



Methoden zur Fahrbahnerfassung in komplexen Fahrsituationen

Sayed Bouzouraa, Tobias Weiherer, Jens Storz, Michael Reichel,
Ulrich Hofmann

Entwicklung Fahrerassistenzsysteme, AUDI AG

Gliederung

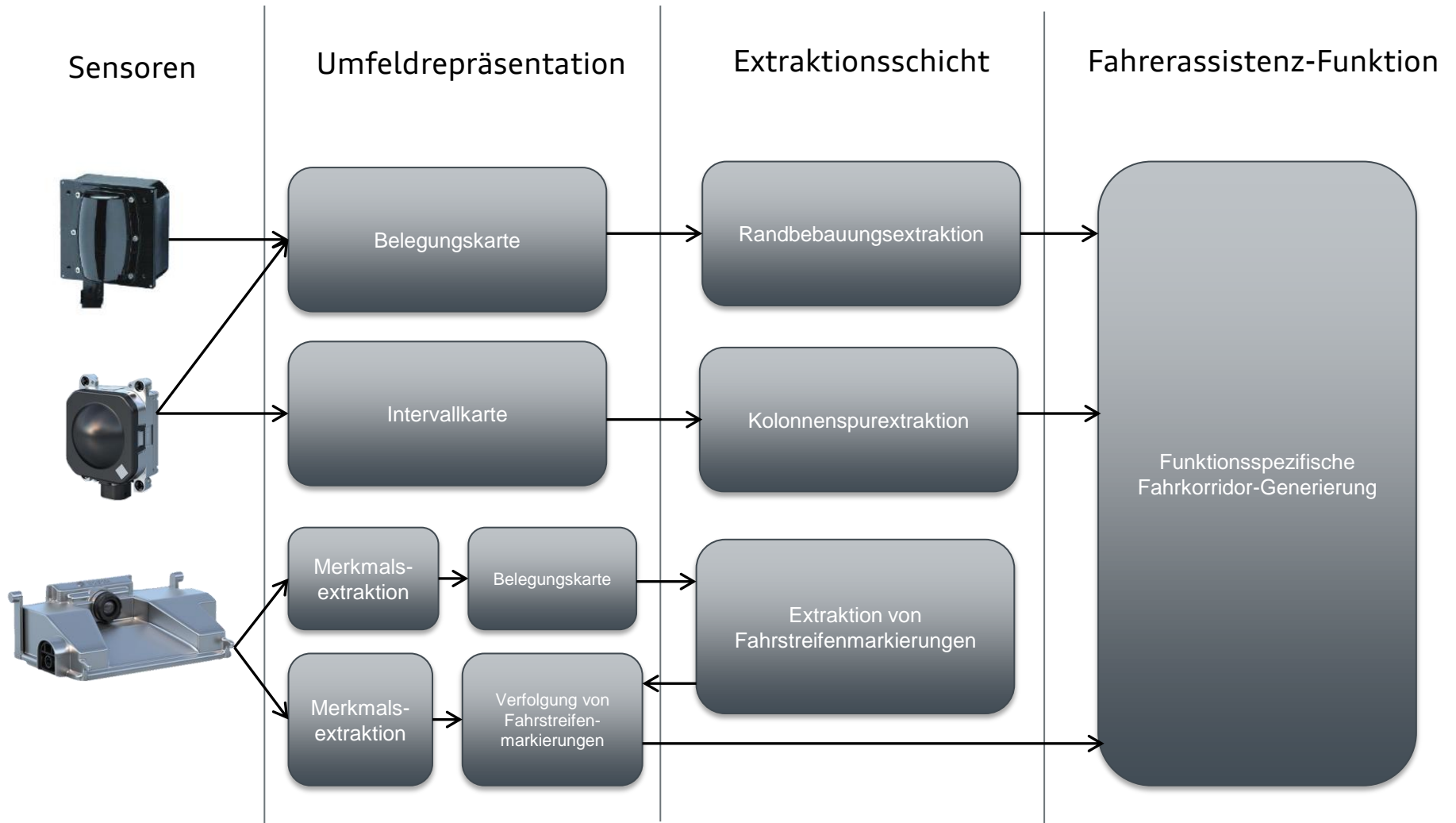
- ▶ Motivation
- ▶ Systemarchitektur
- ▶ Erkennung von Fahrzeug-Kolonnen
- ▶ Erkennung von Randbebauungsverläufen
- ▶ Funktionsspezifische Generierung des Fahrkorridors
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

