

Carl von Ossietzky
Universität
Oldenburg

BTC

*embedded
systems*

Abt. Foundations and Applications of Systems of Cyber-Physical Systems

Abt. Verteilte Regelung in Vernetzten Systemen

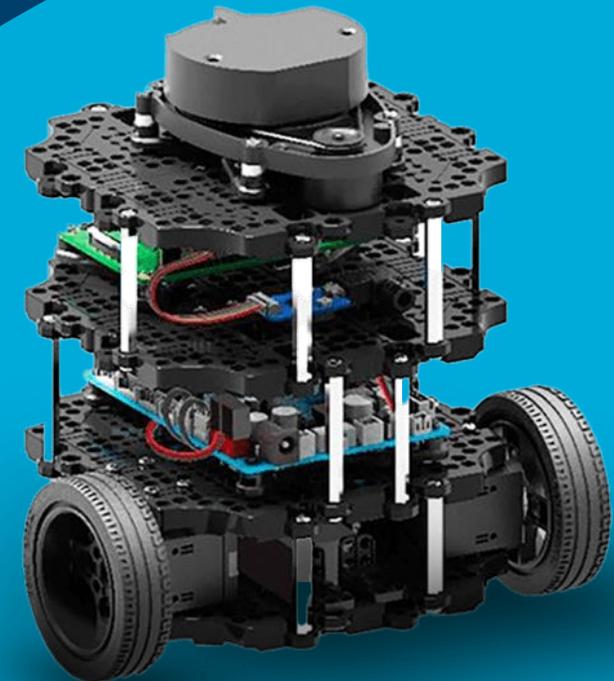


iTraffic with TurtleBots

Testbasierte Validierung Autonomer
Fahrfunktionen

Carl Schneiders, Filip Wojciak, Jan-Magnus Monenschein,
Julia Debkowski, Lasse Heckelmann, Malte Grave,
Marie Marken, Nellson Eilers, Paulina Kowalska,
Stefan Gerber, Simon Struck

03.04.2024

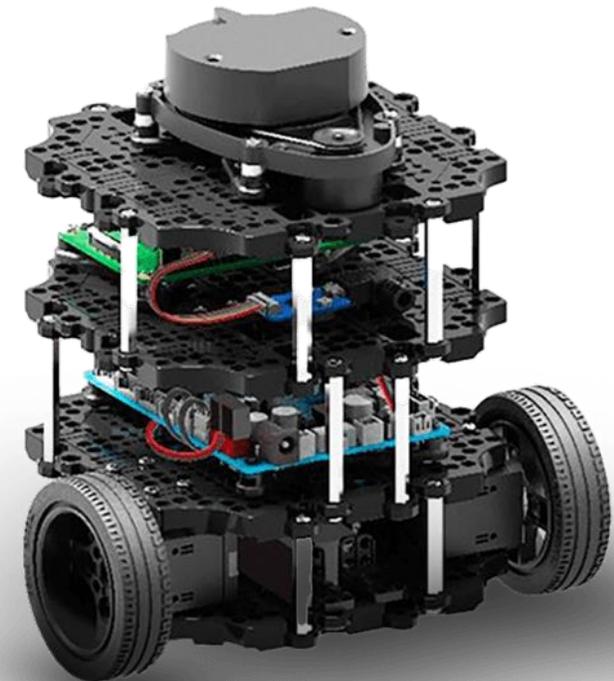


PG iTraffic with TurtleBots



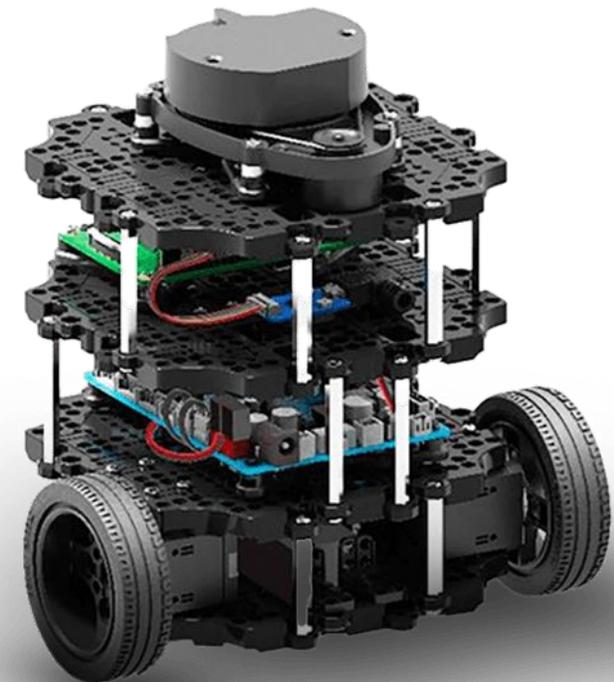
Agenda

1. Was bisher geschah
 1. Vision
 2. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 1. Zustandsschätzung
 2. Weitere Fahrfunktionen
 3. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick
5. Live Demo



Was Bisher Geschah

Lasse Heckelmann



Vision



Test-Plattform

- Aufbau einer Testplattform für autonome Fahrfunktionen auf Basis von TurtleBots
- Validierung: Methoden zur Definition von Testfällen und deren Ausführung



Experimentelle Validierung von Fahrfunktionen in Verkehrsszenarien unterschiedlicher Komplexität



Entwicklung von Fahrfunktionen



- Aufbau einer Entwicklungsplattform
- Regelungstechnisch-orientierte Umsetzung



Bereitstellung der Fahrfunktionen zur Automatisierung

1. Was bisher geschah

a. Vision

- b. Technische
Entwicklungen

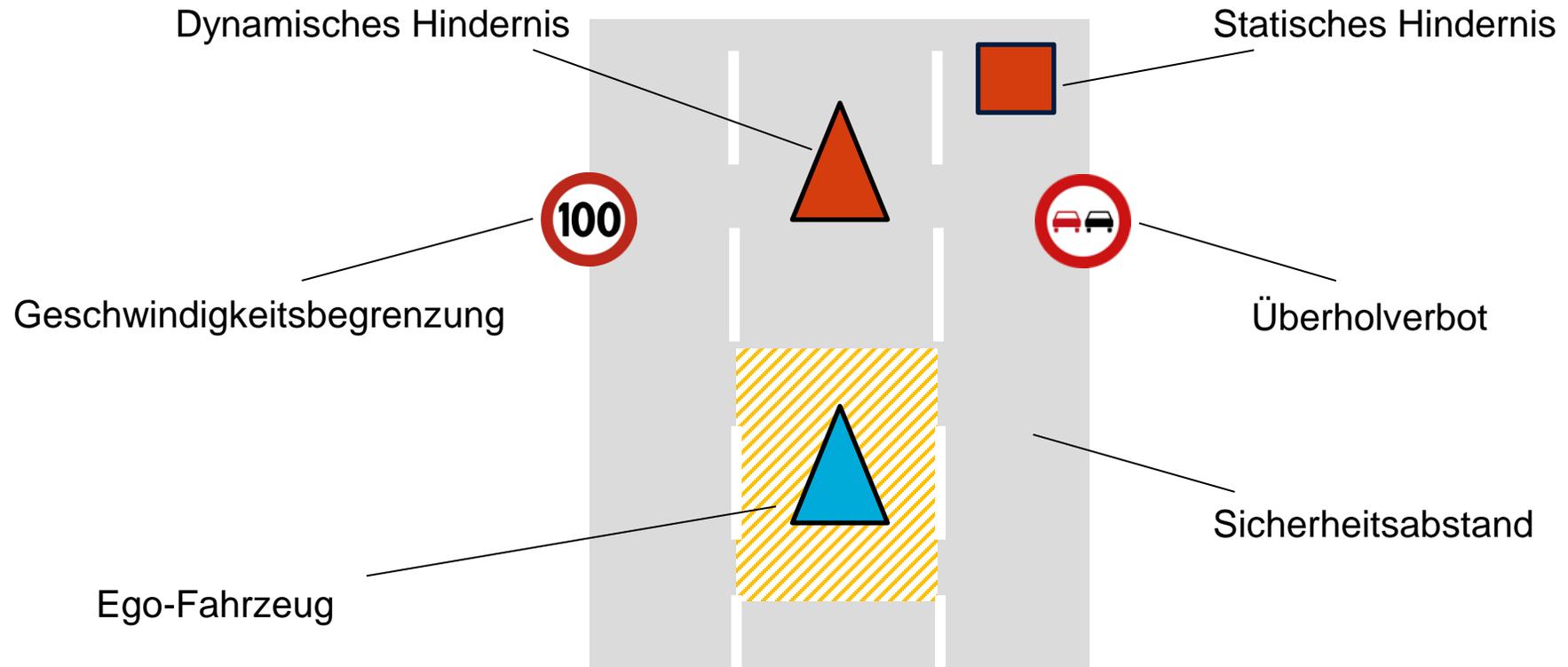
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Unser Szenario: Autobahn



1. Was bisher geschah

a. Vision

- b. Technische Entwicklungen

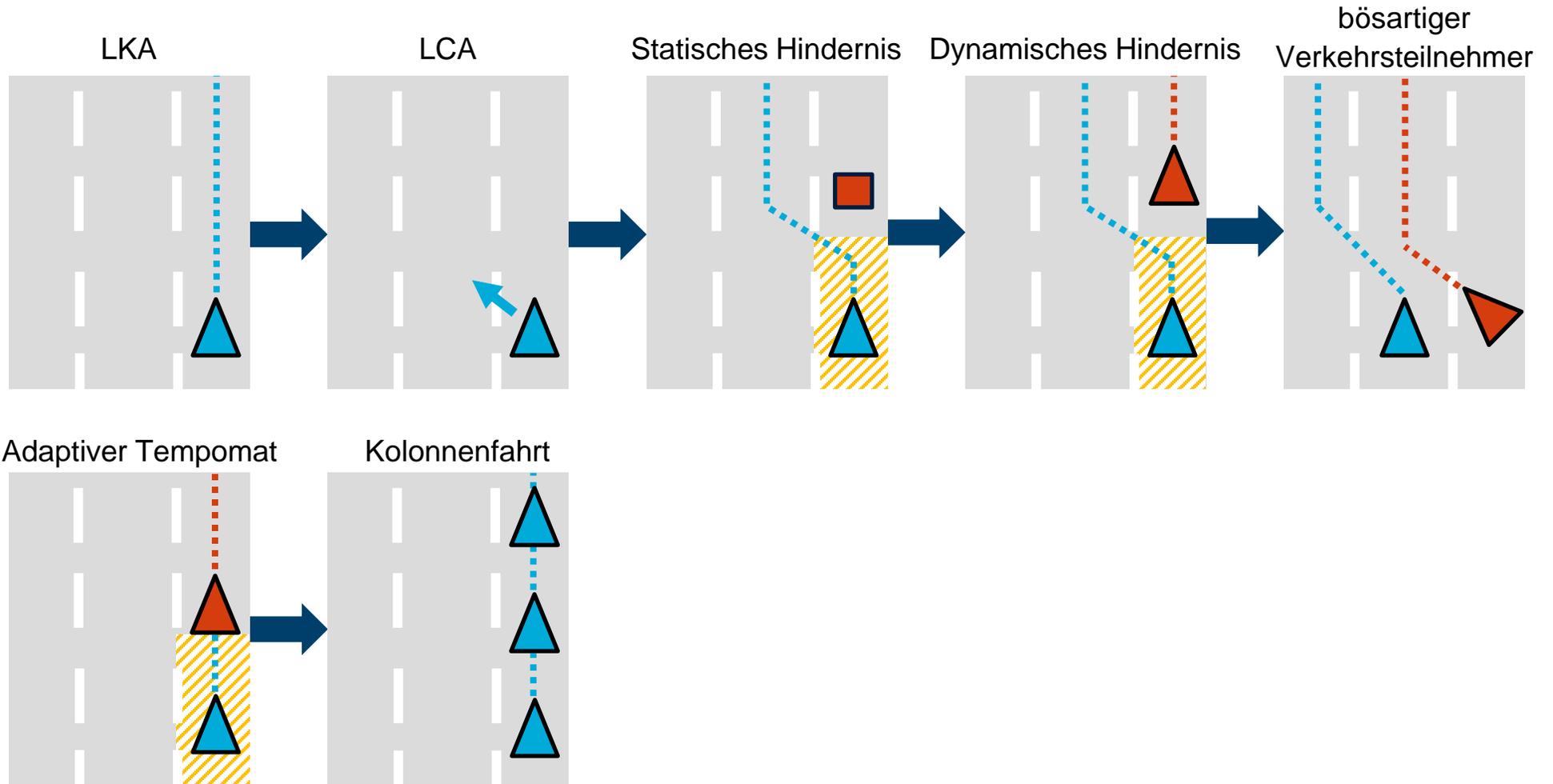
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Unsere Szenarien



1. Was bisher geschah

a. Vision

b. Technische
Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

a. Zustandsschätzung
b. Weitere Fahrfunktionen
c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Unser Szenario: Autonomiestufen

Keine Autonomie	Teilweise automatisiert	Hochautomatisiert
<ul style="list-style-type: none">• Keine Assistenzsysteme• Manuelle Steuerung	<ul style="list-style-type: none">• Spurhalteassistent• Adaptiver Tempomat• Spurwechsel• Kollisionsvermeidungssystem• Überholen	<ul style="list-style-type: none">• Umgang mit "böartigen" Verkehrsteilnehmern• Kolonnenfahrt• Generelle Autobahnfahrfunktionen

1. Was bisher geschah

a. Vision

- b. Technische
Entwicklungen

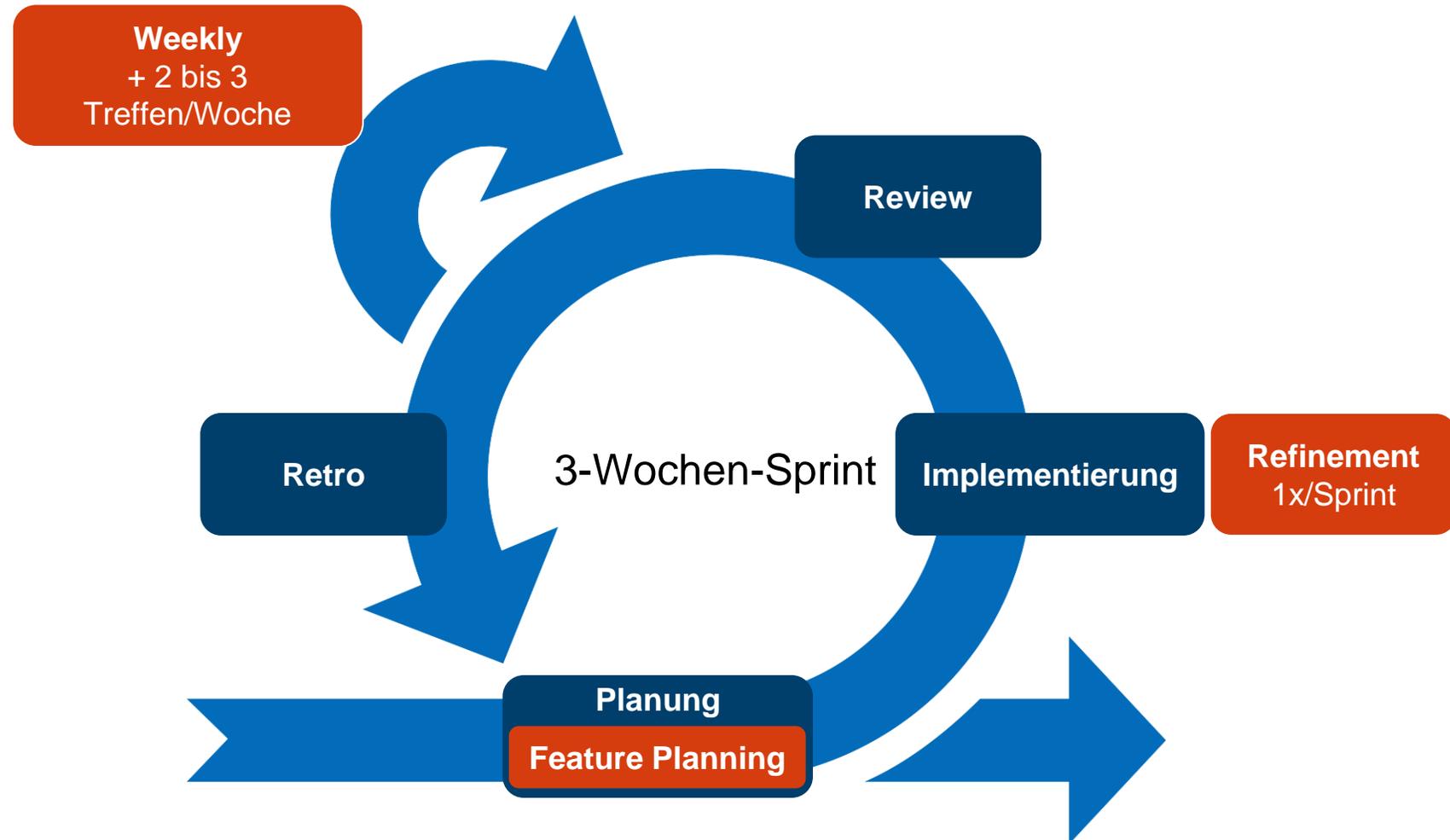
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Arbeitsorganisation



1. Was bisher geschah

a. Vision

- b. Technische
Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
b. Weitere Fahrfunktionen
c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Unsere Produkte

 TurtleCar-Test
<p>Testplattform für autonome Fahrfunktionen</p> <ul style="list-style-type: none">• Einfache Definition von Testfällen• Simulatives & automatisiertes Testen von Fahrfunktionen

 **Test-Plattform**

 TurtleCar-Core	 Fahrfunktionen
<p>Entwicklungsplattform für autonome Fahrfunktionen</p> <ul style="list-style-type: none">• Emulation eines Autos auf dem TurtleBot• Definierte Schnittstelle für Sensoren und Aktuatoren in passenden Formaten• Entwicklung von Reglern gegen diese Schnittstelle	<p>...entsprechend den Szenarien der Vision</p> <ul style="list-style-type: none">• Entwicklung von Reglern gegen die TurtleCar-Schnittstelle• Nutzung von Modellprädiktiver Regelung

