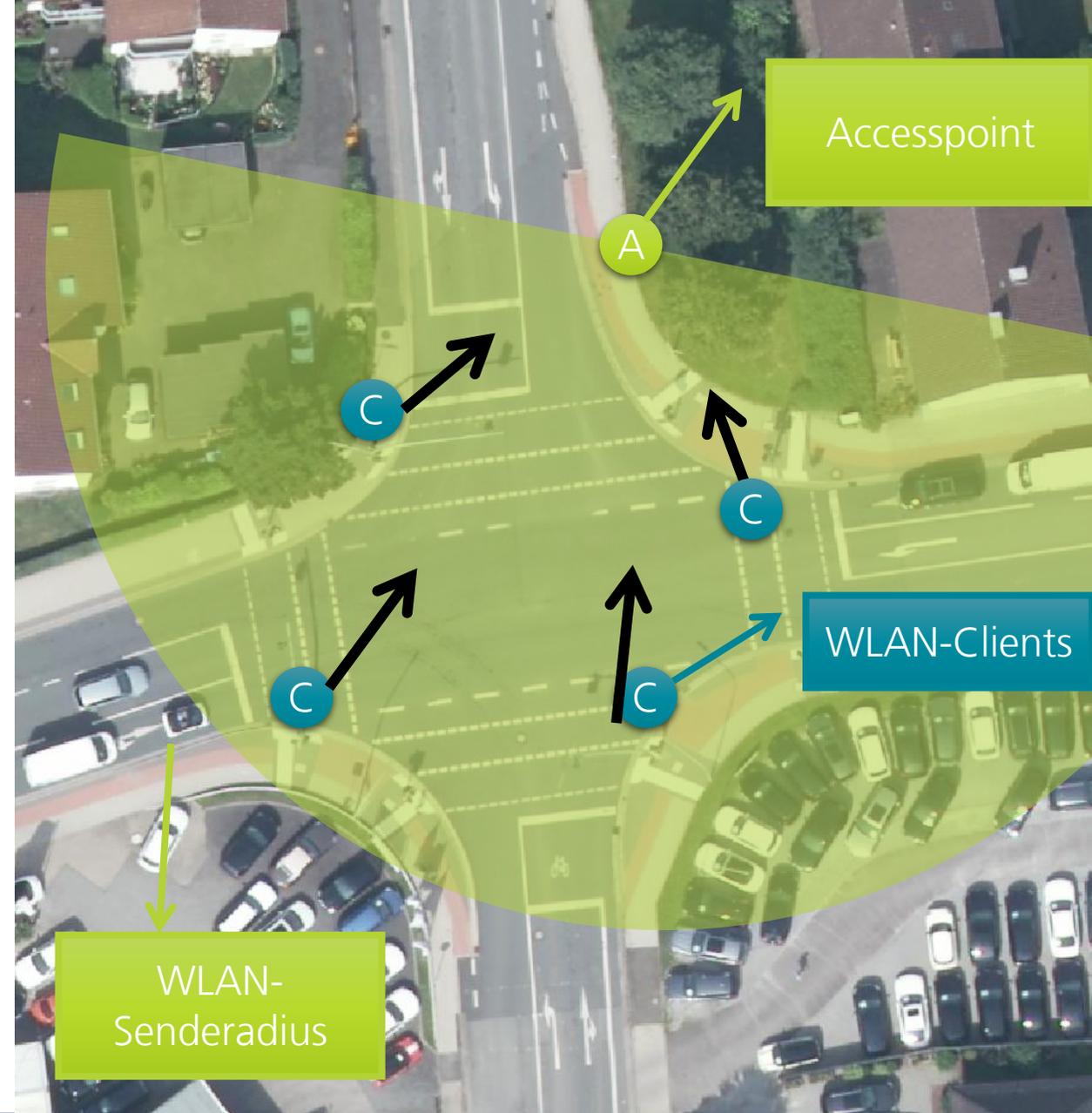
Grenzfälle



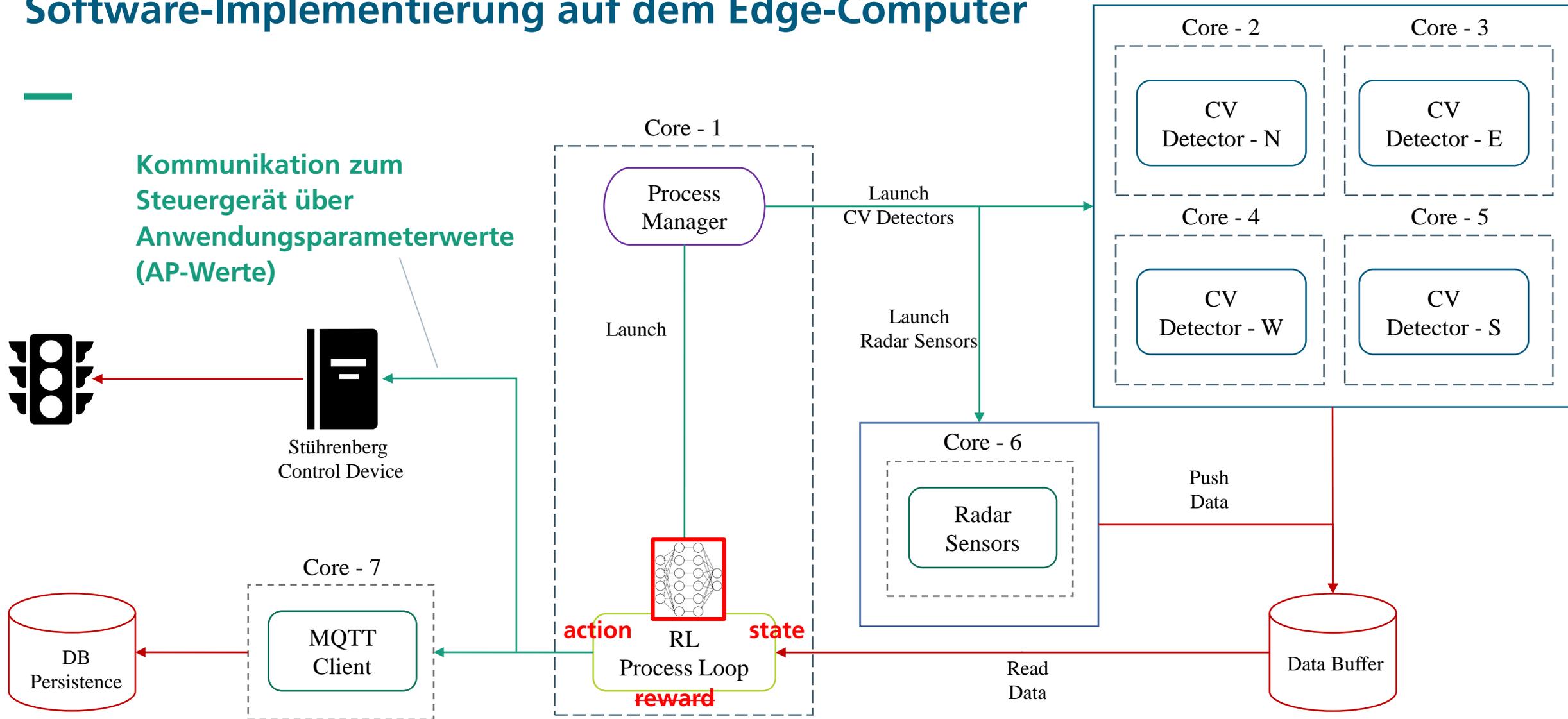
Vernetzung an der Kreuzung

Sensorik zu Schaltkasten

- Kabelgebunden nicht möglich, aufgrund von Hülsenfundamenten → provisorische Kabel oder kabellos
- Entscheidung für kabellose Kommunikation über WLAN (60 GHz + 5 GHz)
- Die 60 GHz Kommunikation hatte Ausfälle → 5 GHz Kommunikation stabiler



