

Autonomes Fahren IT macht's möglich

-
- Sven Henning
 - 03.05.2018

Zur Person

- Sven Henning
- Abschluss:
M. Sc. Ingenieurinformatik mit
Schwerpunkt Maschinenbau
- Aktuell:
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

- Lehrstuhl für Regelungstechnik und Mechatronik
(Maschinenbau)
 - Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn
 - Leitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler



Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Autonomes Fahren IT macht's möglich

1. Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten
2. Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge
3. Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement
4. Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Die Vision: Chancen und Risiken des autonomen Fahren

■ Chancen

- Erhöhung der Verkehrssicherheit
- Steigerung der Verkehrseffizienz
- Reduzierung mobilitätsbedingter Emissionen
- Komfortsteigerung
- Stärkung des Innovations- und Wirtschaftsstandorts Deutschland

■ Risiken / Herausforderungen

- Fahrzeuge sind kostspielig
- Infrastruktur muss geschaffen werden
- Gefährdung von Berufsgruppen
- Ethische/Rechtliche Fragestellungen
- Akzeptanz- und Vertrauensfrage

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

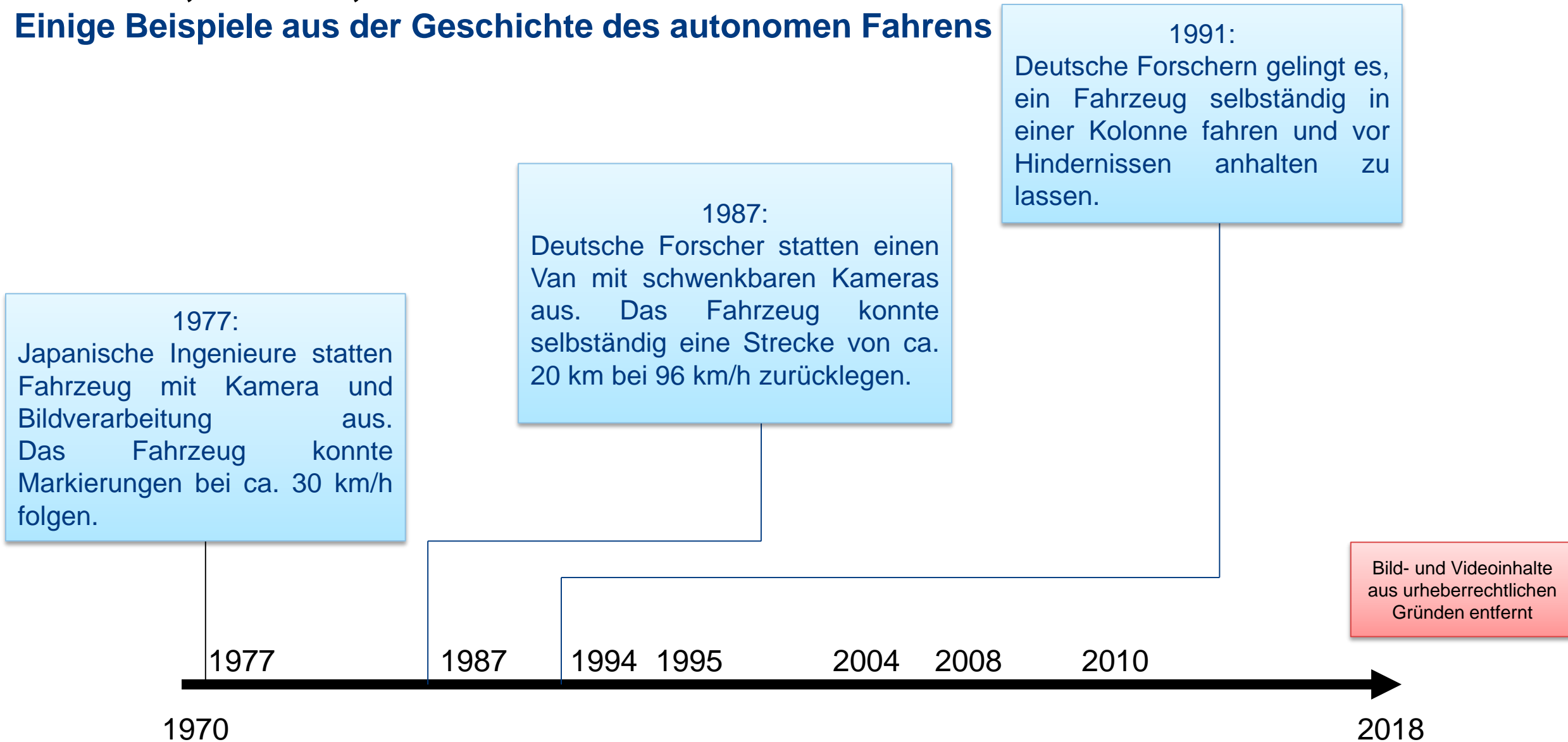
Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Komfort: Veränderung der Art des Reisens

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

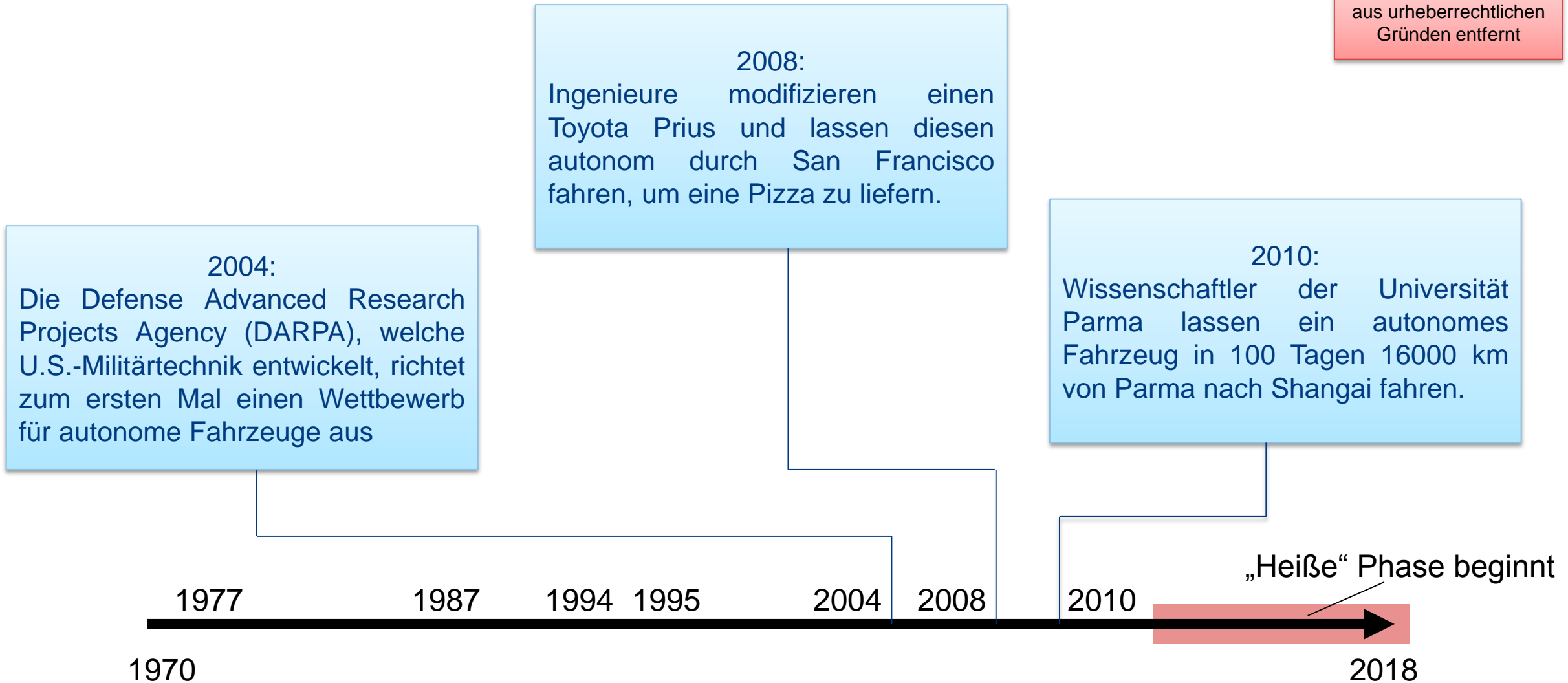
Einige Beispiele aus der Geschichte des autonomen Fahrens



Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Einige Beispiele aus der Geschichte des autonomen Fahrens

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt



Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Klassifizierung in Fahrmodus-Level

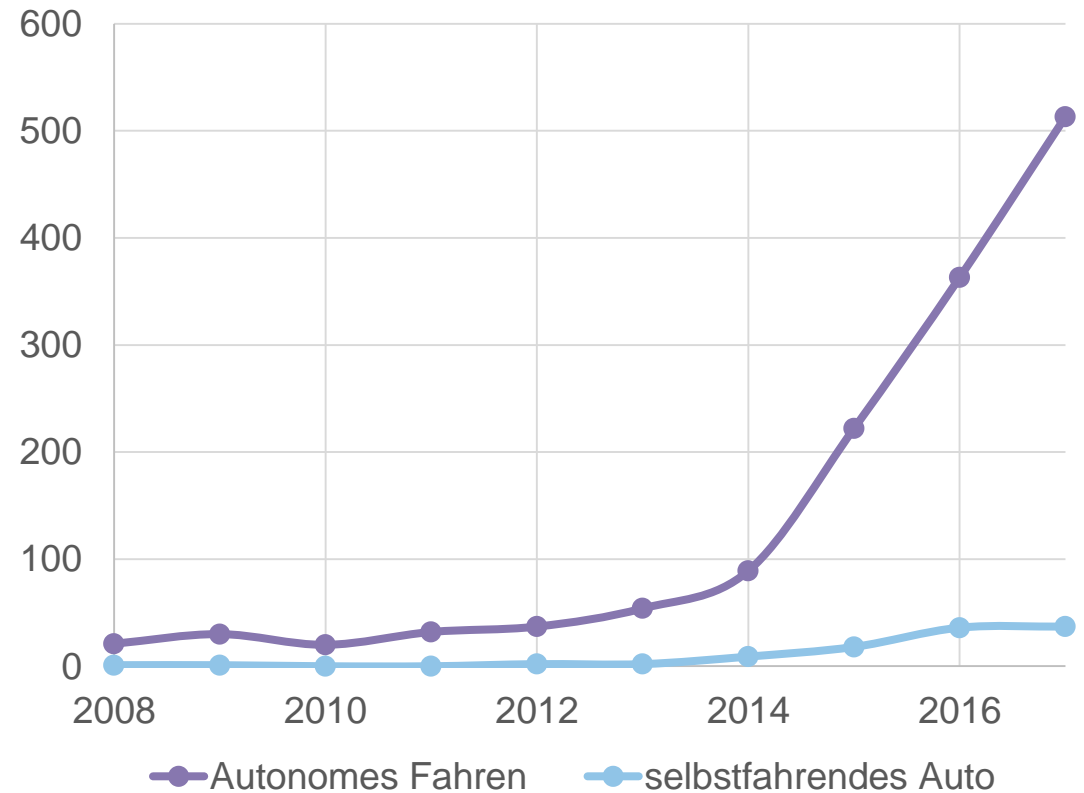
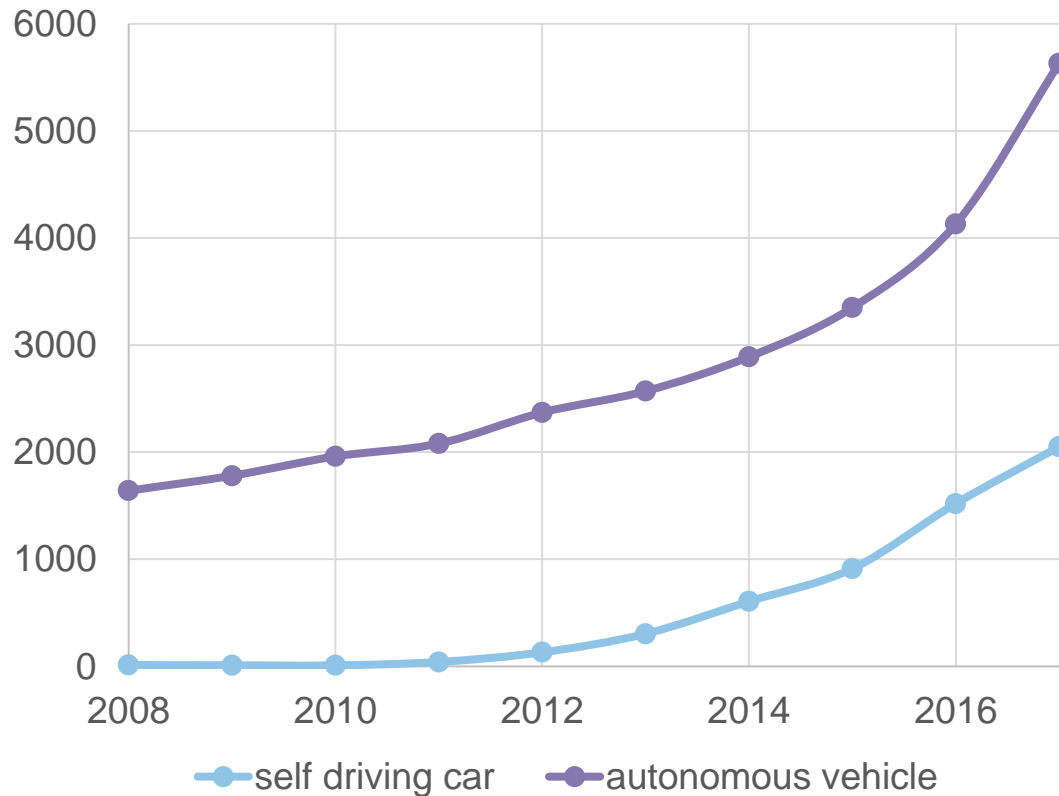
	STUFE 0	STUFE 1	STUFE 2	STUFE 3	STUFE 4	STUFE 5
	NUR FAHRER	ASSISTIERT	TEIL-AUTOMATISIERT	HOCH-AUTOMATISIERT	VOLL-AUTOMATISIERT	FAHRERLOS
FAHRER	Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus.	Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus.	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen.	Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen. Fahrer muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen.	Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall.	Von „Start“ bis „Ziel“ ist kein Fahrer erforderlich.
	Kein engreifendes Fahrzeugsystem aktiv.	System übernimmt jeweils die andere Funktion.	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall.	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall. Es erkennt Systemgrenzen und fordert den Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.	System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen.	System übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich bei allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen.
	Anteil notwendiger Fahrereingriffe					
						AUTOMATISIERT

Quelle: VDA: Verband der Automobilindustrie e. V.

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Öffentliches Interesse: Forschung

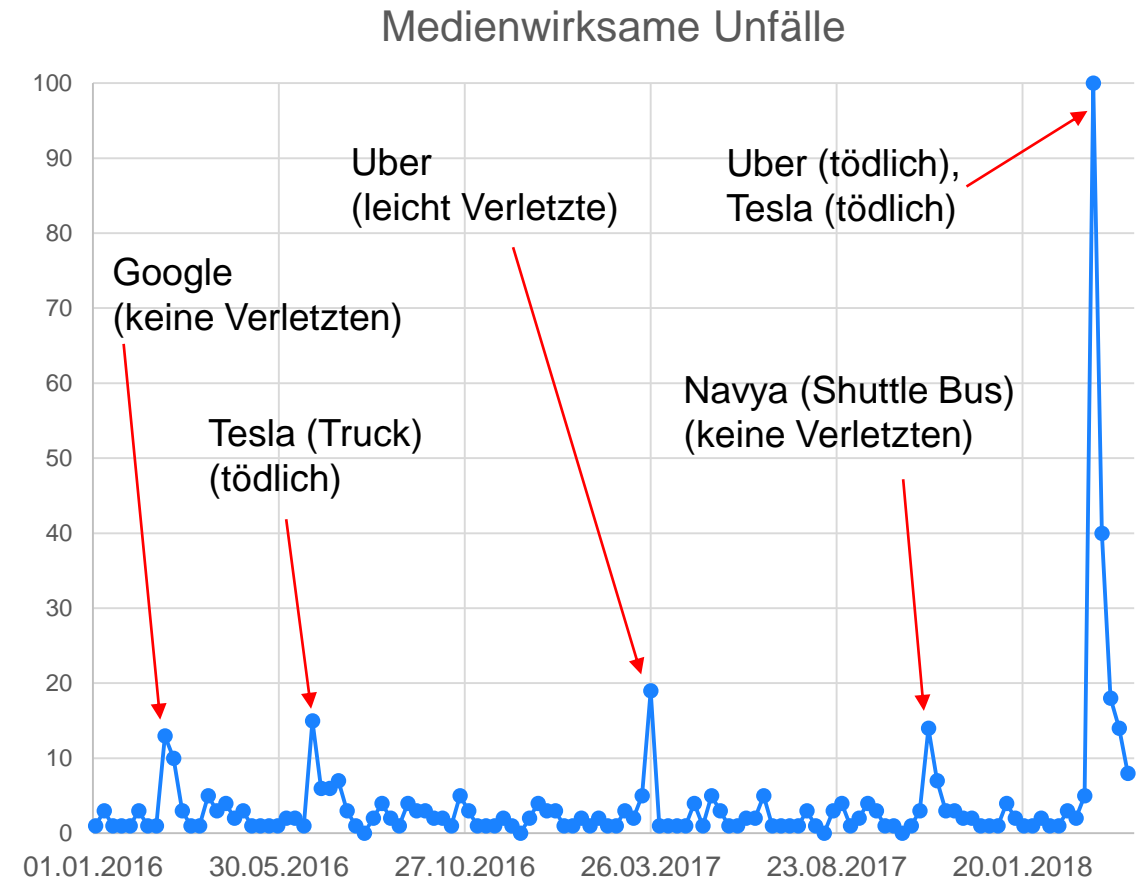
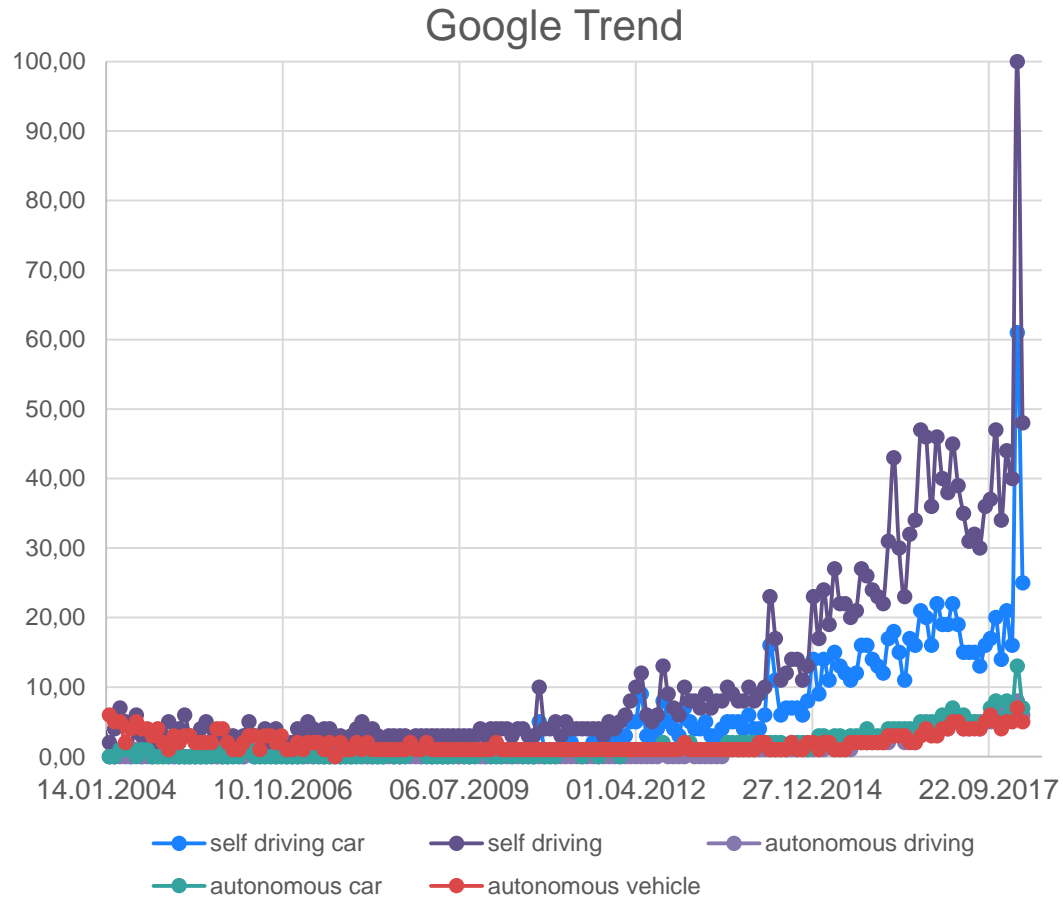
■ Anzahl Veröffentlichungen, welche Schlüsselwörter enthalten



Quelle: Google

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Öffentliches Interesse: Google Trends zu Schlüsselbegriffen



Quelle: Google

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

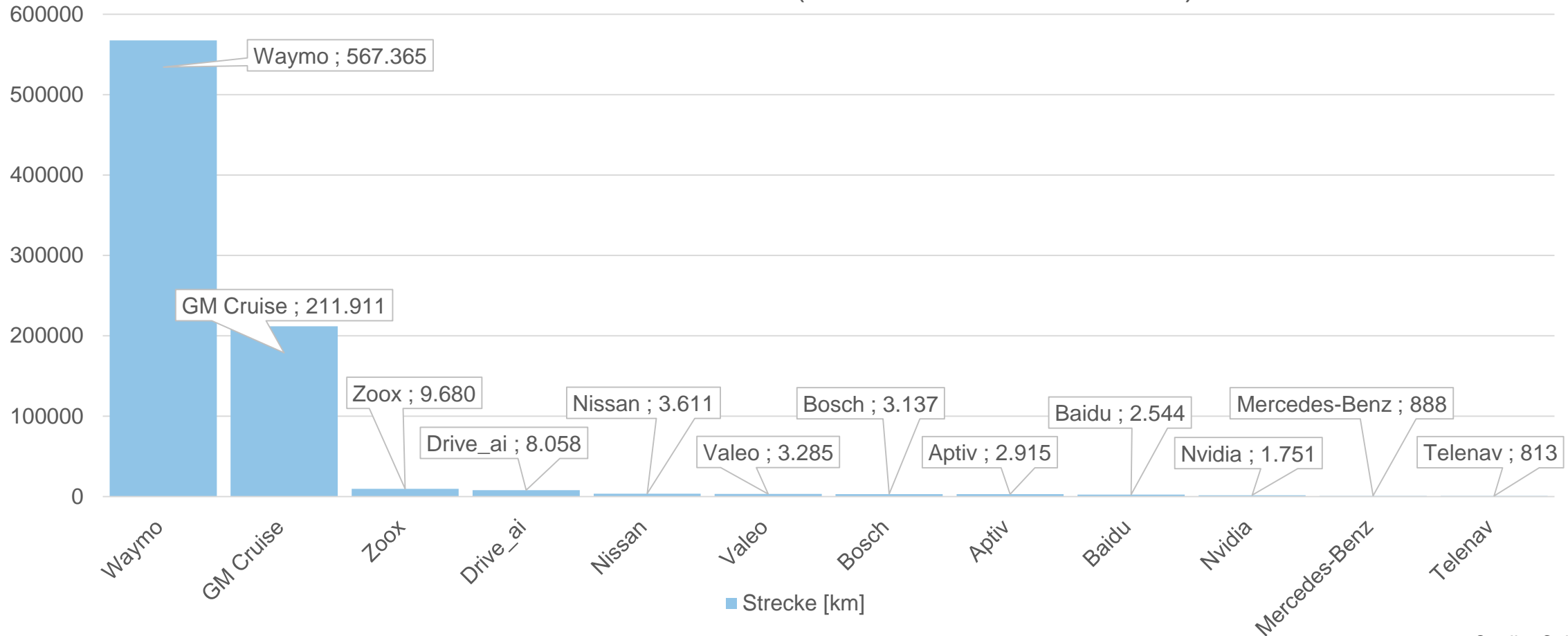
Kontroverse Diskussionen: Psychologie negativer Schlagzeilen