- ▶ Für hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme in komplexen Fahrsituationen (Baustellen, Verdeckungen, dichter Verkehr) müssen alle relevanten Fahrbahninformationen robust erfasst werden
- ▶ Ziel: Erfassung der Fahrstreifenmarkierungen, der Randbebauungsverläufe und der Fahrzeugkolonnen
- ▶ Regelbasierte Plausibilisierung und Generierung der relevanten Fahrkorridorbegrenzungen

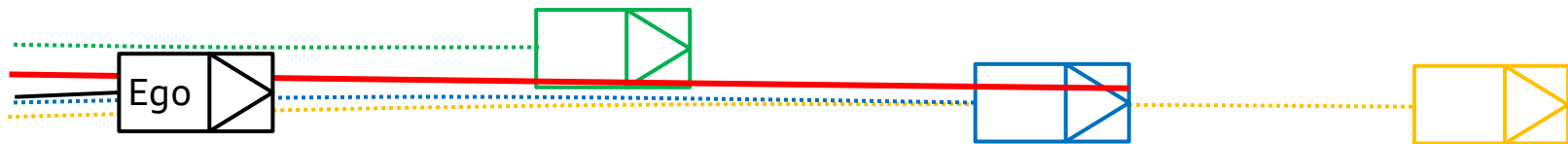


Systemarchitektur



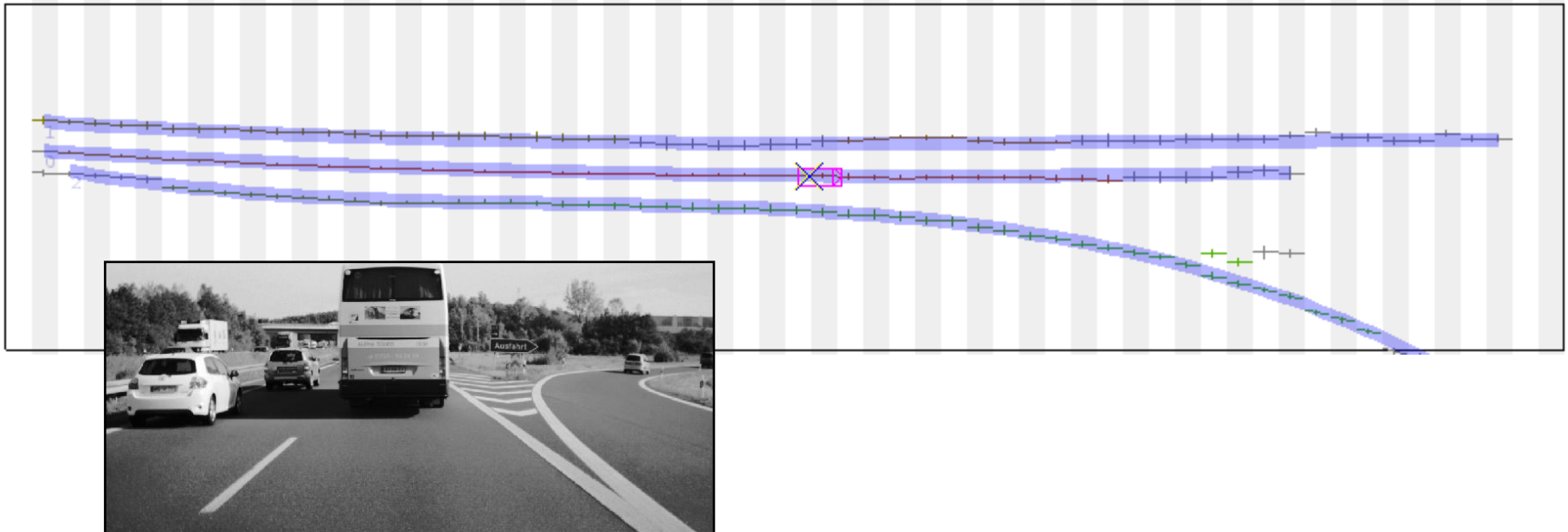
Erkennung von Fahrzeug-Kolonnen - Definition

- ▶ Kolonnenspuren stellen den mittleren gefahrenen Verlauf der Teilnehmer einer Verkehrskolonne dar. Dieser mittlere Verlauf soll die gemeinsame Bewegung bezüglich Positionen und Ausrichtungen aller Kolonnenteilnehmer wiedergeben
- ▶ Kolonnenspuren können als zusätzliche, unabhängige Eingangsgröße zur Querregelung hochautomatisierter FAS-Funktionen in komplexen Szenarien genutzt werden