Software-Implementierung auf dem Edge-Computer





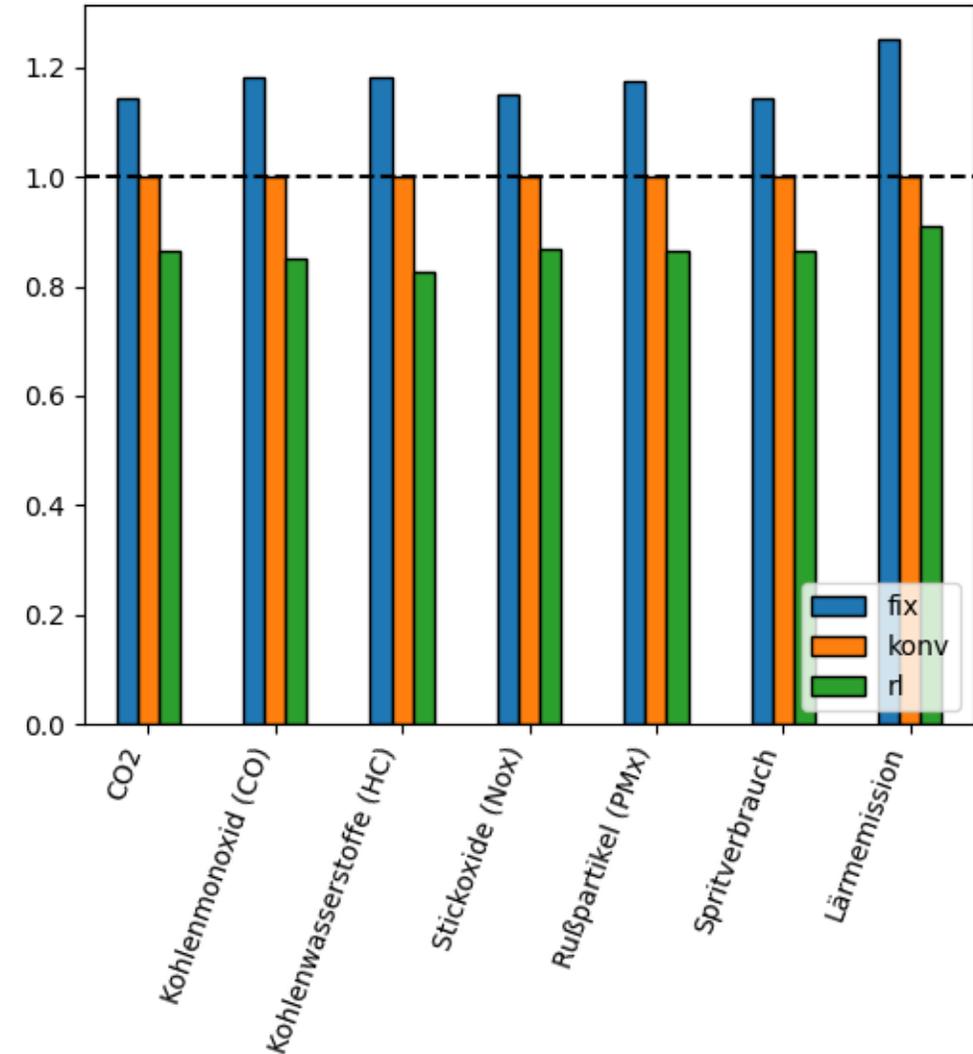
Evaluation der KI im Realbetrieb

Evaluation in der Simulation

Emissionen

- Emissionswerte werden auf Basis des **Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA)** berechnet
 - Von mehreren europäischen Umweltämtern herausgegeben (u.a. deutsches Umweltbundesamt)
 - Seit 1995 kontinuierlich weiterentwickelt
- Emissionswerte normiert auf konv. Steuerung (100%)
- KI verbessert alle Emissionswerte in einer Größenordnung von 10-20%