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Statistik zu autonomen Fahrzeugen (Kalifornien)

Gefahrene Kilometer (01.12.2016 – 30.11.2017)

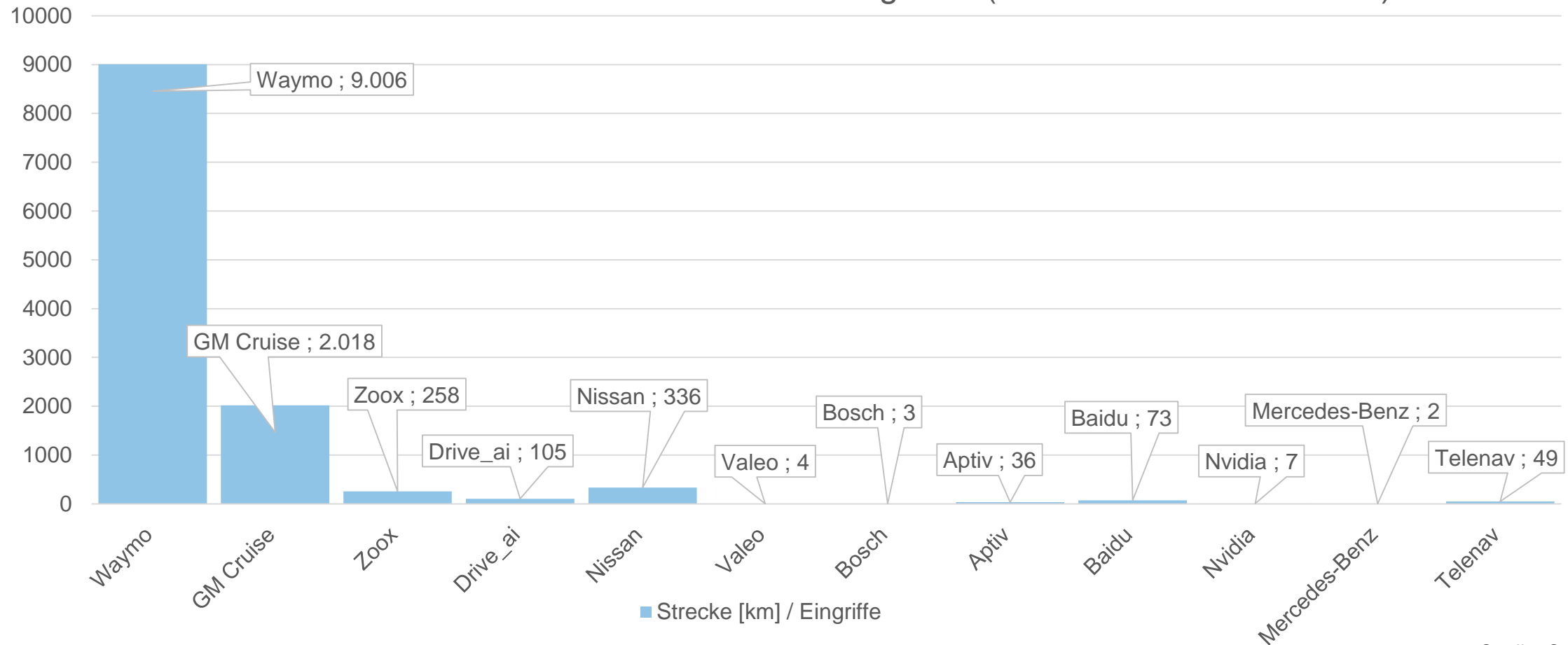


Quelle: California DMV

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Statistik zu autonomen Fahrzeugen (Kalifornien)

Gefahrene Kilometer zwischen zwei Eingriffen (01.12.2016 – 30.11.2017)



Quelle: California DMV

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Unfall-Statistik zu autonomen Fahrzeugen

■ Gesamt

- Waymo (Chrysler Pacifica):
8.046.720 km in 25 Städten ohne tödlichen Unfall

- Uber:
3.218.688 km bis zum ersten tödlichen Unfall

- Tesla:
209.215.000 km bis zum ersten tödlichen Unfall
Allerdings: Semi-Autonom

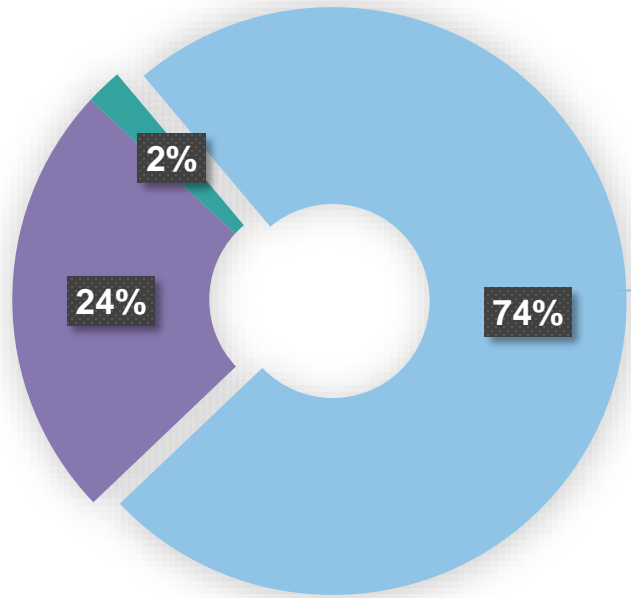
- U.S.A. 2017 insgesamt:
1,25 Tote / 100.000.000 Meilen = 1 Toter / 129.000.000 km

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

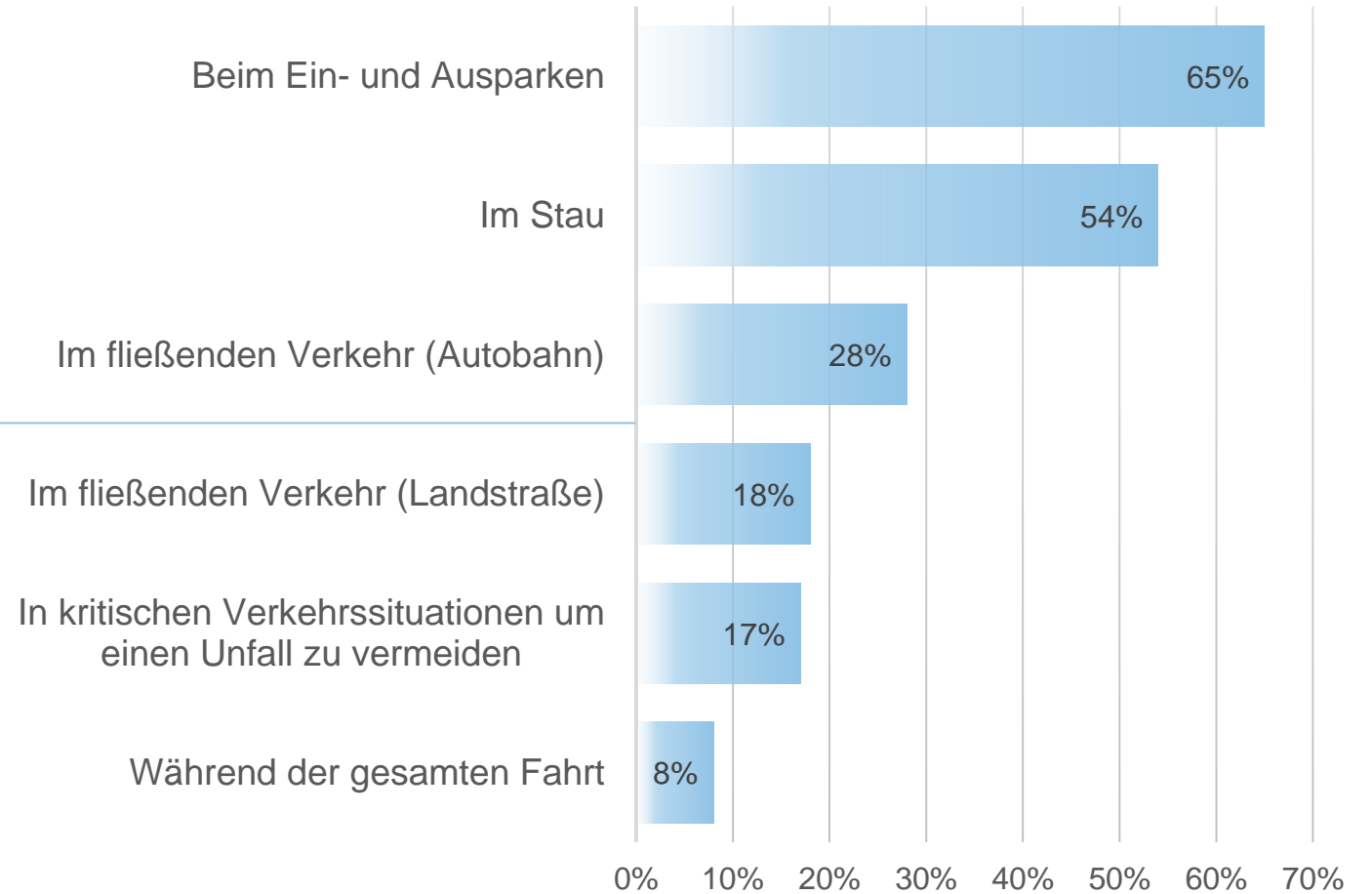
Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Öffentliches Interesse: Bitkom-Umfrage

■ In welchen Situationen wünschen Sie sich, dass das Auto autonom fährt?



■ In folgenden Situationen ■ In keiner Situation ■ k.A.

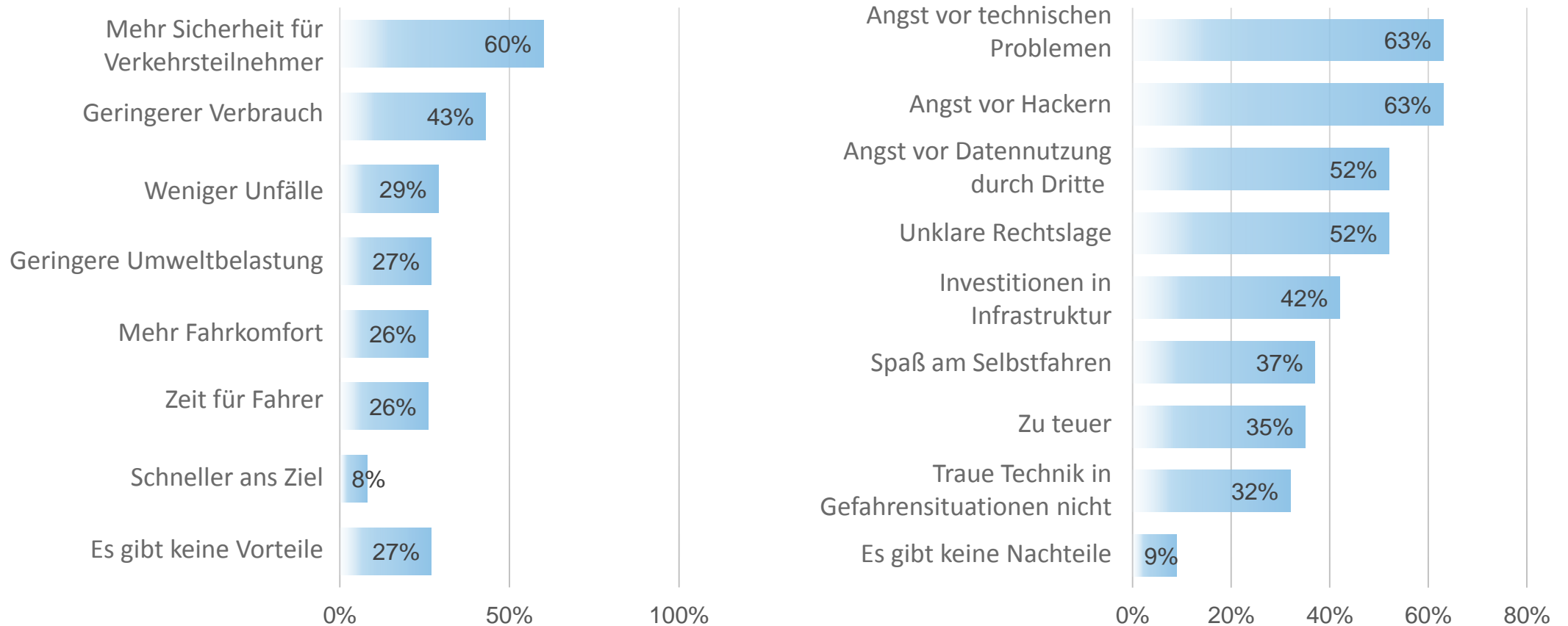


Quelle: Bitkom

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Öffentliches Interesse: Bitkom-Umfrage

■ Was spricht aus Ihrer Sicht für bzw. gegen autonome Fahrzeuge?

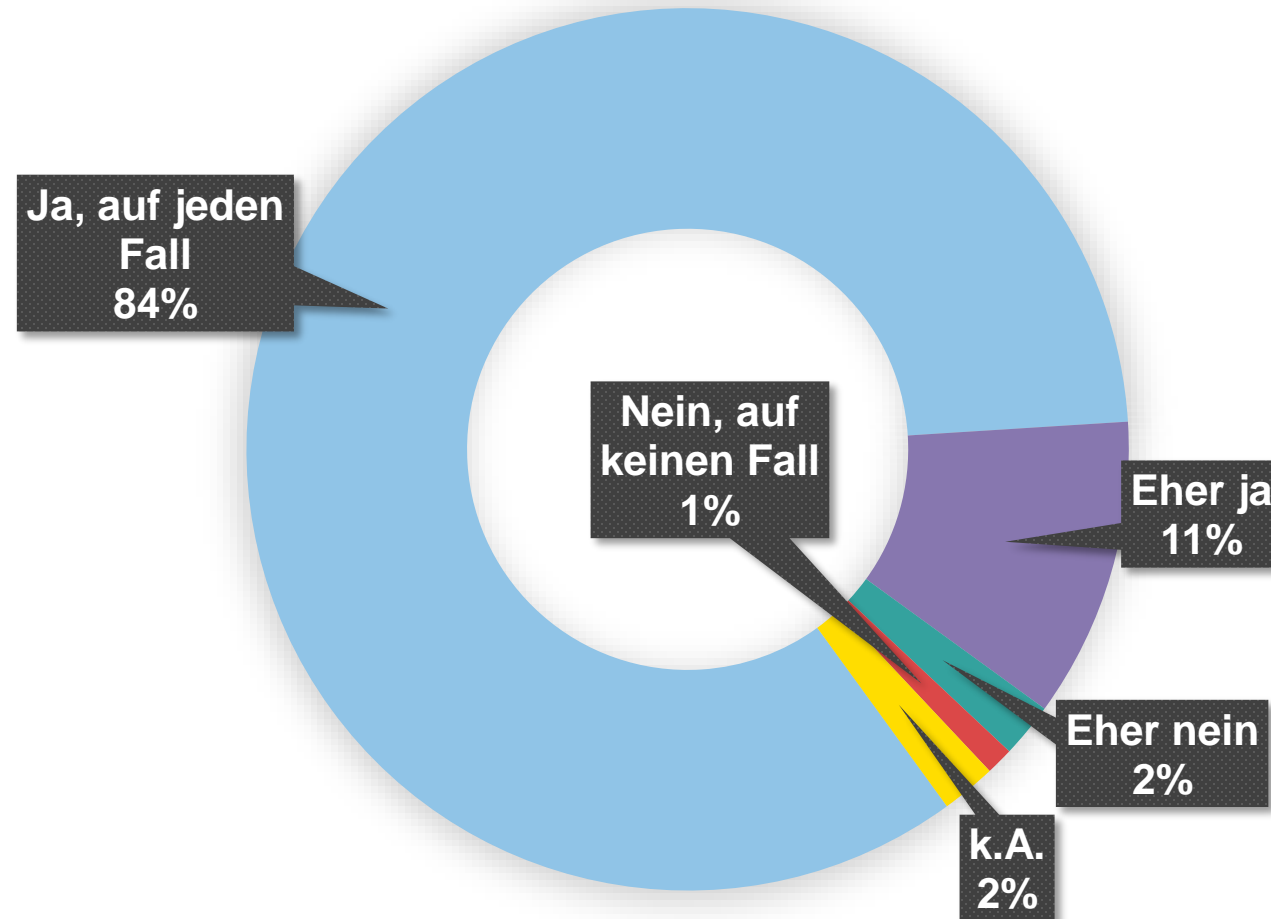


Quelle: Bitkom

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Öffentliches Interesse: Bitkom-Umfrage

- Sollten Systeme von vernetzten Fahrzeugen regelmäßig auf Datenschutz und -sicherheit geprüft werden?



Quelle: Bitkom

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Haftung und ethische Fragestellungen

- Wer haftet im Schadensfall?
 - Gesetzesentwurf vom 30.03.2017
 - Fahrzeugführer darf sich während des Fahrens „mittels hoch- oder vollautomatisierter Fahrfunktionen [...] vom Verkehrsgeschehen und der Fahrzeugsteuerung abwenden; dabei muss er derart wahrnehmungsbereit bleiben, dass er seiner Pflicht [...] jederzeit nachkommen kann.“
 - Aufzeichnung mittels Blackbox
 - **Haftung liegt beim Hersteller, wenn Fahrzeug selbstständig gefahren ist**
 - **Haftung liegt beim Fahrer, wenn dieser die Kontrolle trotz Aufforderung nicht übernommen hat**
 - Weitere geplante Prüfung in 2019

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Haftung und ethische Fragestellungen

- Ethische Fragen und Dilemma-Situation
- *Kann eine Maschine die Situation überhaupt richtig bewerten, beispielsweise zwischen einem Puppenwagen und einem echten Kinderwagen unterscheiden?*
- *Würde ein Aufrechnen von Menschenleben eine unzumutbare Instrumentalisierung der „Geopferten“ darstellen?*
- *Wenn ein Aufrechnen sinnvoll wäre, wie ist dies zu organisieren, also welche Kriterien spielen eine Rolle (z. B. die Anzahl von Menschen oder das Alter)?*

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Haftung und ethische Fragestellungen

■ Leitfaden der Ethik-Kommission „Automatisiertes und vernetztes Fahren“, Juni 2017

1. **Verbesserung der Sicherheit aller Beteiligten im Straßenverkehr**, danach Steigerung von Mobilitätschancen und die Ermöglichung weiterer Vorteile.
2. Die Zulassung von automatisierten Systemen ist nur **vertretbar, wenn** sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen **zumindest eine Verminderung von Schäden** im Sinne einer positiven Risikobilanz verspricht.
3. Staatliche Zulassung und Kontrolle der Systeme

Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten

Haftung und ethische Fragestellungen

- Leitfaden der Ethik-Kommission „Automatisiertes und vernetztes Fahren“, Juni 2007

5. Vermeidung von Dilemma-Situationen, Berücksichtigung schwächere Verkehrsteilnehmer

9. Bei unausweichlichen Unfallsituationen ist jede **Qualifizierung nach persönlichen Merkmalen** (Alter, Geschlecht, körperliche oder geistige Konstitution) **strikt untersagt**.

Eine Aufrechnung von Opfern ist untersagt. Eine allgemeine Programmierung auf eine Minderung der Zahl von Personenschäden kann vertretbar sein. Die an der Erzeugung von Mobilitätsrisiken Beteiligten dürfen Unbeteiligte nicht opfern.