 **Entwicklung von Fahrfunktionen** 

Simulation unserer Umgebung

1. Was bisher geschah

a. Vision

- b. Technische Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

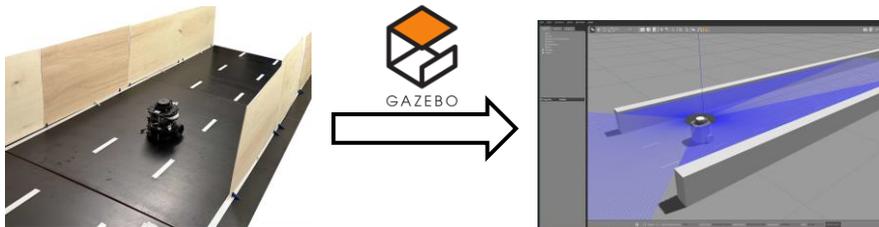
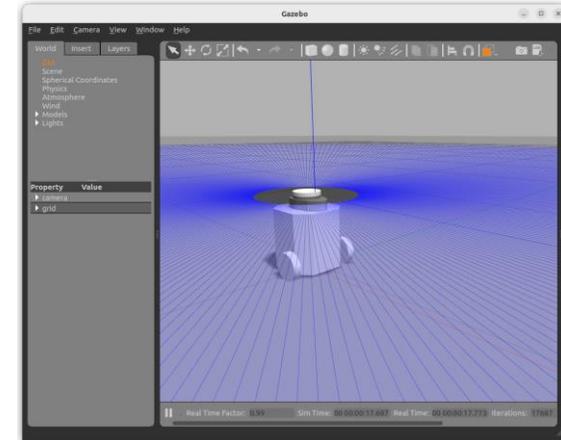
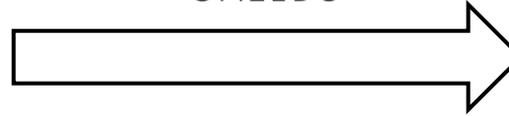
- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick



GAZEBO



1. Was bisher geschah

a. Vision

b. Technische

Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

a. Zustandsschätzung

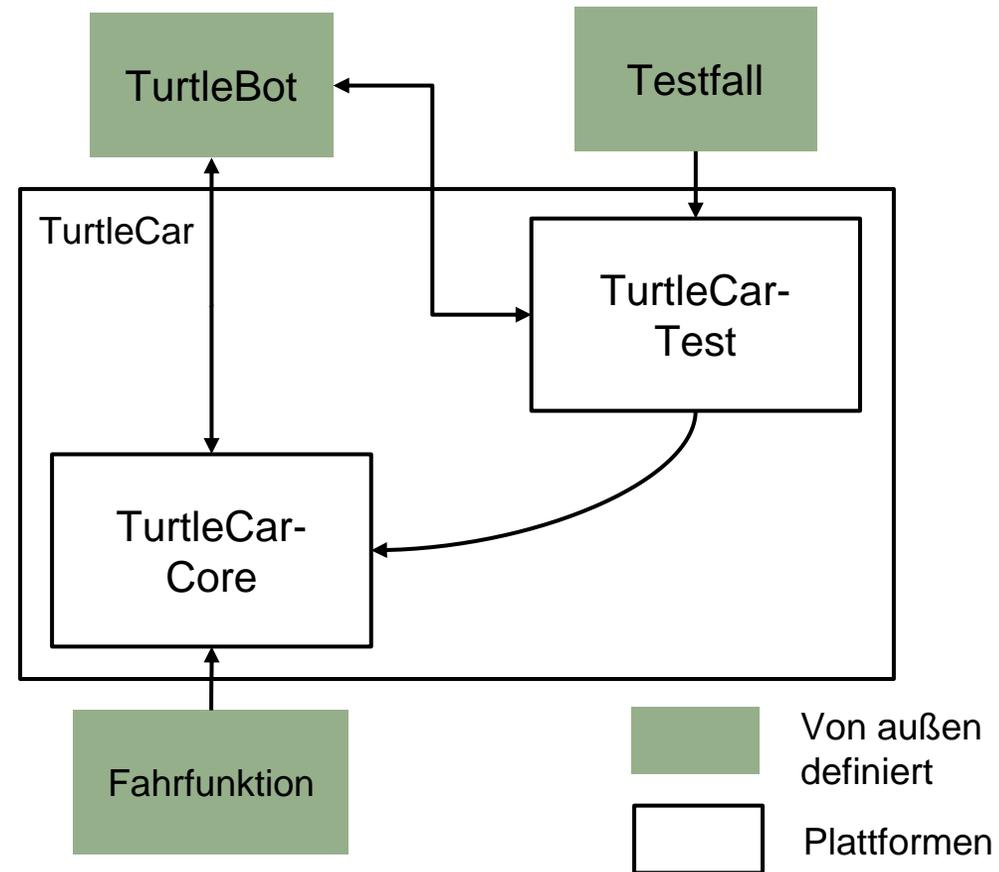
b. Weitere Fahrfunktionen

c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Die Plattform TurtleCar



1. Was bisher geschah

a. Vision

b. Technische

Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

a. Zustandsschätzung

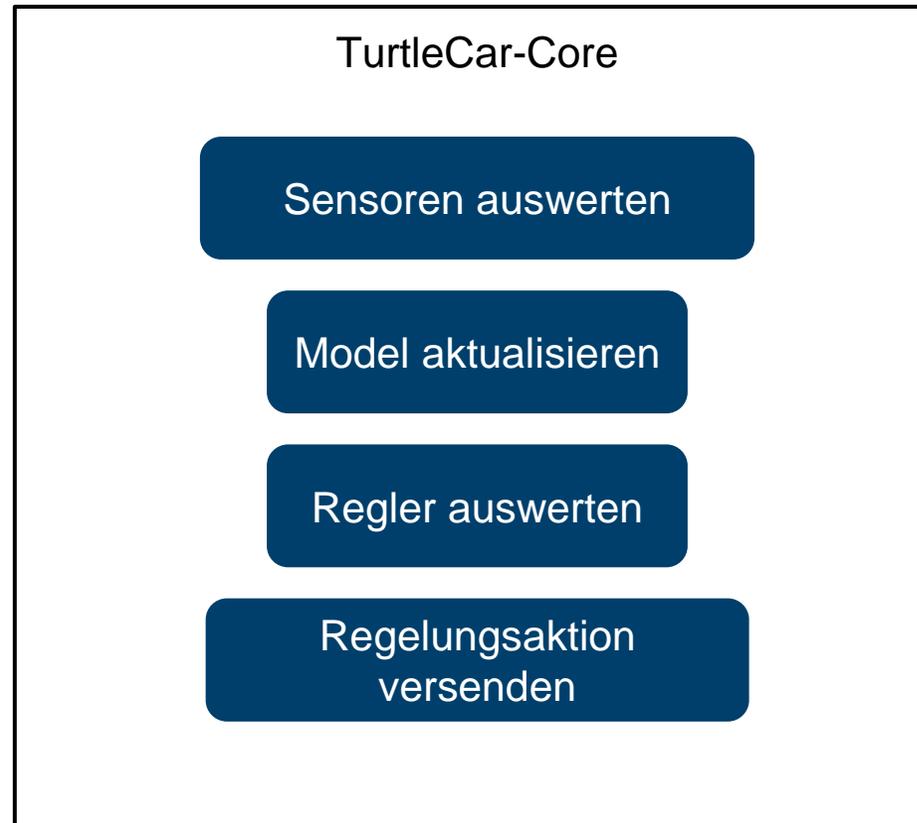
b. Weitere Fahrfunktionen

c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

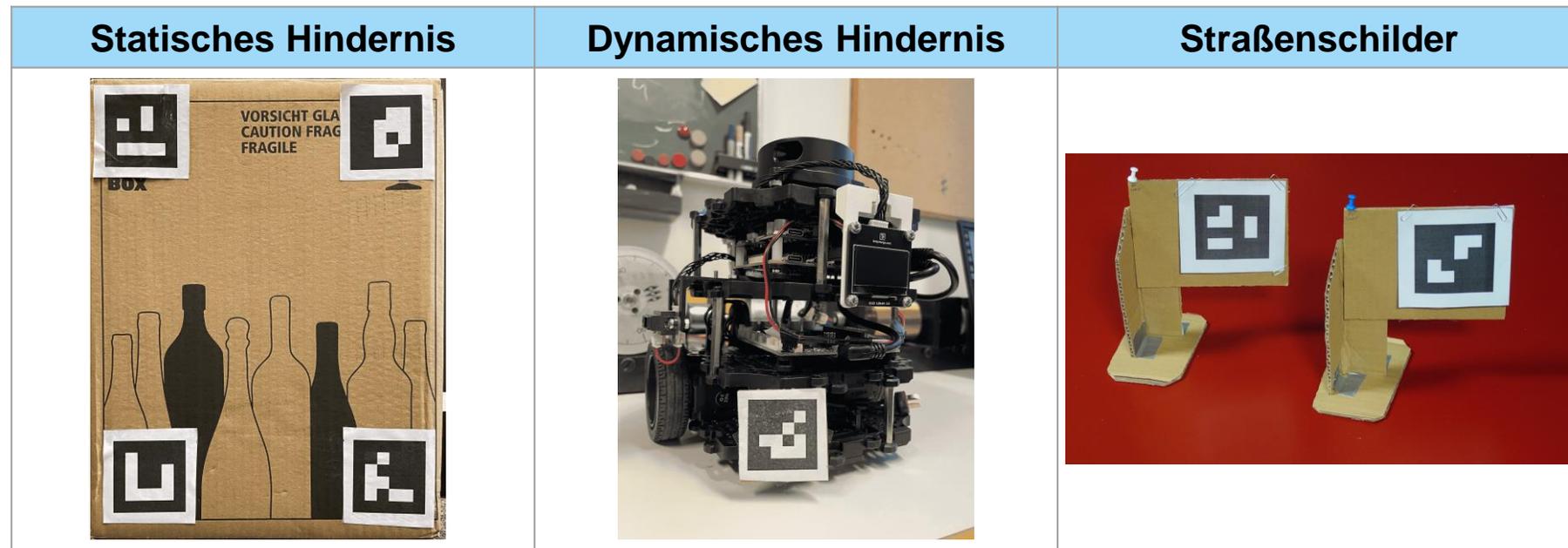
TurtleCar-Core Funktionen



Hinderniserkennung mit Kamera

Funktionsweise

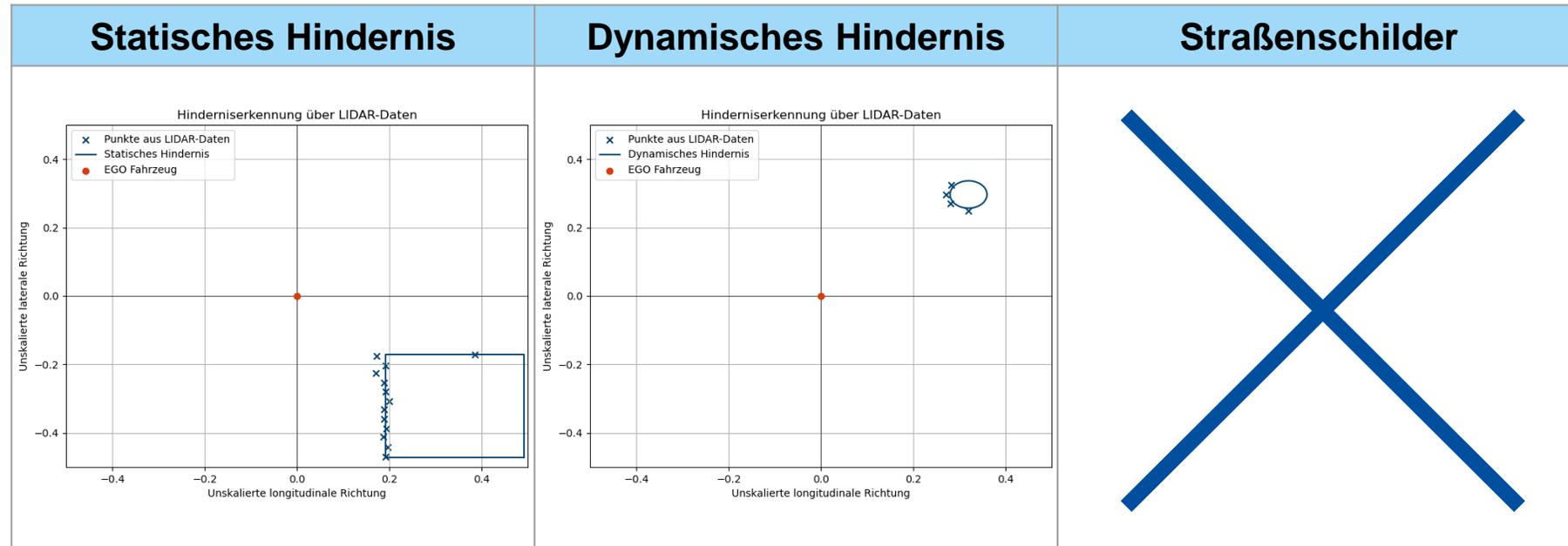
- **ArUco Bibliothek**
- Unterscheidet zwischen Objekttypen mithilfe festgelegter Marker



Hinderniserkennung mit LIDAR

Funktionsweise

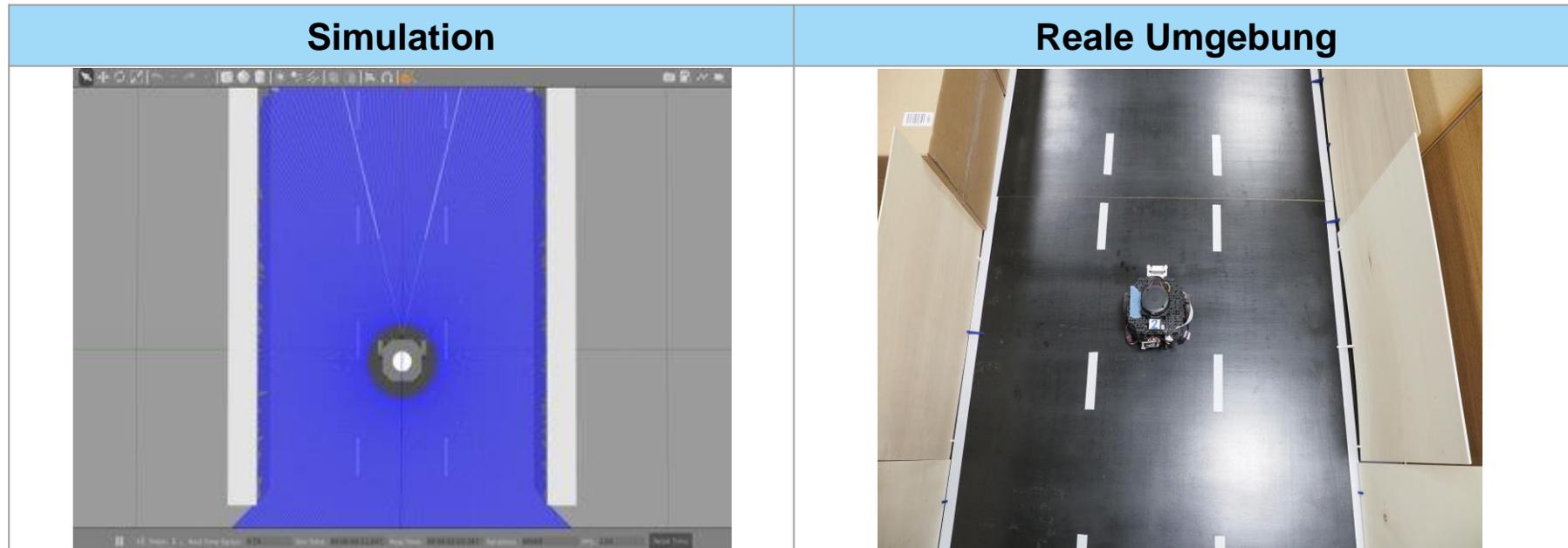
- **Clustering und Circle-Fitting**
- Unterscheidet zwischen Objekttypen mithilfe der Form



Spurerkennung mit LIDAR

Funktionsweise

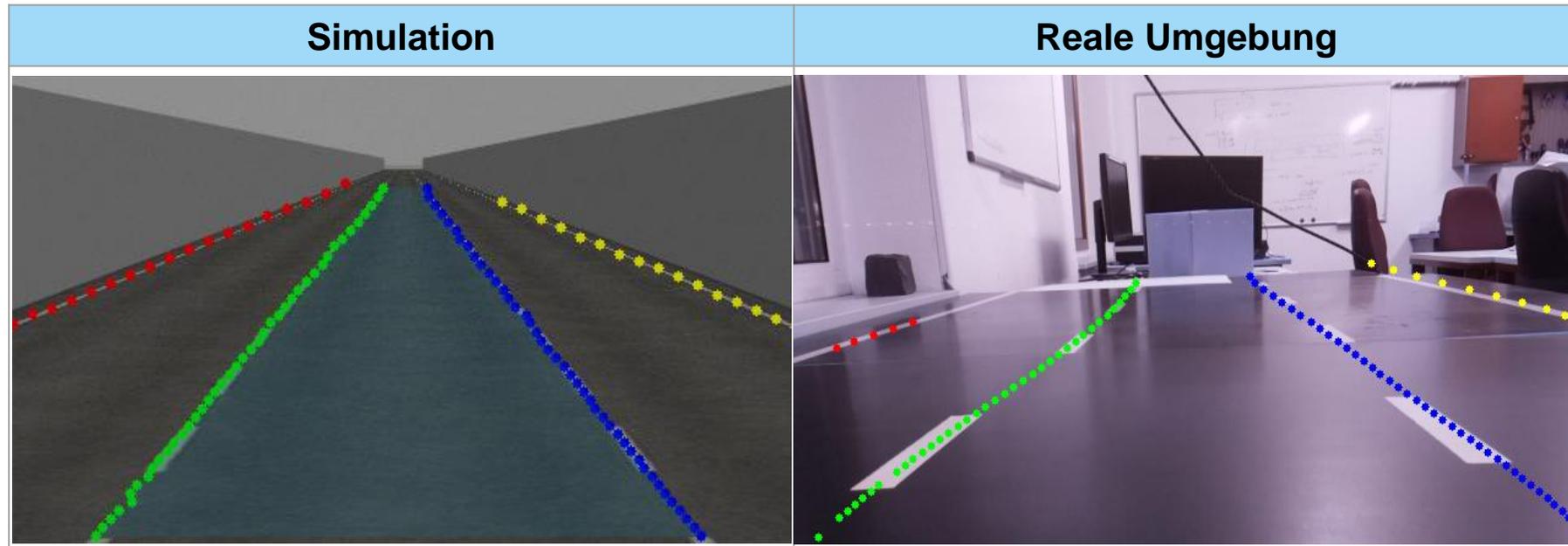
- **Projizieren der rechten Fahrspurwand**
- **B-Spline aus der Form der Fahrspurwand**