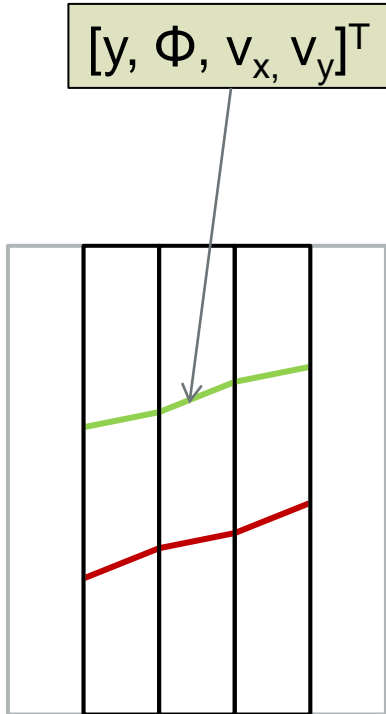


Kolonnenspur - Lösungsansatz

- ▶ Die Intervallkarte diskretisiert das Fahrzeugumfeld längs zur Ausrichtung des Fahrzeugs
- ▶ Innerhalb eines Intervalls werden Zellen gespeichert, welche gemessene Bewegungen mehrerer Kolonnenteilnehmer an einer Position im Fahrzeugumfeld wiedergeben
- ▶ Im Extraktionsschritt können ähnliche Zellen aus verschiedenen Intervallen zu Kolonnenspuren verbunden werden



Kolonnenspur - Lösungsansatz



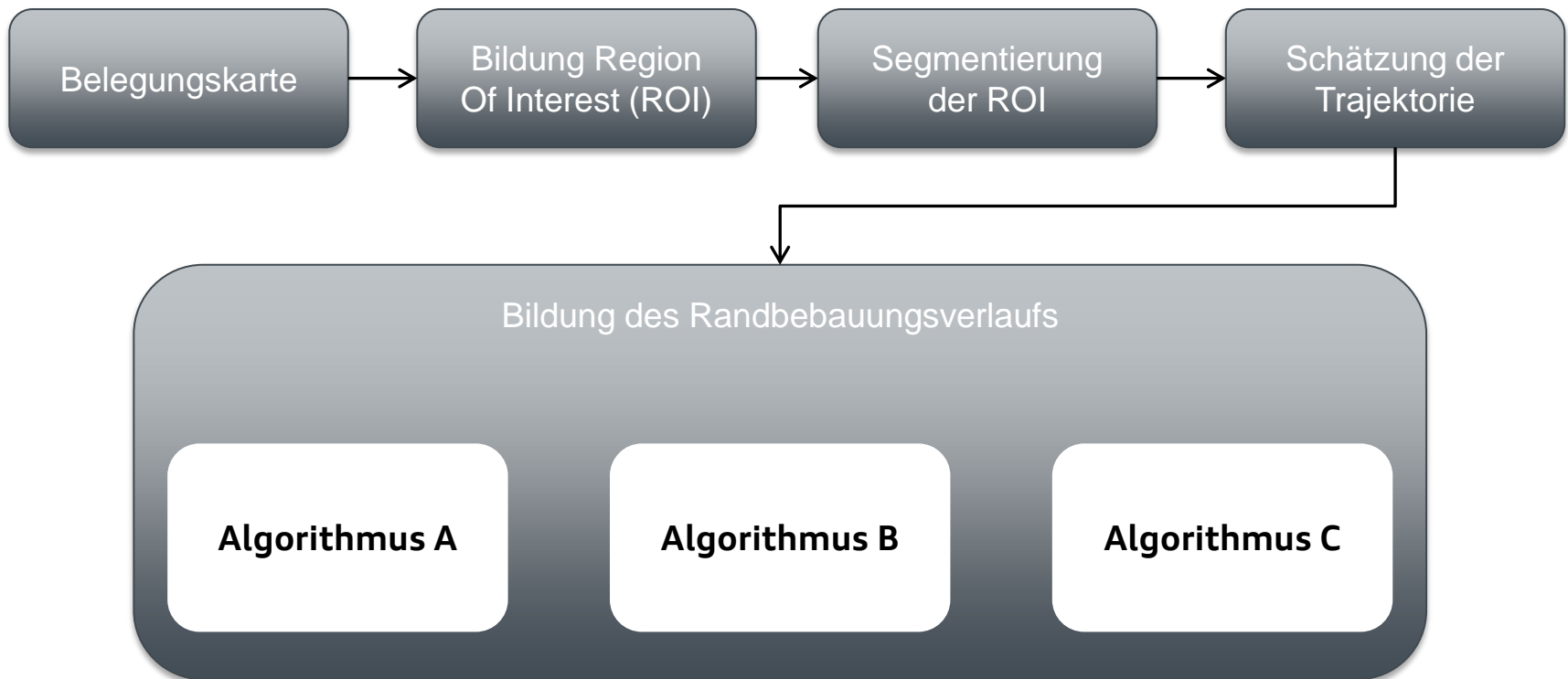
- ▶ Innerhalb einer Zelle eines Intervalls werden neben der Querposition y auch Ausrichtung Φ und die Geschwindigkeiten v_x, v_y der gemessenen Bewegungen gespeichert.
- ▶ Dieser Zustand einer Zelle kann über einen rekursiven Schätzmechanismus, beispielsweise ein Kalman-Filter, geschätzt werden.
- ▶ Die Erweiterung des Zustandsvektors um Geschwindigkeiten bietet die Möglichkeit, Geschwindigkeitsprofile von Kolonnen zu bestimmen

