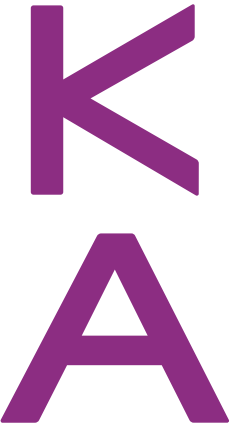


Entwicklung und Evaluation eines auf künstliche Intelligenz gestützten Systems zur Betriebslenkung von Linienbussen im Störfall

Master-Kolloquium



Alltag von Fahrgästen im ÖPNV ...



Quelle: Ritter / Rheinpfalz

Hochschule Karlsruhe

... Ursachen?



- Personalbedingte Fahrtausfälle
- Verspätung durch Verkehrsaufkommen, Witterung oder ÖPNV-Betrieb
- Ungeplante Umleitung durch Unfall, Streckensperrung oder Bauarbeiten



Störungsmeldungen

Bus-/Zuglinie auswählen:

1 RSV Stadtverkehr Reutlingen (1)

Walddorf - Markt

Aufgrund des Marktes in Walddorf wird am Donnerstag, 23. Februar 2023, von 05:00 Uhr gefahren und die Haltestelle „Walddorf Rathaus“ kann nicht angefahren werden.

Die beschriebenen Fahrplanänderungen sind nicht in der EFA/naldo-App erfasst!



... Ursachen?



- Personalbedingte Fahrtausfälle
- Verspätung durch Verkehrsaufkommen, Witterung oder ÖPNV-Betrieb
- Ungeplante Umleitung durch Unfall, Streckensperrung oder Bauarbeiten

Störungsmeldungen

Bus-/Zuglinie auswählen:

1 RSV Stadtverkehr Reutlingen (1)

Walddorf - Markt

Aufgrund des Marktes in Walddorf wird am Donnerstag, 23. Februar 2023, von 05:00 Uhr gefahren und die Haltestelle „Walddorf Rathaus“ kann nicht angefahren werden.

Die beschriebenen Fahrplanänderungen sind nicht in der EFA/naldo-App erfasst!



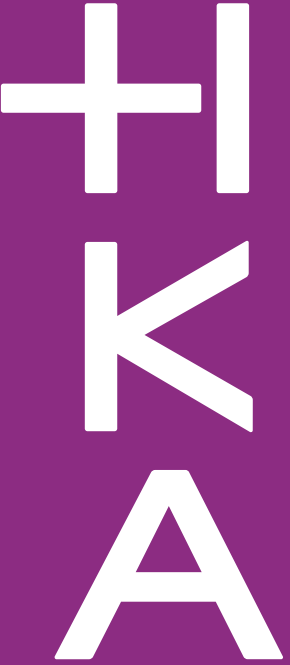
- Zielsetzung
- Künstliche Intelligenz im ÖPNV
- Verschiedene MachineLearning-Verfahren
- Bestärkendes Lernen in der Anwendung
- Konzeption eines Prototyps
- Evaluation und Ergebnisse
- Diskussion

Ziel ist ein Grundkonzept für ein ITCS, welches im Störfall selbstständig Umleitungen anordnen kann und im Optimalfall aus der Vergangenheit lernt

- Welche Daten werden für das Training benötigt?
- Welche Strategien eignen sich für die automatische Anordnung von Umleitungen in einem ITCS?
- Bietet ein solches System Potenzial für einen zeitnahen Praxiseinsatz?

- **Aktuell** Forschungsprojekt KARL
 - KI-Forschung mit Schwerpunkt Arbeit und Lernen
 - Teilbereich: KI-Assistent für Leitstellenpersonal
- Forschungsprojekt U-THREAT
 - Resilienz von U-Bahnsystemen bei externen Einflüssen (Brände, Überschwemmungen, ...)
 - Aufrechterhaltung des Betriebes durch Zugriff auf Wissen aus der Vergangenheit
- Routing um Kriminalitätshotspots (Levy et al.)
 - KI trainiert optimale Routen zur Umgehung von Kriminalitätshotspots