Autonomes Fahren IT macht's möglich

1. Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten
2. Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge
3. Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement
4. Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Interdisziplinärer Bereich: Mechatronik

- Maschinenbau / Elektrotechnik / Informatik
- Mechatronischer Kreis

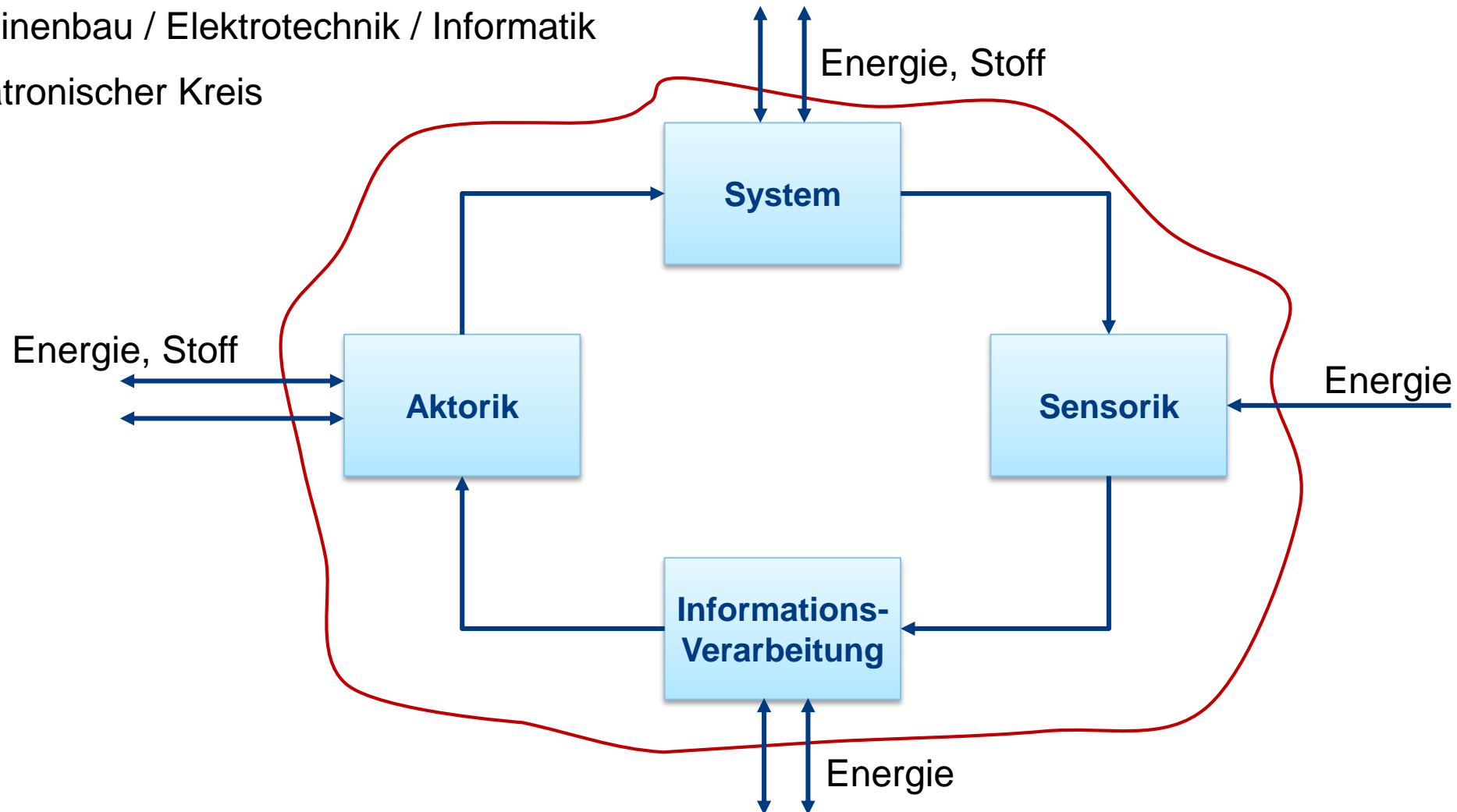


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Umfeld-Sensorik Serienfahrzeug

- Beispiel Audi A8

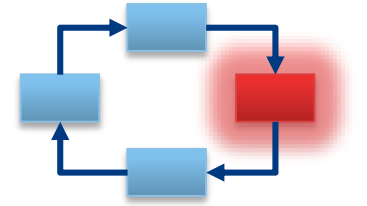


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Aktorik

- Wie fährt ein menschlicher Fahrer?
 - Antriebsmoment
 - Bremskraft
 - Lenkwinkel
- Häufig schon vorhanden
- Essentiell:

Drive-by-Wire-Technologie

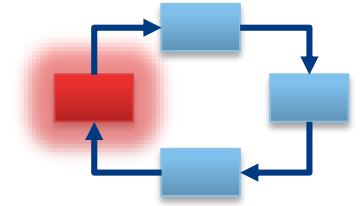


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Interdisziplinärer Bereich: Mechatronik

- Maschinenbau / Elektrotechnik / Informatik
- Mechatronischer Kreis

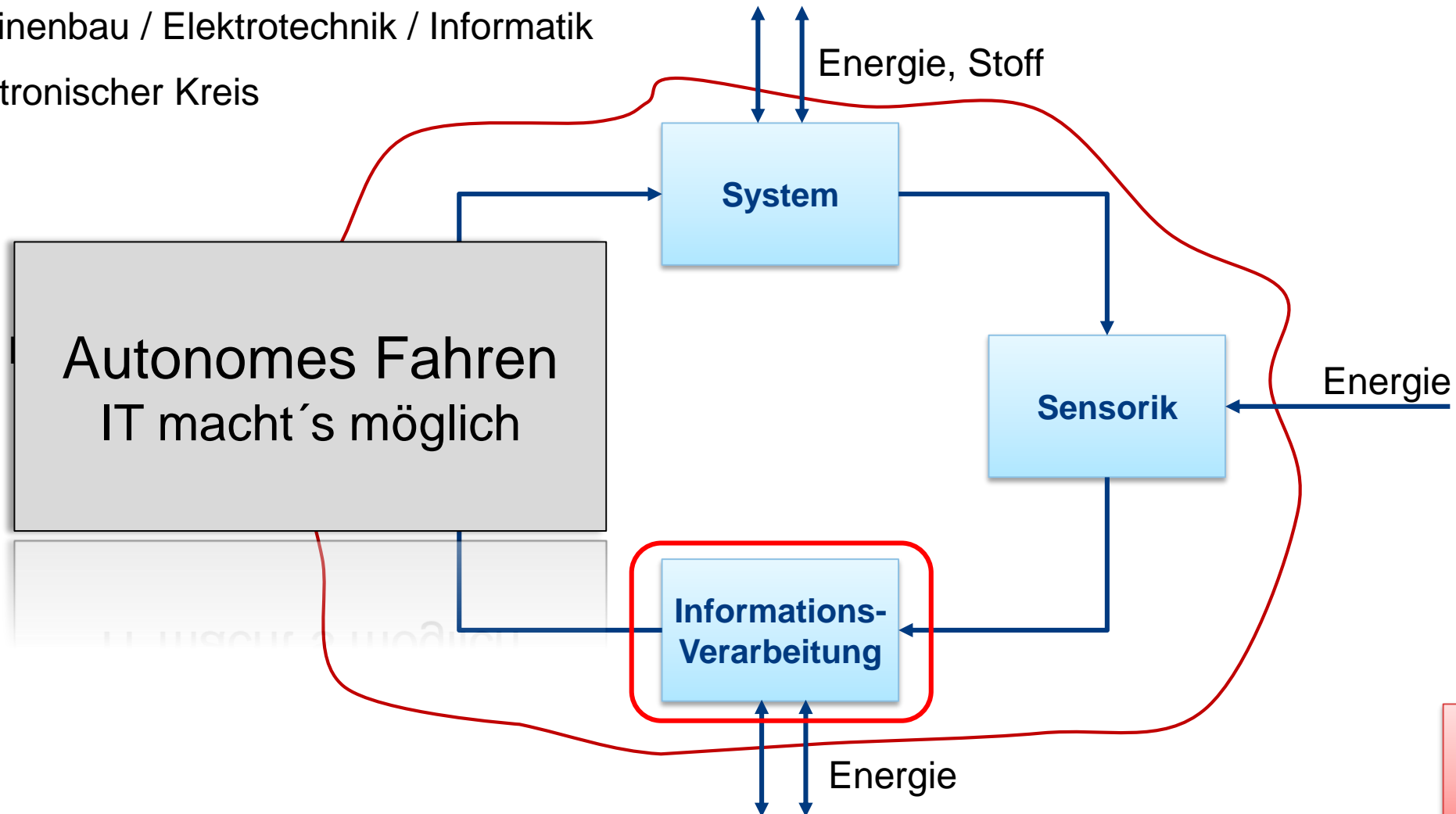


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Beispiel: Waymo (Google)

- Zur Erinnerung:
Waymo Chrysler Pacifica: 5 Millionen Meilen in 25 Städten ohne tödlichen Unfall

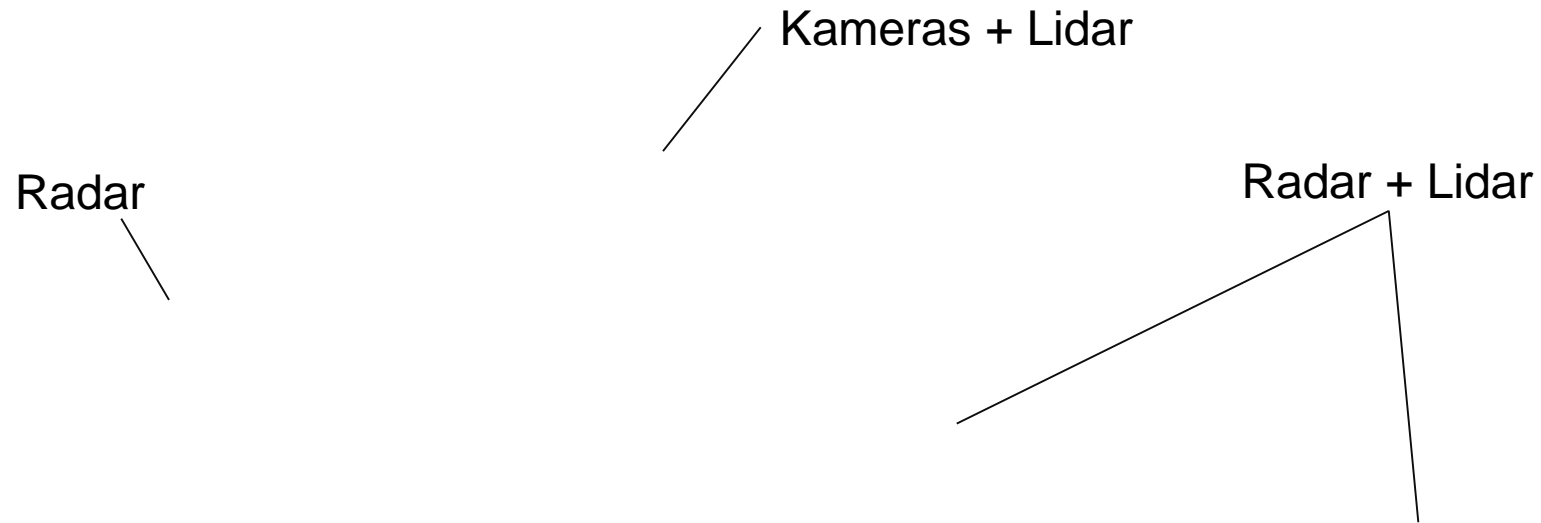


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Umfelderkennung

- Wie „sieht“ ein autonomes Fahrzeug seine Umgebung?
 - Sensordatenfusion und -auswertung
 - Lokalisierung
 - Objekterkennung und -tracking
 - Trajektorienplanung und -verfolgung

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Lokalisierung anhand hochauflösender digitaler Karten

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

Erstellung hochauflösender digitaler Karten

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

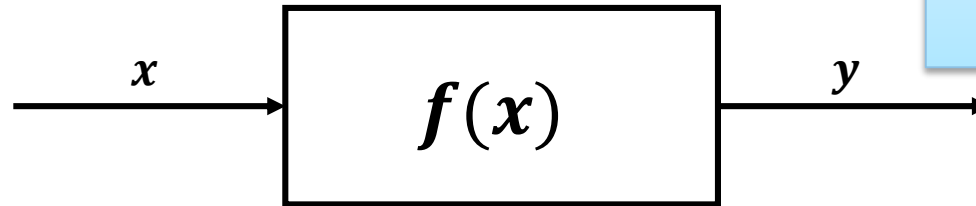
Autonomes Fahren IT macht's möglich

1. Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten
2. Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge
3. Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement
4. Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge

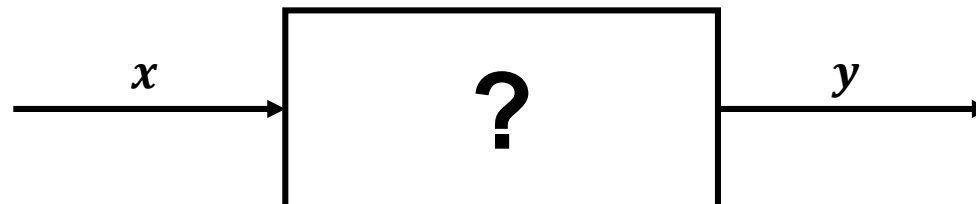
Entwicklung autonomer Fahralgorithmen

- Klassisch (typisch für Ingenieurbereiche)
 - Entwicklungsmethodiken
 - Problemdefinition → Lösungsansatz (White Box) → Lösung



**Kreuzungs-
Management**

- Maschinelles Lernen
 - Definierte Lösung und/oder Problem (Daten) → Lernmethoden → Lösungsansatz (Black Box)



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Bestandteile des Straßennetzes

■ Statische

■ Straßen

■ Kreuzungen

■ Quellen/Senken

■ Verkehrsleitsysteme

■ Regelwerk

■ Dynamische

■ Verkehrsteilnehmer

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Zugrundeliegendes Regelwerk?

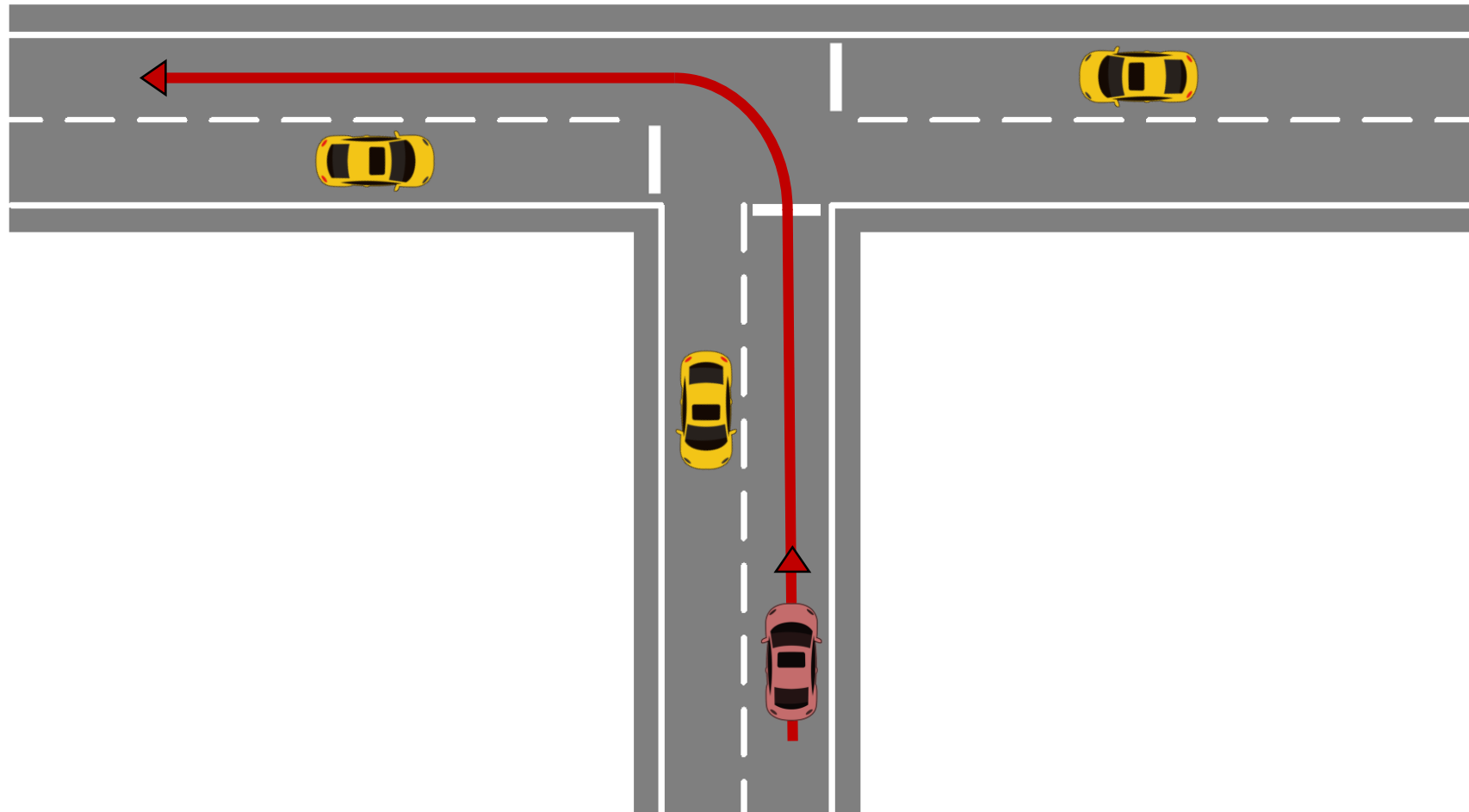


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Zugrundeliegendes Regelwerk?



Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Kommunikation als Schlüsseltechnologie

„ Was kommt nach dem autonomen Fahren? “

- Vehicle-to-Vehicle (V2V)
- Vehicle-to-Infrastructure (V2I)
- Vehicle-to-Everything (V2X)



Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Konzept des vorgestellten Algorithmus

- Jede Kreuzung erhält einen Kreuzungsmanager (Computer)

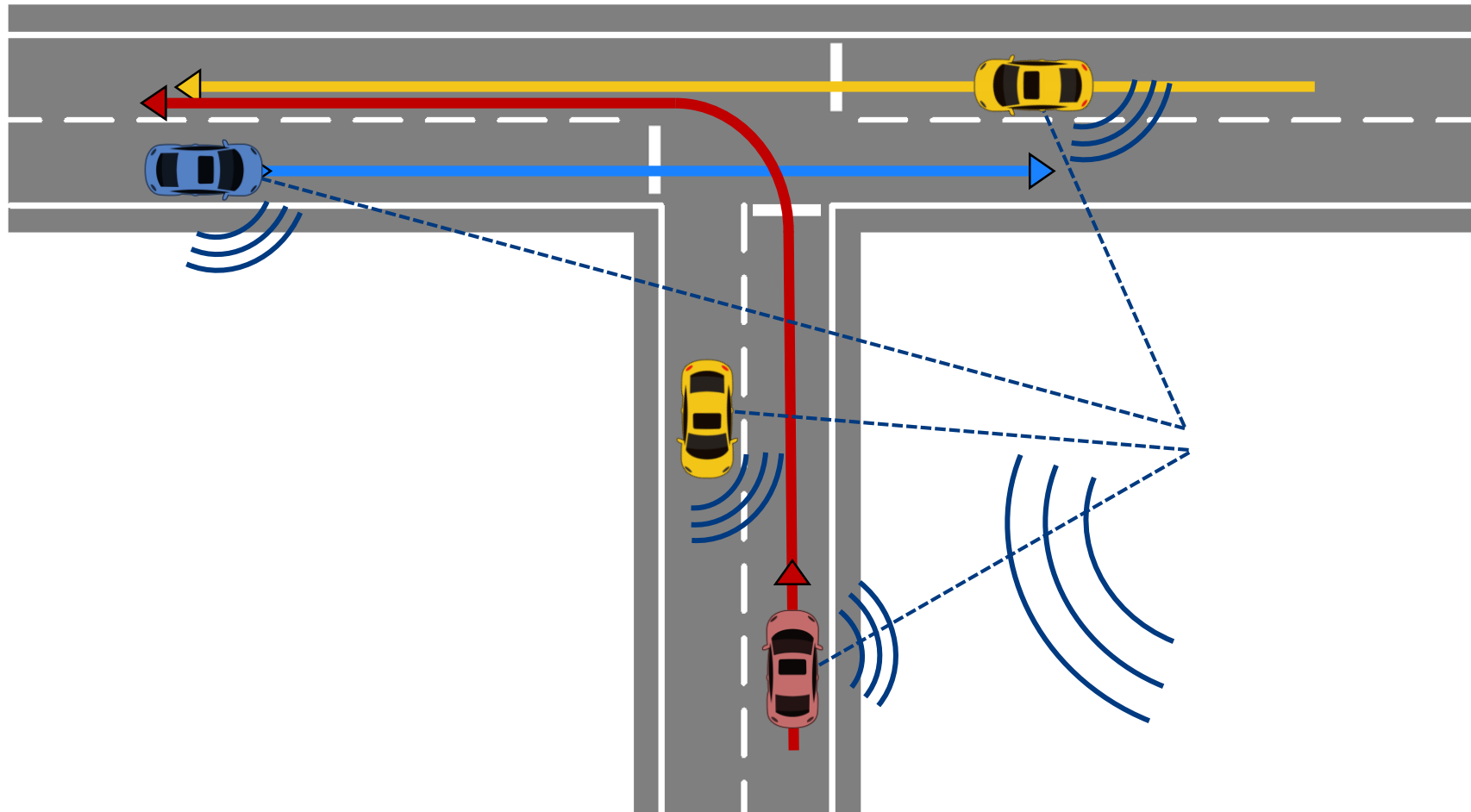
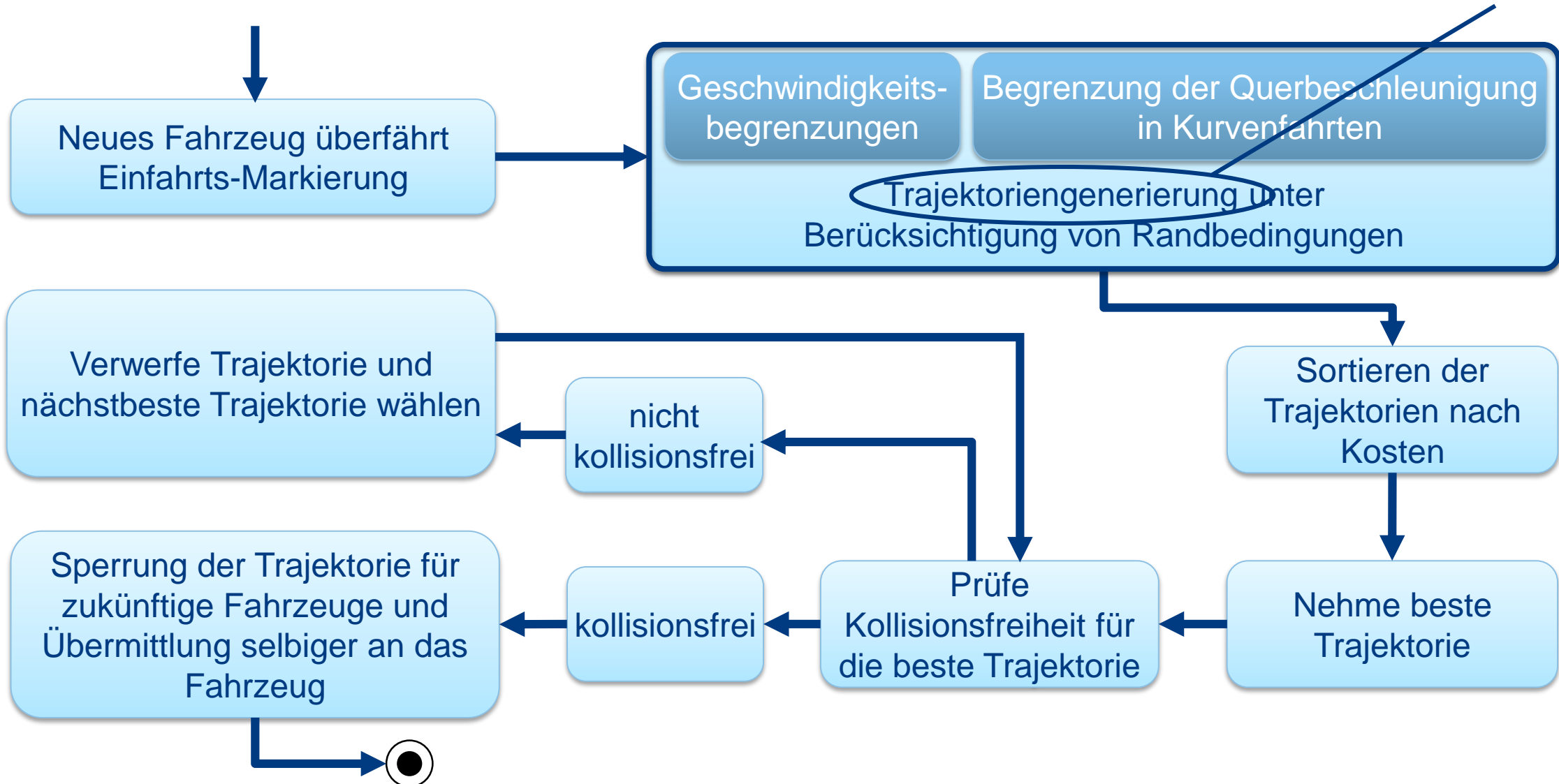