Erkennung von Randbebauungsverläufen

► Ziel

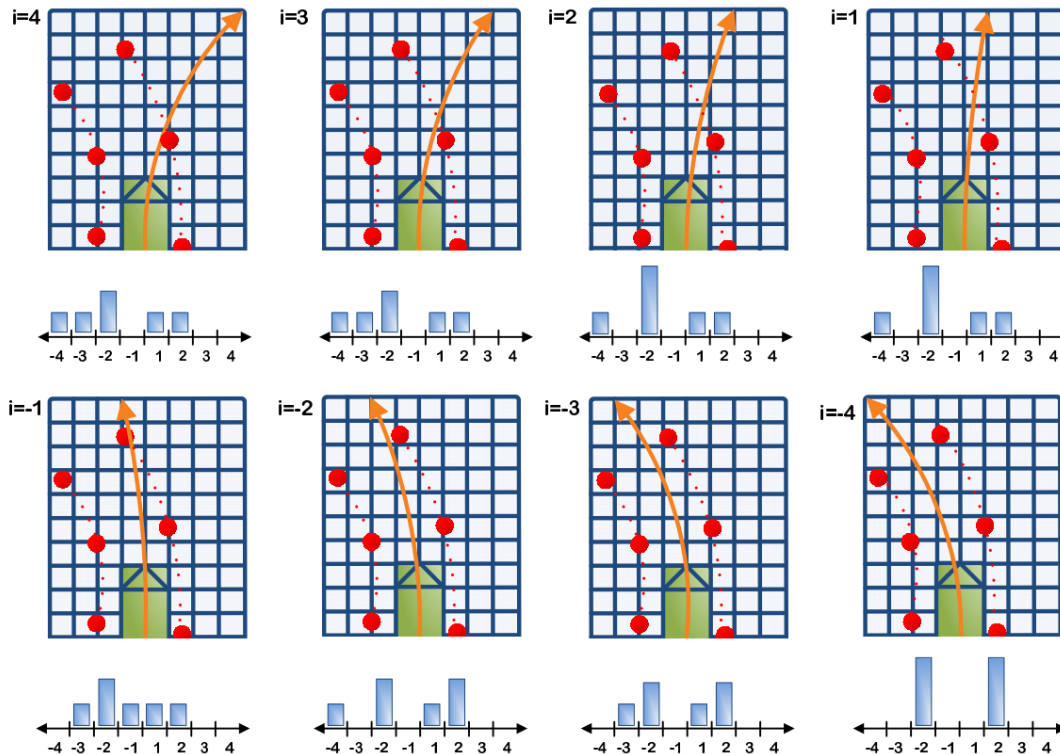
- Bestimmung des Verlaufs der Randbebauung (z.B. Leitplanken, Leitpfosten) mit Hilfe der Belegungskarte