Verschiedene MachineLearning-Verfahren

Verschiedene MachineLearning-Verfahren

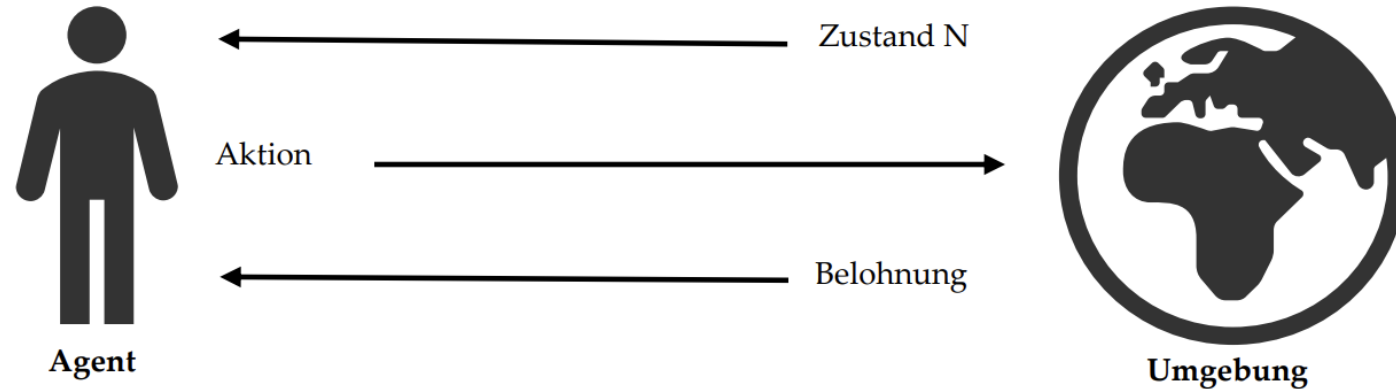
Bestärkendes Lernen

- Arbeitet ohne Trainingsdatensatz
- Kein gesondertes Modell erforderlich
- **Agent** durchläuft verschiedene **Zustände** innerhalb einer **Umgebung**
 - Für jeden Zustandsübergang erhält der Agent einen Gewinn
 - Unterwegs gilt es einen möglichst hohen Gewinn zu erhalten
 - Abbruchkriterium: Zeit oder definierter Zielzustand
- Trial-and-Error Verfahren mit mehreren **Episoden**
 - Training findet in einer **Simulationsumgebung** statt
 - Ausreichende Anzahl an Episoden führt zu sichererem Verhalten
- Kombinationen mit verschiedenen ML-Ansätzen (KNN, ...) bekannt



Verschiedene MachineLearning-Verfahren

Bestärkendes Lernen



Quelle: in Anlehnung an Schmitz, 2017

- >>> Gut geeignet, wenn keine gelabelten Daten vorliegen
 - Es wird nur eine Simulationsumgebung mit ihren wichtigsten Rahmenbedingungen benötigt
- >>> Ausgehend von einem bestimmten Systemzustand kann stets die optimale Aktion gewählt werden
 - **Systemzustand:** Streckensperrung / **Aktion:** Dispositionsmaßnahme

Verschiedene MachineLearning-Verfahren

Gewählte ML-Verfahren im Vergleich



Q-Learning

- Off-Policy-Algorithmus
 - Training in ϵ -Greedystrategie
 - Betrieb in Greedystrategie
- Keine Exploration nach dem Training
- Werte in Q-Tabelle oder durch Funktions-Approximation

(Expected-) SARSA

- On-Policy-Algorithmus
 - Training und Betrieb in derselben Strategiefunktion
- Exploration vor und nach dem Training gleich
- Werte in Q-Tabelle oder durch Funktions-Approximation
- **Expected SARSA:** Priorisiert bestimmte, wahrscheinlich gewinnbringendere Aktionen aus Erfahrung



- **Umgebung:** Streckennetz für eine Linie oder eine Fahrt
- **Simulationsumgebung:** Betrieblich wichtige Eigenschaften
 - Dient zur Bewertung von Zustandsübergängen
 - Berücksichtigt bei der Bewertung
 - Zusätzlicher Weg-/Zeitbedarf
 - Anzahl ausgelassener Haltestellen
 - Wird eine gesperrter Abschnitt umfahren oder nicht?
- **Agent:** Fahrzeug auf einer Linie oder Fahrt
- **Zustand:** Wird ausgedrückt durch
 - Streckenzustand (gefahrbar/gesperrt)
 - Fahrtzustand (betroffen/nicht betroffen)



Bestärkendes Lernen in der Anwendung

Die $n\varepsilon$ -Greedystrategie

- Klassische Greedystrategie
 - Es wird stets jenes Element mit der höchsten Bewertung gewählt
- Klassische ε -Greedystrategie
 - Mit einer Wahrscheinlichkeit von ε wird jenes Element mit der höchsten Bewertung gewählt
 - Mit einer Wahrscheinlichkeit von $(1 - \varepsilon)$ wird ein beliebiges anderes Element gewählt
- Experiment $n\varepsilon$ -Greedystrategie
 - Mit einer Wahrscheinlichkeit von ε wird jenes Element mit der höchsten Bewertung gewählt
 - Mit einer Wahrscheinlichkeit von $(1 - \varepsilon)$ wird eines der n nächsten Element gewählt



Bestärkendes Lernen in der Anwendung

Bewertungsfunktion

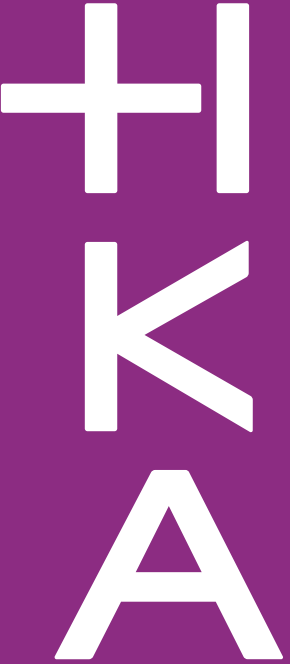
- Liefert Werte im Intervall [-1; 1]
- Das Fahrzeug ist nicht von einer Störung betroffen
 - Es wird keine Umleitung gewählt >>> Bewertung = 1
 - Es wird eine Umleitung gewählt >>> Bewertung = -1
- Das Fahrzeug ist von einer Störung betroffen
 - Es wird keine Umleitung gewählt >>> Bewertung = -1
 - Es wird eine Umleitung gewählt
 - Kriterium 1: Fahrweglänge und Zeitbedarf
 - Kriterium 2: Anzahl ausgelassener Haltestellen
 - Gesamtbewertung

$$f_l = \left(\frac{\text{Länge Regelfahrweg}}{\text{Länge Regelfahrweg mit Umleitung}} \right)^{\frac{g_l}{4}}$$

$$f_s = \left(\frac{\text{Anzahl erreichte Haltestellen}}{\text{Anzahl planmäßige Haltestellen}} \right)^{\frac{g_s}{4}}$$