Spurerkennung mit Kamera

Funktionsweise

- **Ultra Fast Lane Detection v2**
- Vortrainiertes KI-Modell spezialisiert auf schnelle Erkennung



1. Was bisher geschah

a. Vision

b. Technische

Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

a. Zustandsschätzung

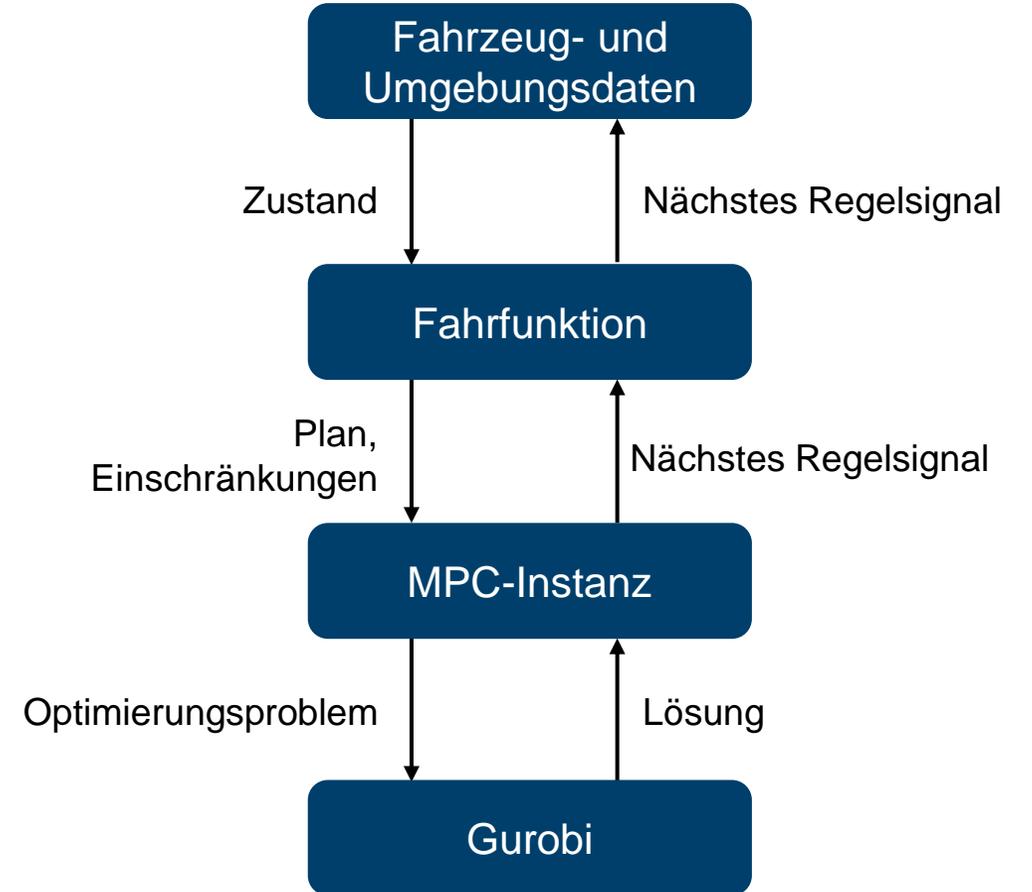
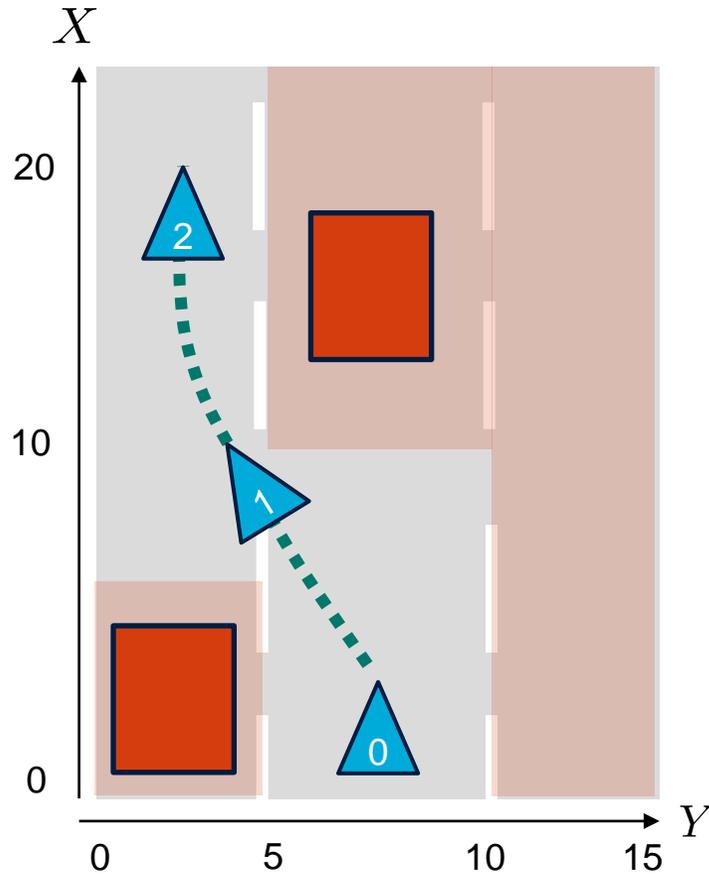
b. Weitere Fahrfunktionen

c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Modelprädiktive Regelung



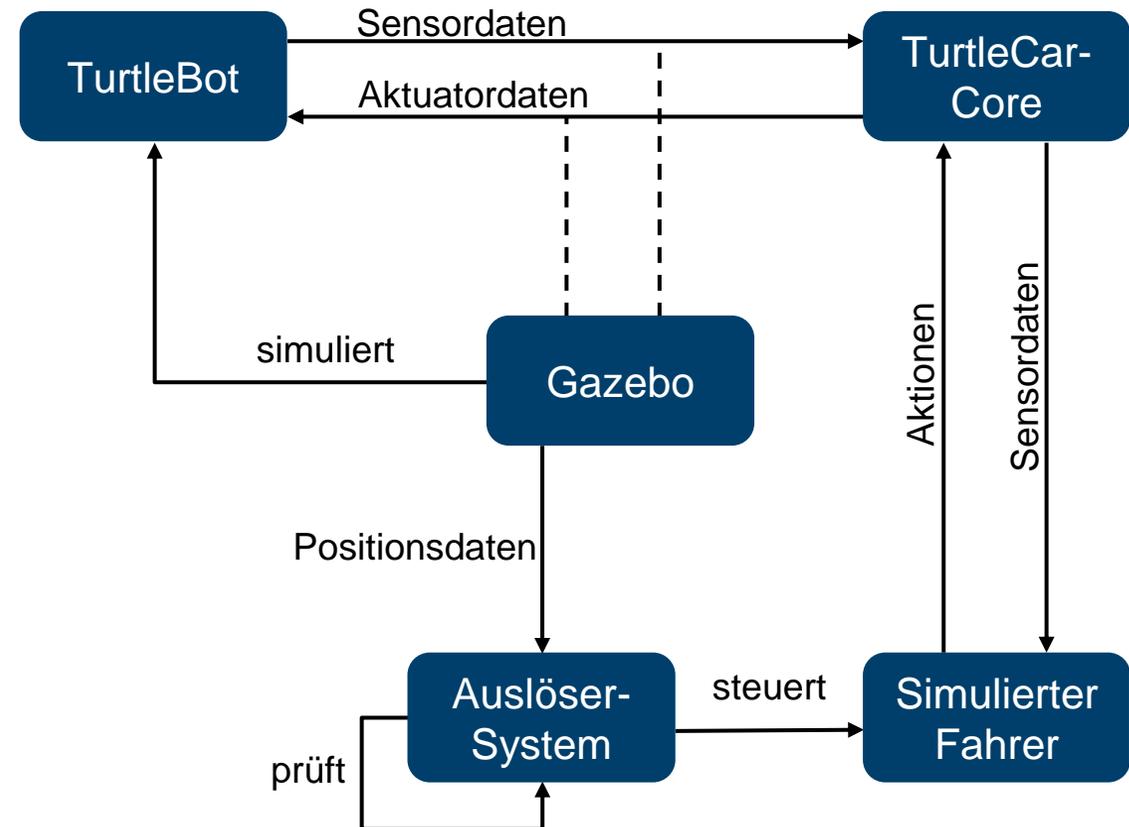
TurtleCar-Test

Motivationen:

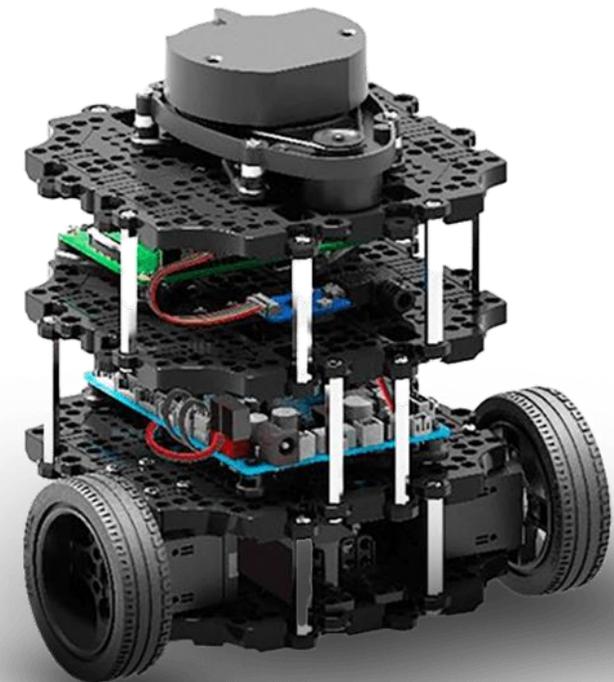
- Tests sollen ...
 - ... einfach zu schreiben sein
 - ... einfach zu lesen sein
 - ... einfach zu debuggen sein

Eigenschaften:

- Beliebige Test-Umgebungen
- Breites Vokabular an Testbedingungen
- Dynamische Prüfung von Testbedingungen
- Regelkreis, der einen echten Fahrer simuliert

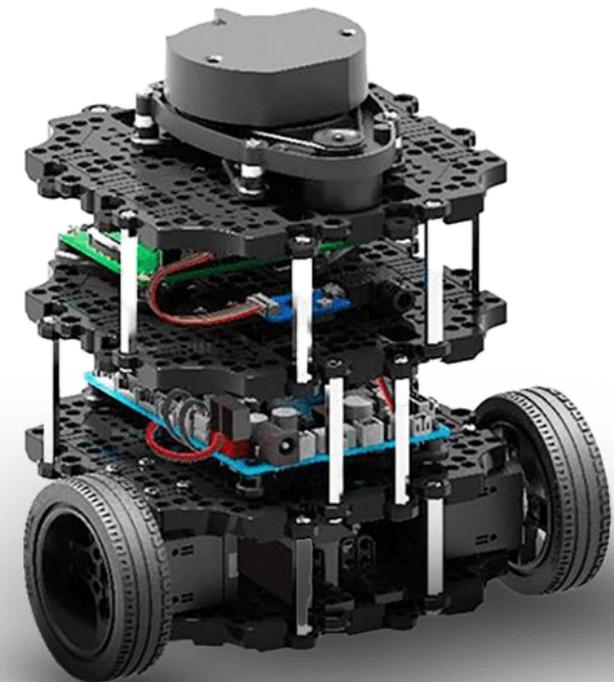


Neue Entwicklungen



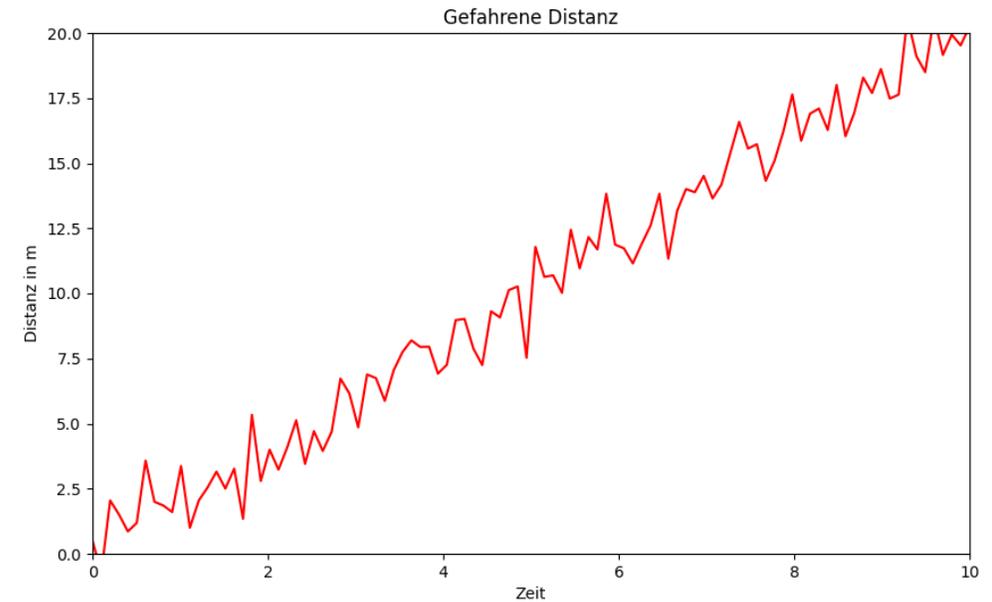
Zustandsschätzung

Stefan Gerber



Motivation

- Ungefilterte Werte aus Sensoren
- Informationen sind ungenau und schwanken stark
- Fahrfunktionen brauchen stabile und genaue Werte



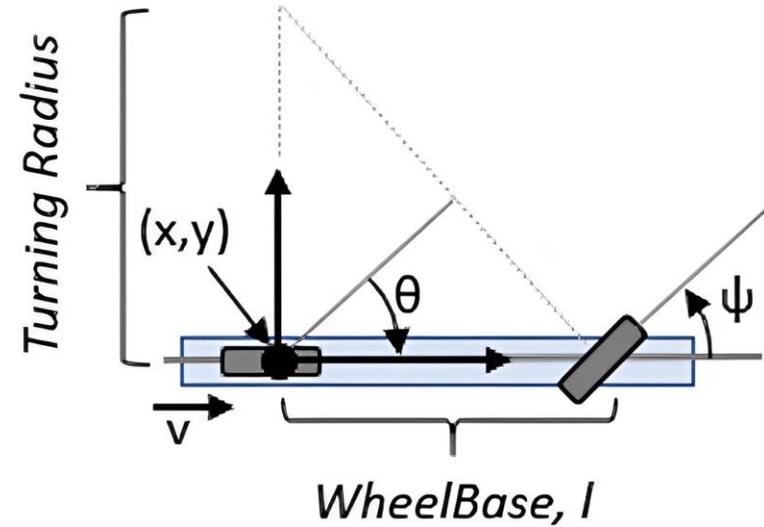
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Mögliche Ansätze

Sensoren



Modell



Ansatz mit Sensoren

Sensoren



Vorteile

- Können Teile des wahren Zustands messen

Nachteile

- Messungen haben immer Ungenauigkeiten
- Sensoren können nicht alles messen

Ansatz mit Modell

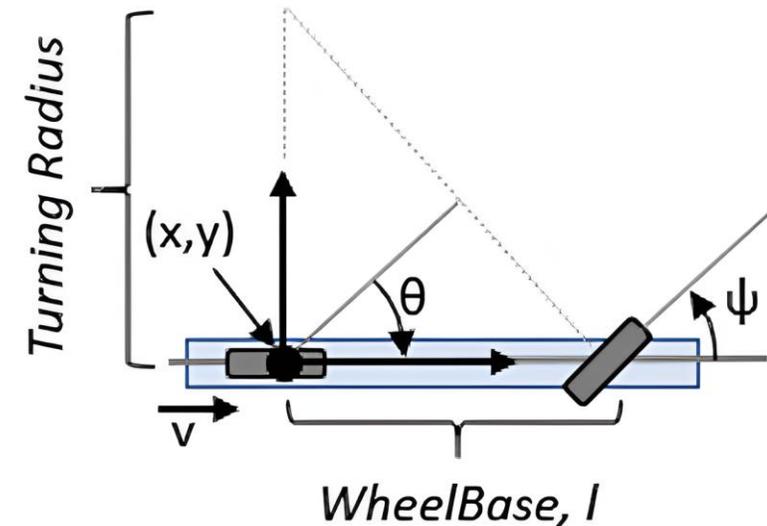
Vorteile

- Mit Steuersignalen kann Zustand zu jedem Zeitpunkt berechnet werden

Nachteile

- Modell kann nicht alle Aspekte der Realität widerspiegeln
- Fehler wird über die Zeit hinweg größer