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

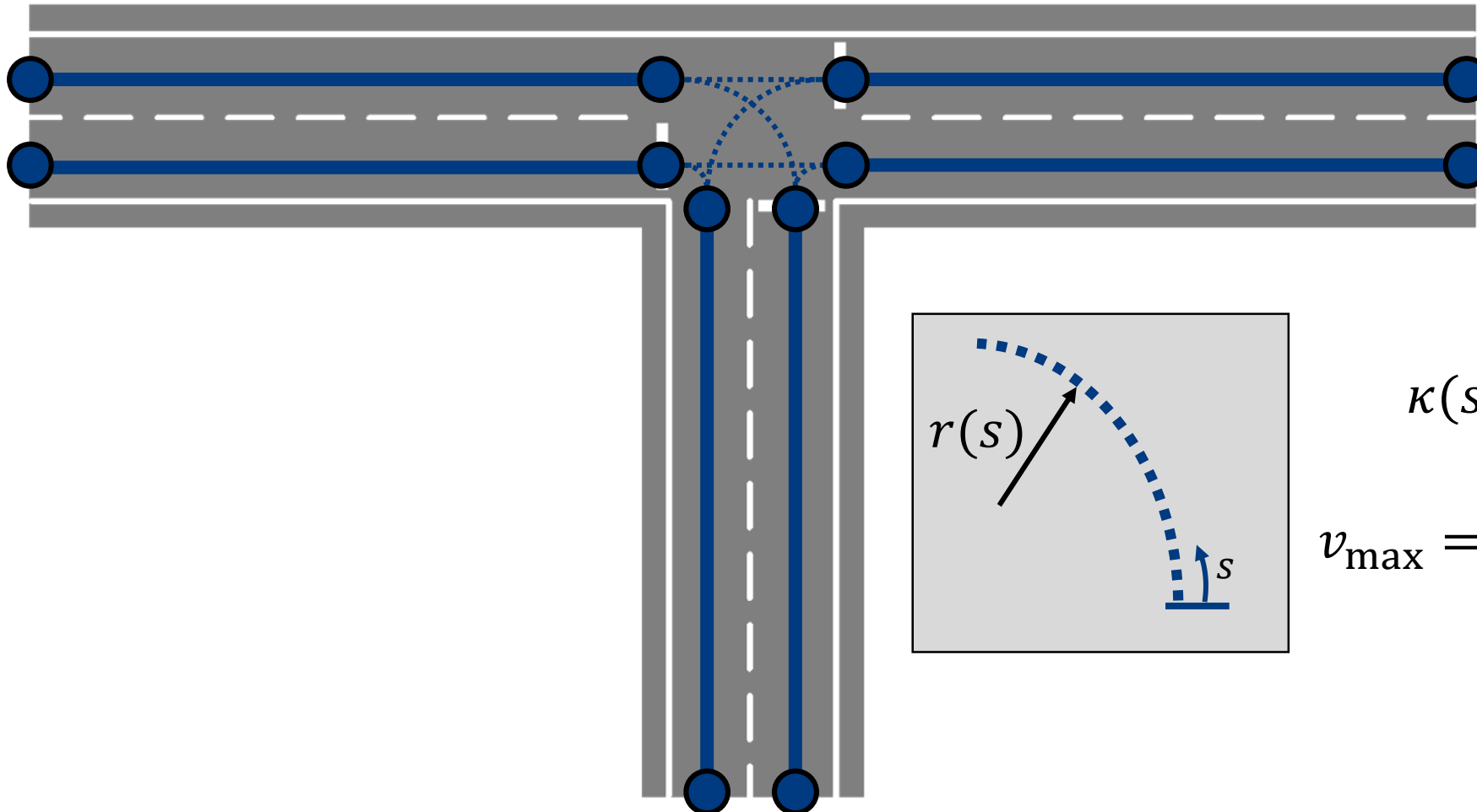
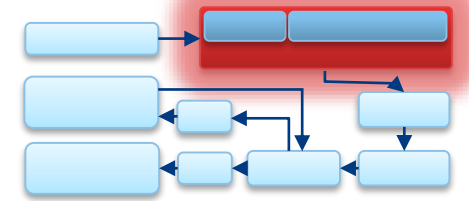
Konzept des vorgestellten Algorithmus

Beschreibung der zeitlichen Bewegung des Fahrzeugs



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Berechnung der Spuren

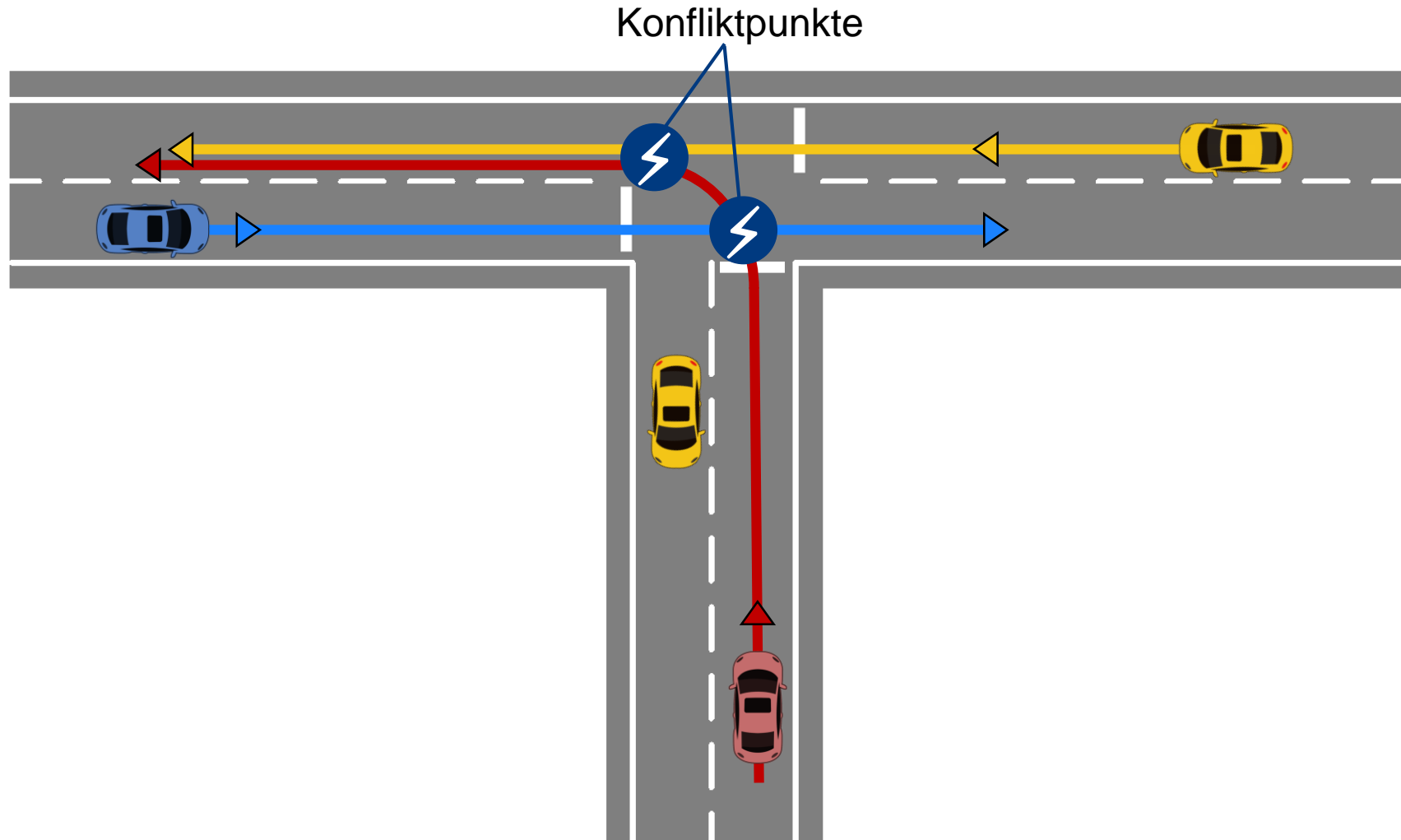
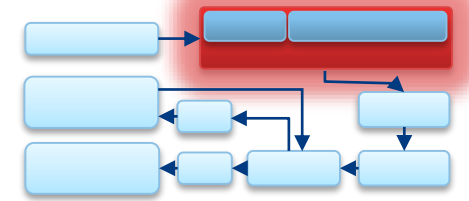


$$\kappa(s) = \frac{1}{r(s)}$$
$$v_{\max} = \frac{a_{\max}}{\max(\kappa(s))}$$

Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

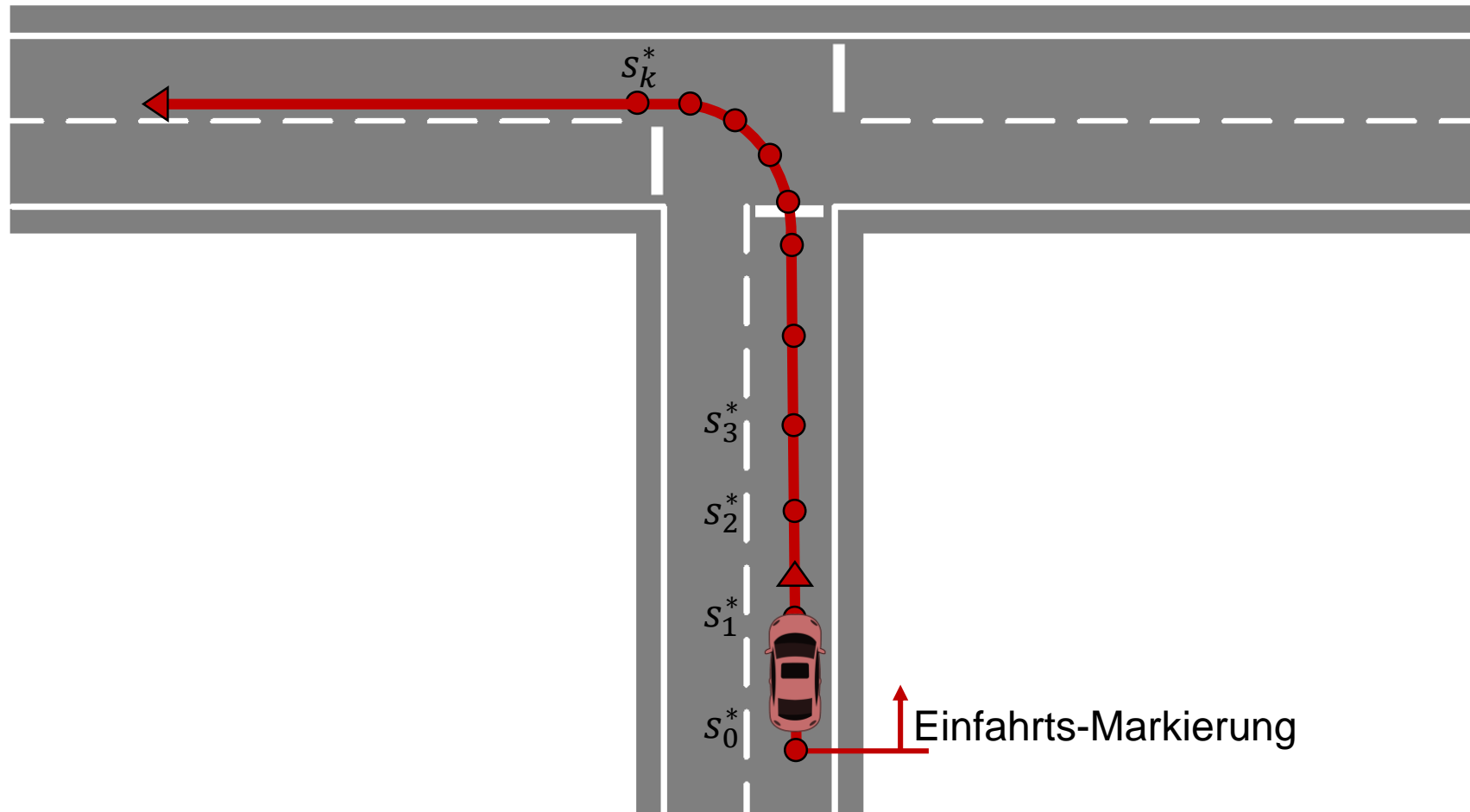
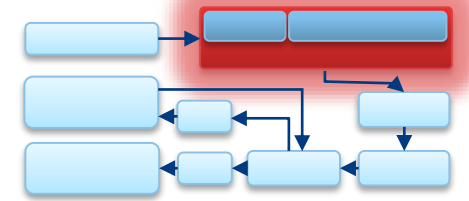
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Diskretisierung der Wegstrecken



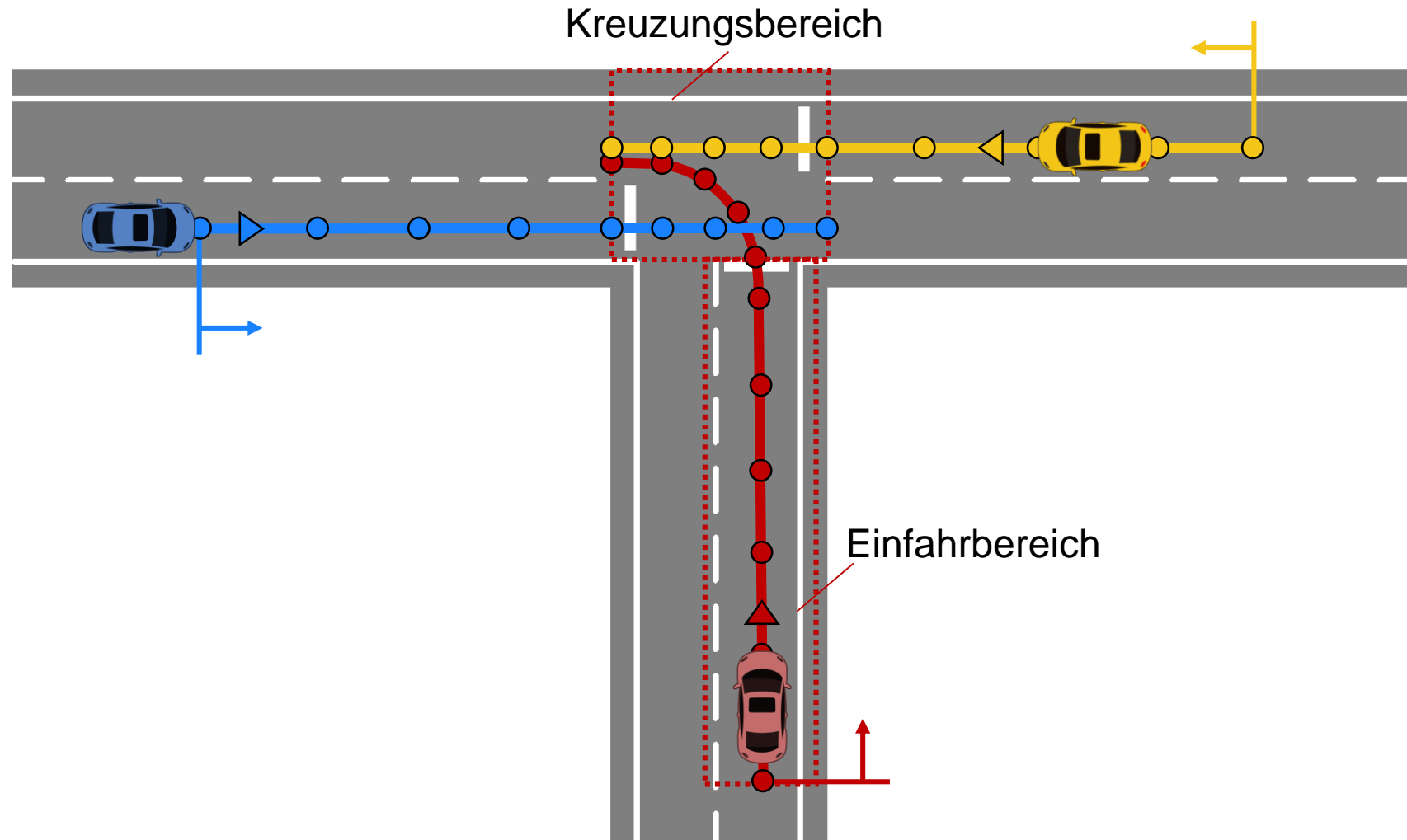
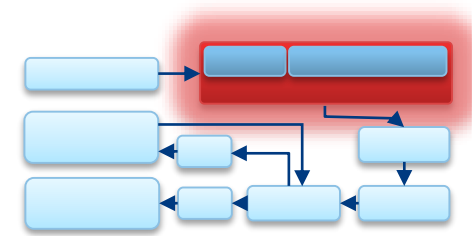
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Diskretisierung der Wegstrecken



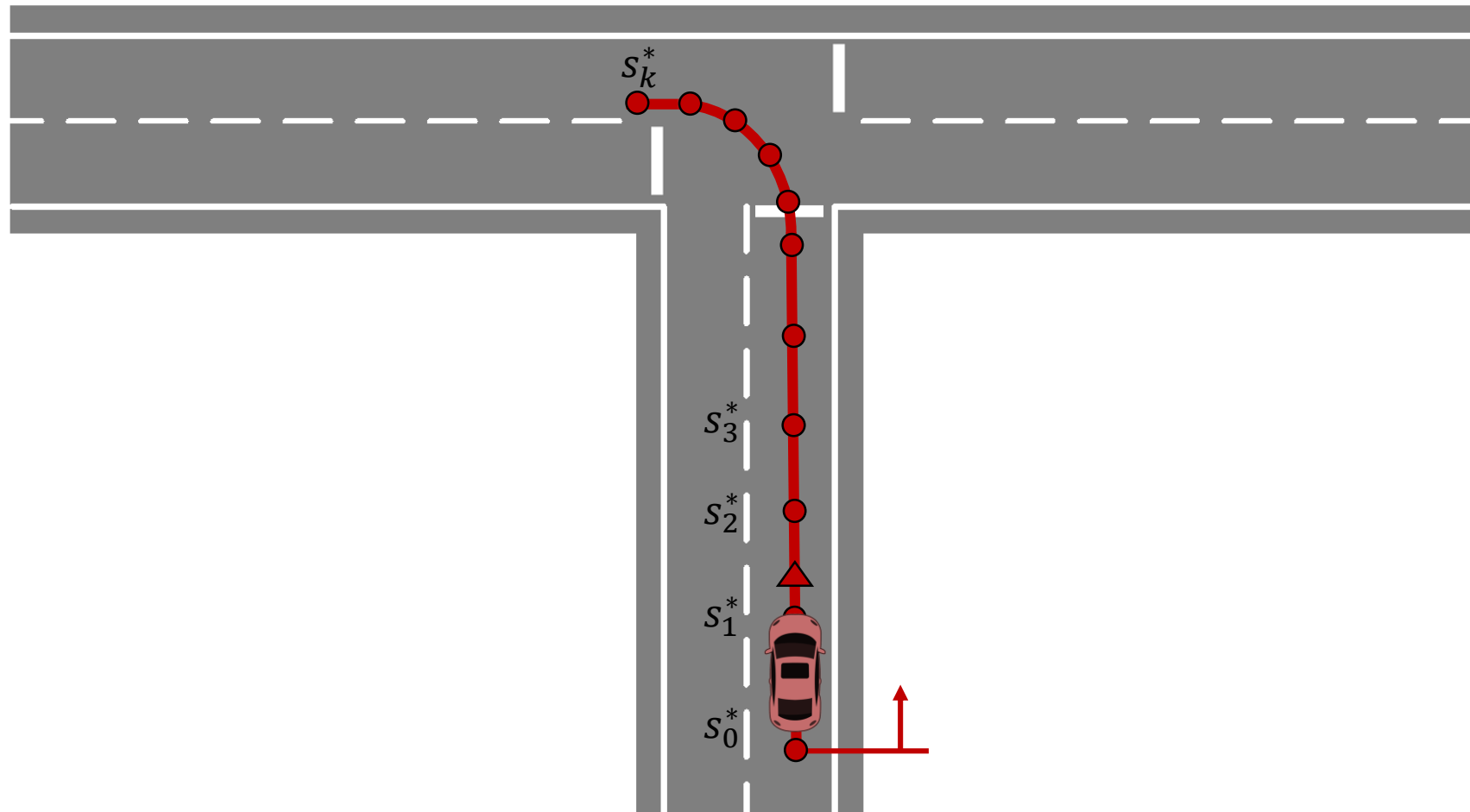
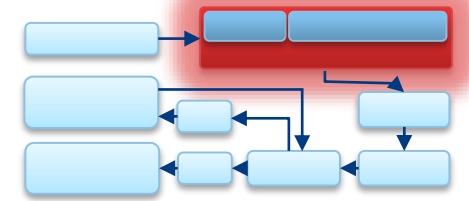
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Diskretisierung der Wegstrecken



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Diskretisierung der Wegstrecken



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Diskretisierung der Zeit

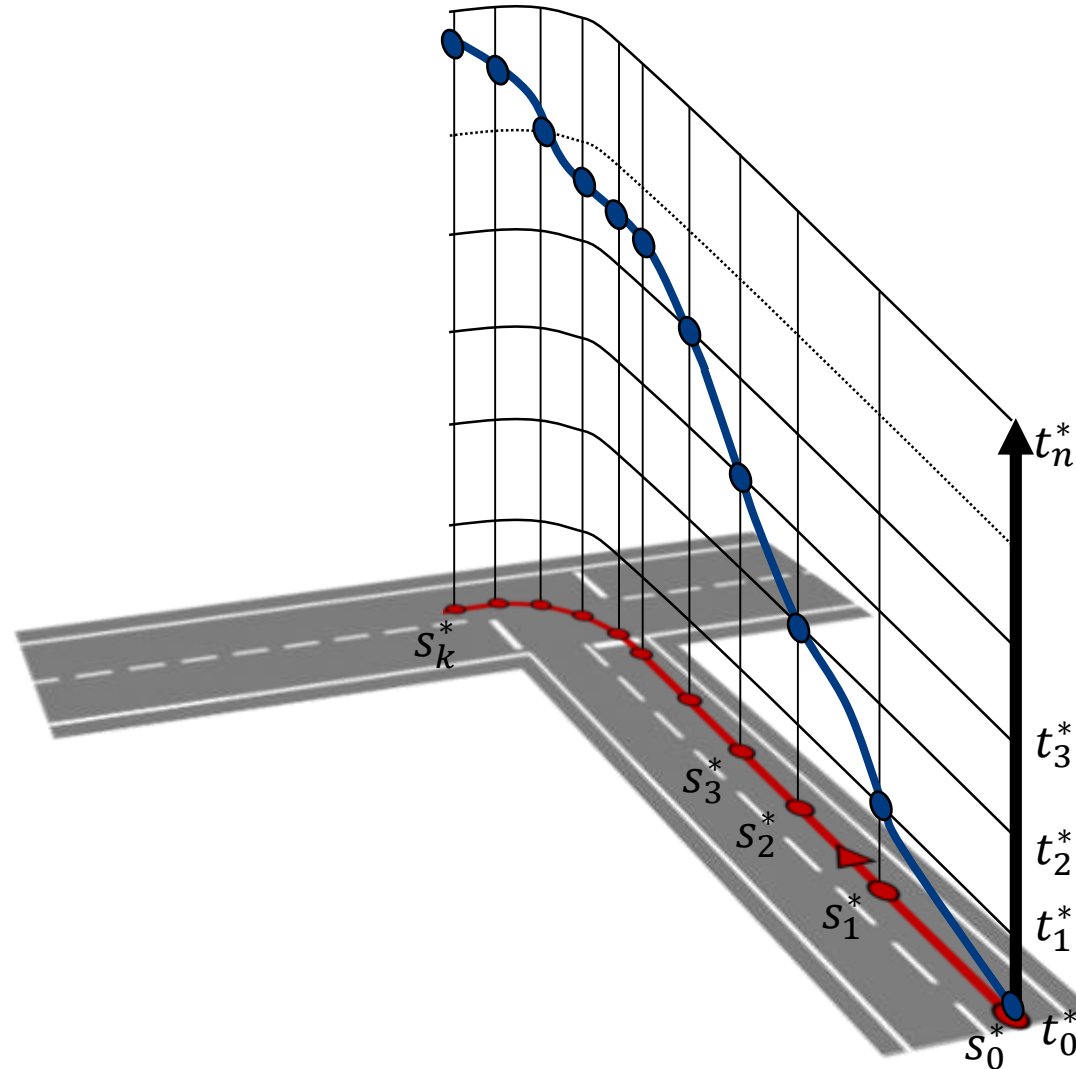
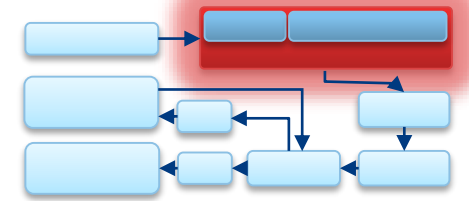
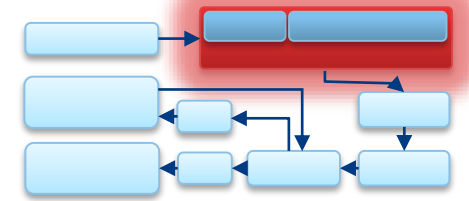