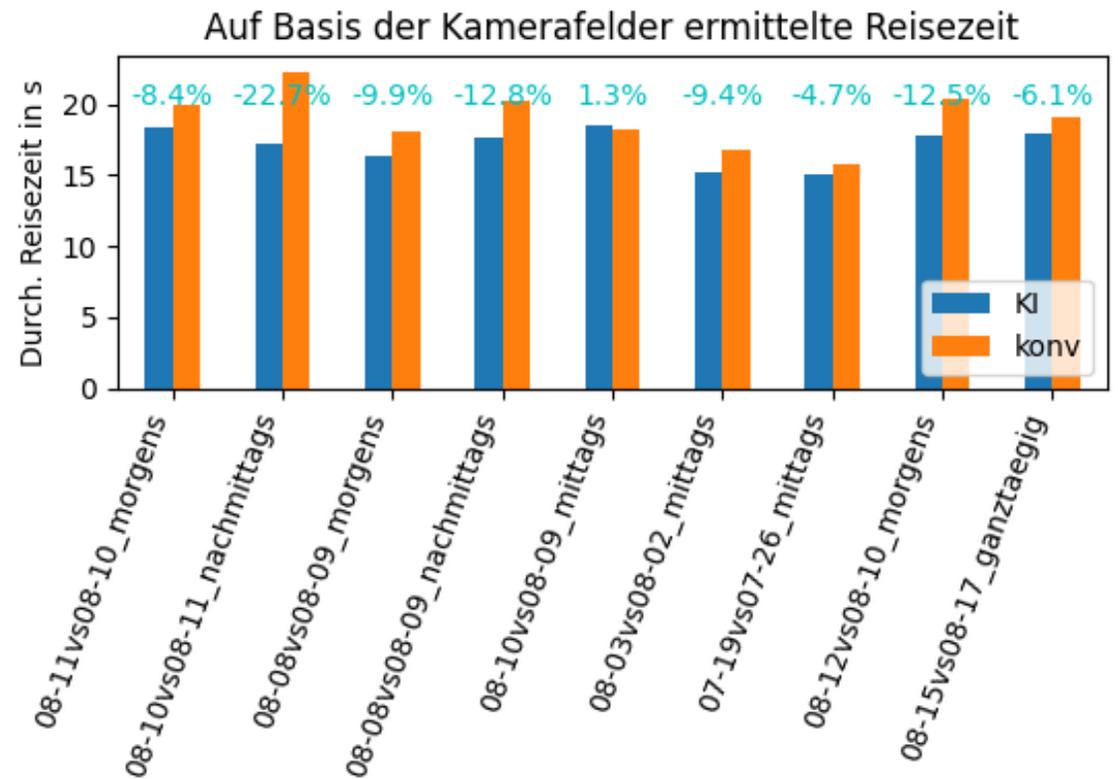
Emissions- und Verbrauchswerte - normiert auf die konv. Steuerung



Evaluation im Realbetrieb (1)

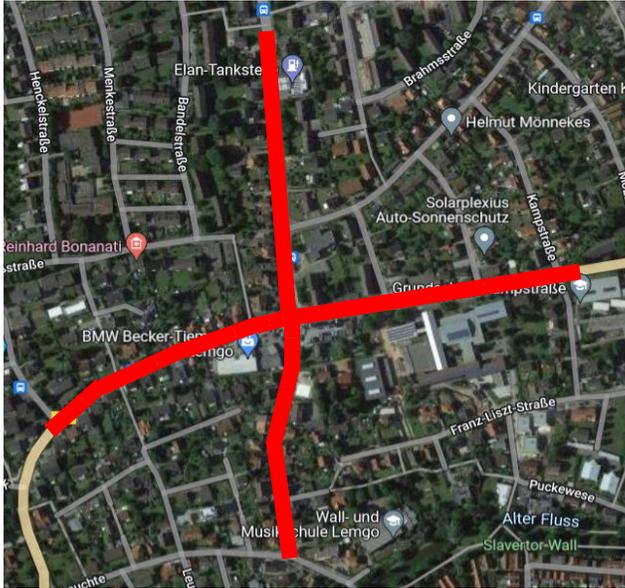
Reisezeiten im „Nah“- und „Fernfeld“

- Vergleich zwischen KI und konv. Steuerung auf Basis von 9 Vergleichen
- Vergleichszeiträume von einer bis zu mehreren Stunden
- Vergleichszeiträume so gewählt, dass das Verkehrsaufkommen sehr ähnlich ist
- Hohe und mittlere Verkehrsaufkommen betrachtet
- Reisezeit ermittelt auf Basis der Kamerafelder
- **Durchschnittlich reduziert die KI die Reisezeit um ca. 10%**