Modell



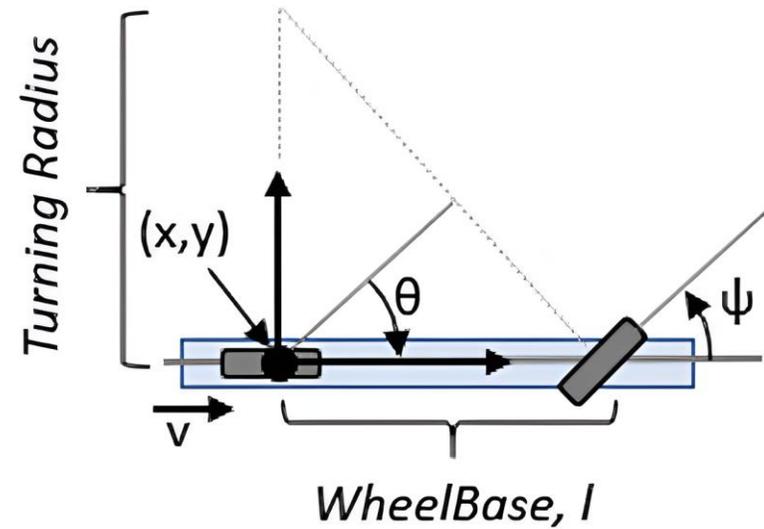
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Kombination von Ansätzen

Sensoren

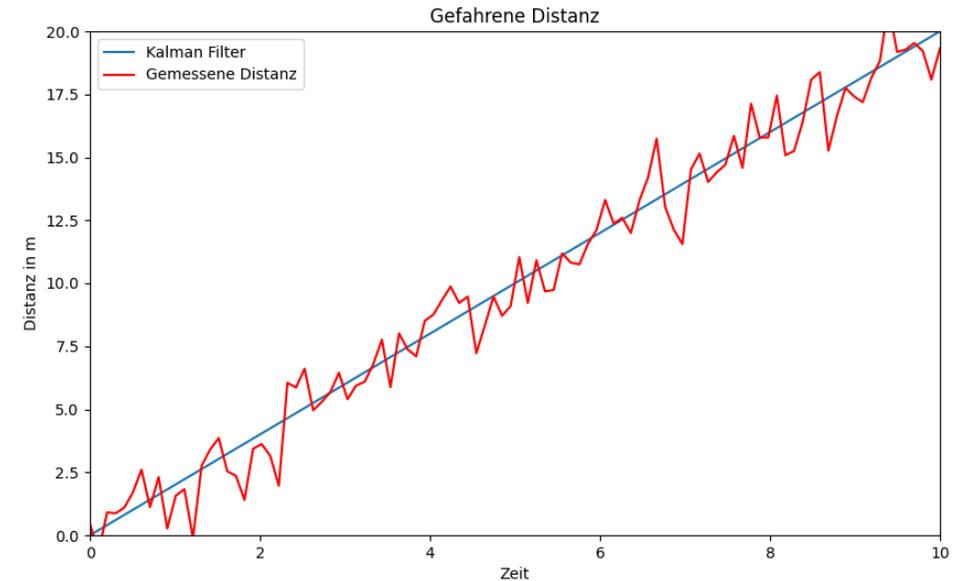


Modell

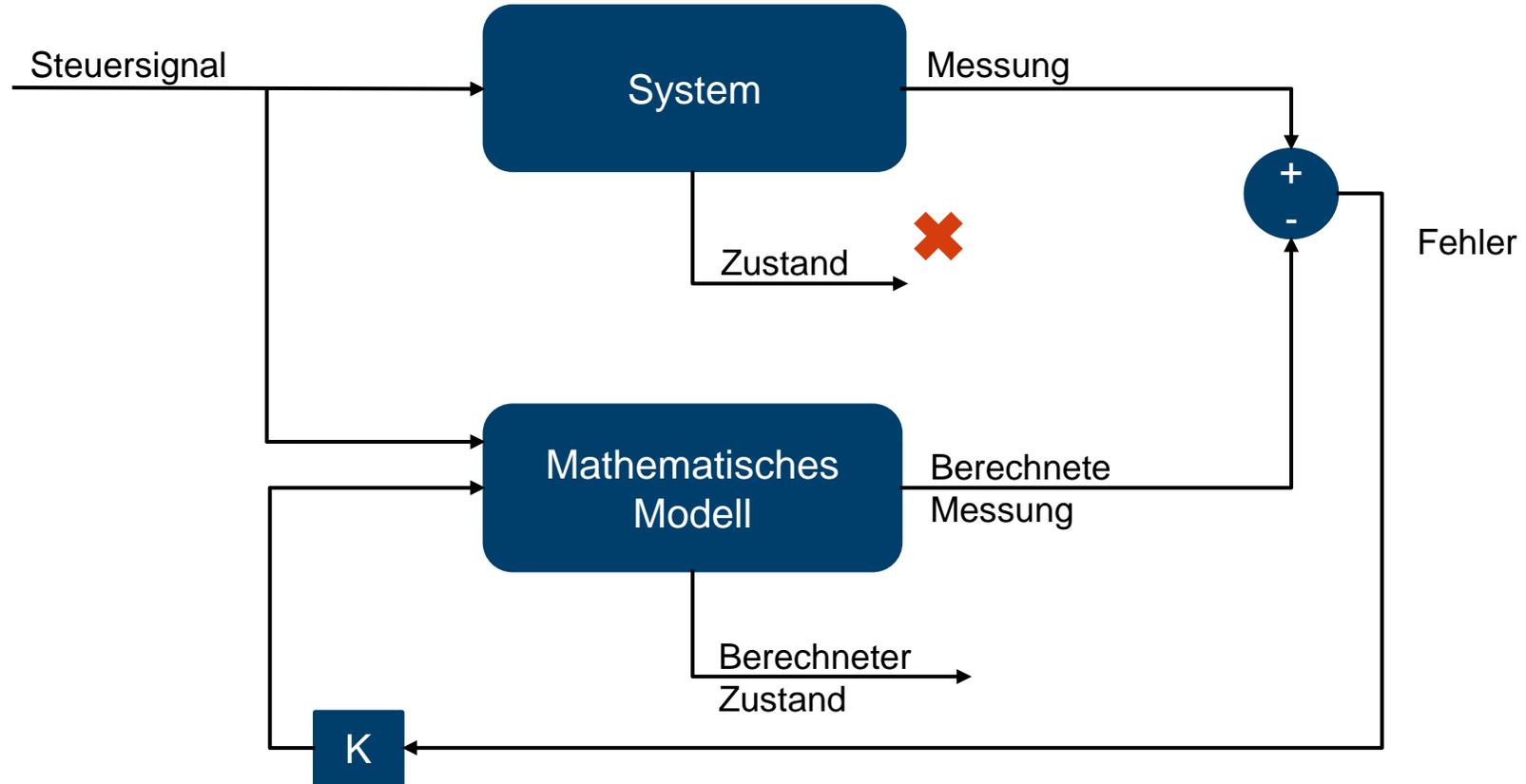


Überblick zum Kalman Filter

- Modellbasierter Zustandsschätzer
- Systemverhalten wird über mathematisches Modell beschrieben
- Sensordaten zur Verbesserung der Zustandsschätzung



Aufbau des Kalman Filters



1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

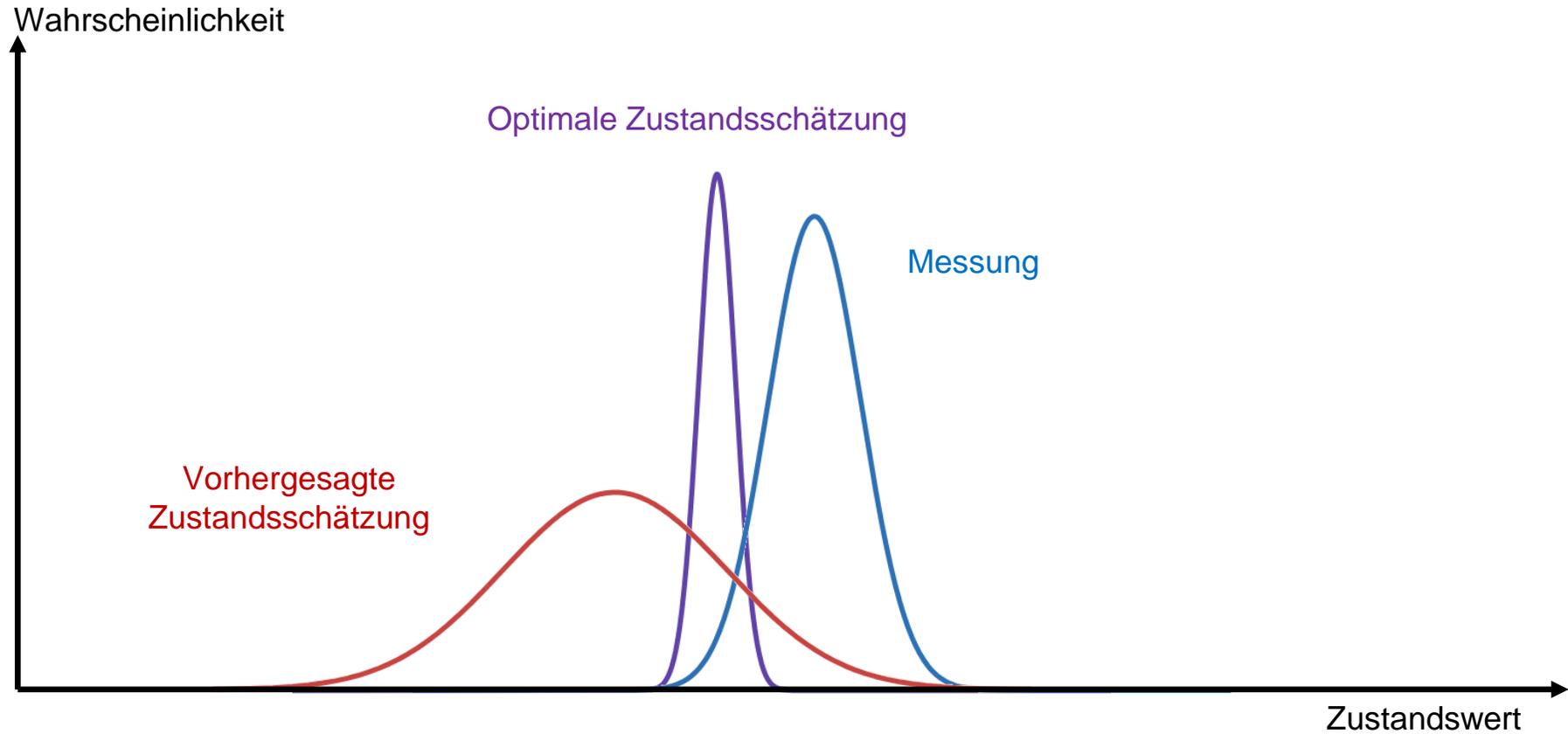
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Zusammenführung von Schätzung und Messung



Zustand- und Steuersignalmatrix

Zustandsmatrix

$$x = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ v \\ \psi \\ a \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}$$

X, Y : Globale Position
 v : Geschwindigkeit
 ψ : Orientierung
 a : Beschleunigung
 $\dot{\psi}$: Drehgeschwindigkeit

Steuersignalmatrix

$$u = \begin{bmatrix} a_u \\ \theta_u \end{bmatrix}$$

a_u : Ziel-Beschleunigung
 θ_u : Lenk-Winkel

Formeln des Kalman Filter

Prädiktion

$$x_{k|k-1} = Fx_{k-1} + Bu_k$$

$x_{k|k-1}$: Systemzustand (A-priori)

x_{k-1} : Letzte Zustandsschätzung

F : Systemmodel-Matrix

B : Steuersignalmodel-Matrix

u_k : Steuersignal-Vektor

Korrektur

$$x_k = x_{k|k-1} + K_k \underbrace{(z_k - y_k)}_{\text{Fehler}}$$

x_k : Systemzustand (A-posteriori)

K_k : Kalman-Gain

z_k : Messungs-Vektor

y_k : Berechneter Messungs-Vektor

Vor-/Nachteile des Kalman Filters

Vorteile

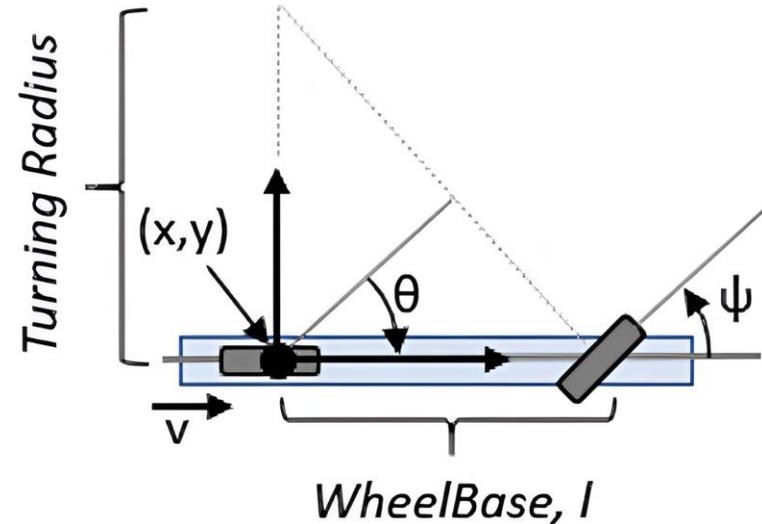
- Kann Sensoren und Modell kombinieren
- Kann Messtörungen filtern

Nachteile

- Nur lineare Modelle
- Fehler sind nur normalverteilt

Alternative Modelle

- Extended Kalman Filter
- Unscented Kalman Filter
- Particle Filter



$$\dot{x}_1 = \dot{v} = a$$

$$\dot{x}_2 = \dot{\psi} = \omega = \frac{v}{l} \cdot \tan(\theta)$$

$$\dot{x}_3 = \dot{X} = v \cdot \cos(\psi)$$

$$\dot{x}_4 = \dot{Y} = v \cdot \sin(\psi)$$

Formeln des Extended Kalman Filter

Prädiktion

$$x_{k|k-1} = f(x_{k-1}, u_k)$$

$$F_k = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x_{k-1|k-1}, u_k}$$

Korrektur

$$x_k = x_{k|k-1} + K_k \underbrace{(z_k - y_k)}_{\text{Fehler}}$$

$x_{k|k-1}$: Systemzustand (A-priori)

x_{k-1} : Letzte Zustandsschätzung

f : Systemmodell-Funktion

F_k : Linearisierte Systemmodell-Matrix

x_k : Systemzustand (A-posteriori)

K_k : Kalman-Gain

z_k : Messungs-Vektor

y_k : Berechneter Messungs-Vektor

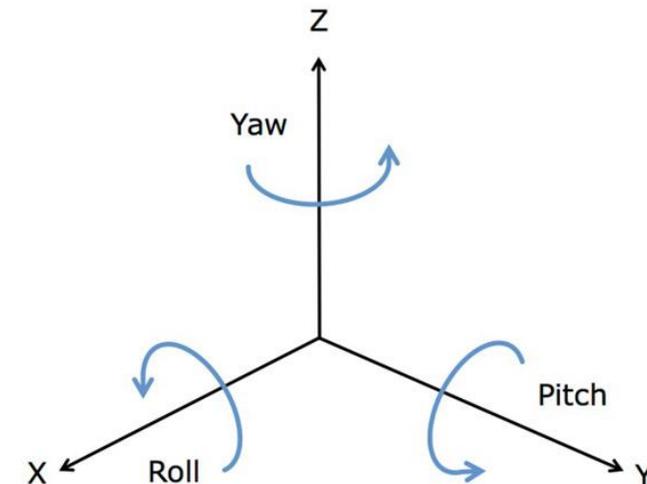
Sensoren für den EKF

Verwendete Sensoren

- Odometer
- Inertiale Messeinheit (IMU)

Sensorwerte

- Geschwindigkeit aus Odometer
- Orientierung aus IMU
- Beschleunigung aus IMU konnte nicht eingebunden werden



1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische Entwicklungen

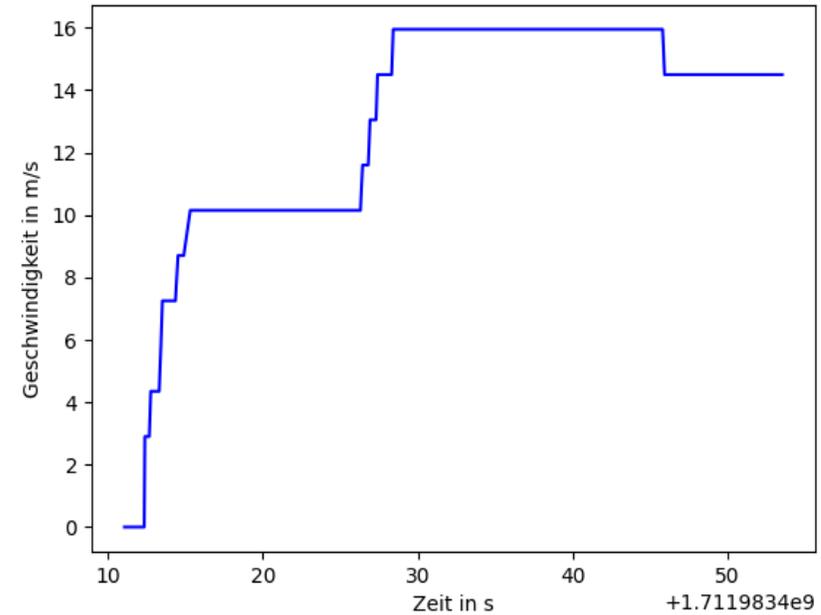
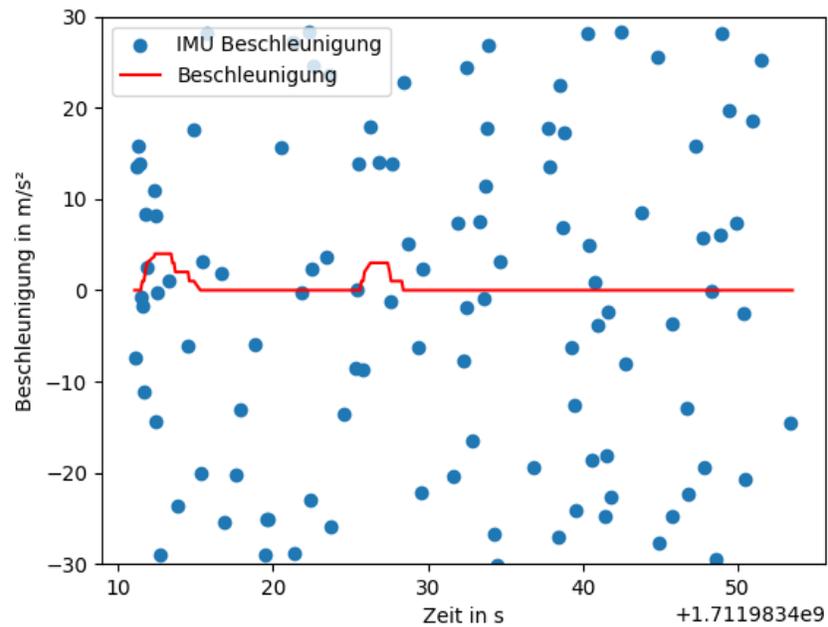
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