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Zugrundeliegende physikalische Beziehungen



■ Zustand: $x_i^* = x(t_i) = [a(t_i), v(t_i), s(t_i)]^T$

■ Berechnung Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg mit konstantem Ruck r :

$$a(t) = r \cdot t + a_0$$

$$v(t) = \frac{1}{2} \cdot r \cdot t^2 + a_0 \cdot t + v_0$$

$$s(t) = \frac{1}{6} \cdot r \cdot t^3 + \frac{1}{2} \cdot a_0 \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

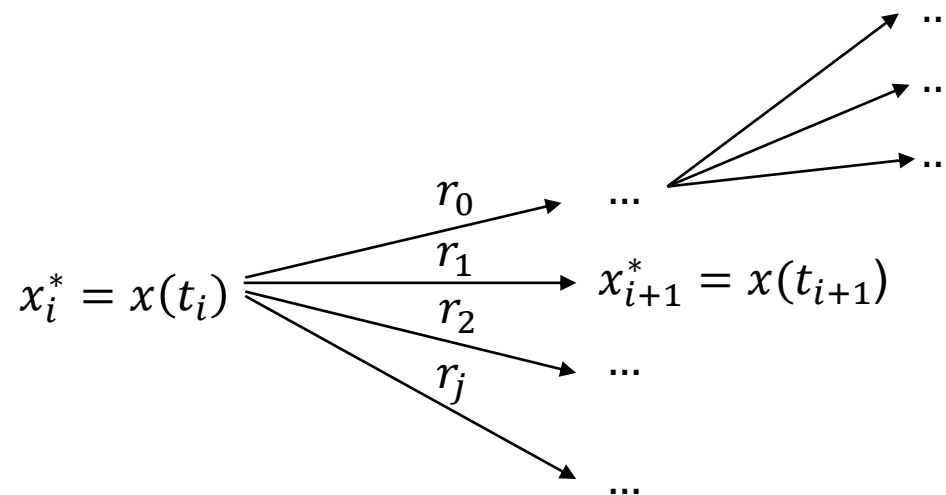
$$r_{min} \leq r \leq r_{max} \wedge$$

$$a_{min} \leq a(t) \leq a_{max} \wedge$$

$$v_{min} \leq v(t) \leq v_{max} \wedge$$

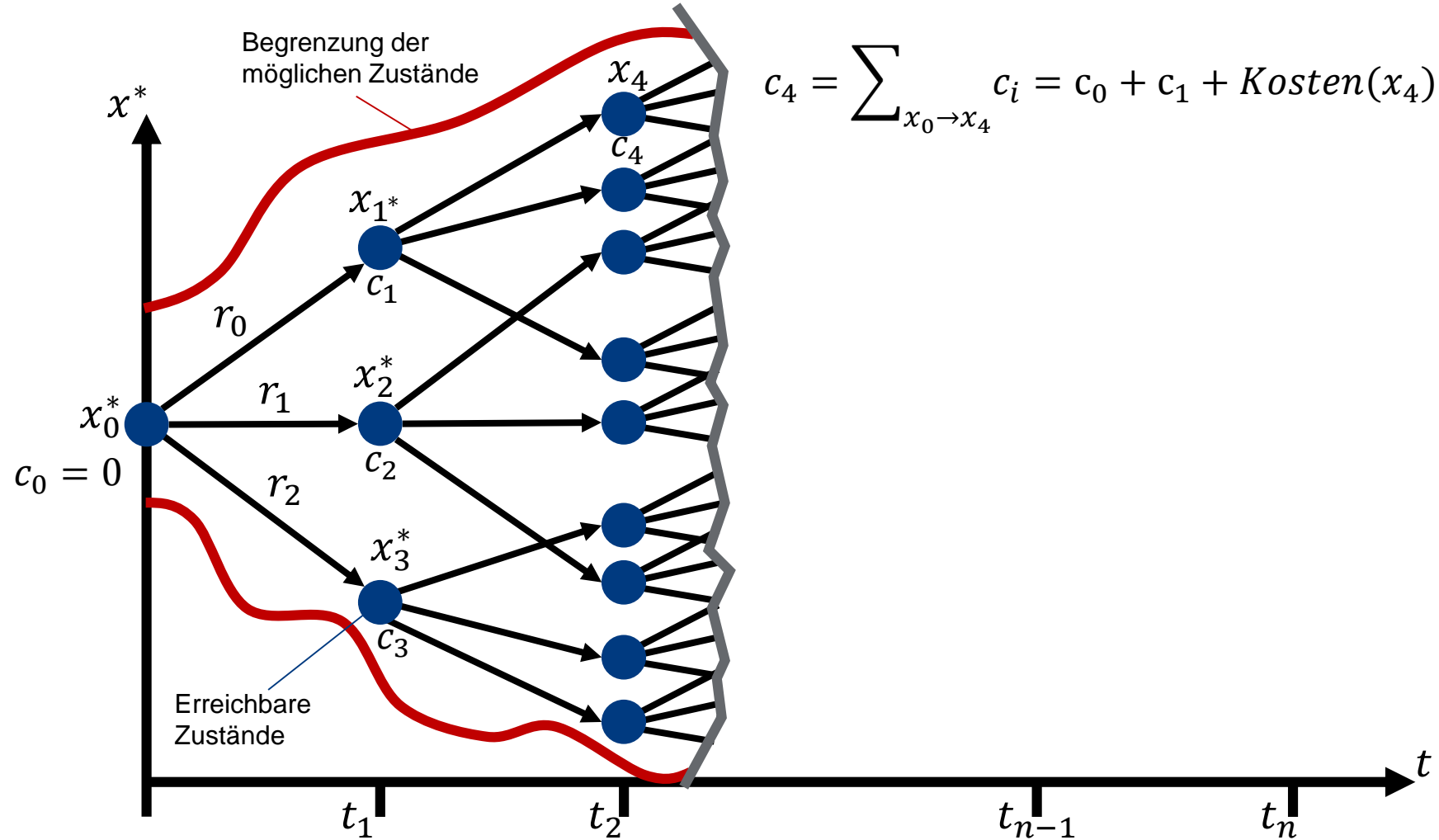
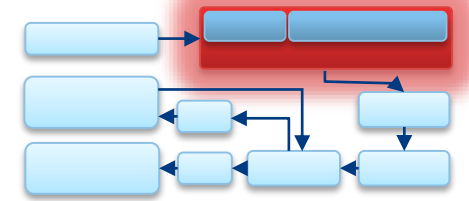
$$0 \leq s(t) \leq s_e$$

$$\frac{ds(t)}{dt} = v(t), \frac{dv(t)}{dt} = a(t), \frac{da(t)}{dt} = r(t)$$



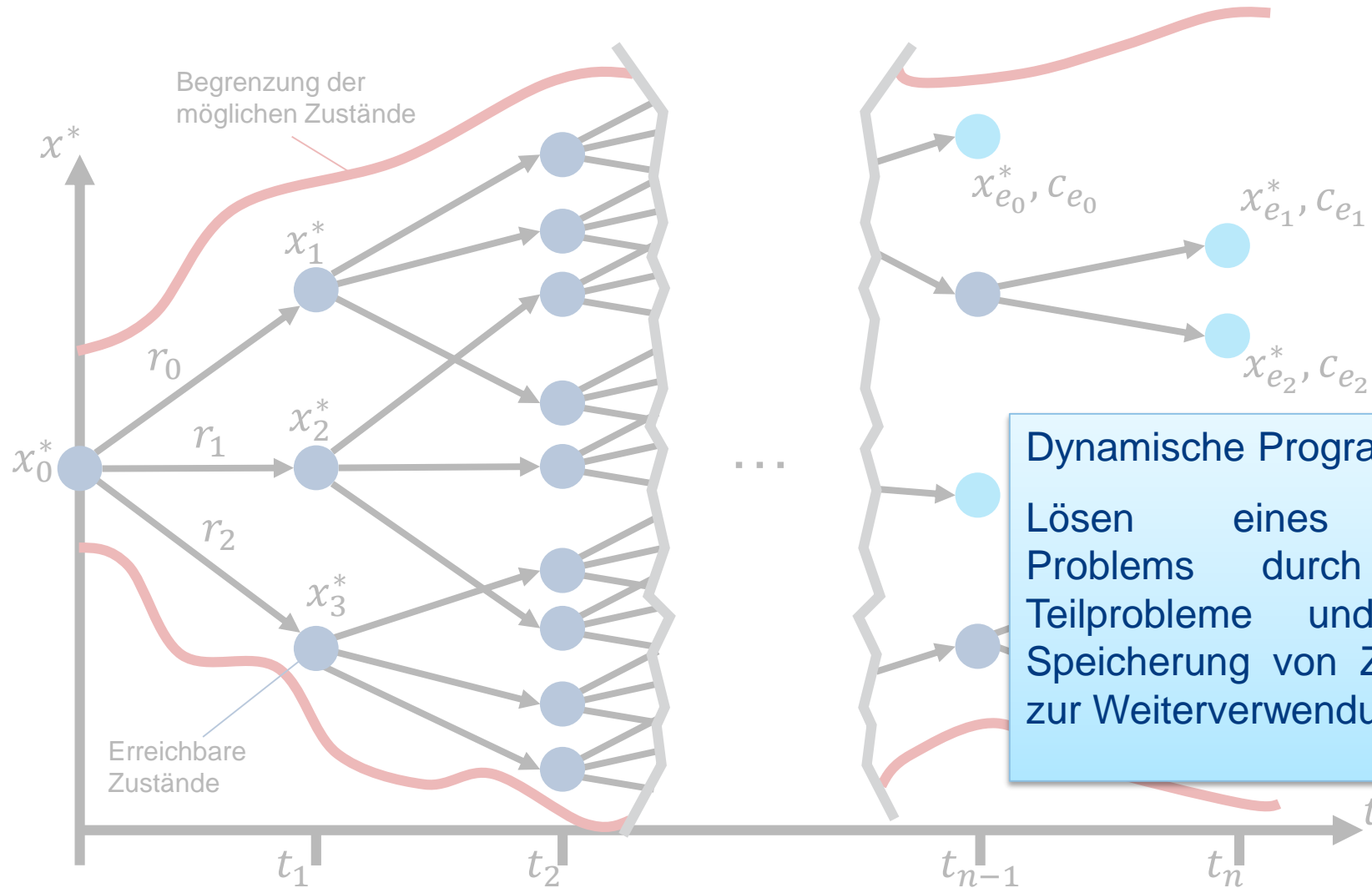
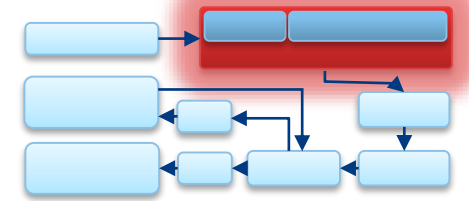
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Zustandsraum-Exploration



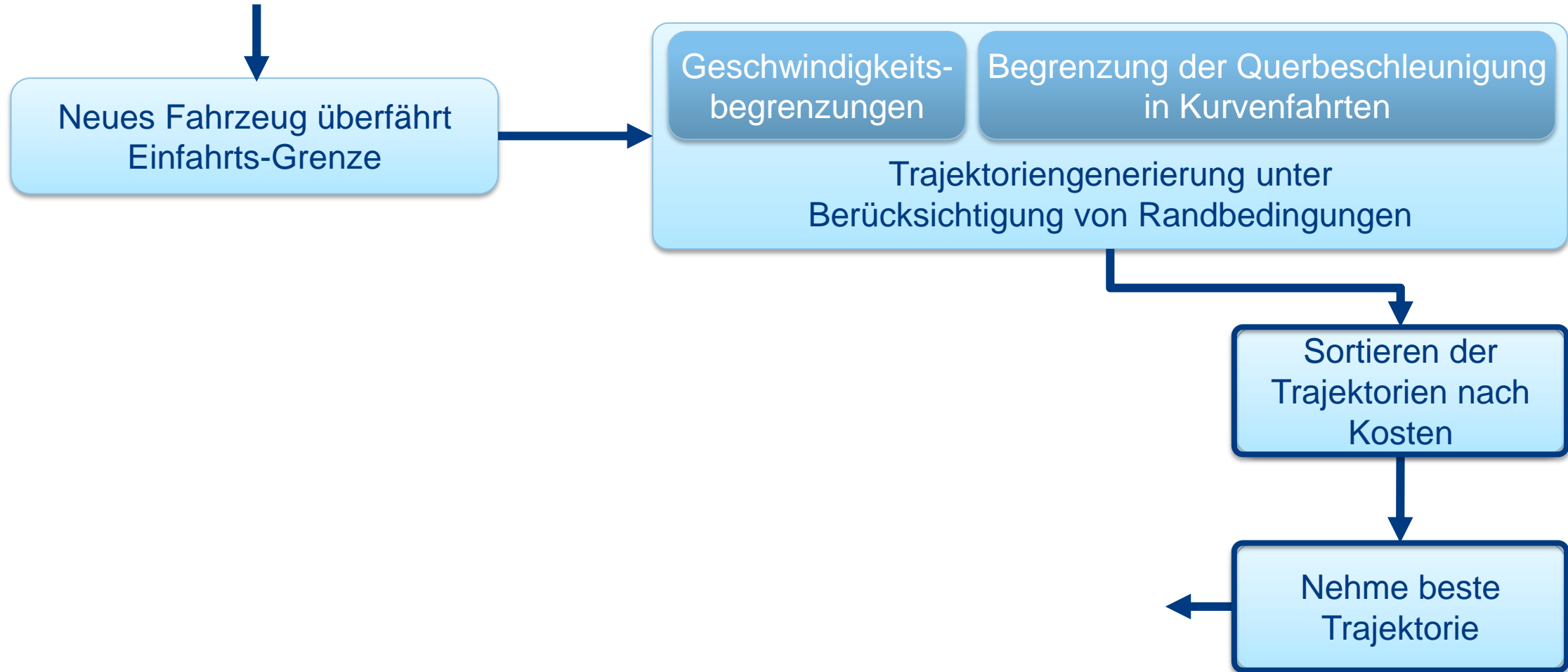
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Zustandsraum-Exploration



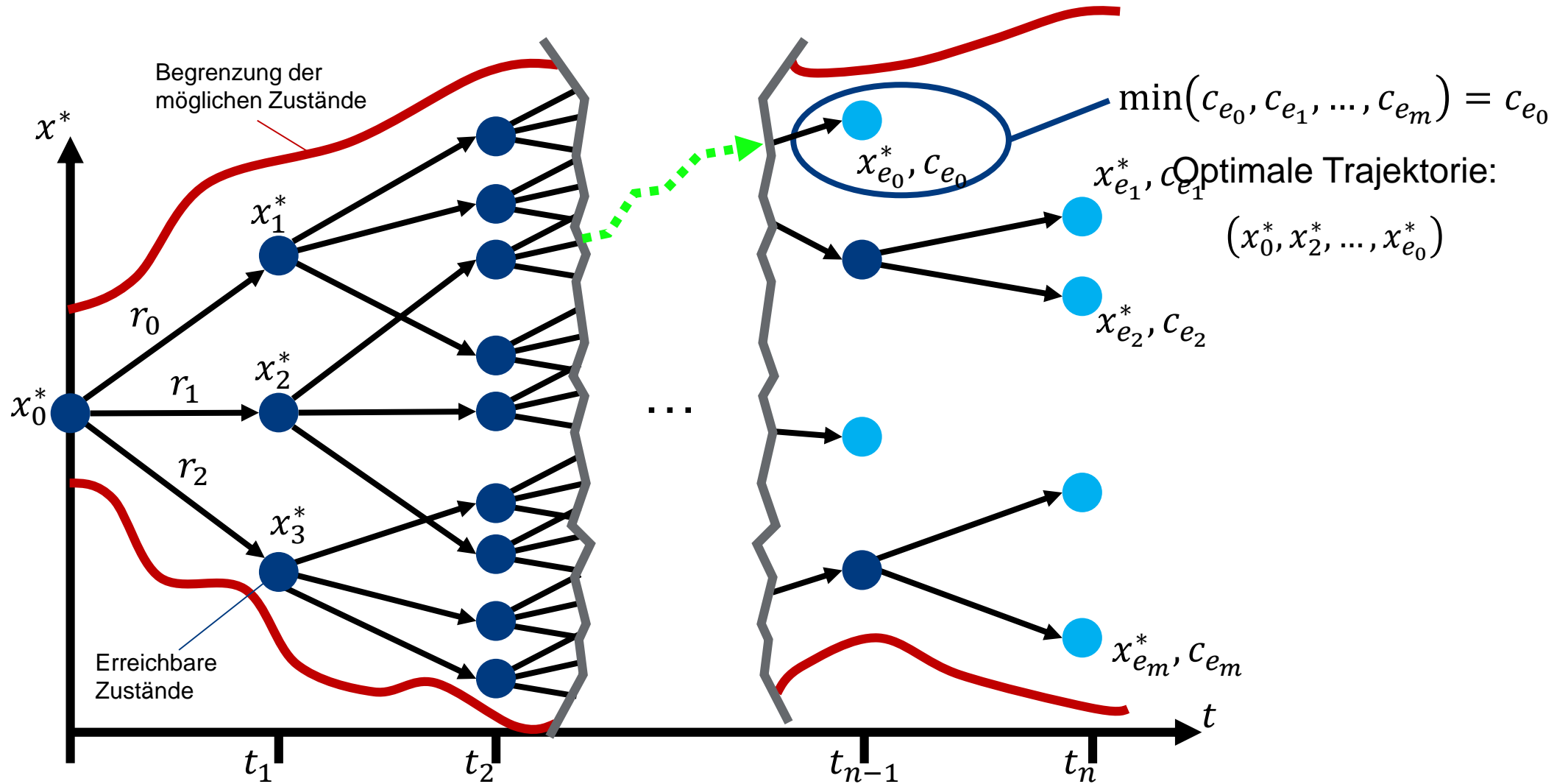
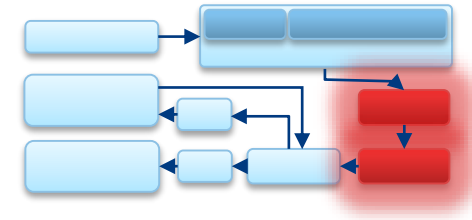
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Konzept des vorgestellten Algorithmus