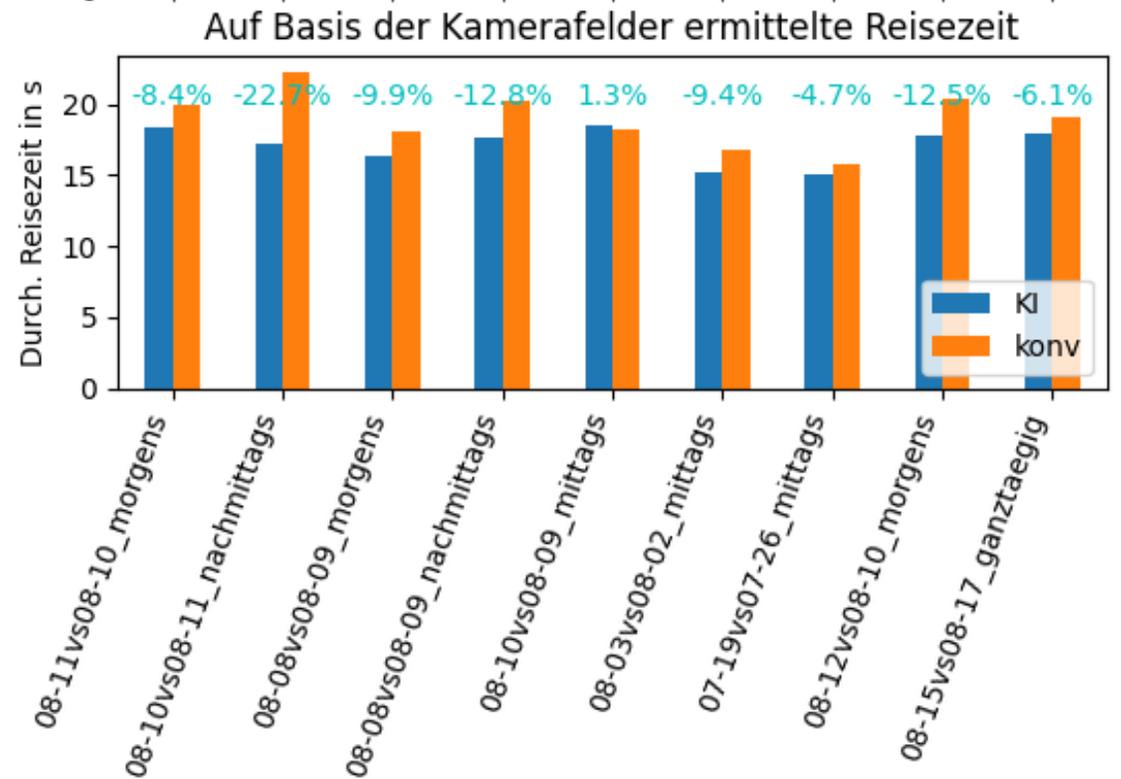
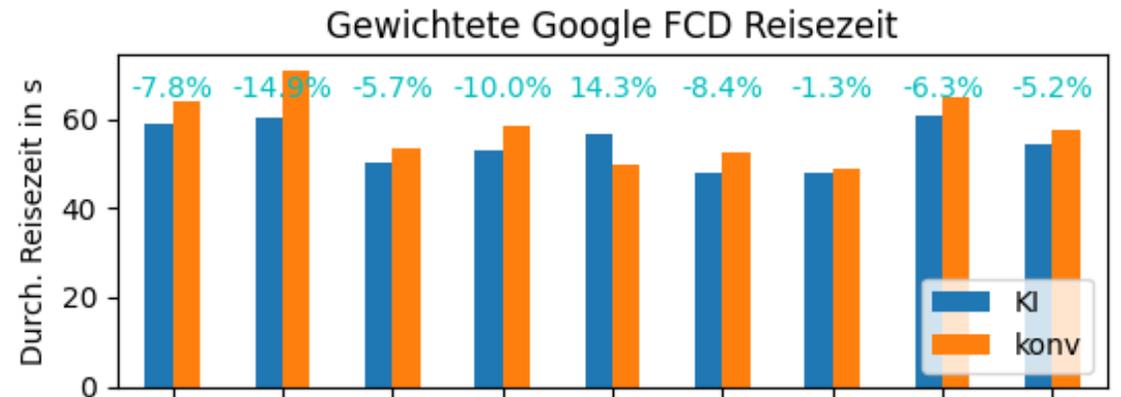