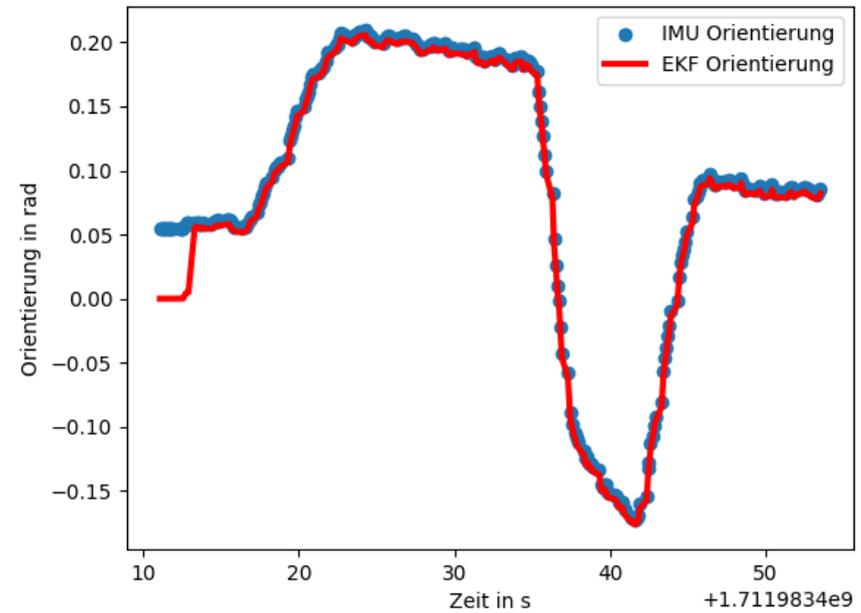
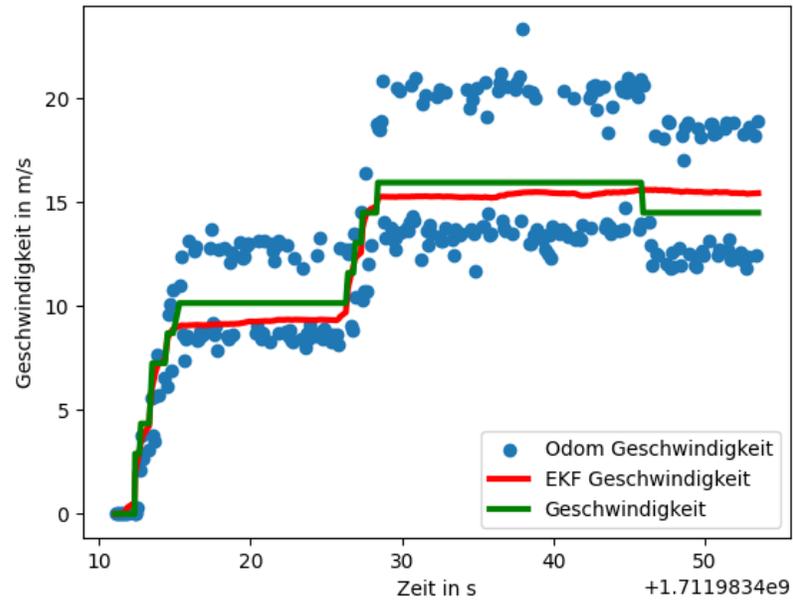
4. Ausblick

Inertiale Messeinheit



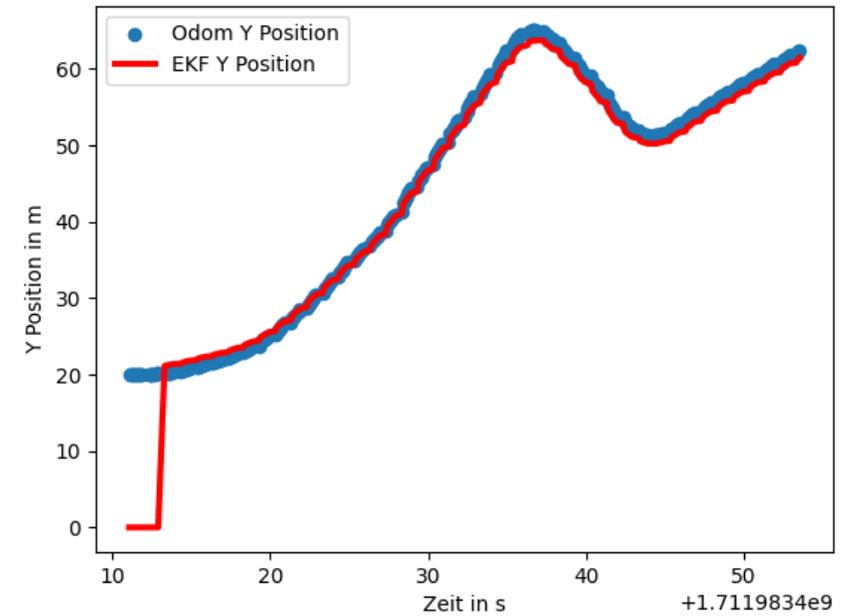
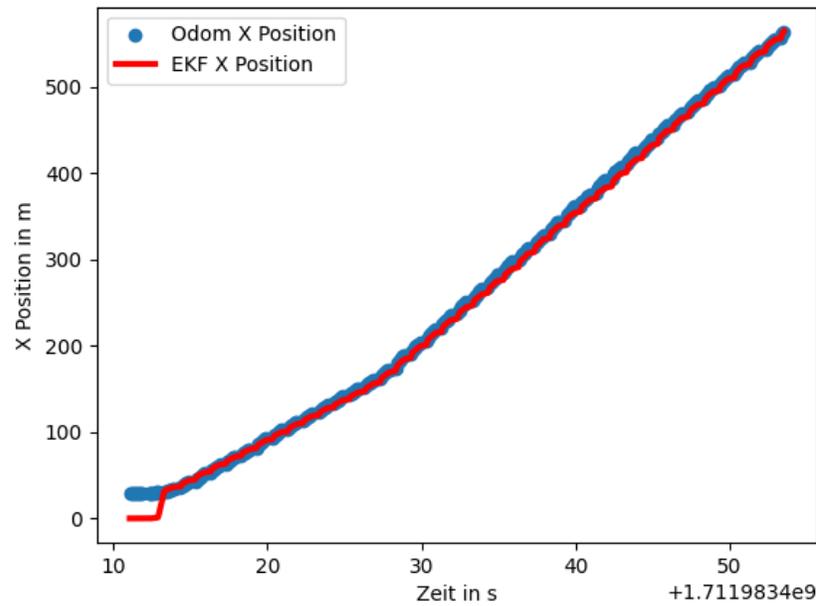
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Ergebnisse des EKFs



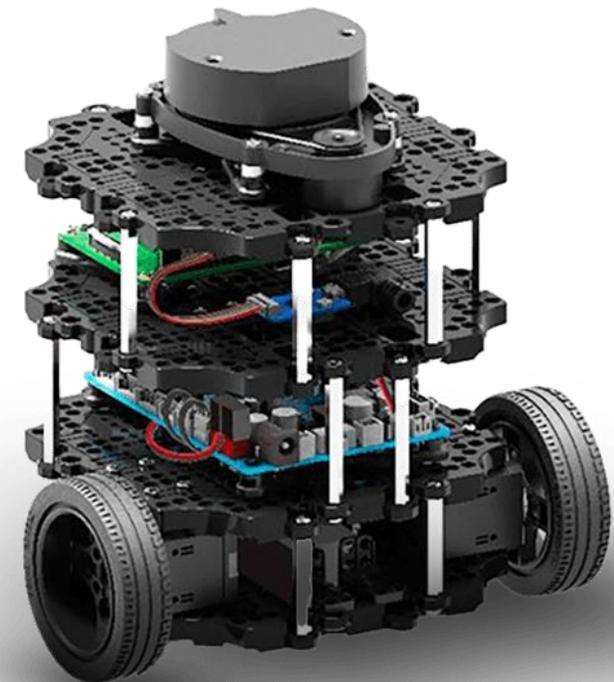
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Ergebnisse des EKF



Koordinatensystem

Stefan Gerber



1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

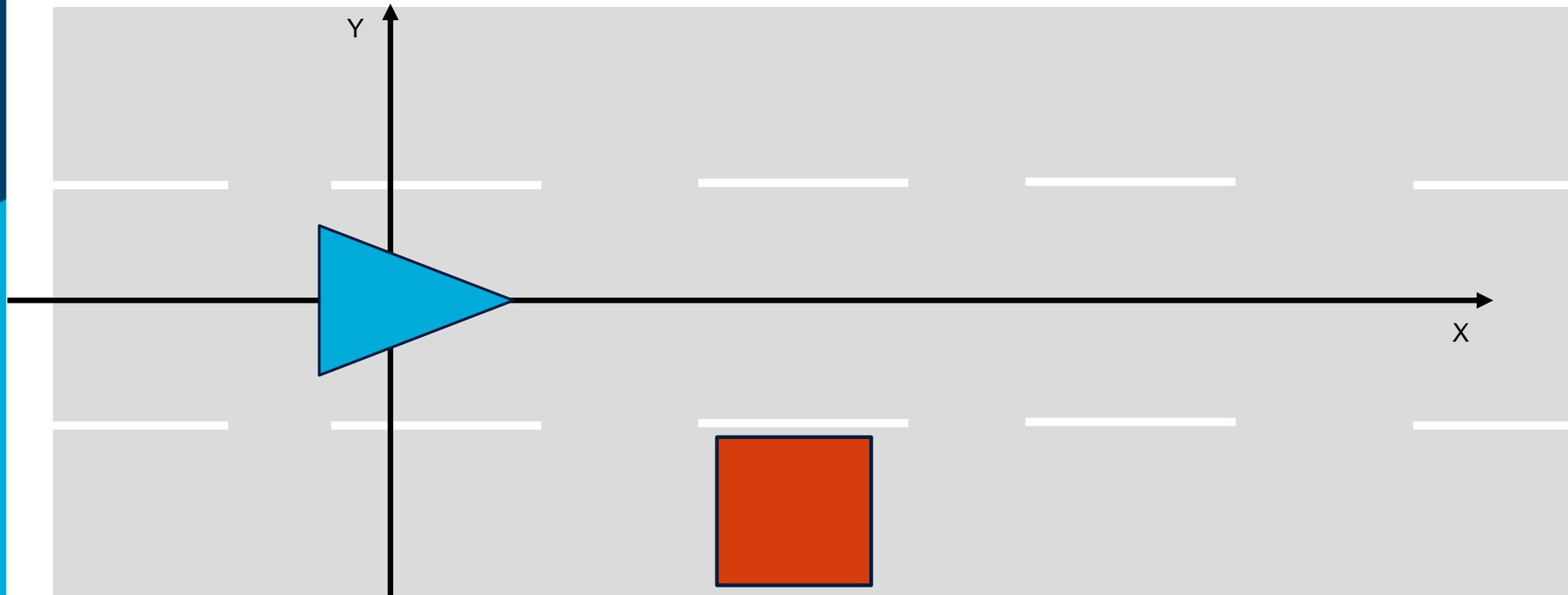
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Lokales Koordinatensystem



1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

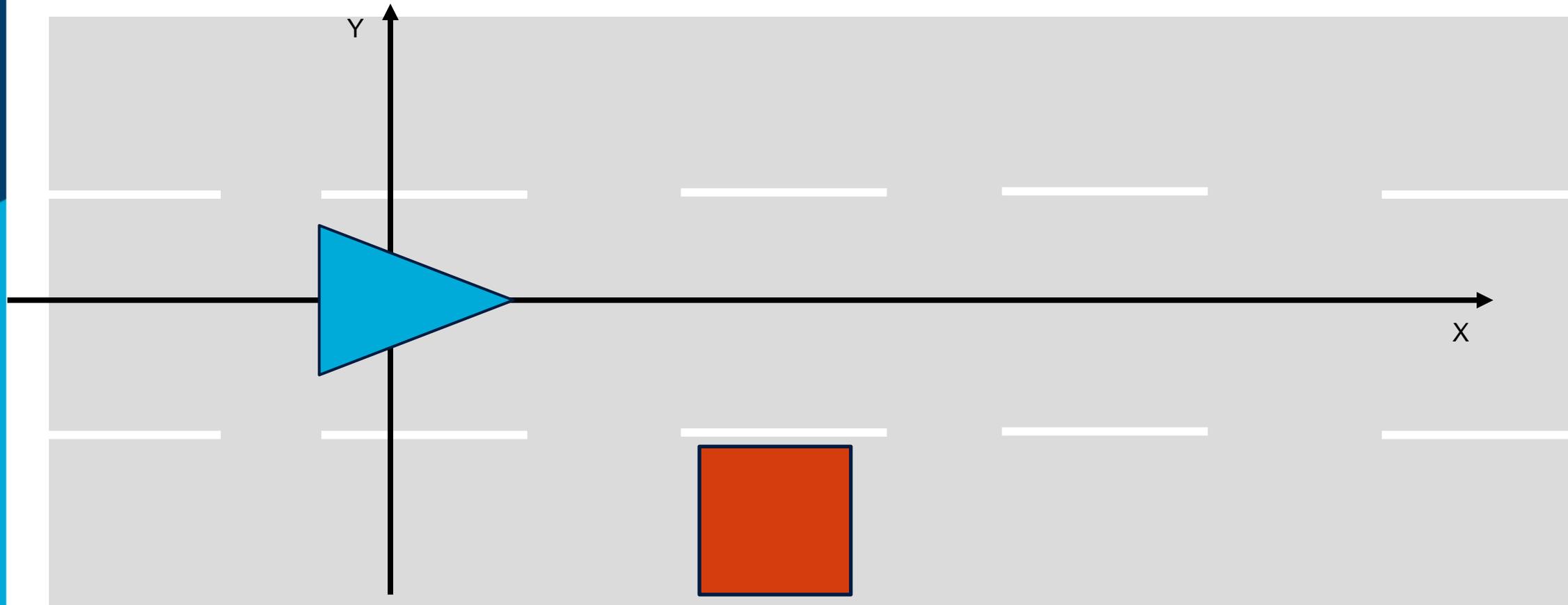
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Lokales Koordinatensystem (Rotation)



1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

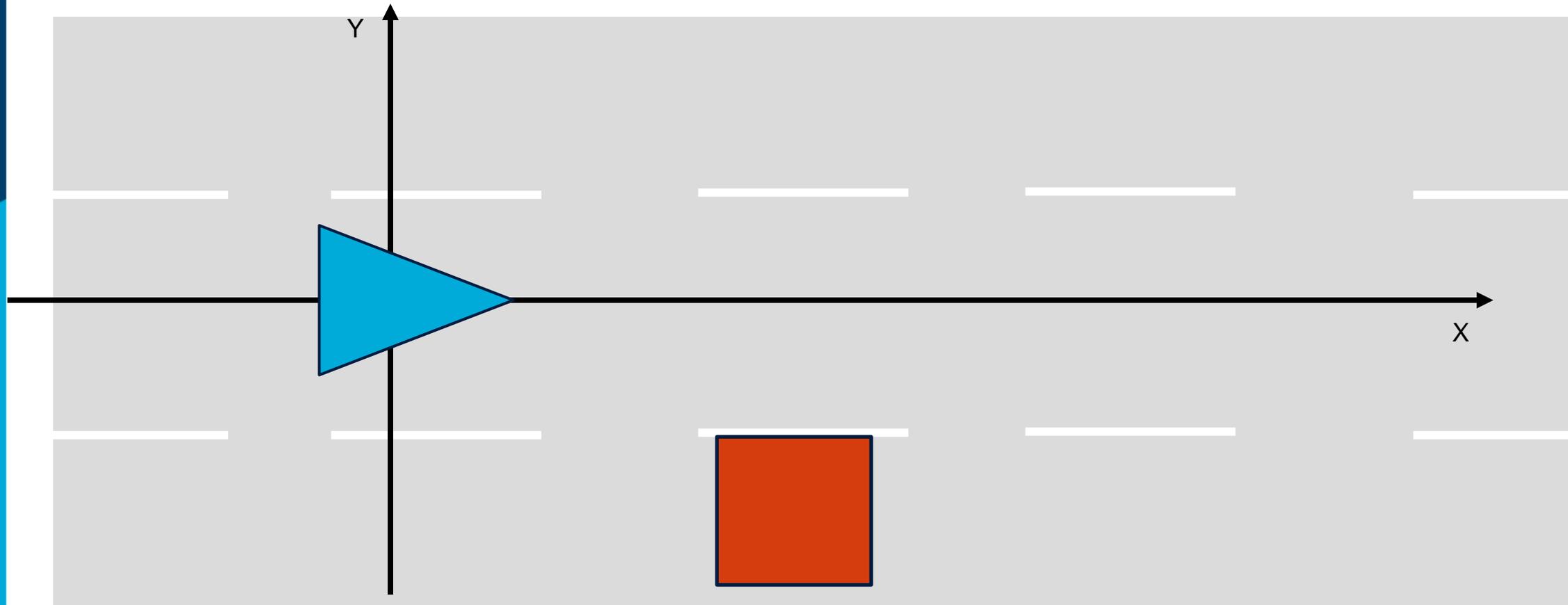
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Globales Koordinatensystem mit lokalem Ursprung