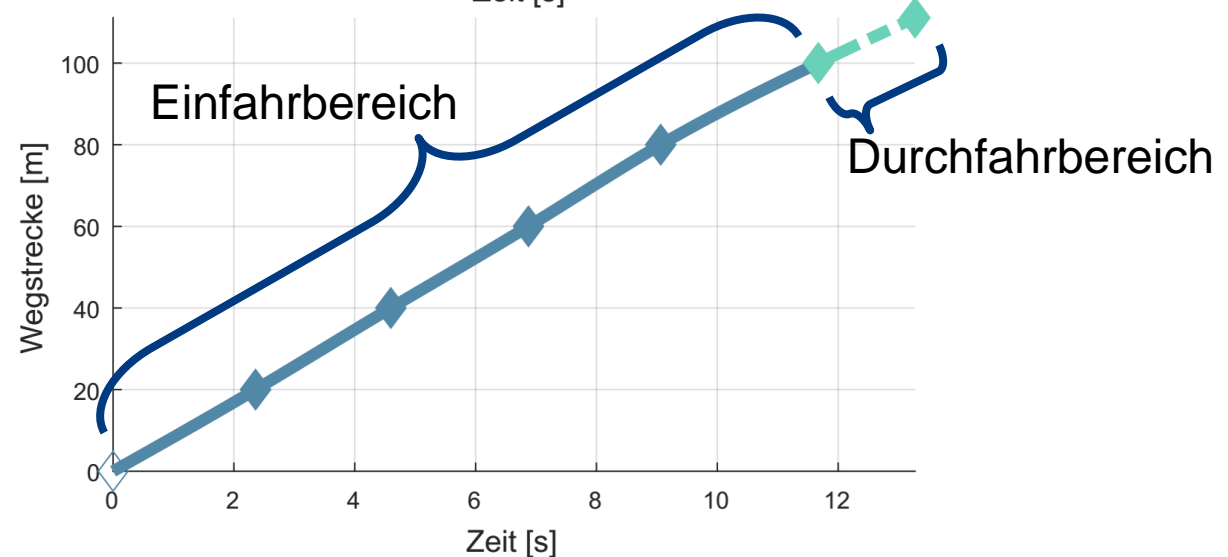
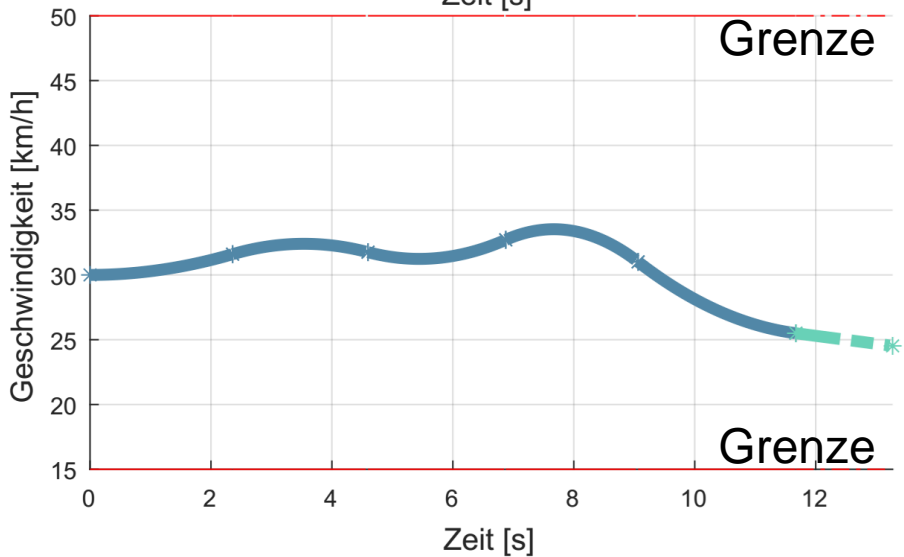
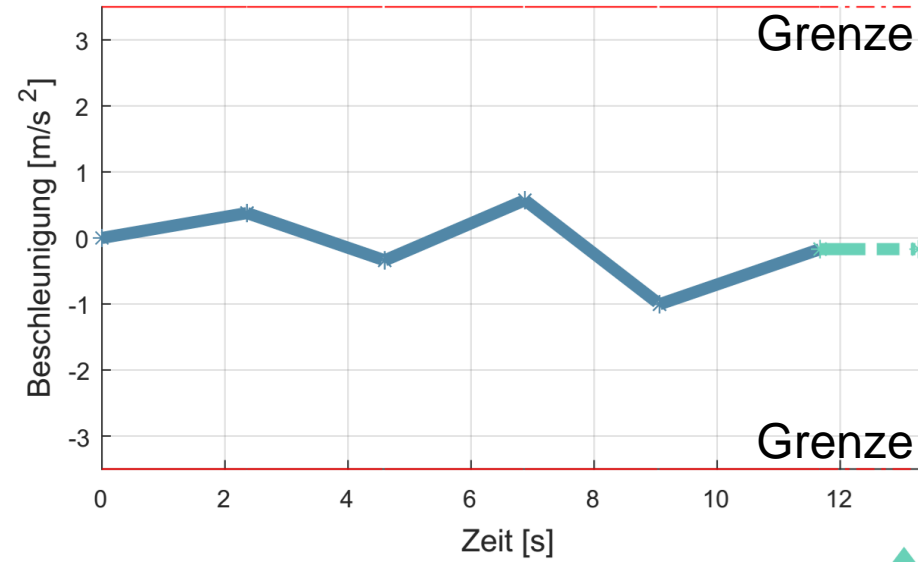
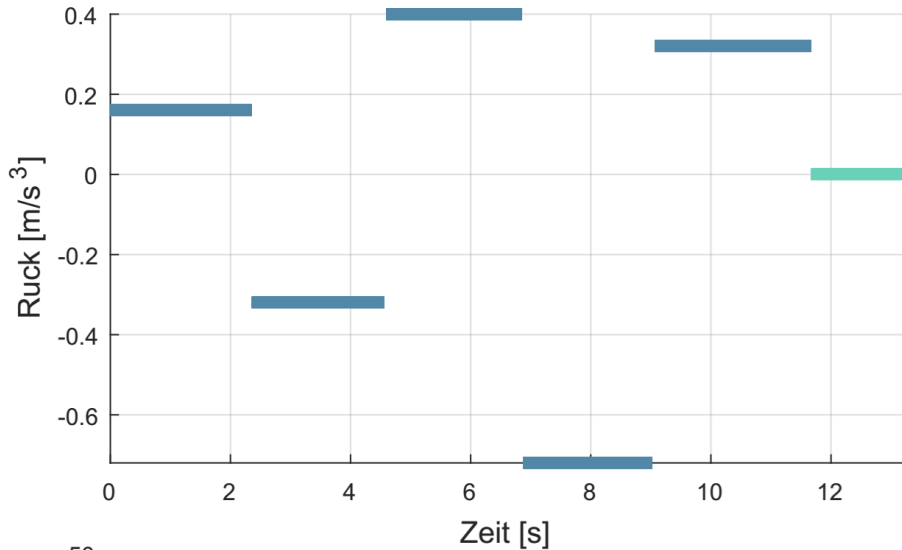
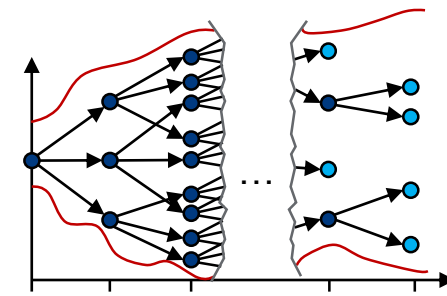
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Zustandsraum-Exploration



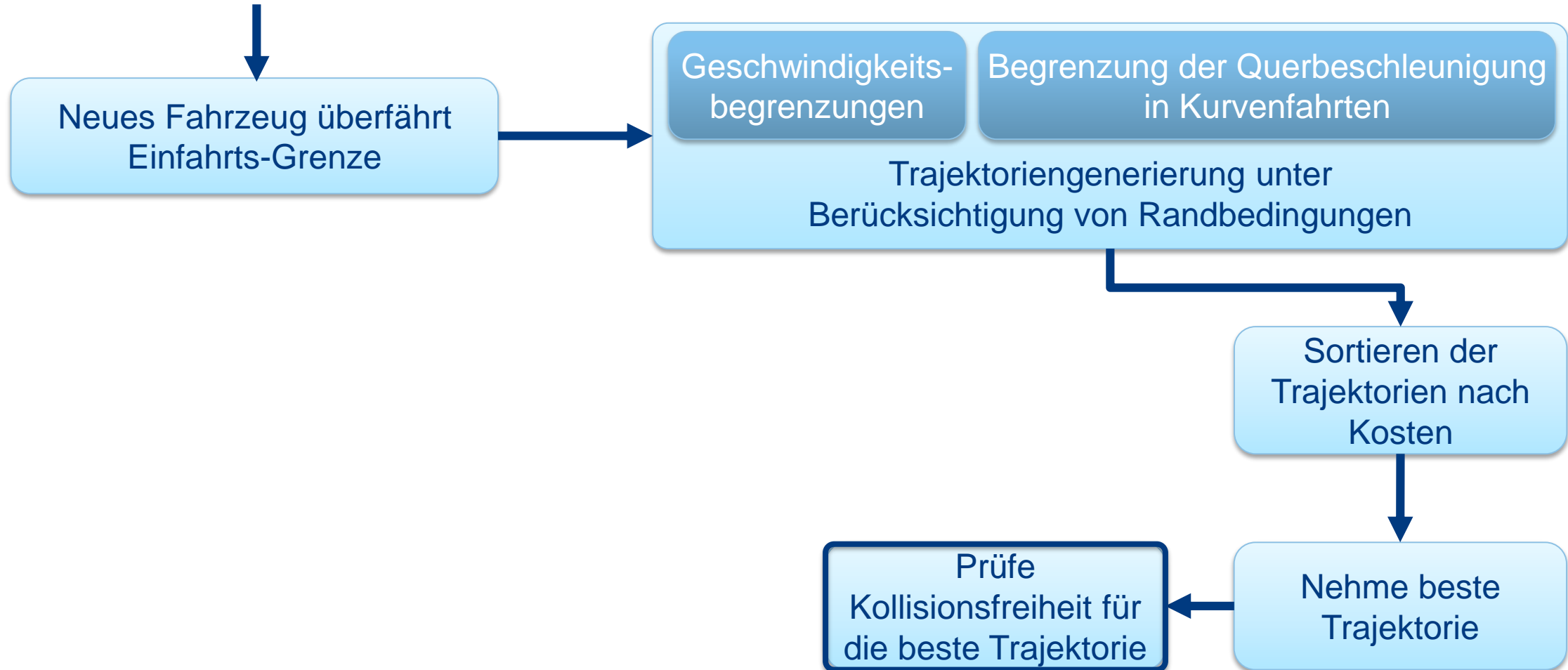
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(1) Trajektoriengenerierung: Beispiel-Trajektorie



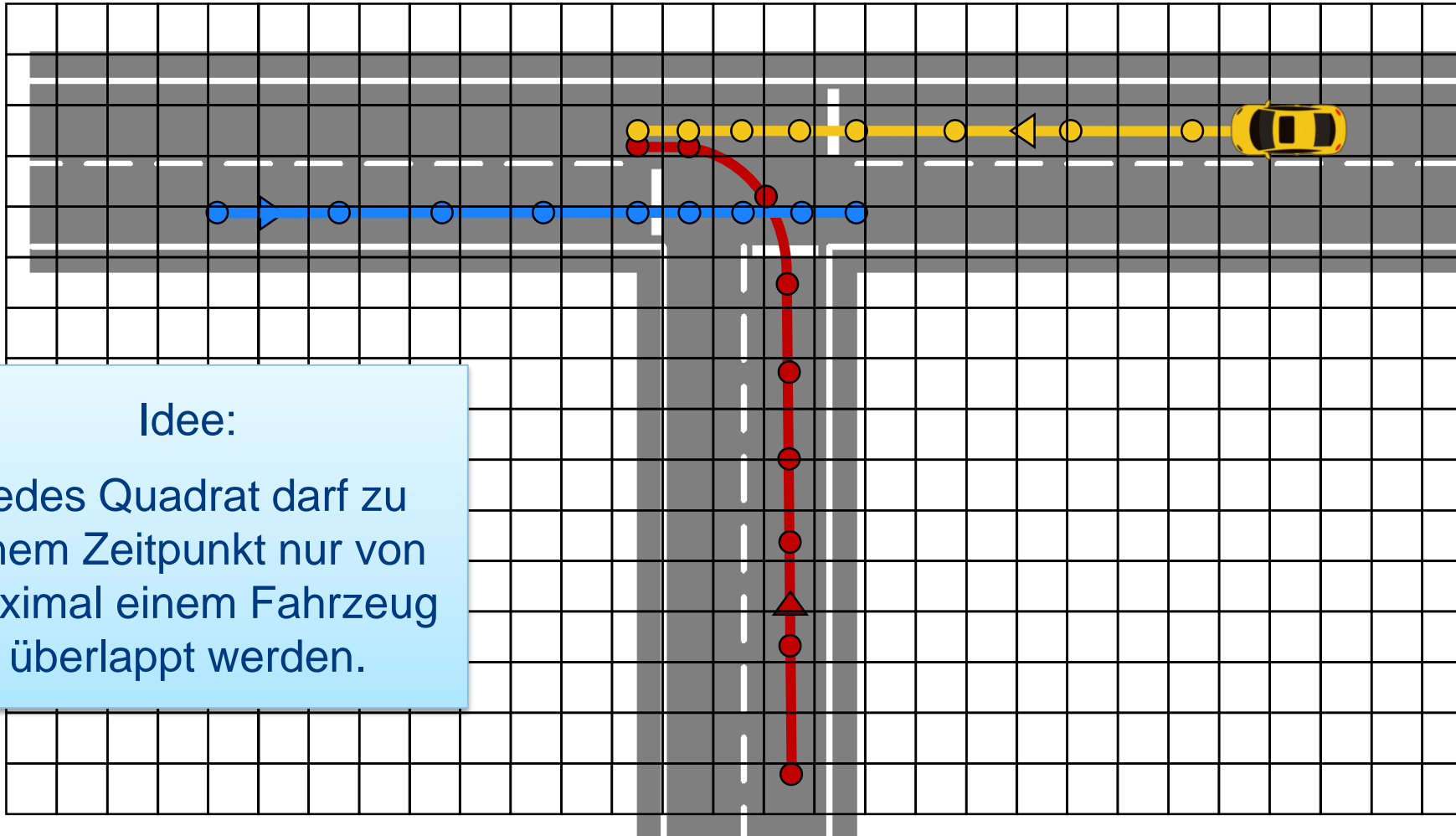
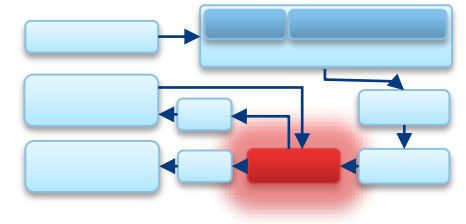
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Konzept des vorgestellten Algorithmus



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

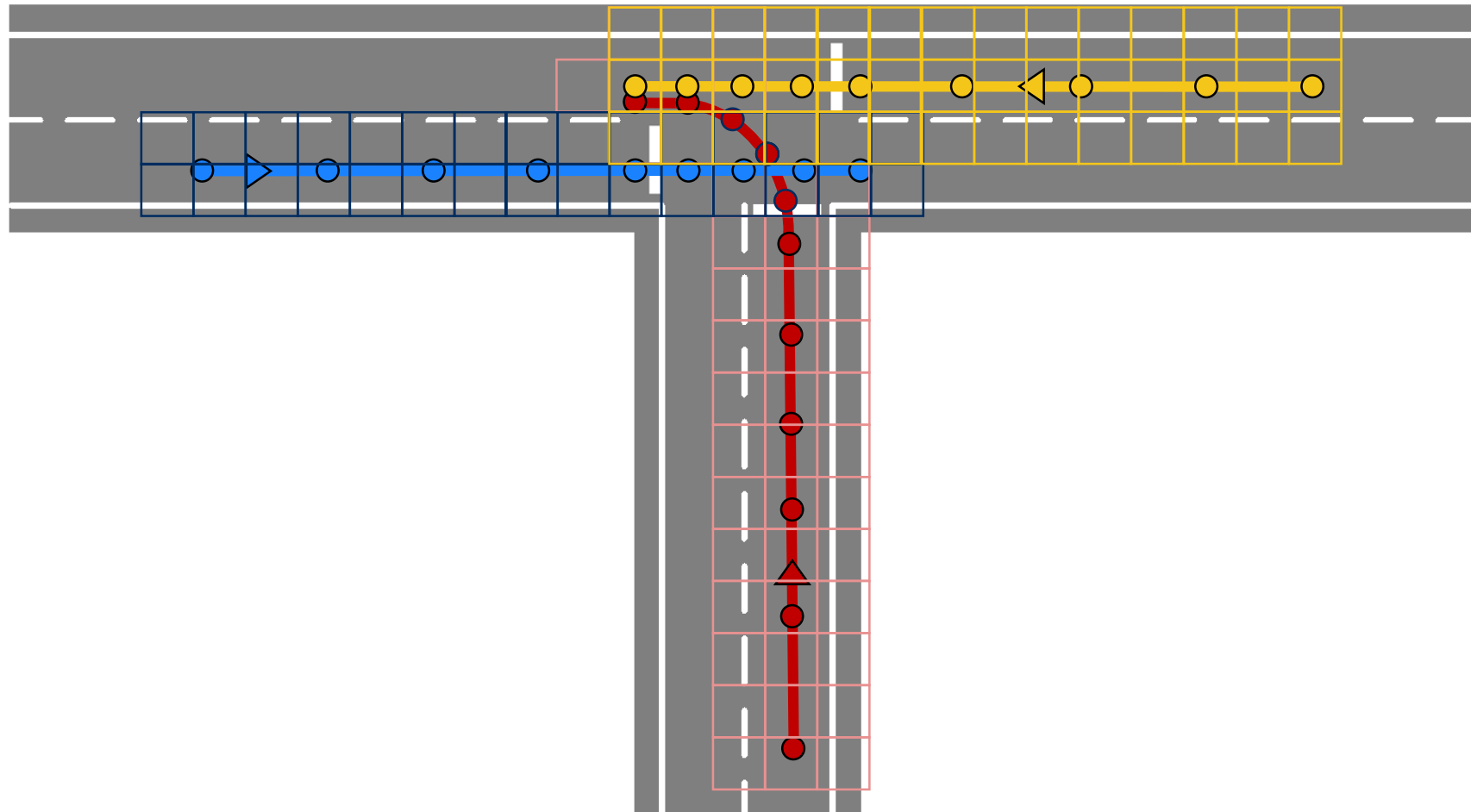
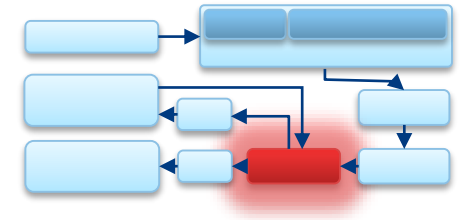
(2) Kollisionsprüfung: Kreuzungs-Kollisionsraster



Idee:
Jedes Quadrat darf zu einem Zeitpunkt nur von maximal einem Fahrzeug überlappt werden.

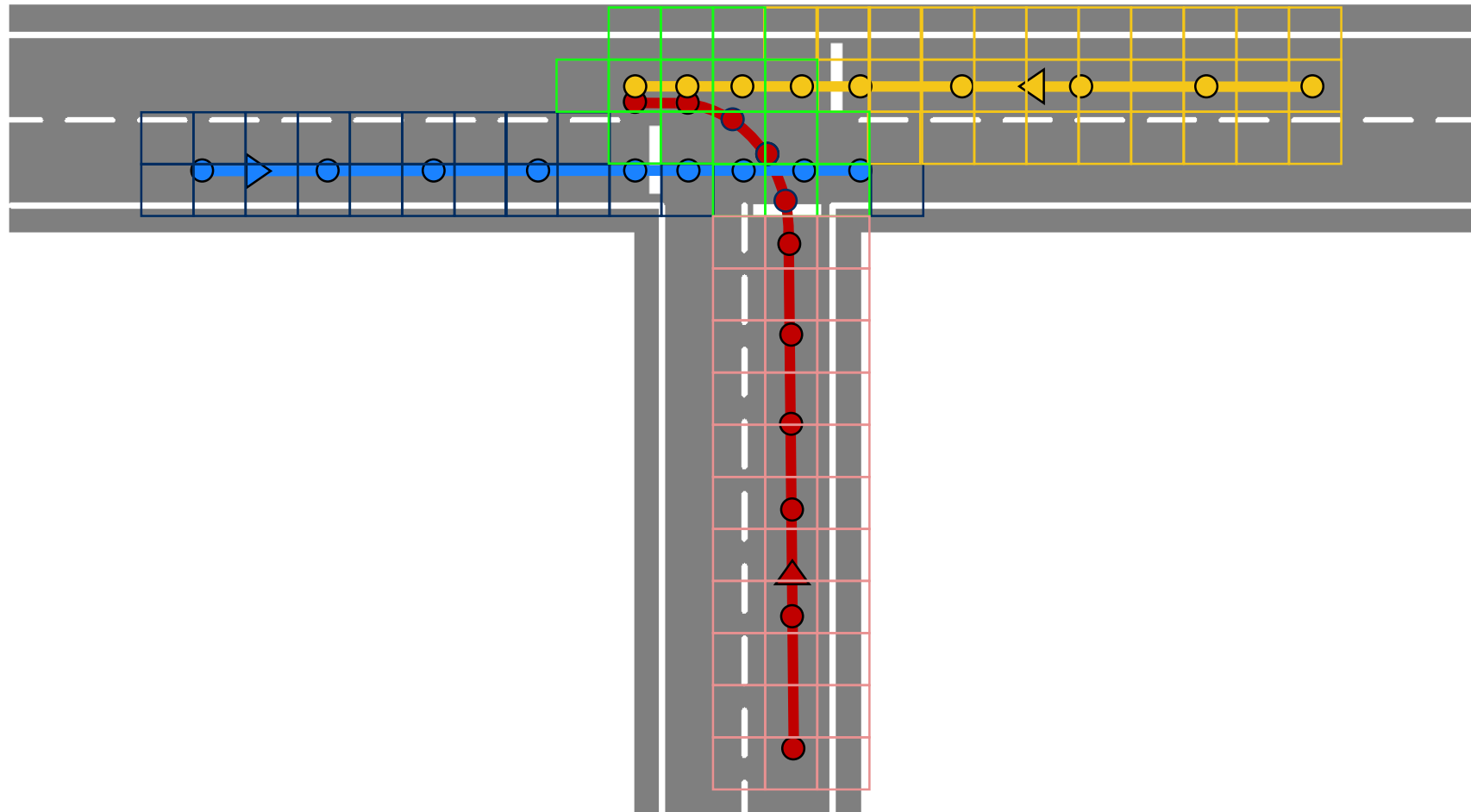
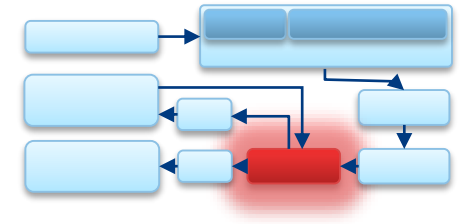
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(2) Kollisionsprüfung: Reduziertes Kreuzungs-Kollisionsraster



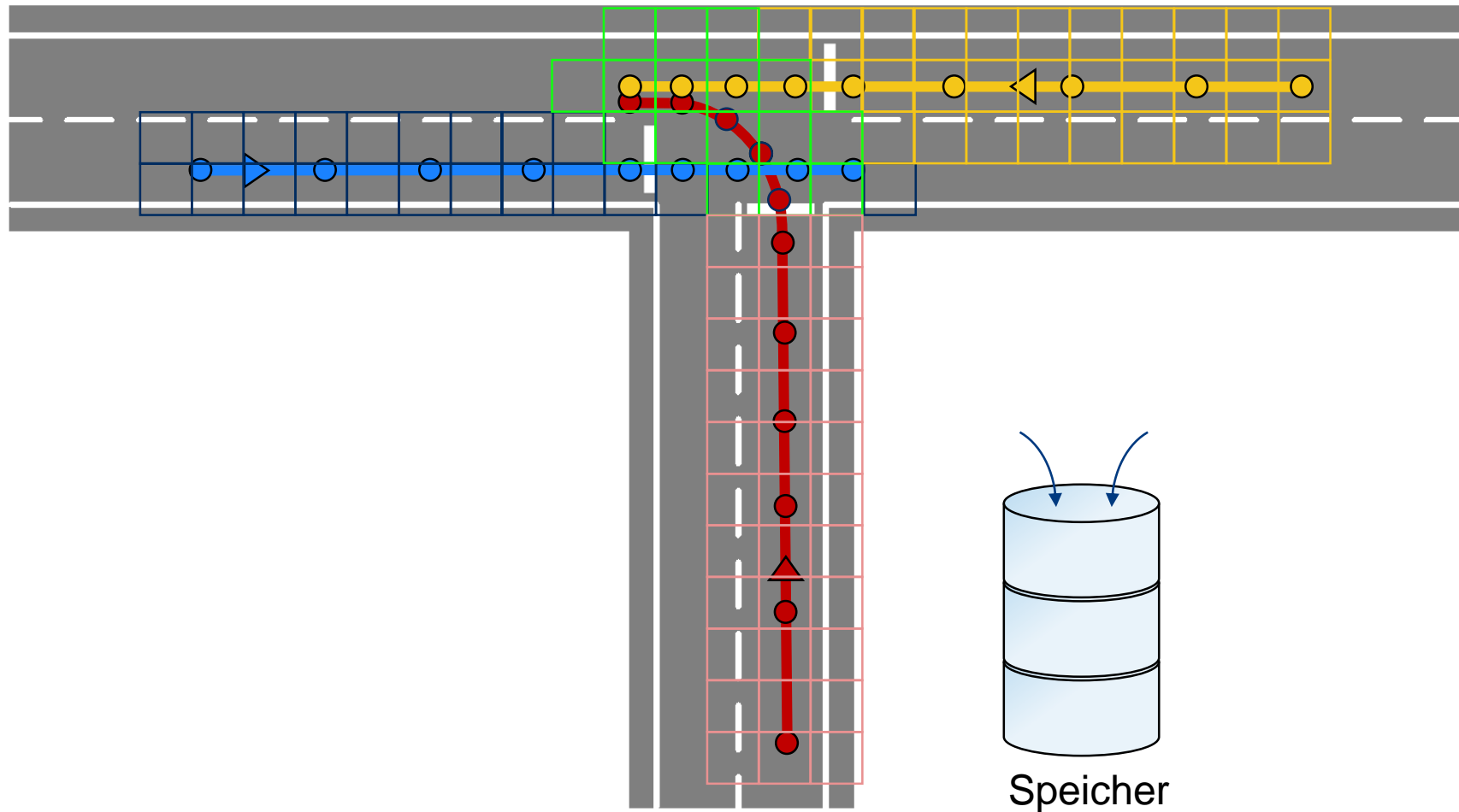
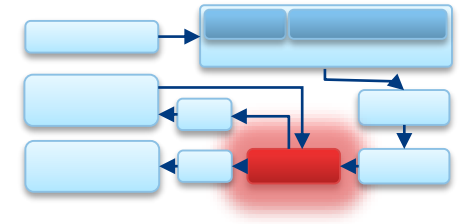
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(2) Kollisionsprüfung: Minimales Kreuzungs-Kollisionsraster