Evaluation im Realbetrieb (2)

Reisezeiten im „Nah“- und „Fernfeld“



- Zur weiteren Validierung der Messung: Betrachtung der Reisezeit auf Basis der Google Floating Car Data für je 300m in jede Richtung
- Motivation: Kamerafeld erfasst nicht Fahrzeuge, die außerhalb des Kamerafelds im Stau stehen + hat die Optimierung einen Effekt auf das Fernfeld?
- Eine Reduktion der Reisezeit konnte auch für das „Fernfeld“ nachgewiesen werden



Fazit

Fazit

1

Weltweit erste RL-basierte LSA-Steuerung konnte im Realbetrieb umgesetzt werden.

2

Verbesserung des Verkehrsflusses → Potential für die Optimierung der Verkehrssteuerung wurde deutlich.

3

Vielversprechender Ansatz für künftige V2X-Technologien, da RL mit zusätzlichen Daten skaliert



Pressemeldungen

Nationales und Internationales Medienecho

Künstliche Intelligenz soll Wartezeit an Ampeln reduzieren

Anhand echter Verkehrsdaten lernt ein Algorithmus, die Ampelphasen zu optimieren. Bisher allerdings nur in der Simulation. Jetzt soll der Praxistest folgen.

Lesezeit: 4 Min.  In Pocket speichern

   78



(Bild: monticello/Shutterstock.com)

10.02.2022 08:00 Uhr | MIT Technology Review

Von Gregor Honsel

heise.de

t-online.

Sie sind hier: Home > Auto > Recht & Verkehr > Das alles kann die Ampel der Zukunft

Gegen Rot-Sünder

Deutsche entwickeln schlaueste Ampel der Welt



Von Markus Abrahamczyk
03.02.2022, 14:12 Uhr



Künstliche Intelligenz steuert Ampelanlagen (Quelle: Fraunhofer IOSB-INA)



Mehr Sicherheit für ältere Fußgänger und weniger Rot-Vergehen: Deutsche Forscher haben eine Ampel entwickelt, die alles sieht und vieles weiß. Hier regelt sie demnächst den Verkehr.

t-online.de

FEBRUARY 1, 2022

Traffic lights controlled using artificial intelligence

by Fraunhofer-Gesellschaft



The "KI4LSA" project aims to provide smart, predictive traffic light cha...

Roads are chronically congested and vehicles queue endlessly at junctions. Rush hour is especially bad for long traffic jams. At the

International

Ausblick: KISLEK Projekt

KISLEK: KI zur Steuerung von LSA für verbundene Verkehrsknoten



BERNARD
GRUPPE

 **Fraunhofer**
IOSB-INA

PTV GROUP
part of Umovity


Straßen.NRW.

bast
Bundesanstalt für
Straßenwesen

 **SEESTADT
BREMERHAVEN**

Kontakt

Arthur Müller

Tel. +49 5261 942 90-55

Fax. +49 5261 942 90-90

arthur.mueller@iosb-ina.fraunhofer.de

Fraunhofer IOSB-INA

Institutsteil für industrielle Automation

Campusallee 1

32657 Lemgo

www.fraunhofer-owl.de



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!