1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

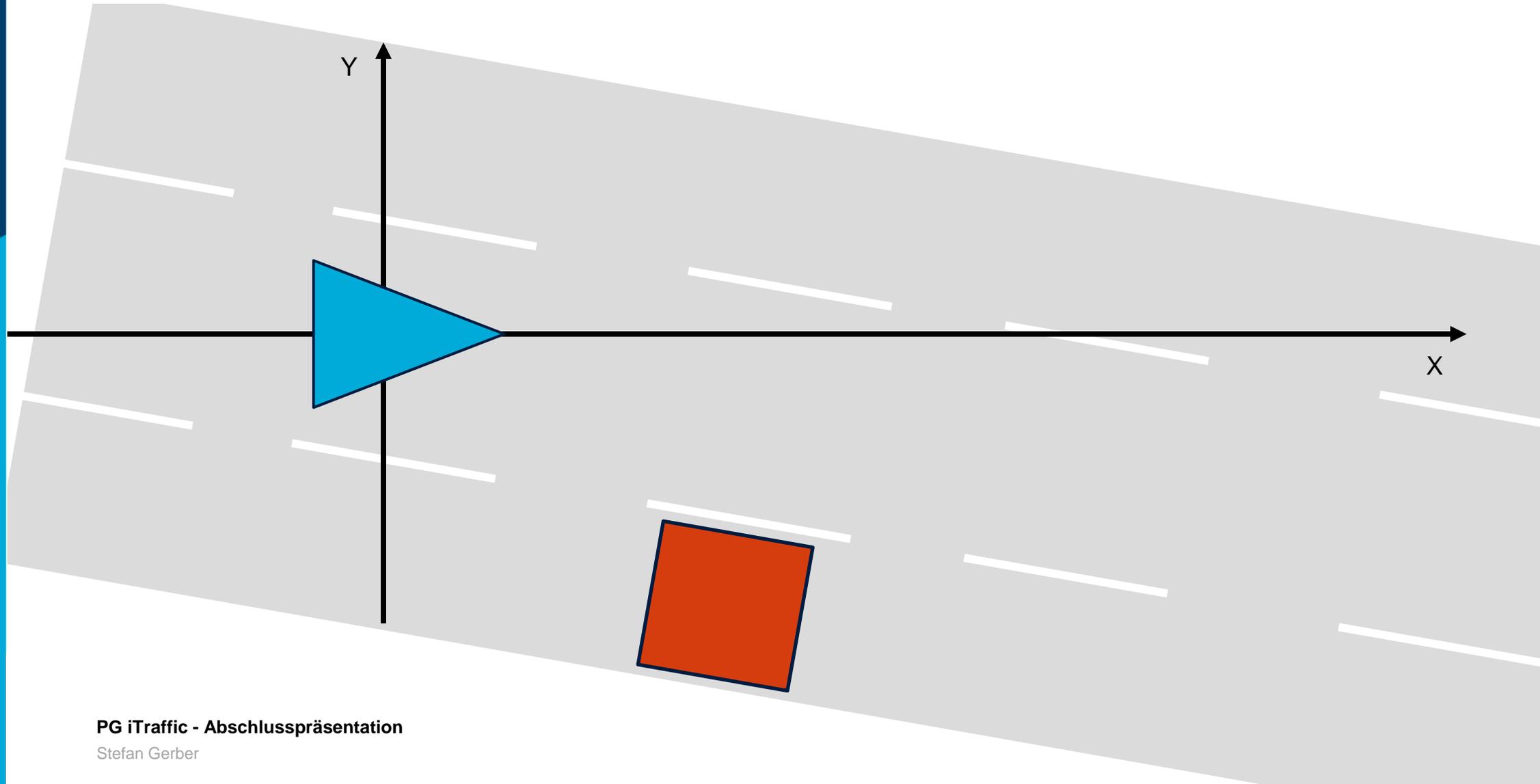
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Globales Koordinatensystem mit lokalem Ursprung (Rotation)



1. Was bisher geschah

a. Vision

b. Technische

Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

a. Zustandsschätzung

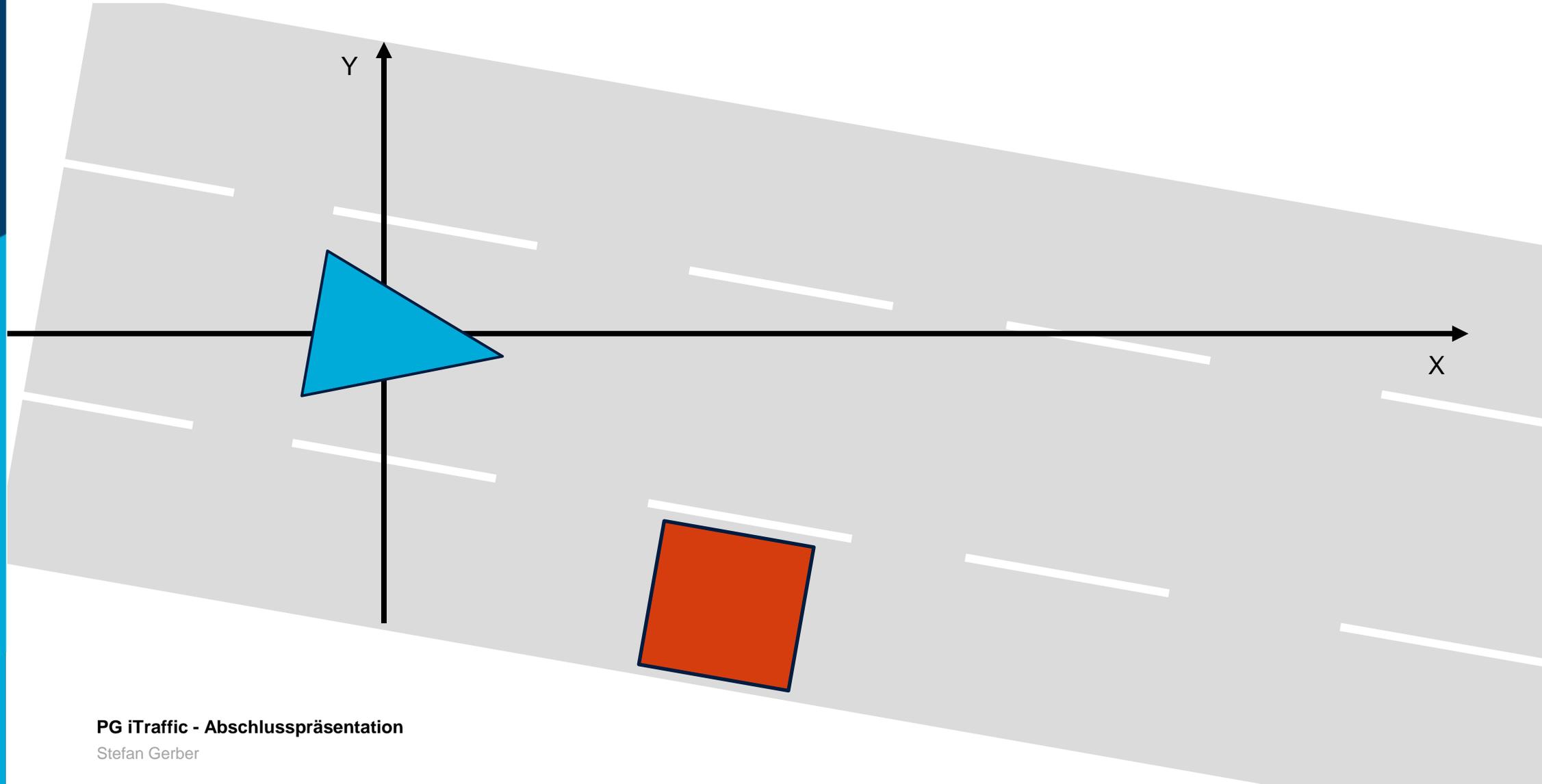
b. Weitere Fahrfunktionen

c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Globales Koordinatensystem mit lokalem Ursprung (Rotation)



1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

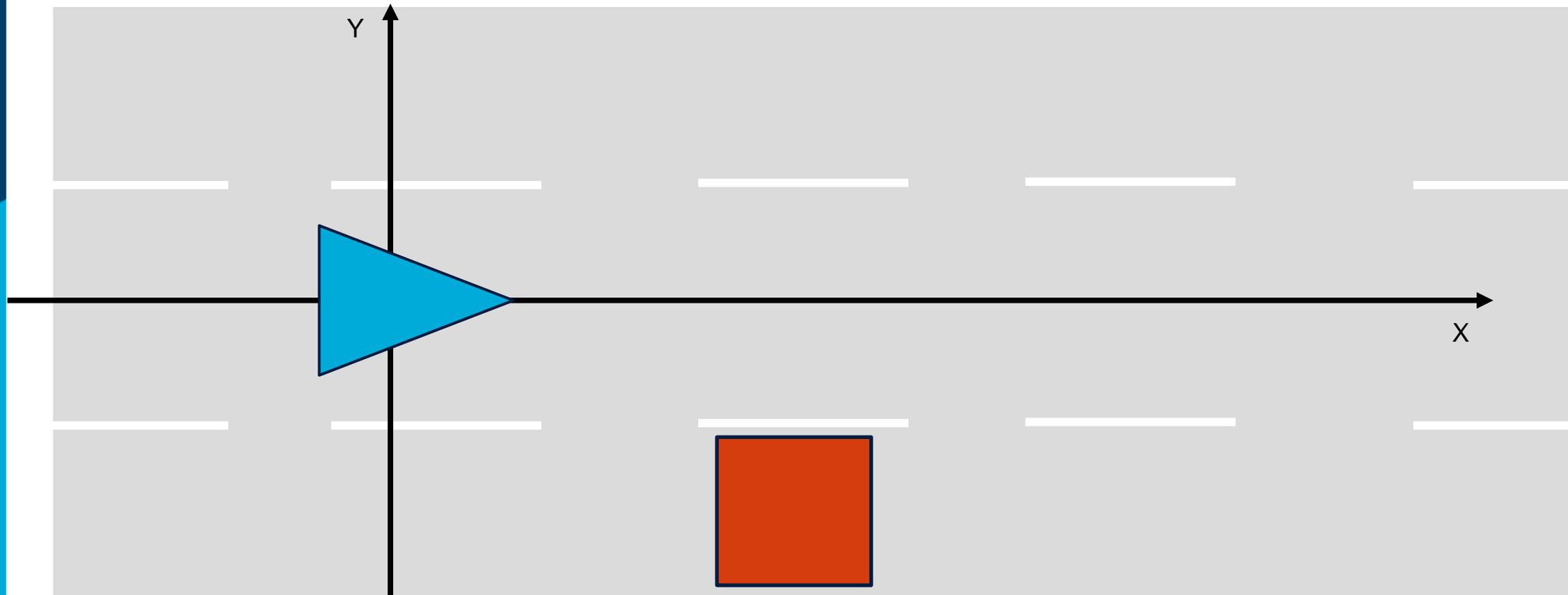
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

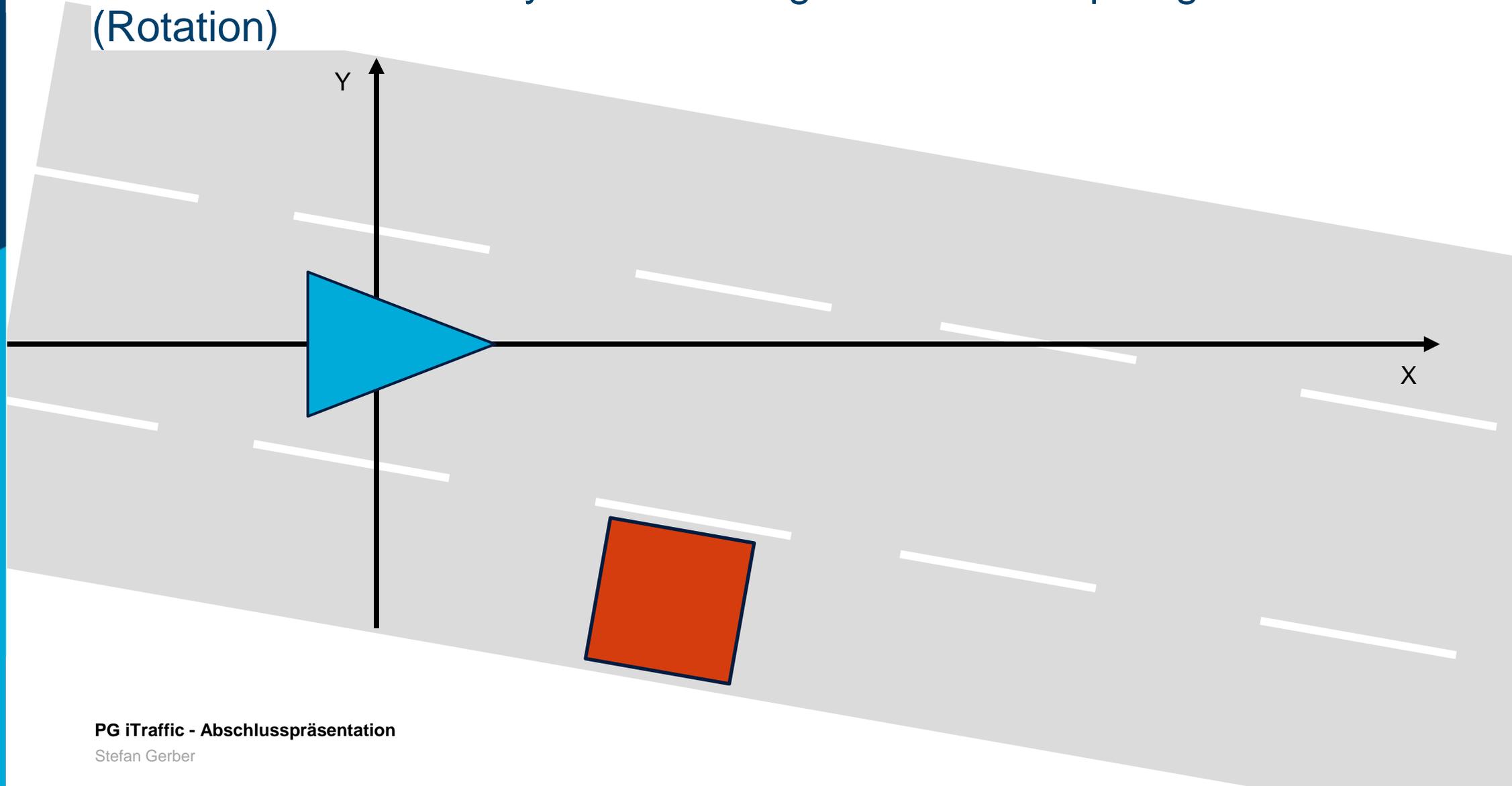
4. Ausblick

Globales Koordinatensystem mit ausgerichtetem Ursprung



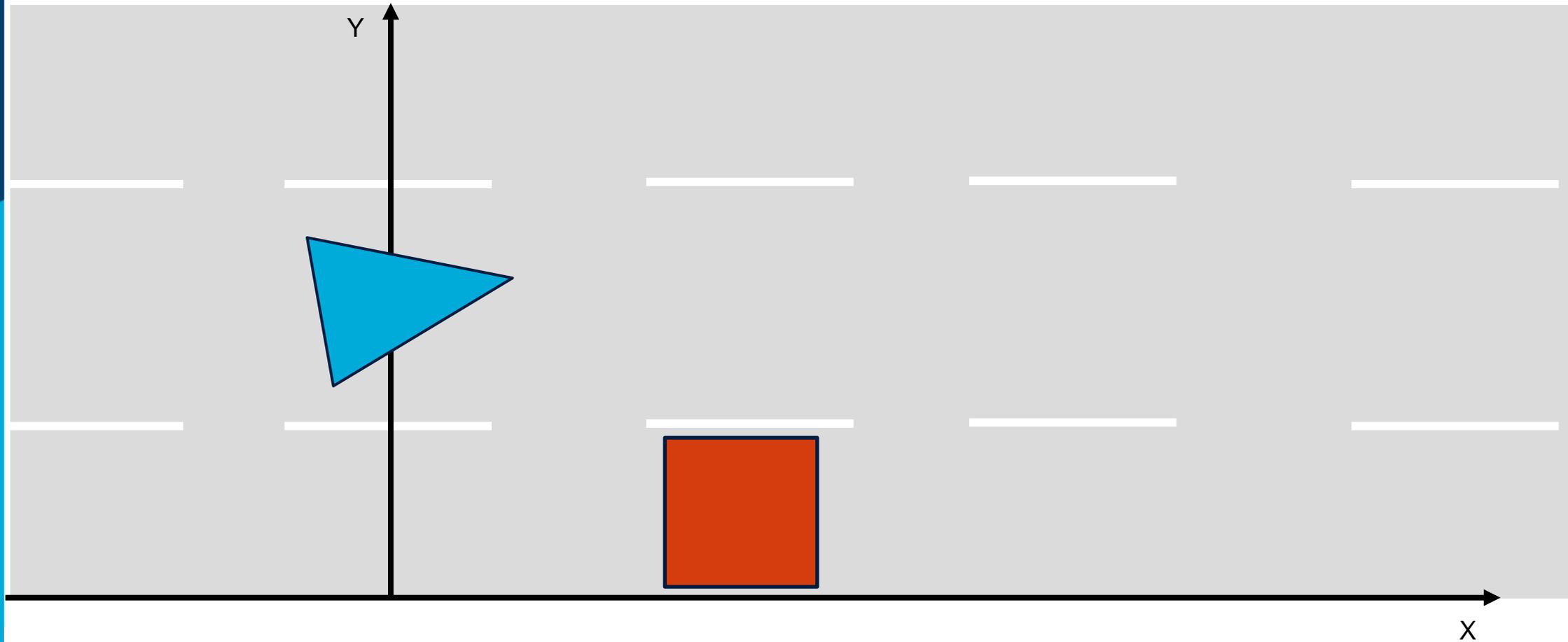
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Globales Koordinatensystem mit ausgerichtetem Ursprung (Rotation)