$$r = 1 * f_l * f_s$$



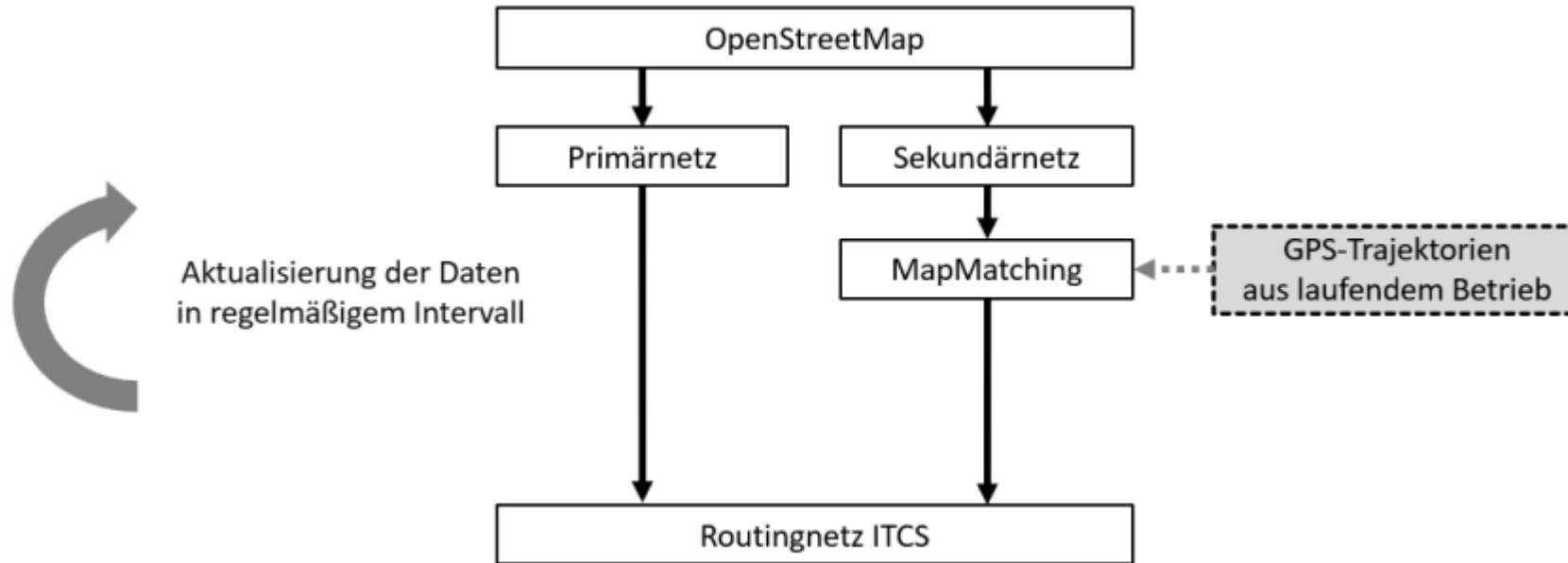


Konzeption eines Prototyps

Konzeption eines Prototyps

Verfügbare Datenquellen

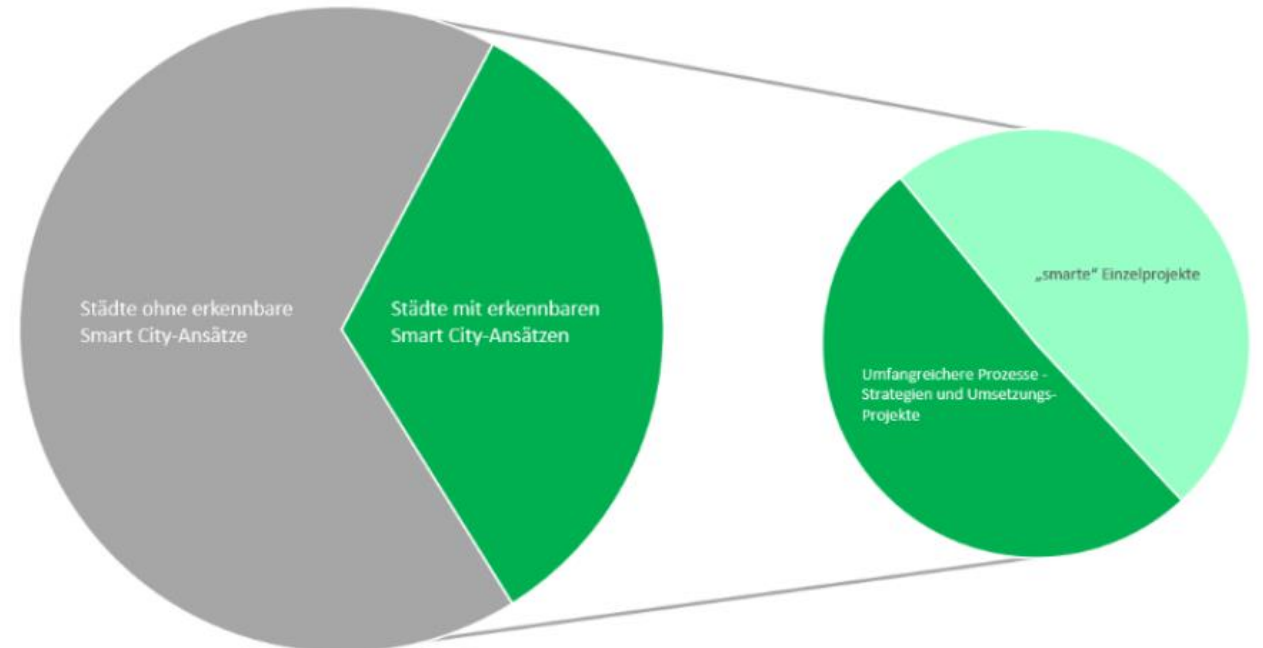
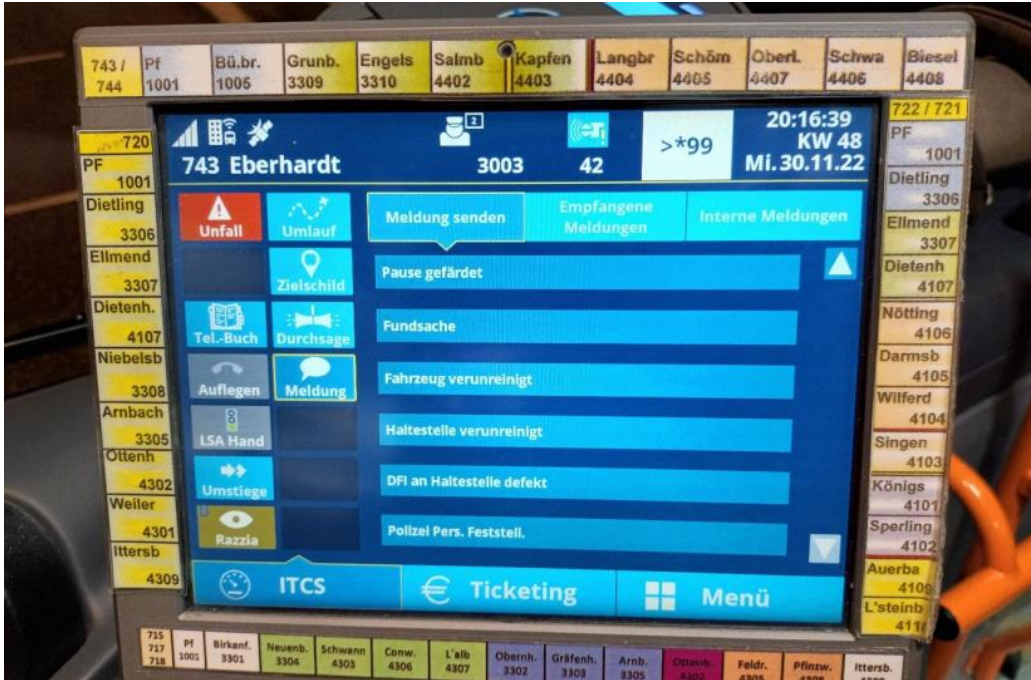
- Kartendaten und Routing
 - OpenStreetMap als Hauptdatenquelle
 - Mehrstufige Ableitung eines für Busse geeigneten Netzes