► Lösungsansatz



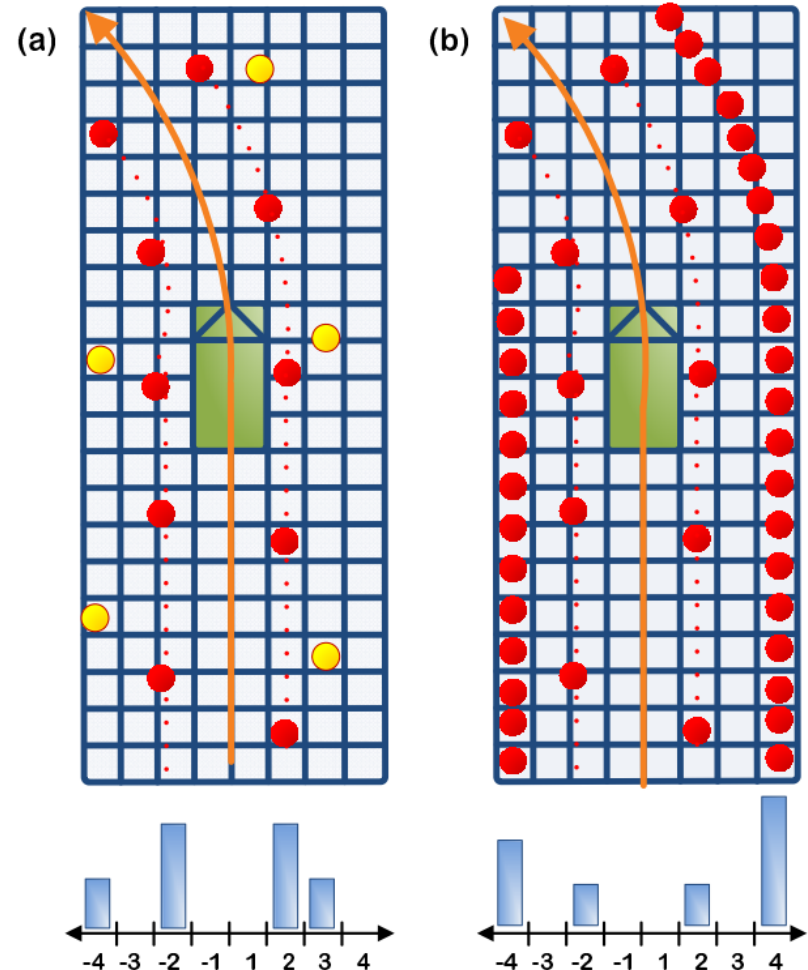
Erkennung von Randbebauungsverläufen - Schätzung des Fahrbahnverlaufs

- ▶ Potenzielle Fahrbahnverläufe innerhalb der ROI werden untersucht
- ▶ Abstandshistogramm für jeden möglichen Verlauf wird aufgebaut
- ▶ Auswahl eines geeigneten Verlaufs anhand mehrerer Kriterien (z.B. hinreichende Distanz zu Hindernissen, ausgeprägte Säulen im Histogramm)



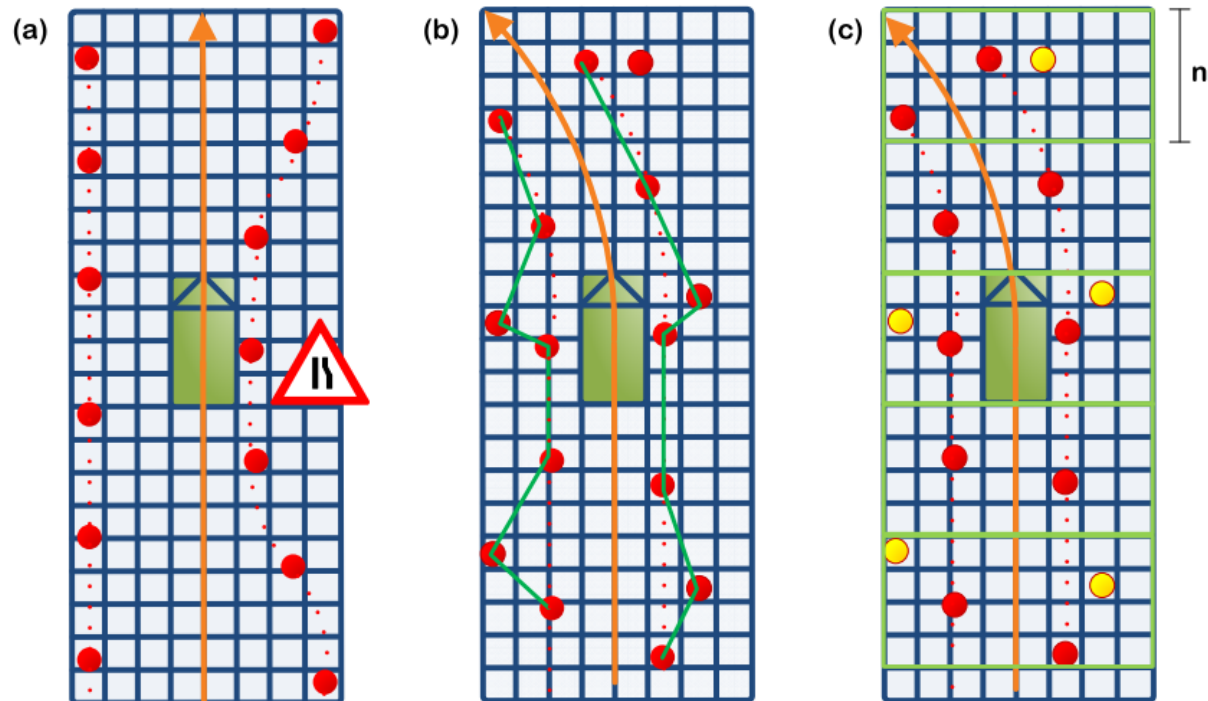
Erkennung von Randbebauungsverläufen – Ansatz A