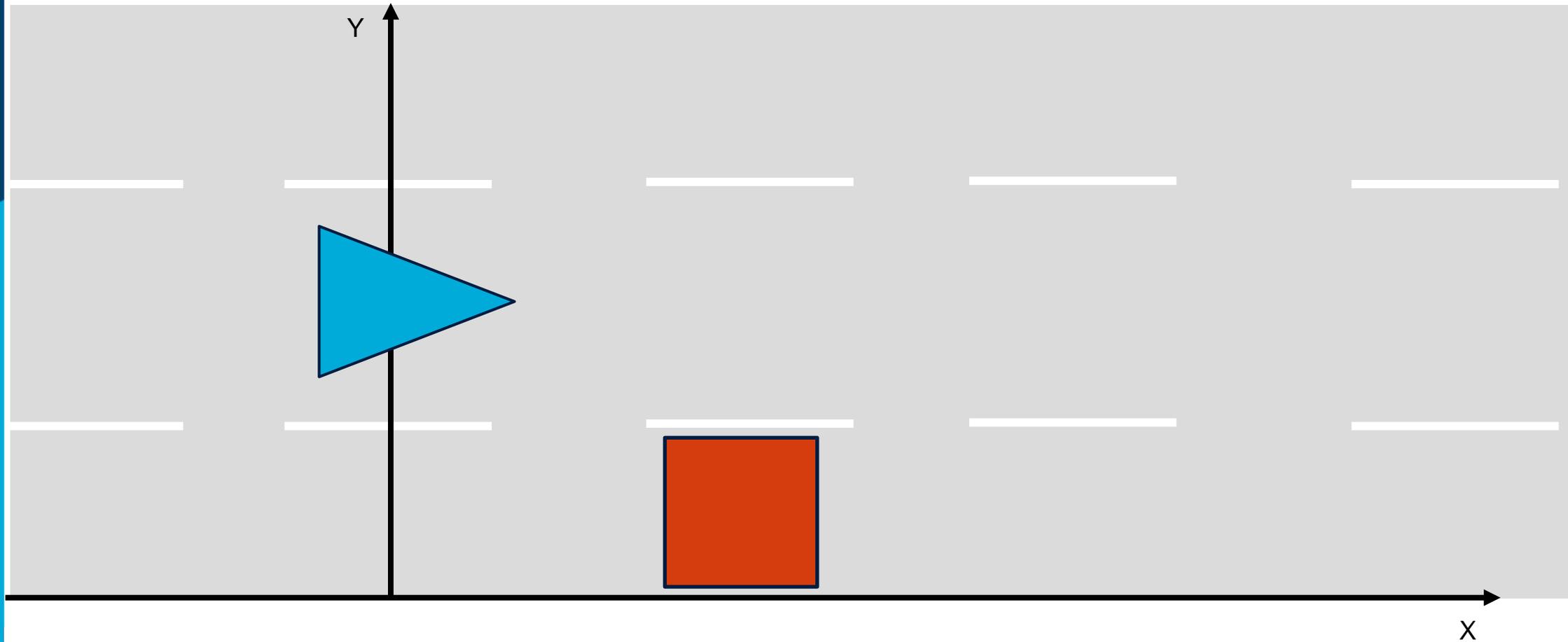
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Globales Koordinatensystem mit ausgerichtetem Ursprung (Rotation)



1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Globales Koordinatensystem mit ausgerichtetem Ursprung (Rotation)



Koordinatensysteme in TurtleCar-Core

- Detektoren greifen auf Lokales zu (außer Kolonnenfahrt)
- Fahrfunktionen greifen auf Globales mit Ausrichtung zu
- Globales mit lokalem Ursprung ist nur Zwischenschritt

Sensoren senden Koordinaten im lokalen Koordinatensystem



Detektoren arbeiten mit lokalen Koordinaten



Beobachter globalisiert Koordinaten



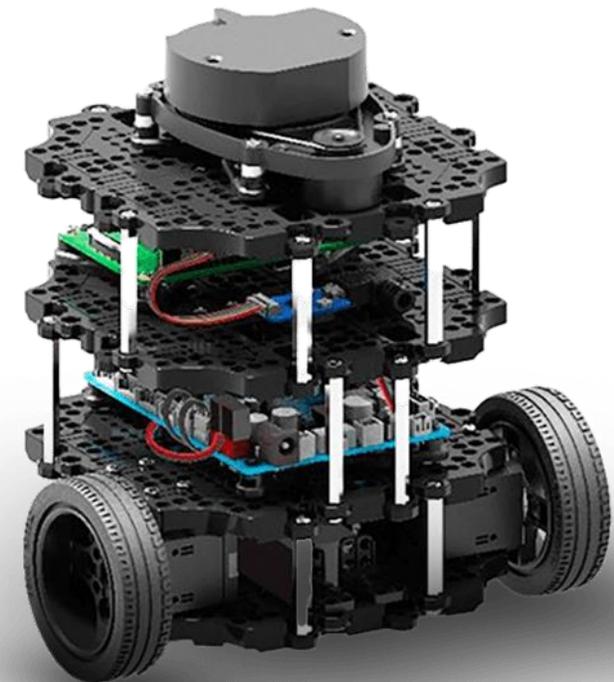
Fahrfunktionen greifen auf globale Koordinaten zu

Überblick

Lokales Koordinatensystem	Globales Koordinatensystem mit lokalem Ursprung	Globales Koordinatensystem mit ausgerichtetem Ursprung
<ul style="list-style-type: none">• Gut für lokale Rechnungen (Distanz-Berechnung, Winkel-Berechnung, ...)• Nicht geeignet für MPC	<ul style="list-style-type: none">• Geeignet für global Rechnungen (Geschwindigkeit, Trajektorien, ...)• Ursprung abhängig von Startposition/-rotation des TBs	<ul style="list-style-type: none">• Geeignet zum Debuggen• Ausgerichtet zum Straßenverlauf• Ausrichtung kann von außen geändert werden (Kolonnenfahrt)

Kolonnenfahrt: Grundlagen

Stefan Gerber



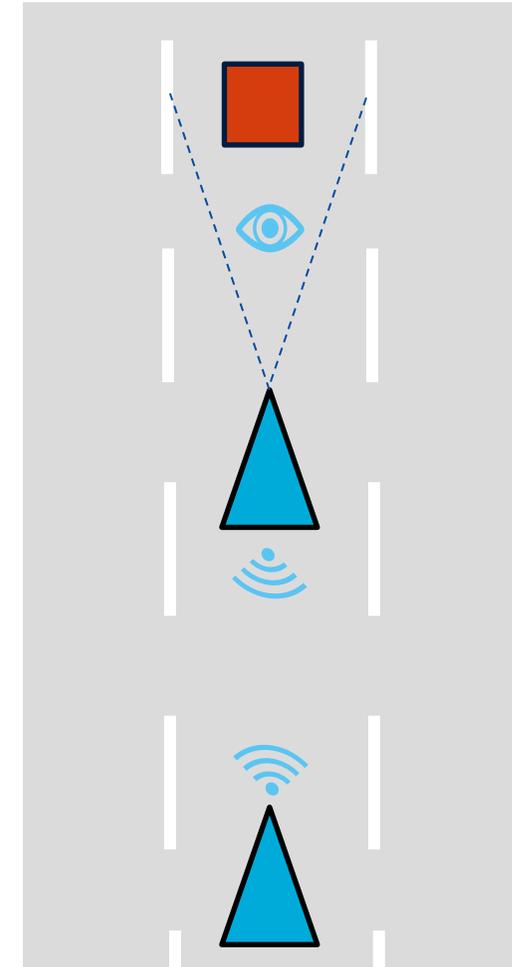
Anforderungen

Funktionale Anforderungen

- Definition eines TurtleBot-Anführers
- Bereitstellung einer Architektur

Nichtfunktionale Anforderungen

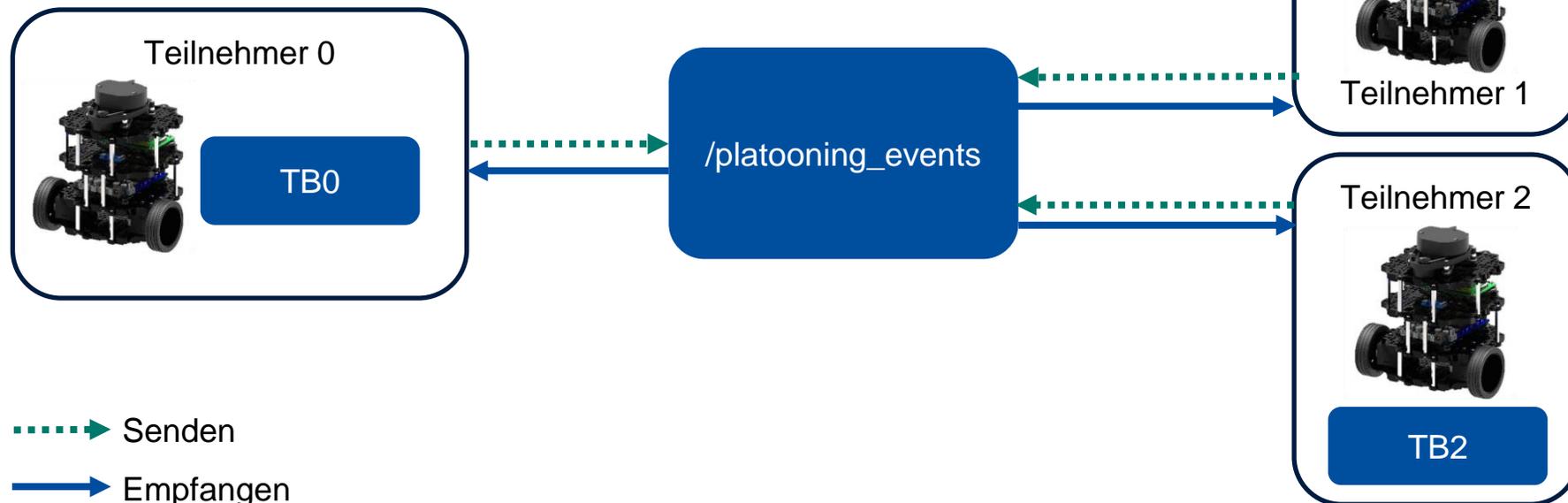
- TurtleBots kommunizieren über ROS2



Car2Car-Kommunikation

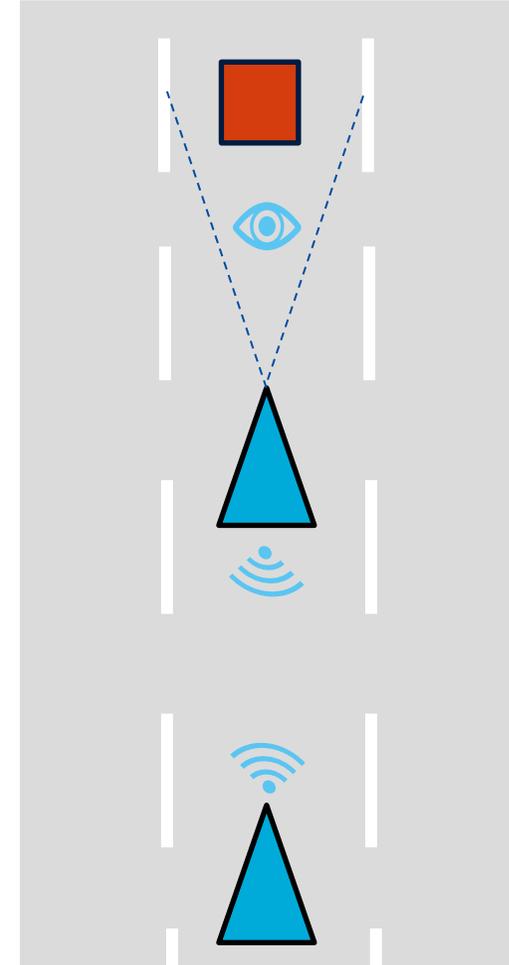
Idee

- Globales ROS2-Topic für Nachrichtenaustausch
- Erweiterbarkeit der Informationen durch JSON-Format
- Jedes Fahrzeug sendet Events als Broadcast:
 - Erkannte Hindernisse
 - Eigene Position



Nutzung der Daten

- Einsatz als weiterer Sensor
- Ordnet Wissen anderer TurtleBots über globales Koordinatensystem ein
- Entwicklung einer Fahrfunktion der Kolonnenfahrt analog zu bisherigen Fahrfunktionen



1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

The screenshot shows a Gazebo simulation of a road with three TurtleCar robots. The robots are labeled 1, 2, and 3. Robot 1 is on the left, robot 2 is in the middle, and robot 3 is on the right. A white car is positioned between robots 2 and 3. The road has dashed white lines. The background is a dark blue sky and a grey ground plane.

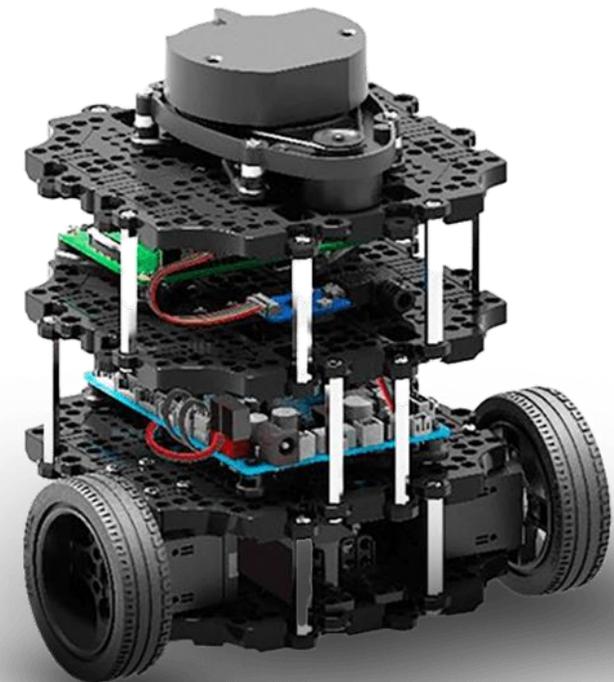
Below the simulation, there are three panels showing sensor data for each robot. Each panel has a large number (1, 2, or 3) in the top left corner. The data includes:

- Obstacle ahead:** None
- Front Distance:** 46.9 cm (Robot 1), 89.4 cm (Robot 2), 350.0 cm (Robot 3)
- Back Distance:** 350.0 cm (Robot 1), 46.5 cm (Robot 2), 31.2 cm (Robot 3)
- Speed limit:** None
- Obstacle ahead:** None
- Front Distance:** 89.4 cm (Robot 2), 350.0 cm (Robot 3)
- Back Distance:** 46.5 cm (Robot 2), 31.2 cm (Robot 3)
- Speed limit:** None
- Obstacle ahead:** None
- Front Distance:** 350.0 cm (Robot 3)
- Back Distance:** 31.2 cm (Robot 3)
- Speed limit:** None

Each panel also shows a diagram of the robot's sensor range with a red square representing the front sensor and a green square representing the back sensor. The robot's position is indicated by a red dot.