Konzeption eines Prototyps

Verfügbare Datenquellen

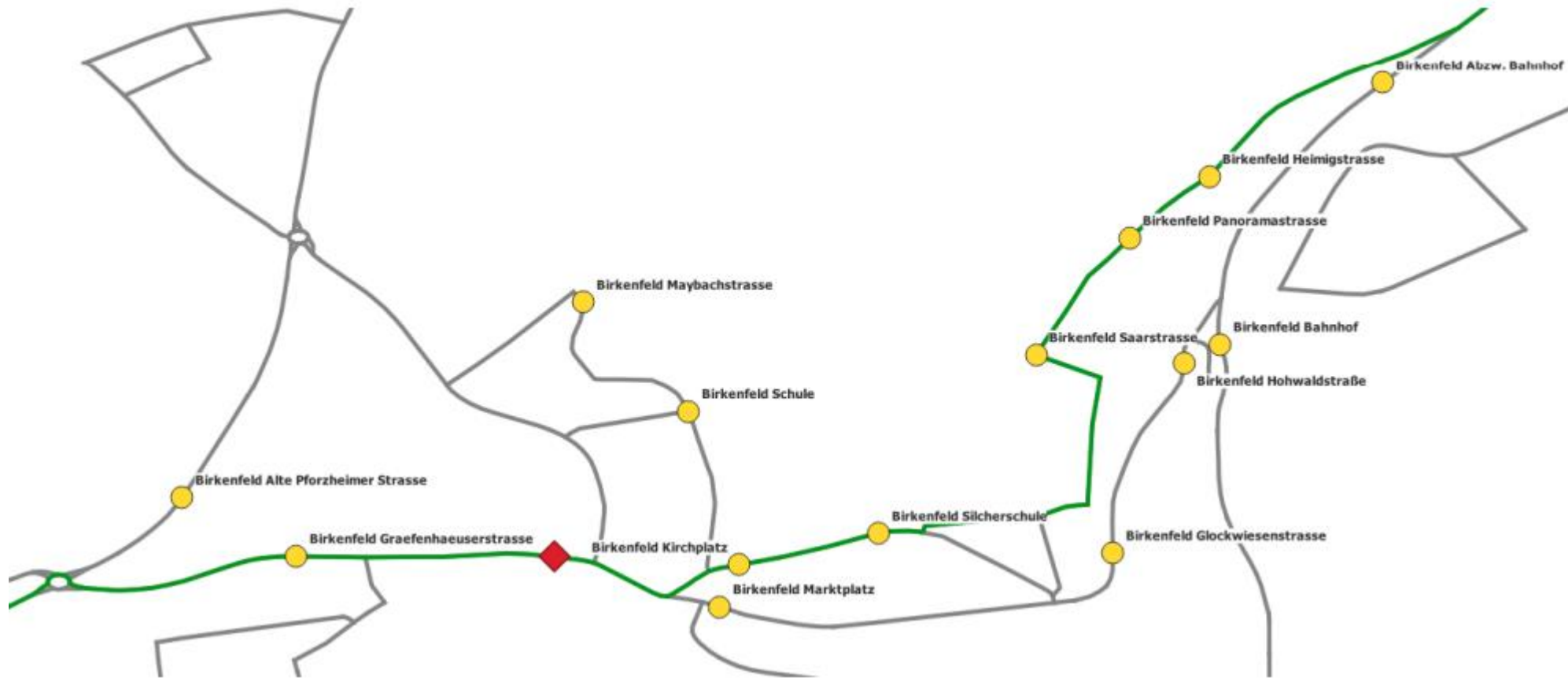
- Störungsmeldungen
 - Meldungen aus dem ITCS
 - SmartCity (wenn verfügbar und zuverlässig)