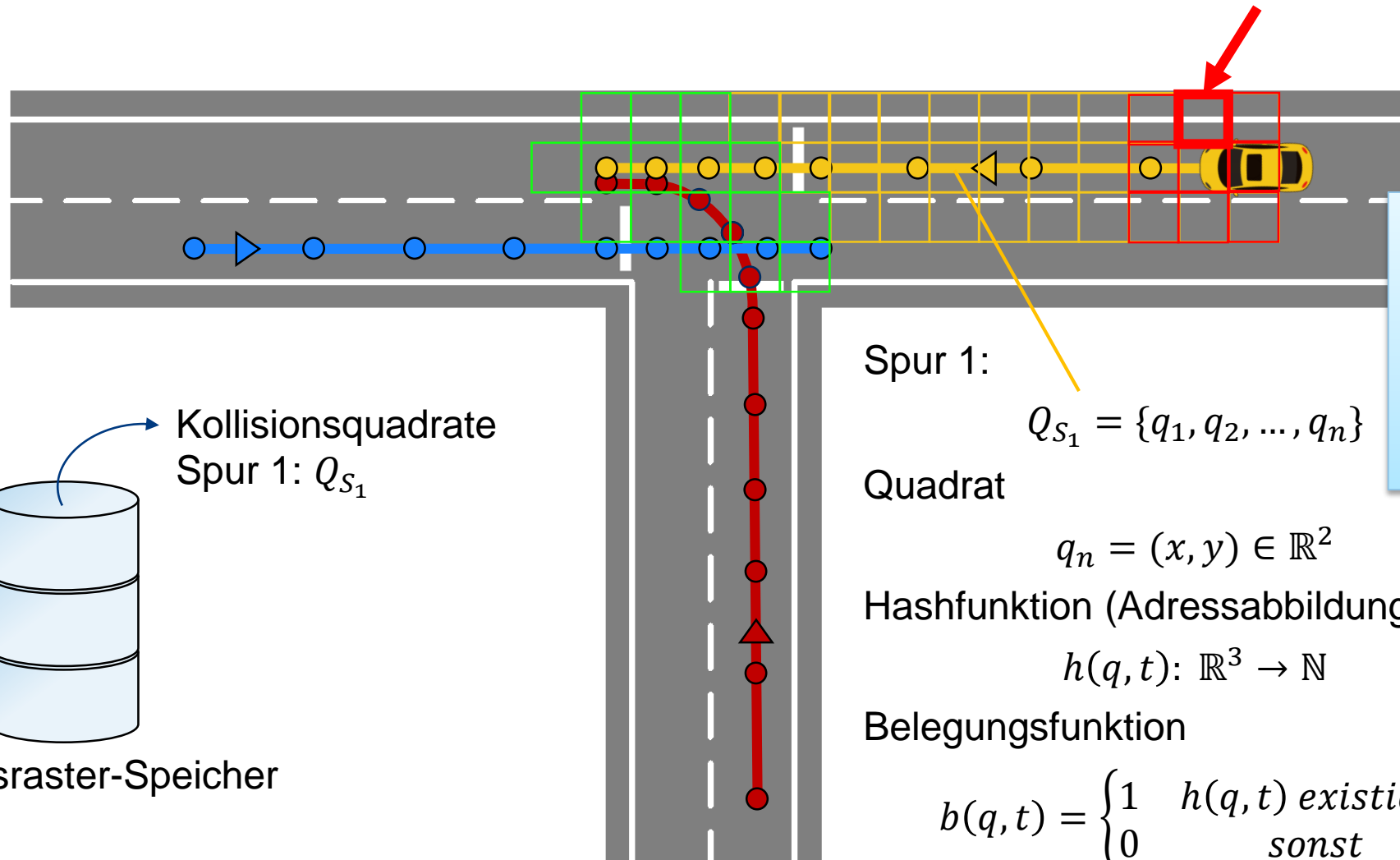
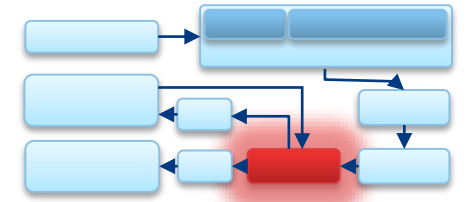
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(2) Kollisionsprüfung: Minimales Kreuzungs-Kollisionsraster

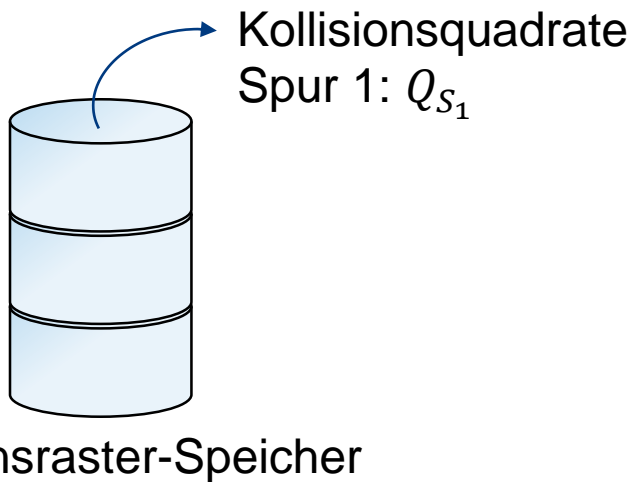


Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(2) Kollisionsprüfung mittels Hash-Funktion



Warum?
Sehr schnelle
Abfragen möglich



Spur 1:

$$Q_{S_1} = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$$

Quadrat

$$q_n = (x, y) \in \mathbb{R}^2$$

Hashfunktion (Adressabbildung)

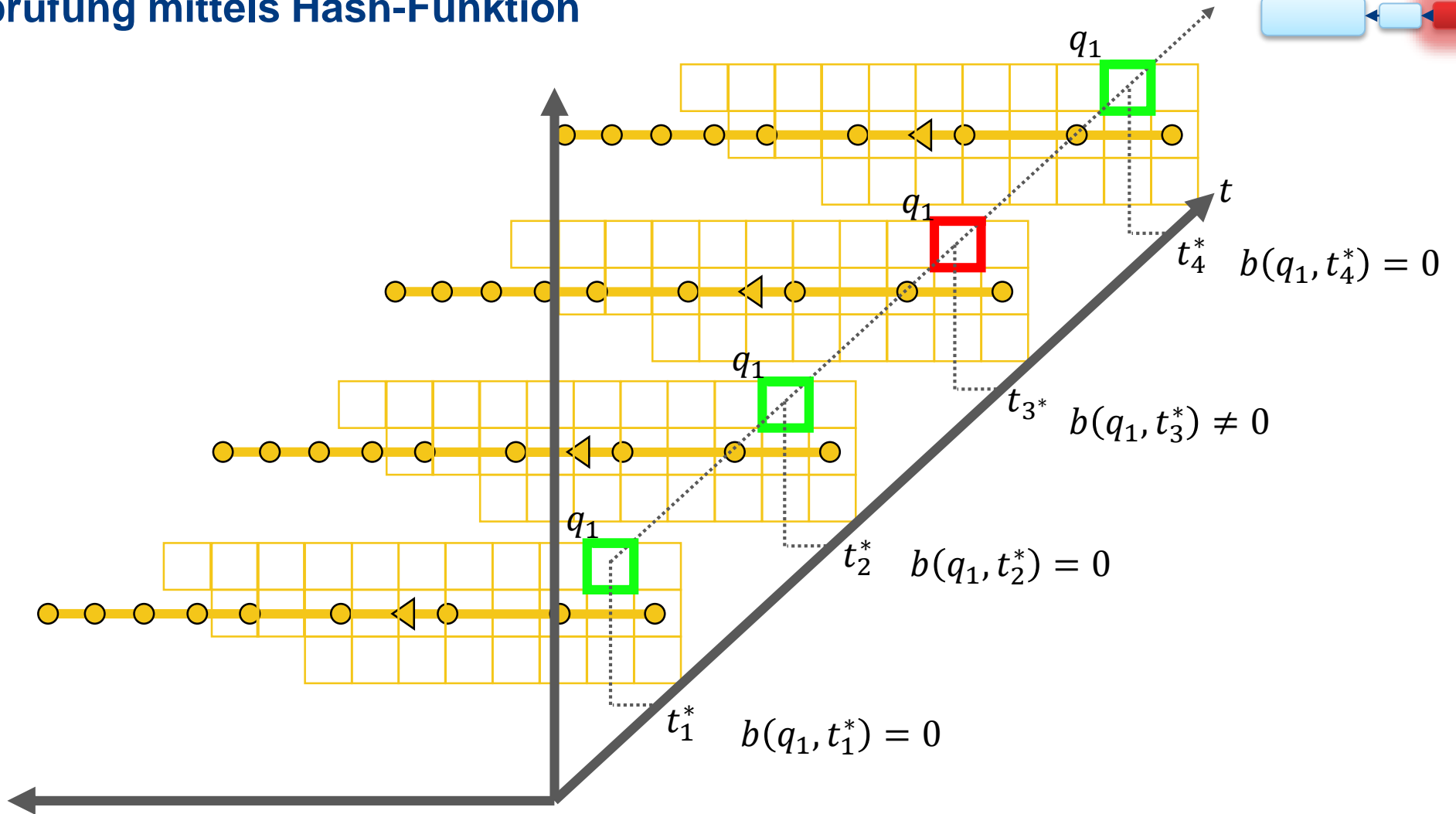
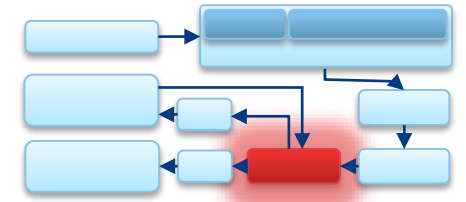
$$h(q, t): \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{N}$$

Belegungsfunktion

$$b(q, t) = \begin{cases} 1 & h(q, t) \text{ existiert} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(2) Kollisionsprüfung mittels Hash-Funktion



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

(2) Kollisionsprüfung mittels Hash-Funktion

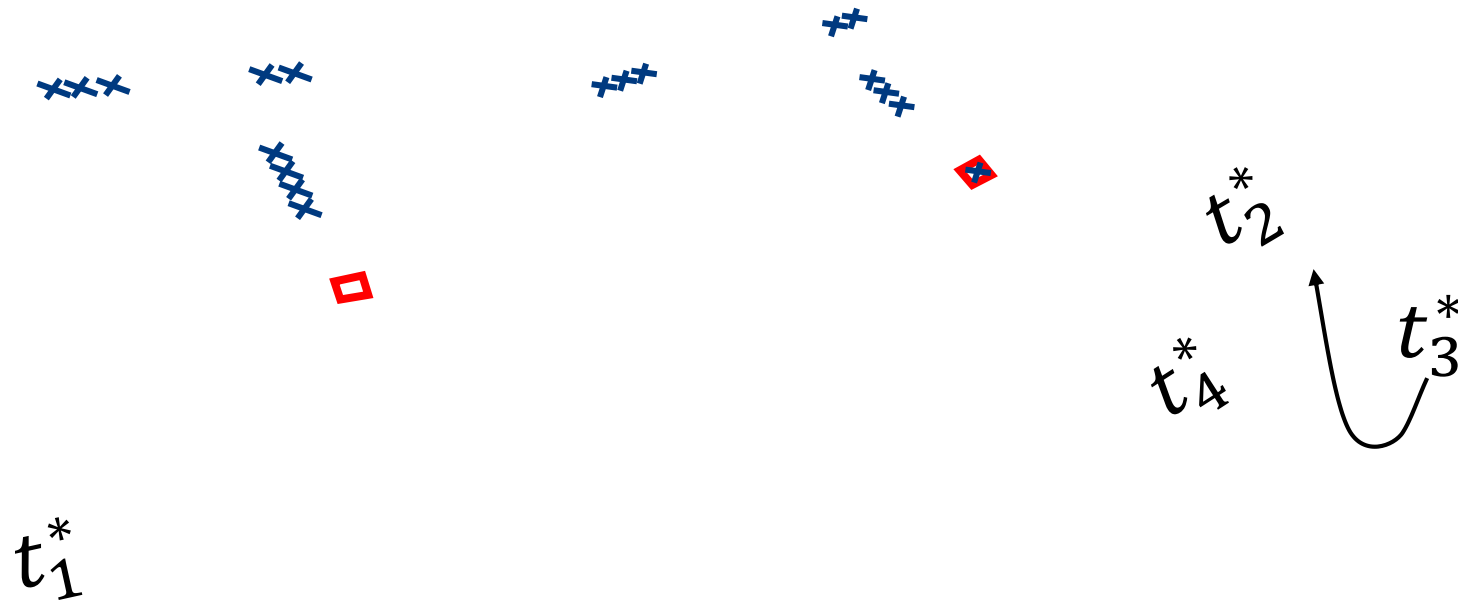
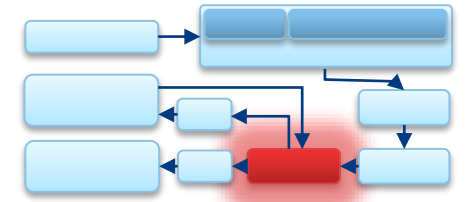
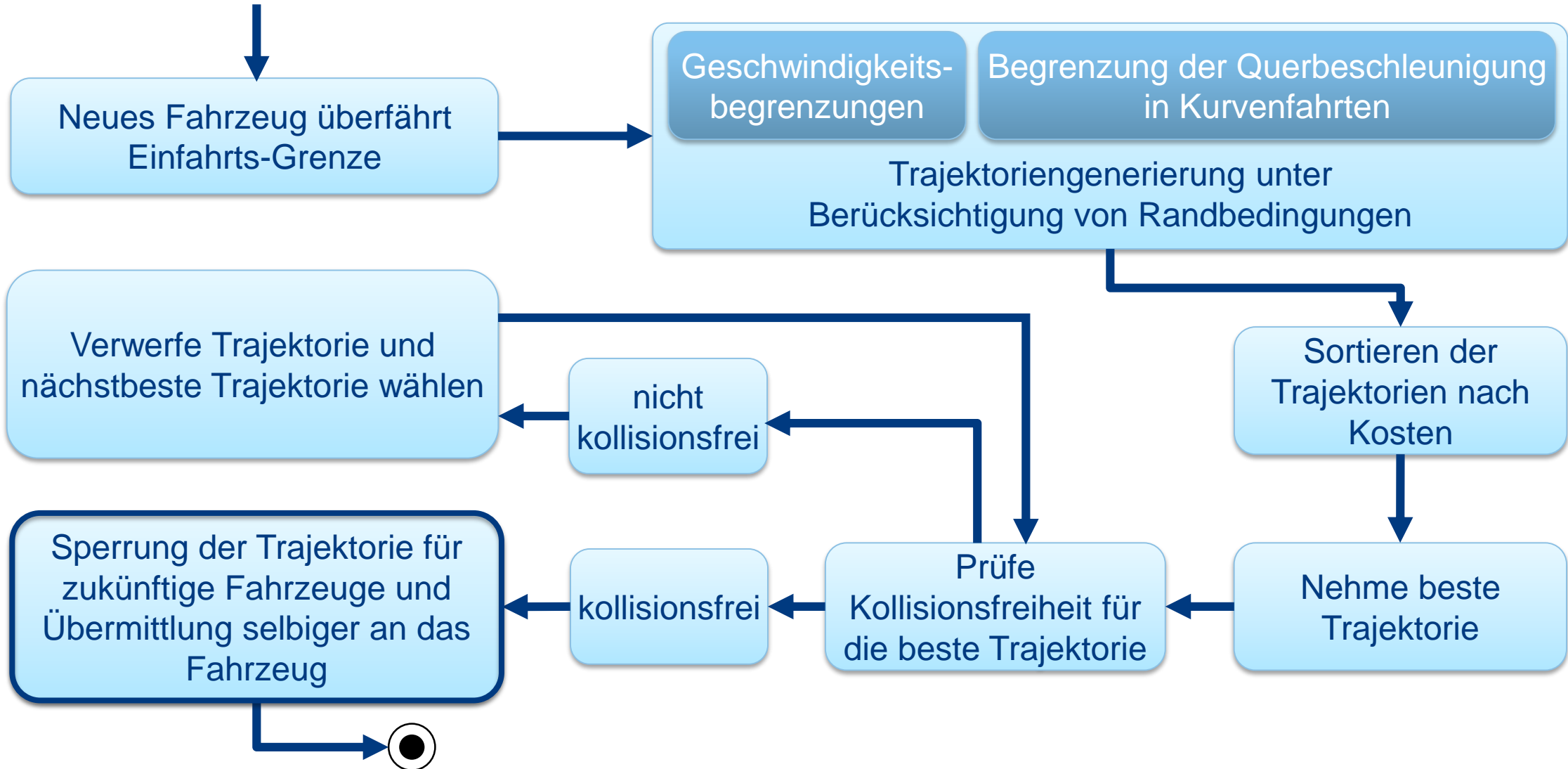


Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt

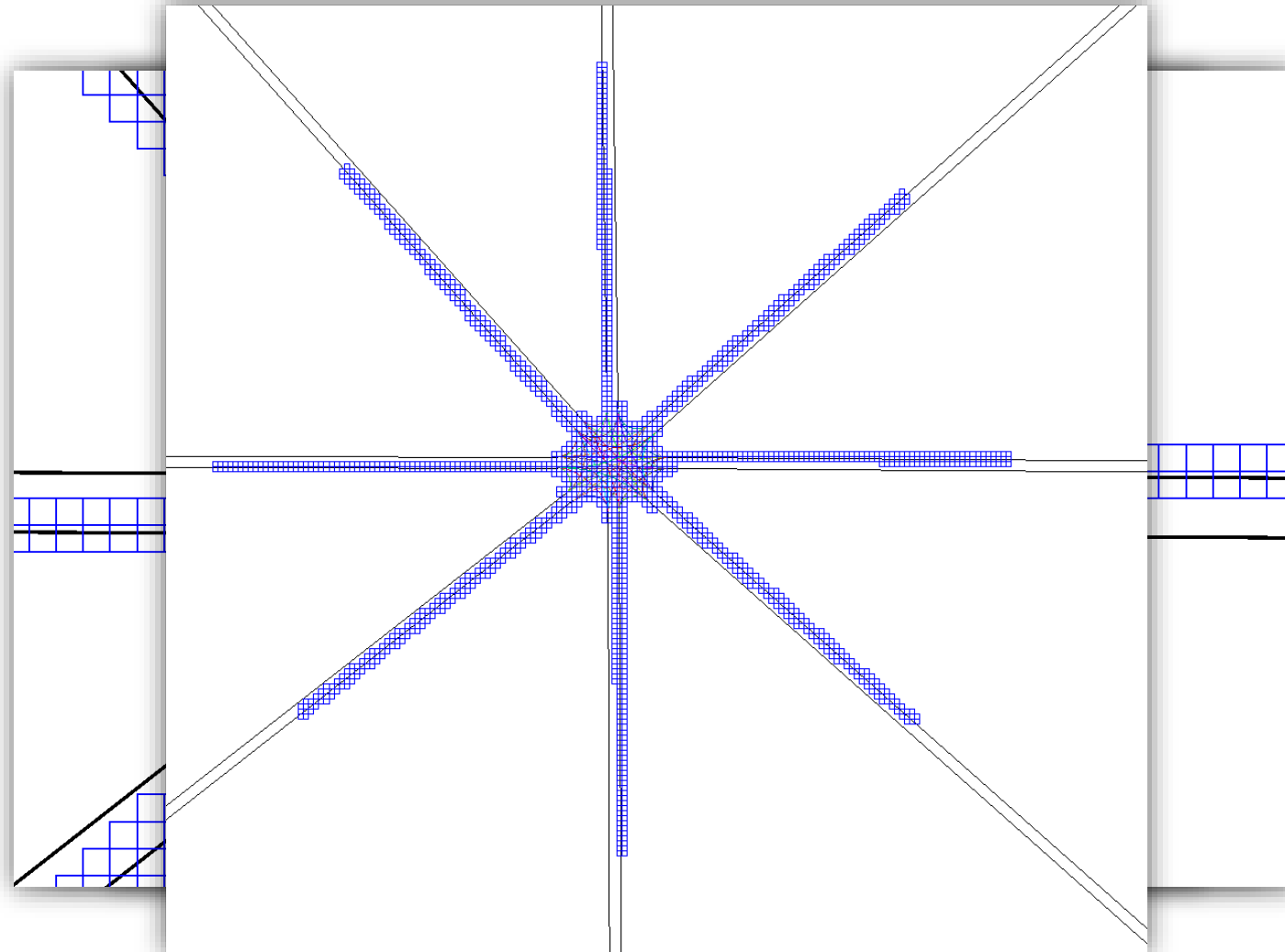
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Konzept des vorgestellten Algorithmus



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Simulationsergebnisse einer exemplarischen Kreuzung



Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

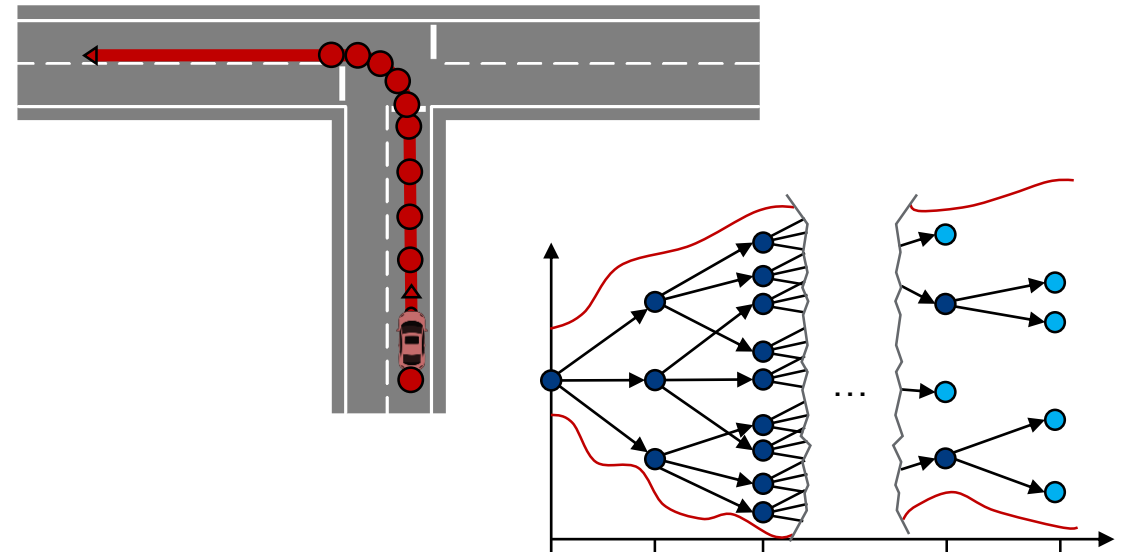
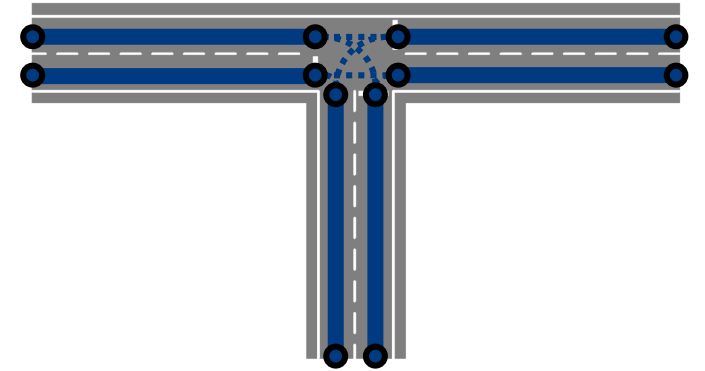
Simulationsergebnisse einer exemplarischen Kreuzung



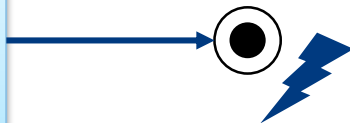
Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement

Nachteile des vorgestellten Algorithmus

- Fehlschläge möglich
- Feste, vordefinierte Bahnen durch die Kreuzung
- Exponentiell steigender Berechnungsaufwand für feinere Diskretisierung
- Keine dynamische Neuplanung der Trajektorien
 - Störungen bleiben unbehandelt
 - Bessere Gesamtplanung möglich



Sperrung der Trajektorie für zukünftige Fahrzeuge und Übermittlung selbiger an das Fahrzeug



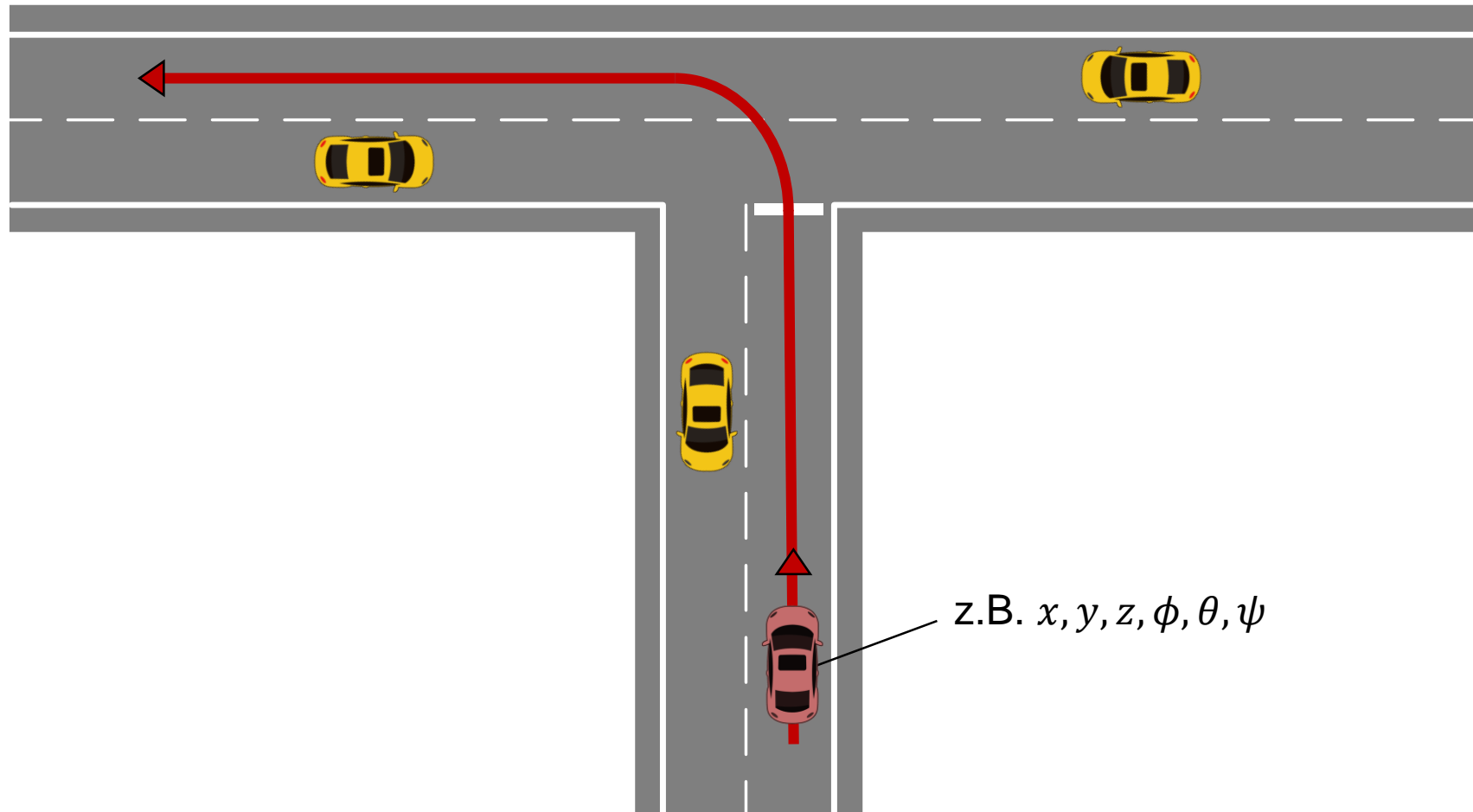
Autonomes Fahren IT macht's möglich

1. Chancen, Risiken, Zahlen und Fakten
2. Grundlegende Funktionsweise autonomer Fahrzeuge
3. Autonome Fahrfunktion am Beispiel Kreuzungsmanagement
4. Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Unterschiedlich Abstraktionen des Verkehrs

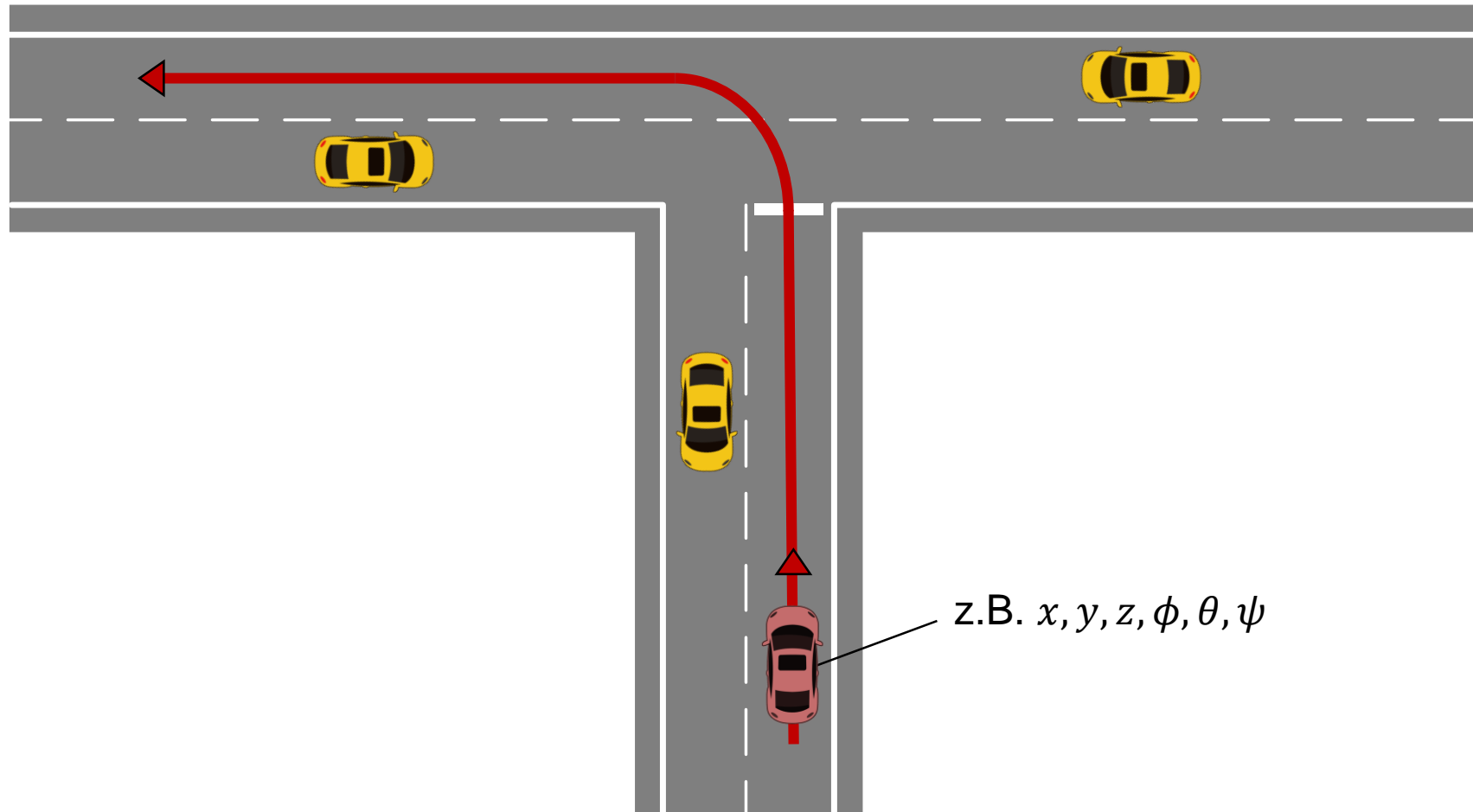
■ Mikroskopische Verkehrsbetrachtung



Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Unterschiedlich Abstraktionen des Verkehrs

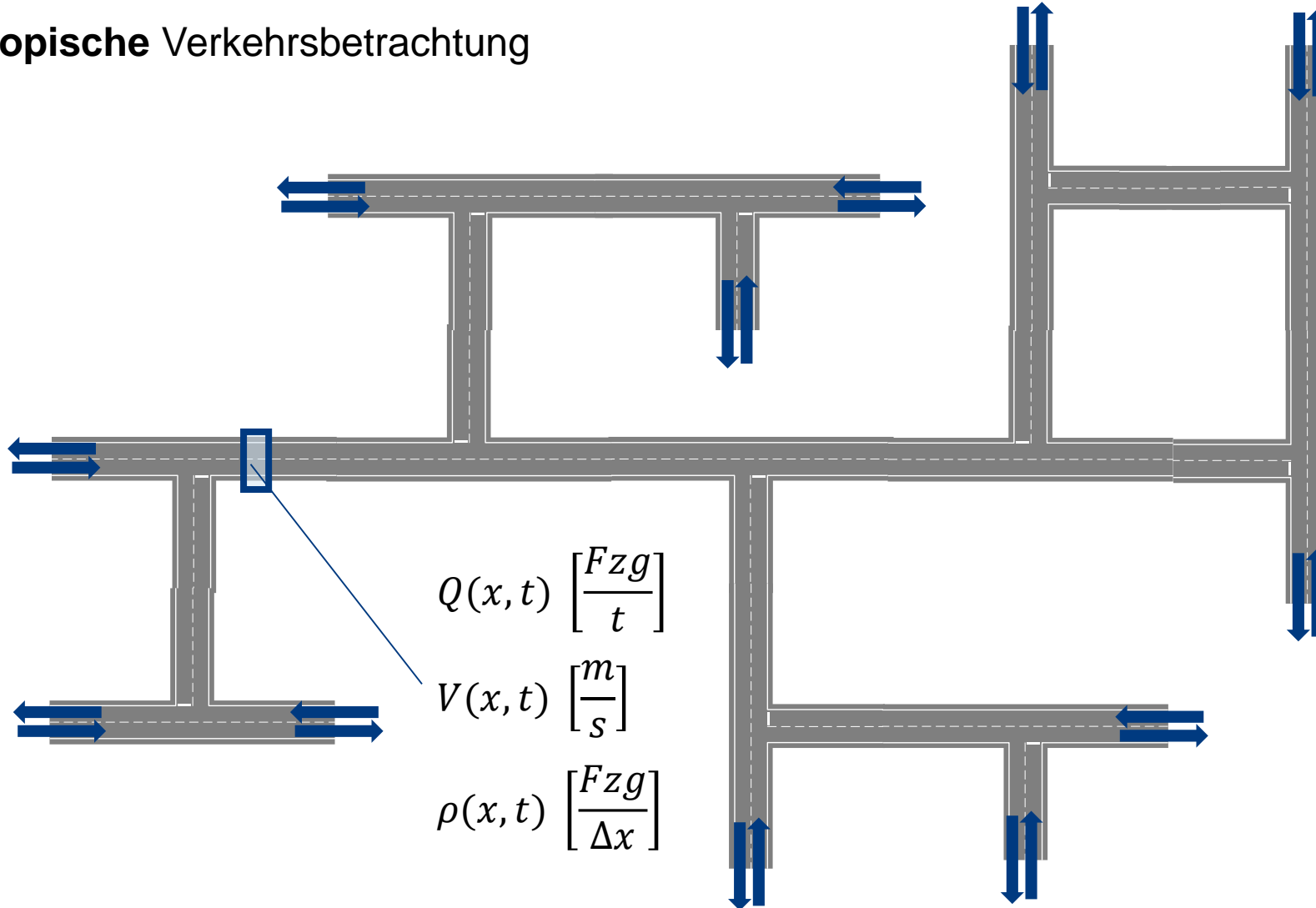
■ Mikroskopische Verkehrsbetrachtung



Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Unterschiedlich Abstraktionen des Verkehrs

■ Makroskopische Verkehrsbetrachtung

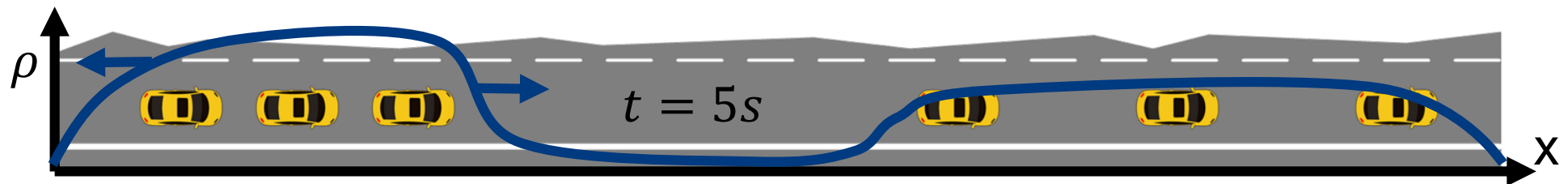


Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Unterschiedlich Abstraktionen des Verkehrs

- **Makroskopische** Verkehrsbetrachtung

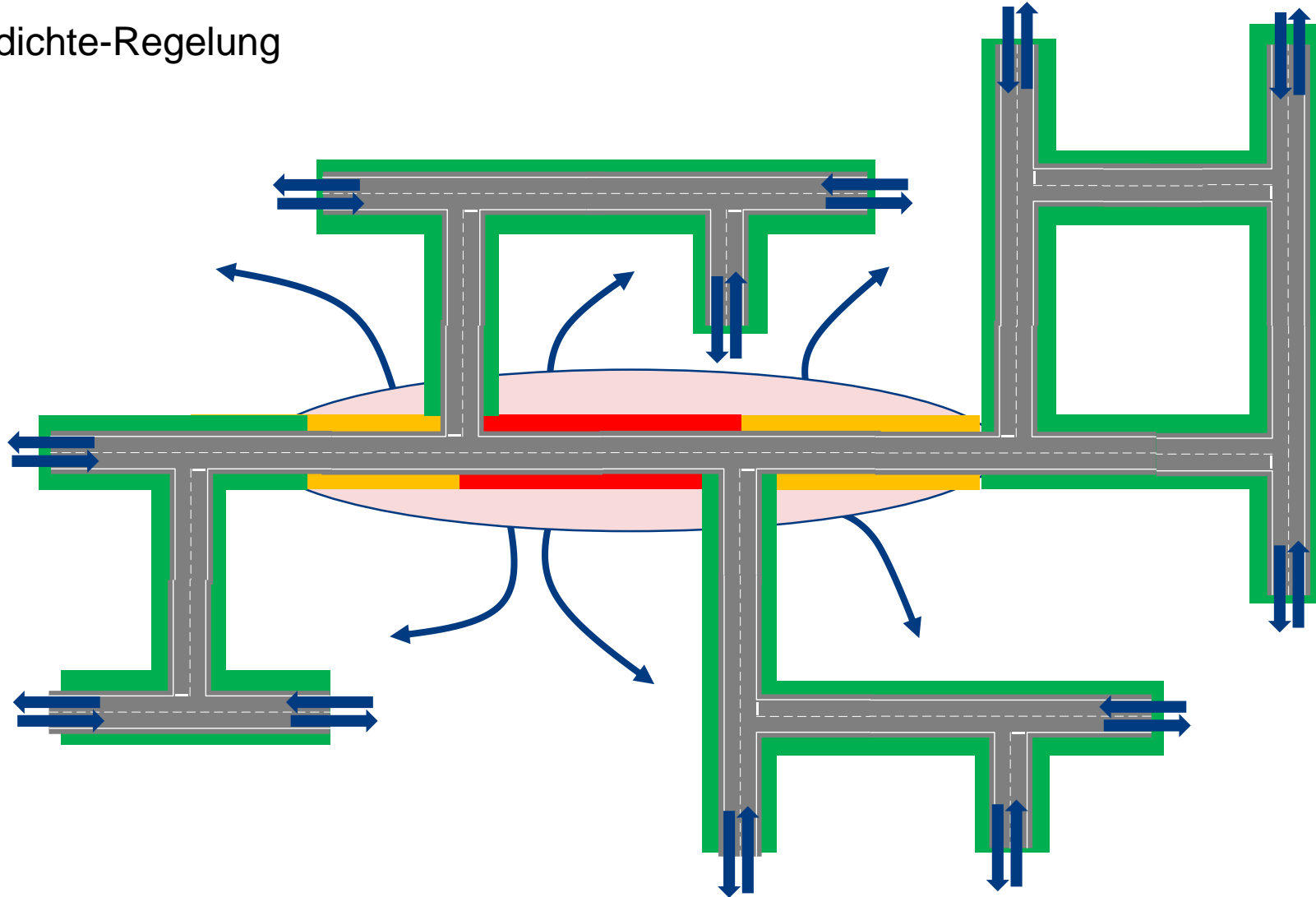
Bild- und Videoinhalte
aus urheberrechtlichen
Gründen entfernt



Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

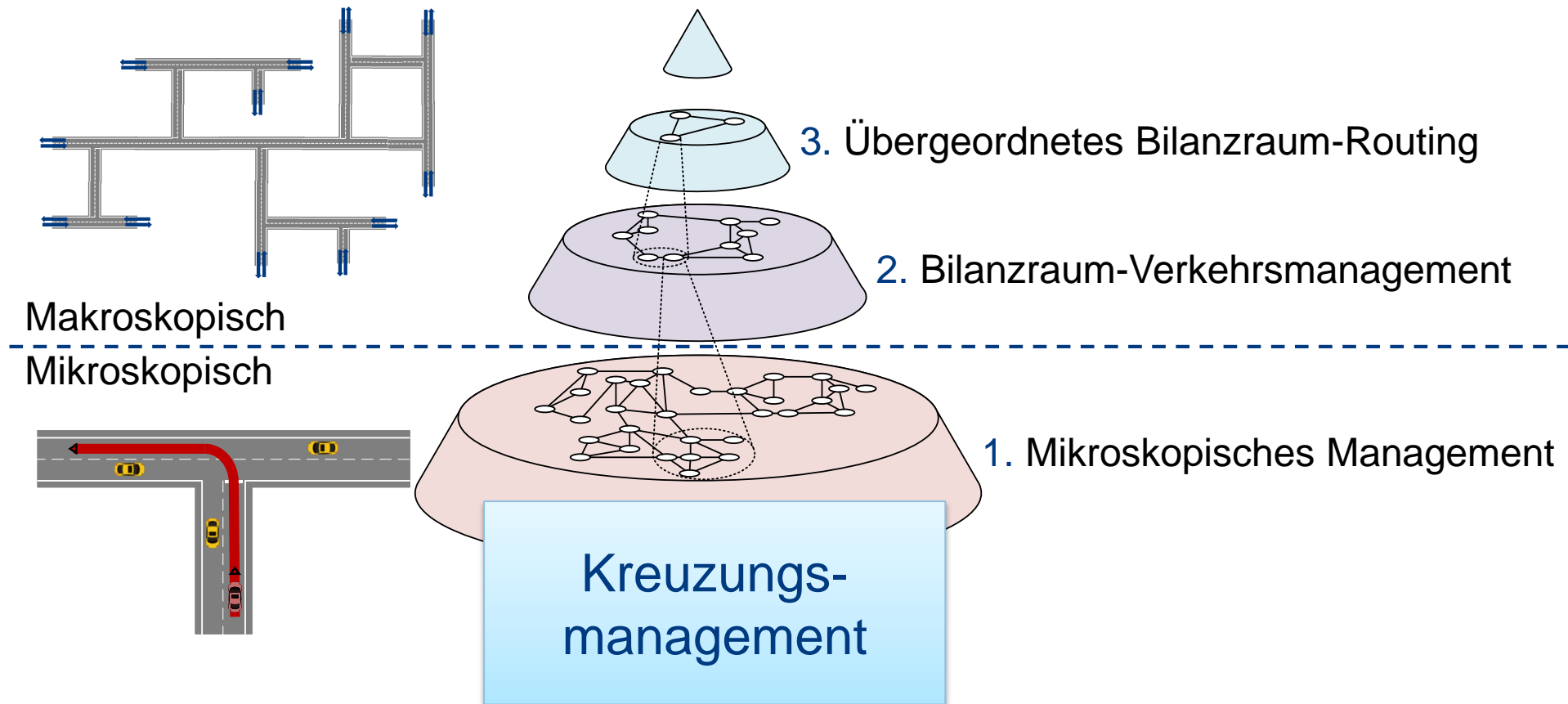
Regelung von makroskopischem Verkehr

- Verkehrsdichte-Regelung



Ausblick auf übergeordnete Verkehrsmanagement-Strategien

Hierarchieebenen des autonomen Verkehrsmanagements



Autonomes Fahren

IT macht's möglich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

- Sven Henning
- 03.05.2018