- ▶ Alle Belegungen mit gleichem Abstand zum geschätzten Straßenverlauf markieren
Fahrbahnbegrenzungen → Nutzung der Abstandshistogramme
- ▶ Verkettung der gefundenen Stützstellen zu einem Polygonzug
- ▶ Ermöglicht die Detektion einer primären und sekundären Fahrbahnbegrenzungen



Erkennung von Randbebauungsverläufen – Ansatz B

- ▶ Belegungen haben nicht immer den selben Abstand zur Fahrzeugtrajektorie
- ▶ Erweiterung: Aufteilung der ROI in Intervalle der Länge n
- ▶ Auswahl der Belegungen mit minimalem Abstand zur Trajektorie innerhalb eines Intervalls
- ▶ Situationsadaptive Auswahl der Fenstergröße n



Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

► Motivation

- Ausgleich temporärer Störungen einer Quelle
(Bsp. Nur Abfahrt-Fahstreifenmarkierung sichtbar)
- Funktionsabhängige Generierung eines Fahrkorridors
Ein (Fahr-)korridor ist ein ausgewiesener Raum, in dem das Fahrzeug auf seiner Fahrt verbleiben muss. (analog zum Fliegen)



► Herausforderung

- Aus drei heterogen erzeugten und damit unabhängigen Fahrbahndaten

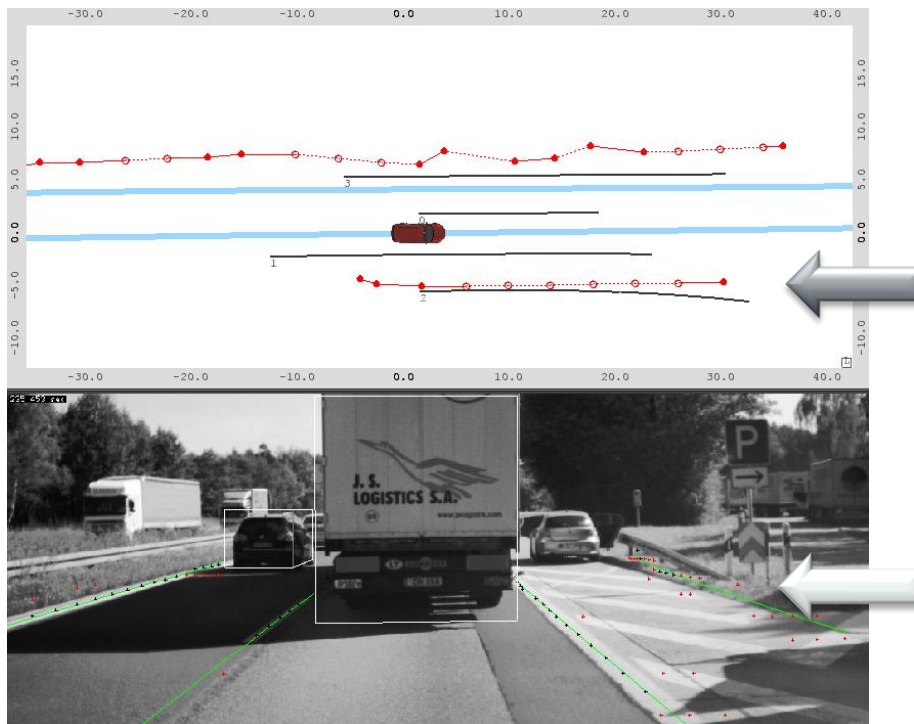
► Grundphilosophie

- Keine klassische Datenfusion
- Keine zeitliche Filterung, da Ausgangsdaten selbst gefiltert sind
- Rein regelbasiertes Auswahlverfahren
- Regeln ergeben sich aus der Funktionsdefinition

Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

► Vorgehensweise

1. Synchronisation der Eingangsdaten auf einen Zeitpunkt
2. Deplausibilisierung



Beispiel:
Fahrstreifenmarkierung
hinter Randbebauung wird
verworfen

Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

► Vorgehensweise

1. Synchronisation der Eingangsdaten auf einen Zeitpunkt
2. Deplausibilisierung
3. Bilden von Fahrkorridorbegrenzungs-Hypothesen (FKGH)

Welche Grenzen können den Fahrkorridor potentiell begrenzen?

- Fahrstreifenmarkierungen (FSM)
- Kolonnenspurränder (KSR)