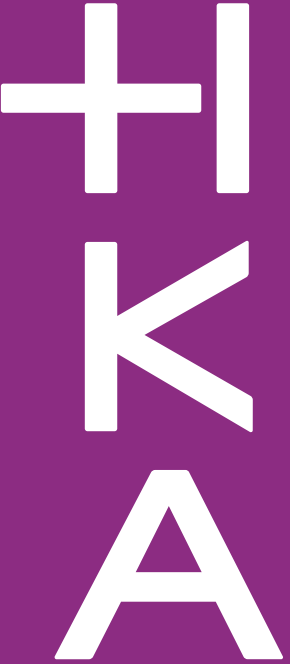


Konzeption eines Prototyps

Beispiel-Szenarien

Vorortsszenario



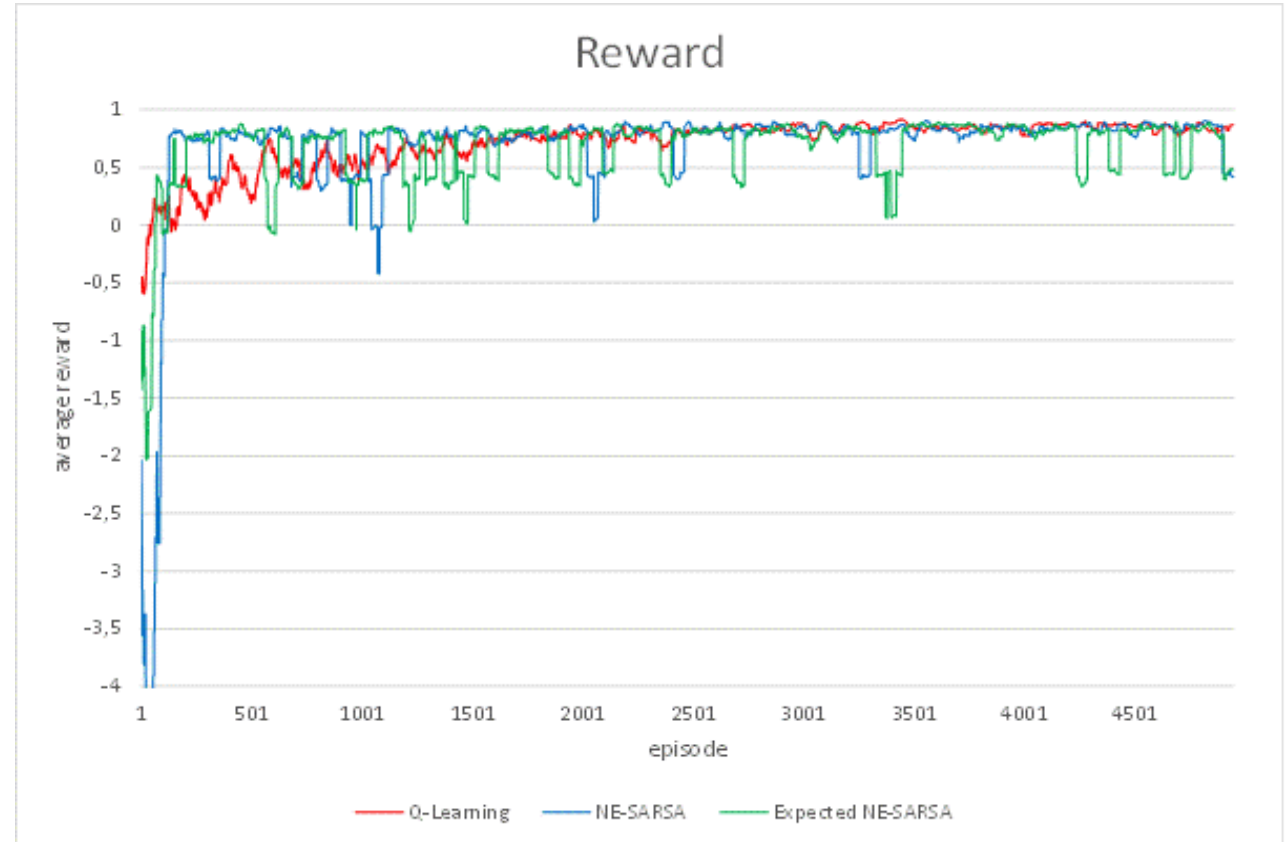


Evaluation und Ergebnisse

Evaluation und Ergebnisse

Vergleich der gewählten ML-Algorithmen

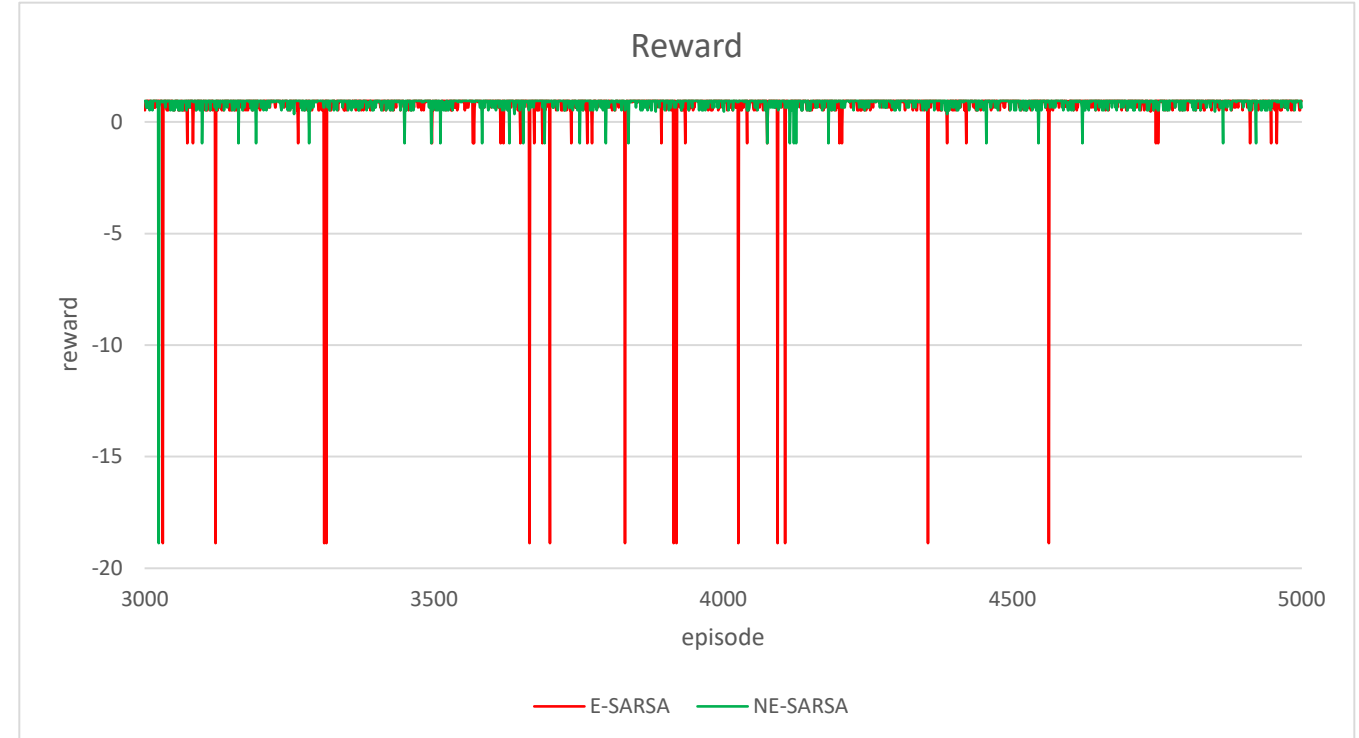
- Q-Learning
 - Langsamer
 - Sinkende Exploration durch fallendes ϵ
- SARSA und Expected SARSA
 - Mit konstanter $n\epsilon$ -Greedystrategie
 - Schneller
 - Höhere Exploration



Evaluation und Ergebnisse

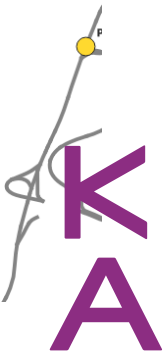
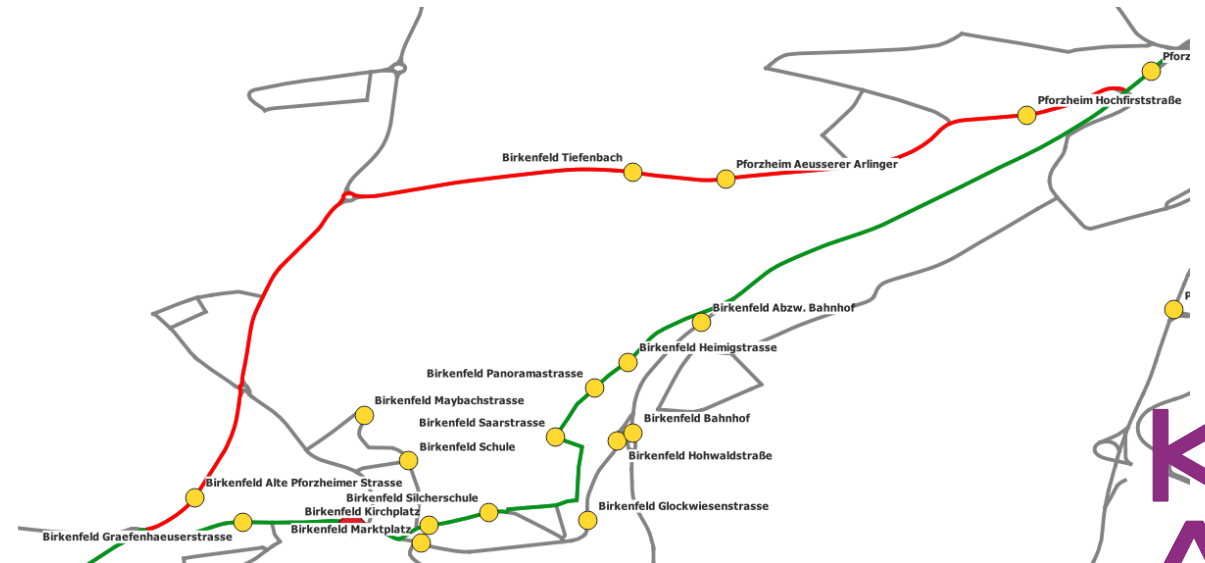
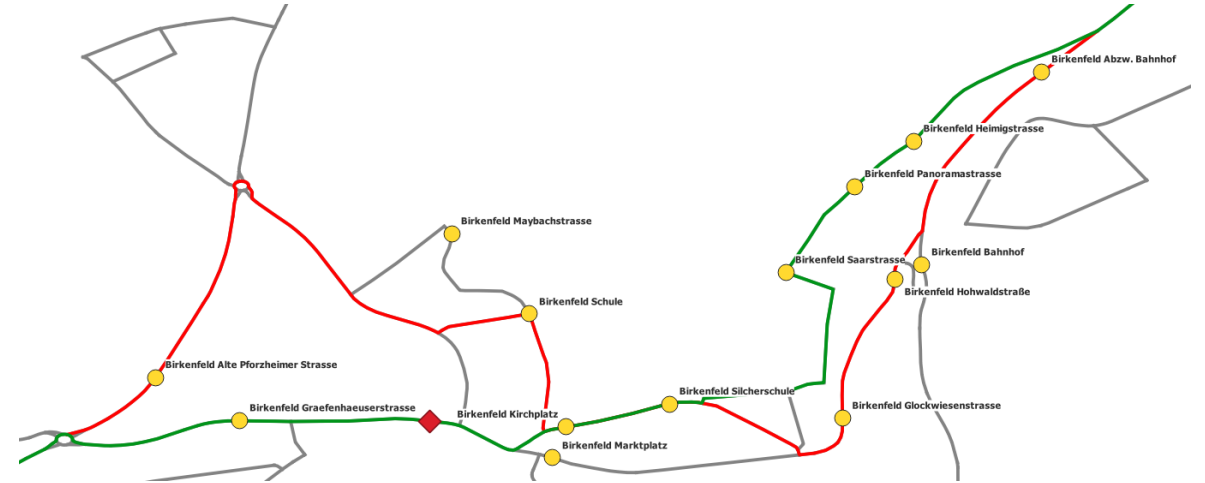
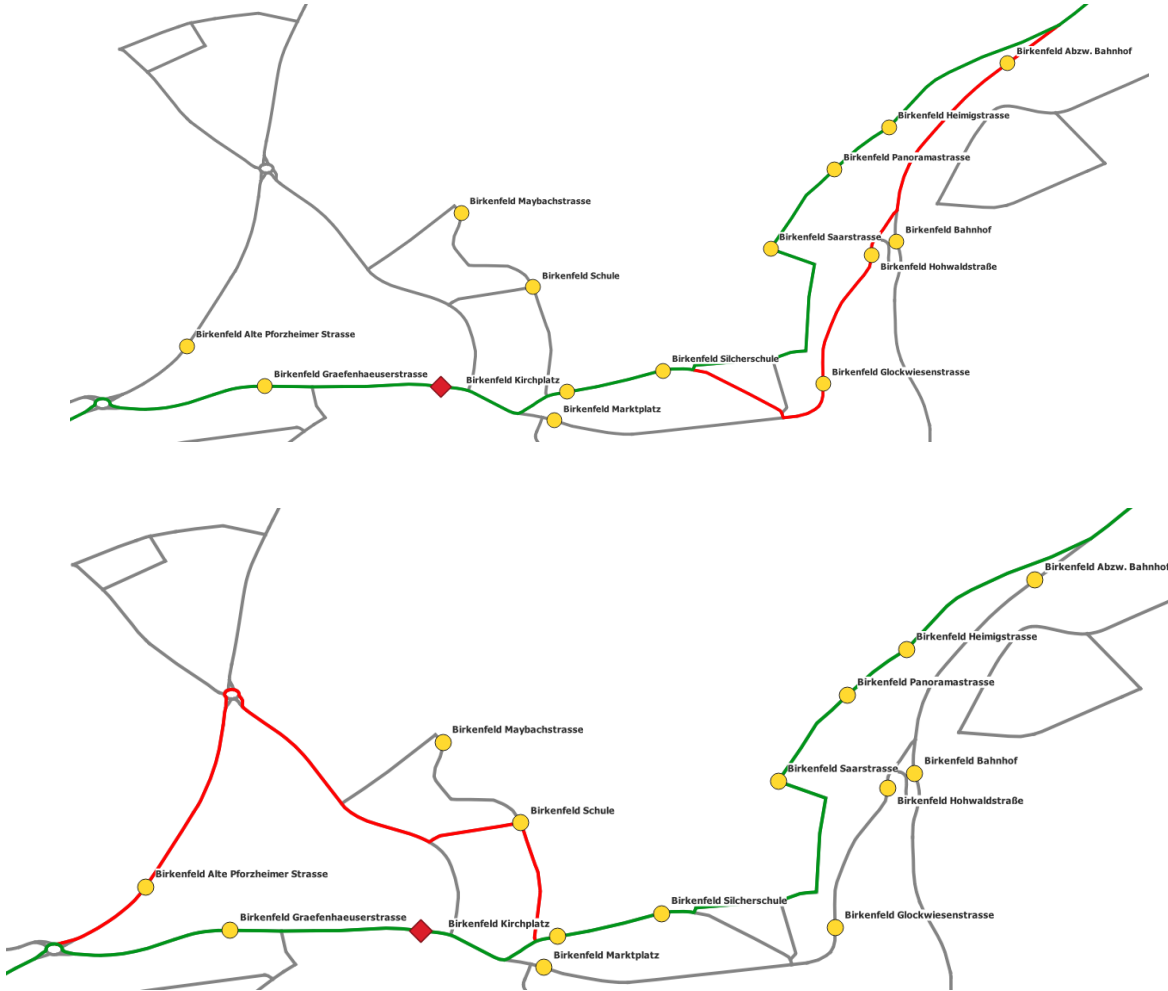
Einfluss der ϵ -Greedystrategie

- Exploration findet generell statt
- Einbrüche des Gewinns deutlich kleiner
 - Gesamtschaden in produktivem ITCS überschaubar