- Randbebauungsverläufe (RBB)
- Abgeleitete – Virtuelle Grenzen (VG)
- Historisch gemerkte Grenzen (HG)

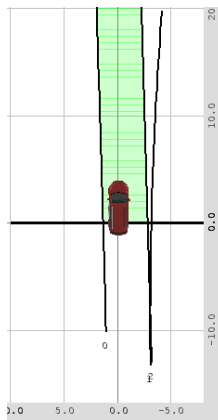
Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

► Vorgehensweise

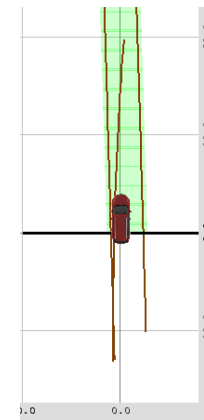
1. Synchronisation der Eingangsdaten auf einen Zeitpunkt
2. Deplausibilisierung
3. Bilden von Fahrkorridorbegrenzungs-Hypothesen (FKGH)

Welche Grenzen können den Fahrkorridor potentiell begrenzen?

Fahrstreifenmarkierungen (FSM)



Abgeleitete – virtuelle Grenzen (VG)
z.B. Parallelverschobene FSM



Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

► Vorgehensweise

1. Synchronisation der Eingangsdaten auf einen Zeitpunkt
2. Deplausibilisierung
3. Bilden von Fahrkorridorbegrenzungs-Hypothesen (FKGH)
4. Bilden von Fahrkorridor-Hypothesen (FKH)

FAS - Funktionsdefinition

Das FAS-System fährt zwischen zwei Fahrstreifenmarkierungen (FSM)

Das FAS-System orientiert sich an nur einer FSM

Das FAS-System kann einseitig durch eine Randbebauung (RBB) begrenzt werden

Das FAS-System darf nicht ausschließlich Kolonnenspurrändern als Grenzen nutzen (KSG)

....



Abbildungsmatrix

	Rechts			
Links	FSM	KSG	RBB	Virtuell
FSM	✓	✓	✓	✓
KSG	✓	✓	✓	✗
RBB	✓	✓	✗	✗
Virtuell	✓	✗	✗	✗

Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

► Vorgehensweise

1. Synchronisation der Eingangsdaten auf einen Zeitpunkt
2. Deplausibilisierung
3. Bilden von Fahrkorridorbegrenzungs-Hypothesen (FKGH)
4. Bilden von Fahrkorridor-Hypothesen (FKH)
5. Widerlegen von Fahrkorridor-Hypothesen

Denkbare Ansätze

Methode	Erfahrungen / Bewertung
KS durchfährt sich schließende FKH	+ hebt Fehler bei der FSM-Detektion auf + einfach, schnell, nachvollziehbar
Sich öffnende FSH wird verworfen, da in der angepeilten Domäne nicht zu erwarten	+ bislang durchweg plausibel - für städtische Szenarien kritisch

Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

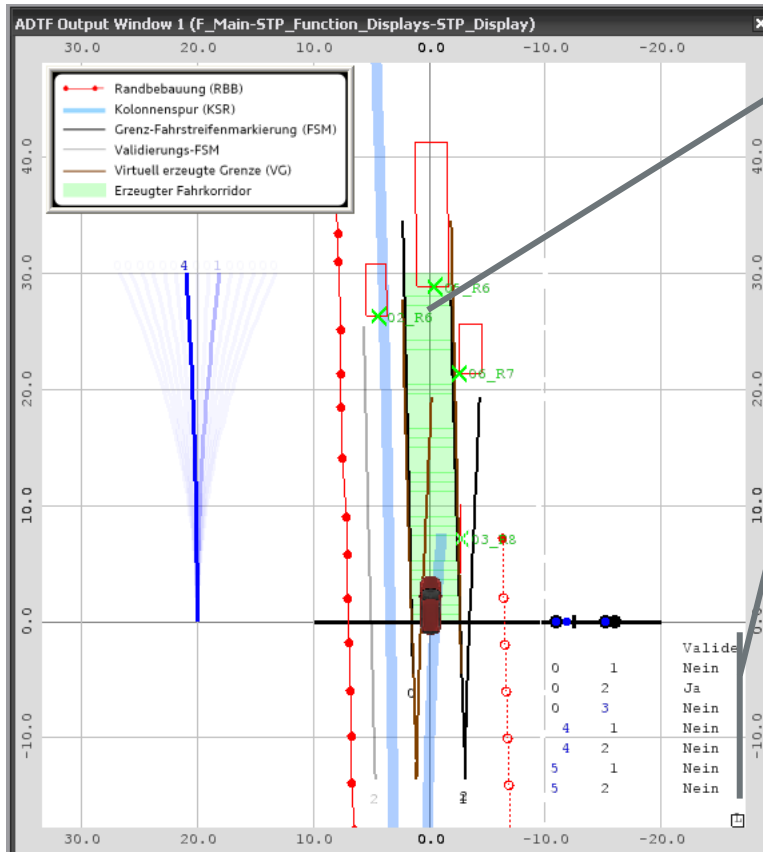
► Vorgehensweise

1. Synchronisation der Eingangsdaten auf einen Zeitpunkt
2. Deplausibilisierung
3. Bilden von Fahrkorridorbegrenzungs-Hypothesen (FKGH)
4. Bilden von Fahrkorridor-Hypothesen (FKH)
5. Widerlegen von Fahrkorridor-Hypothesen
6. Auswahl einer Fahrkorridor-Hypothese

Methode	Erfahrungen / Bewertung
Auswahl nach Art der Zusammensetzung (feste Prioritäten)	+ Einfach, nachvollziehbar + statisch - Statisch → Qualitäten der Ausgangsdaten gehen nicht ein
Auswahl nach Fahrbahnausrichtung	+ Nutzen aller Eingangsdaten + Nachvollziehbar - Deckungsmaße komplex - Parameterabhängig
Auswahl nach Mittigkeit zur KS	+ Gute Erfahrungen beim Aufsetzen auf Teernäten
Auswahl nach CO, dY, dPsi	-Schwer parametrierbar und v.a. schwer generalisierbar

Fahrkorridorgenerierung am Beispiel einer Assistenzfunktion mit automatischer Querführung

► Ergebnisbeispiel



Ermittelter Fahrkorridor
(grün unterlegt)

Gebildete Fahrkorridorhypothesen

- Randbebauung (RBB)
- Kolonnenspur (KSR)
- Grenz-Fahrstreifenmarkierung (FSM)
- Validierungs-FSM
- Virtuell erzeugte Grenze (VG)
- Erzeugter Fahrkorridor

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- ▶ Es wurden verschiedene Methoden zur Erfassung relevanter Fahrbahninformationen wie z.B. Kolonnenspuren und Randbebauungen vorgestellt
- ▶ Eine Plausibilisierung der verschiedenen Quellen und die Generierung eines relevanten Fahrkorridors geschieht in der FAS-Funktion

Ausblick:

- ▶ Erweiterung der Ansätze für urbane Umgebung:
 - ▶ Extraktion weiterer Markierungstypen Sperrflächen, Quermarkierungen, Richtungspfeile
 - ▶ Beschreibung der Fahrzeugkolonnen in Kreuzungen oder in Kreisverkehre
- ▶ Darstellung weiterer FAS-Funktionen z.B. Sicherheitsfunktionen mit Hilfe der vorgestellten Methoden