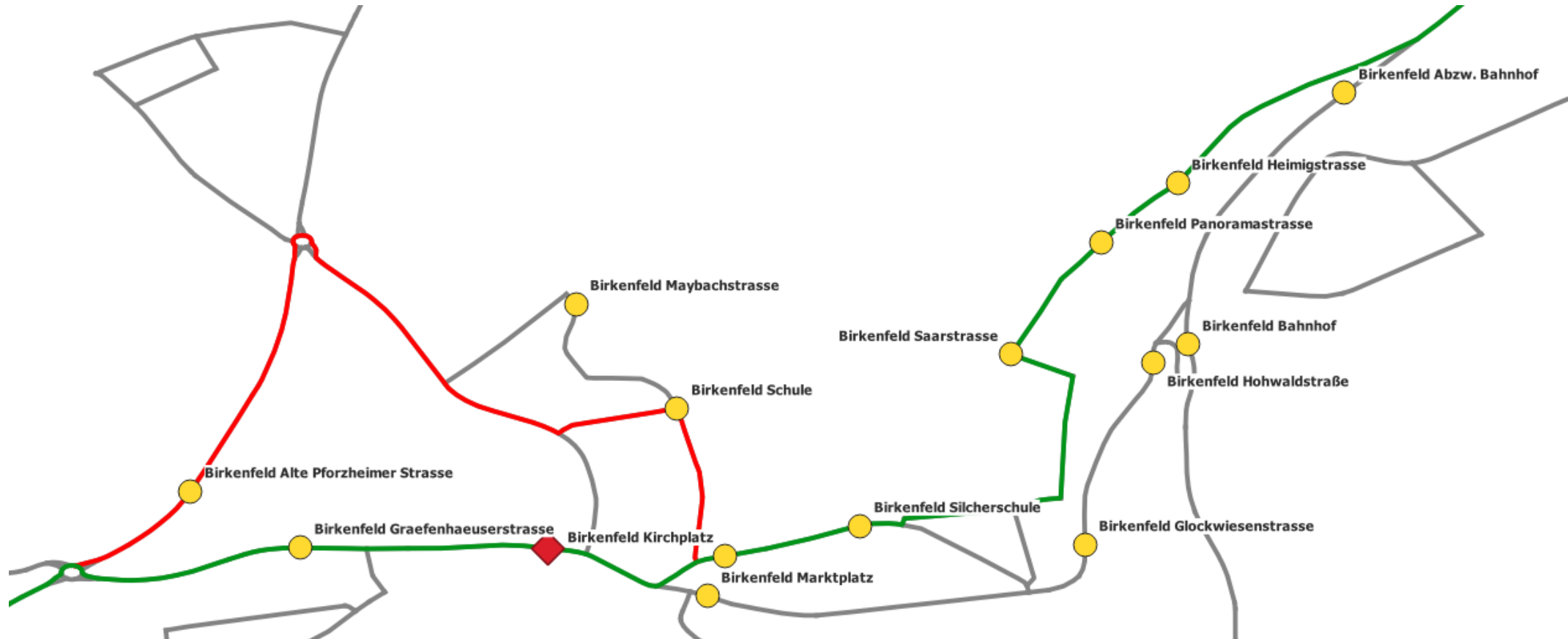
Evaluation und Ergebnisse

Auszug aus Aktionsbewertungen am Beispiel des Vorortzenarios



Evaluation und Ergebnisse

Auszug aus Aktionsbewertungen am Beispiel des Vorortszenarios



Evaluation und Ergebnisse

Auszug aus Aktionsbewertungen am Beispiel des Vorortszenarios



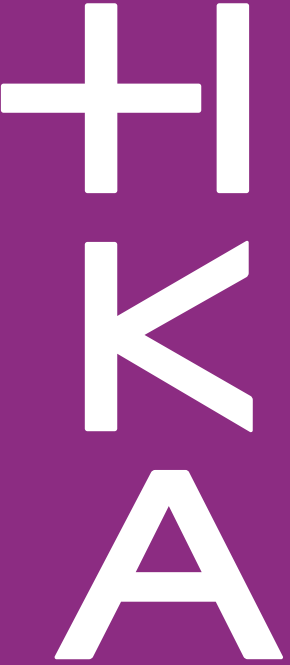
Aktion	Q-Learning	SARSA	Expected SARSA
Keine Umleitung	-0,3244	-1,1596	-1,0105
Stadt #1	-0,7765	-1,0000	-1,0000
Stadt #2	-1,0885	-1,0000	-1,0000
Stadt #3	-1,2499	-1,0000	-1,0000
Stadt #4	-1,0855	-1,0000	-1,0000
Land #1	-0,7764	-1,0000	-1,0000
Land #2	-0,8840	-1,0000	-1,0000
Land #3	-1,1318	-1,0000	-1,0000
Land #4	-1,0000	-1,0000	-1,0000
Land #5	-1,0809	-1,0000	-1,0000
Vorort #1	-0,7773	-1,0000	-1,0000
Vorort #2	0,4989	0,4989	0,4989
Vorort #3	1,0040	1,0040	1,0040
Vorort #4	0,1709	0,1780	0,1780

Evaluation und Ergebnisse

Zusammenfassung und Fazit

- Umsetzung komplett mit bestehenden / einfach zu beschaffenden Daten möglich
- Beste Ergebnisse mit SARSA und $n\epsilon$ -Greedystrategie
 - Alternativ Q-Learning, allerdings ohne fortlaufende Exploration
- Umsetzung nach derzeitigem Stand möglich
 - ITCS muss vorhanden sein
 - Daten müssen aufgezeichnet werden
- Weiterer Forschungsbedarf
 - Einbettung in ein produktives Gesamtsystem
 - SmartCity als Quelle für Störungsmeldungen
 - Berücksichtigung von Teilsperungen
 - Berücksichtigung von mehreren Sperrungen pro Fahrweg





Offene Fragen ... ?