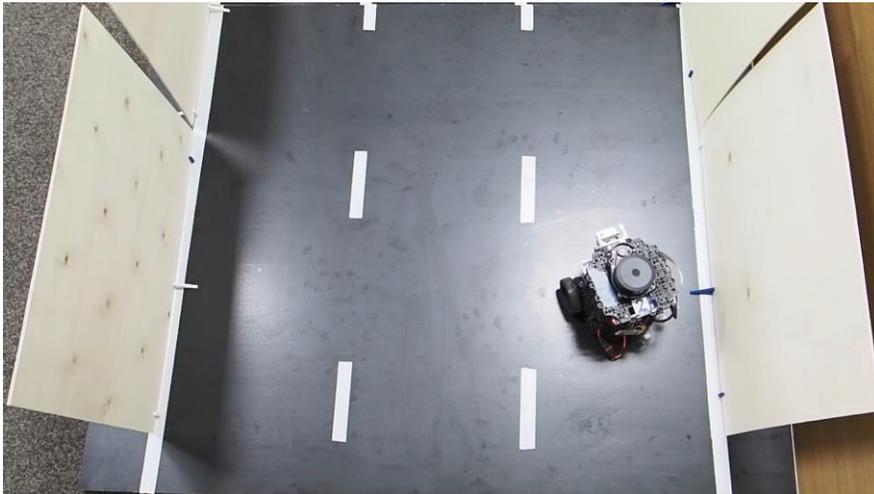
Fahrfunktionen

Julia Debkowski



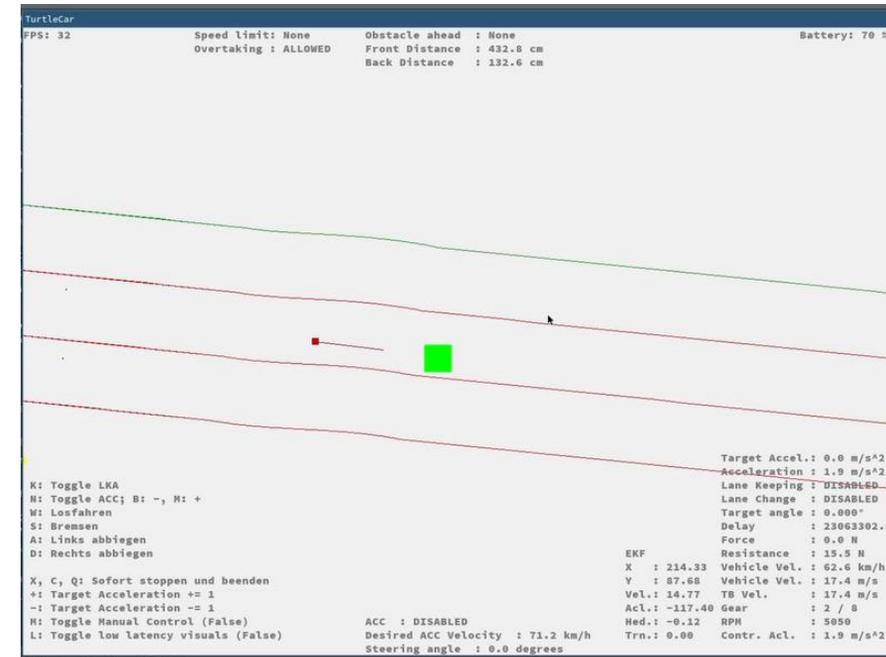
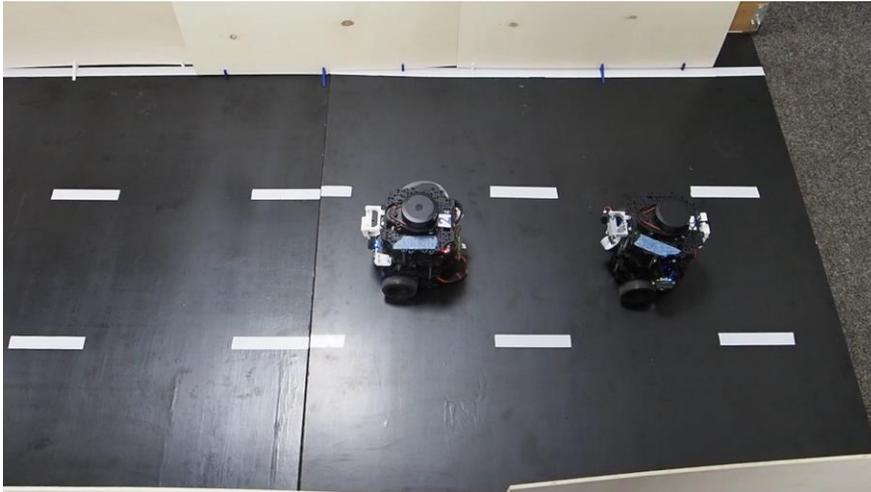
Spurhalteassistent (LKA)

1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick



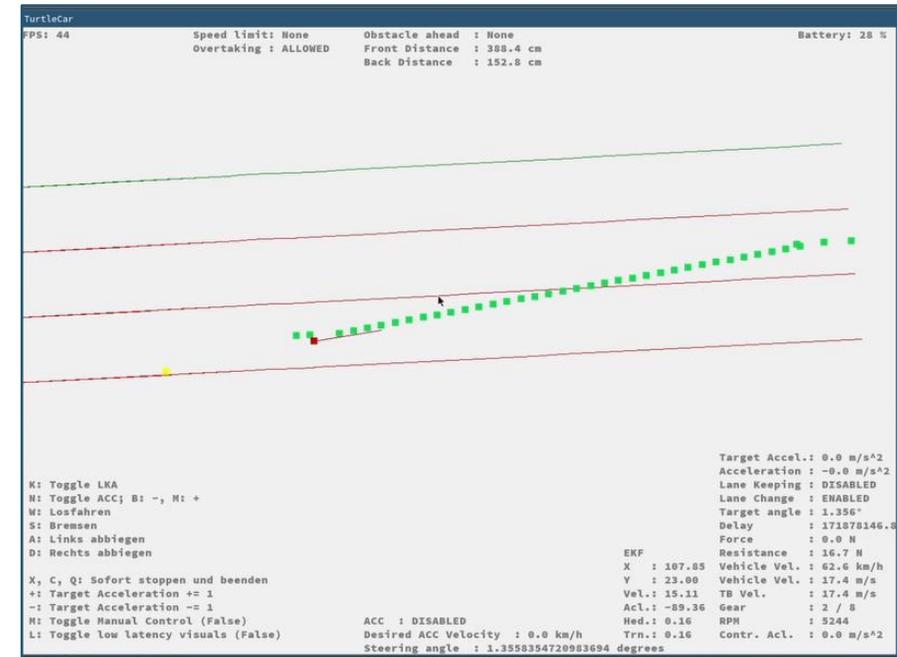
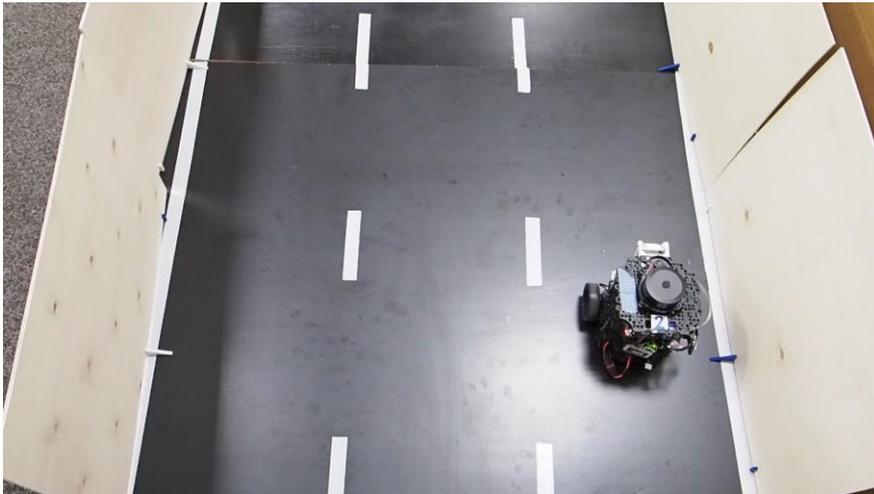
Adaptiver Tempomat (ACC)

1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick



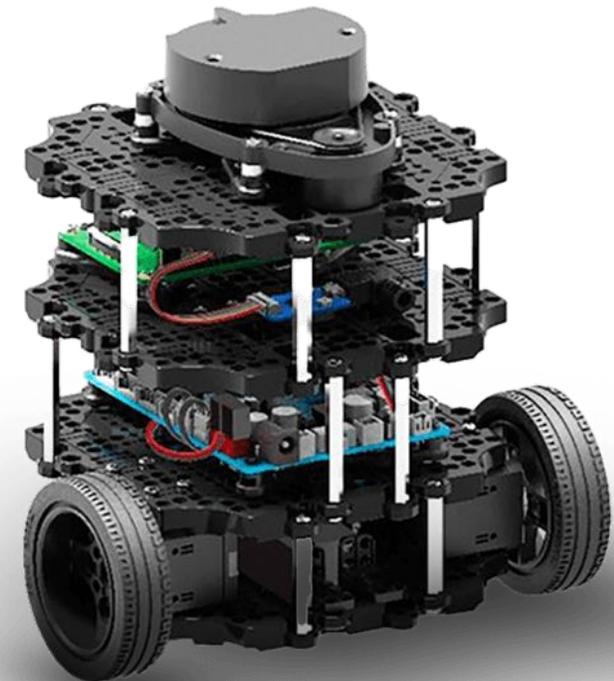
Spurwechselsassistent (LCA)

1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick



Überholassistent

Julia Debkowski



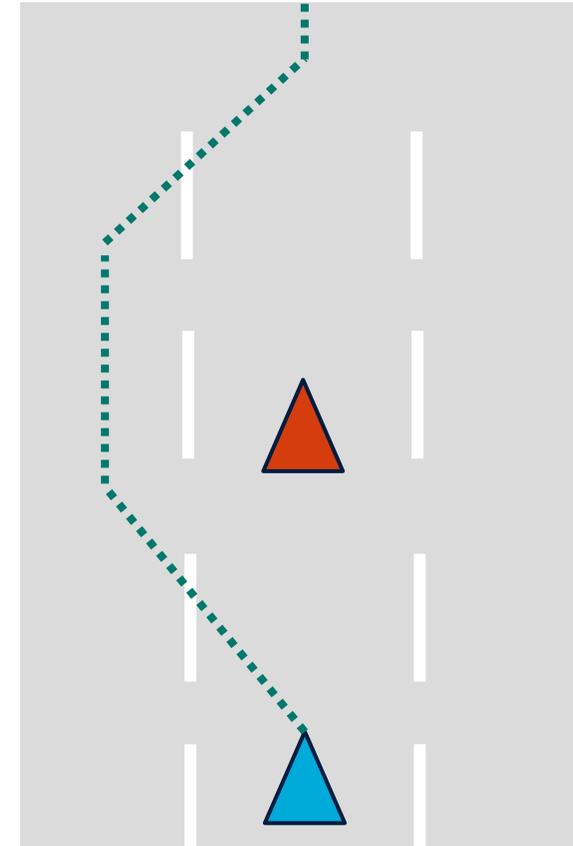
Anforderungen

Funktionale Anforderungen

- Überholung nur links
- Beachtung von Sicherheitsabständen
- Rückkehr auf ursprüngliche Spur sobald möglich
- Deaktivierung nach Ende des Überholvorgangs
- Deaktivierung durch Fahrer

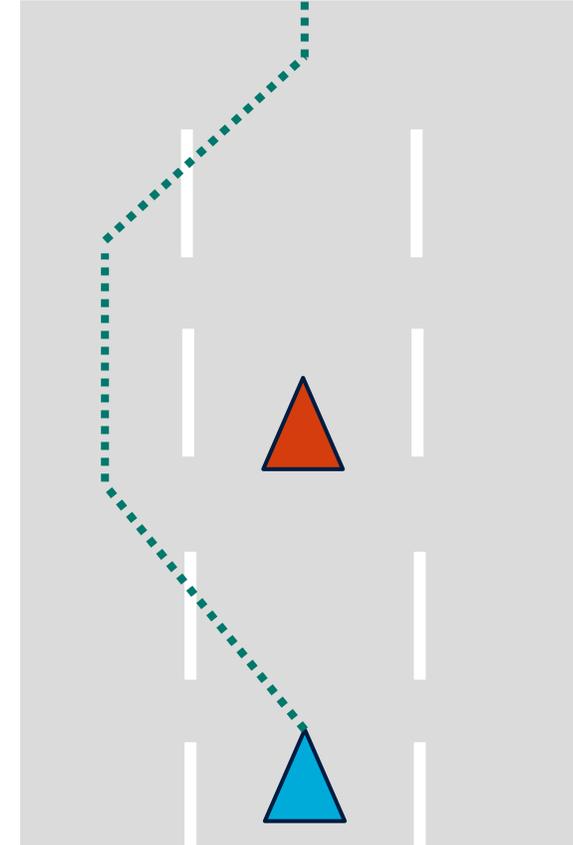
Nichtfunktionale Anforderungen

- Umsetzung mit MPC



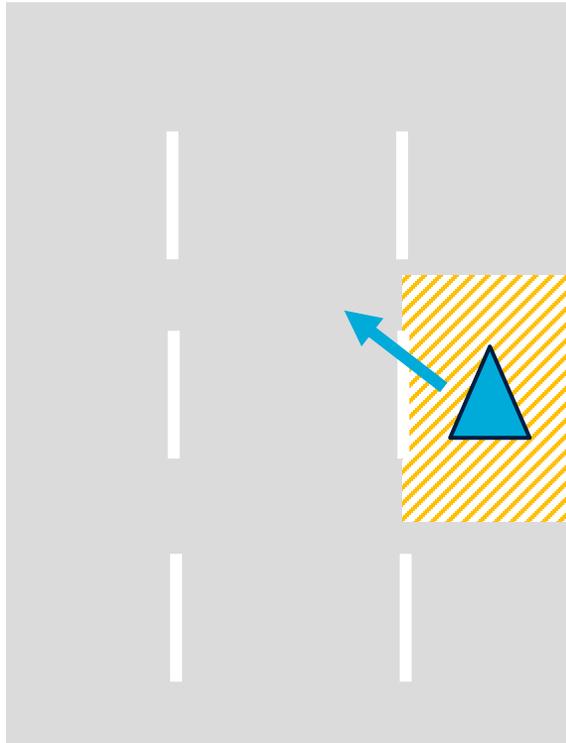
Wann kann überholt werden?

- kein Überholverbot
- ausreichend hohe Geschwindigkeitsdifferenz zum zu überholenden Hindernis

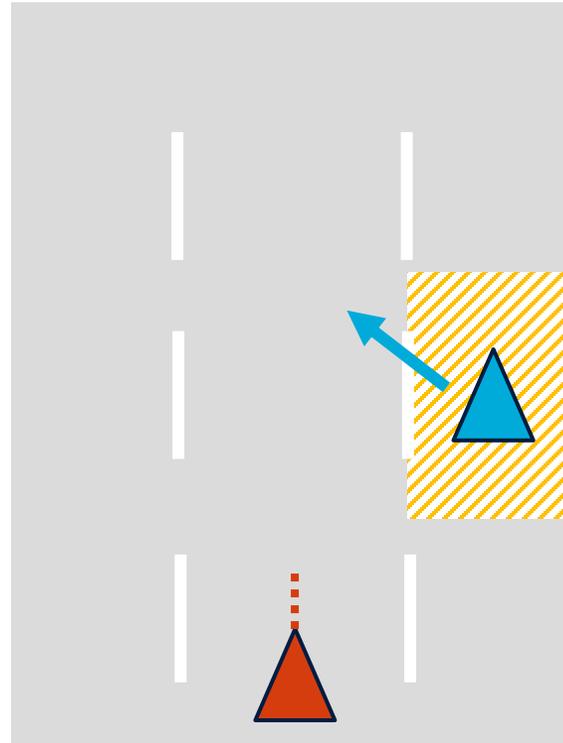


Erlaubte Spurwechsel

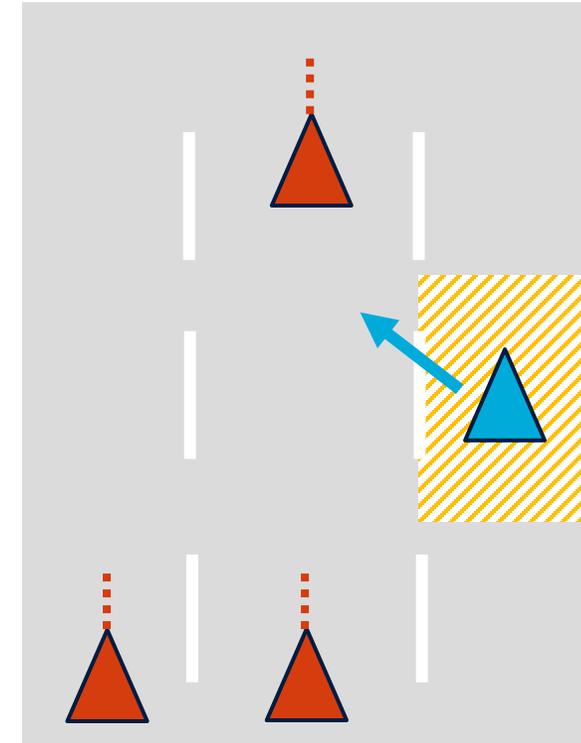
 Sicherheitsabstand



Kein Hindernis



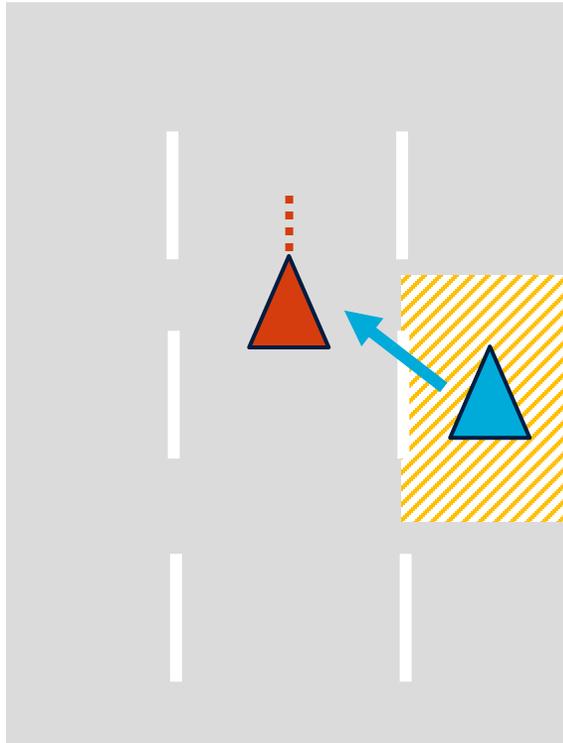
**Sicherheitsabstand nicht
unterschritten**



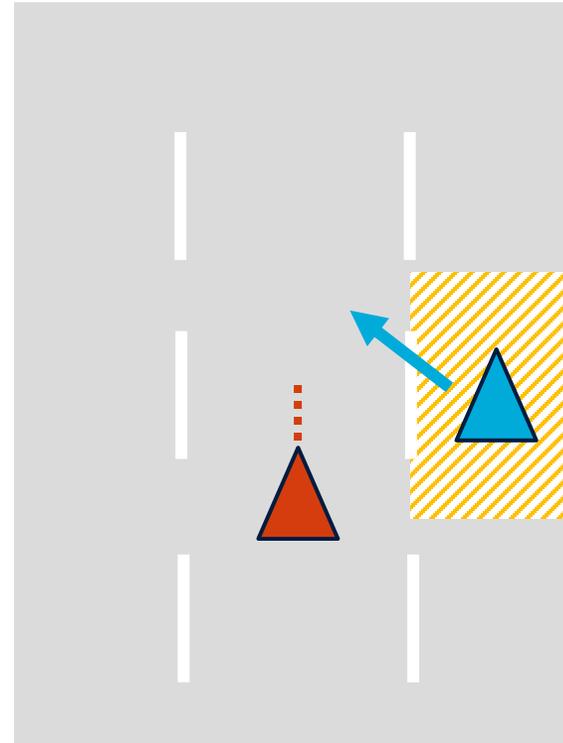
**Mehrere Sicherheitsabstände
nicht unterschritten**

Verbotene Spurwechsel

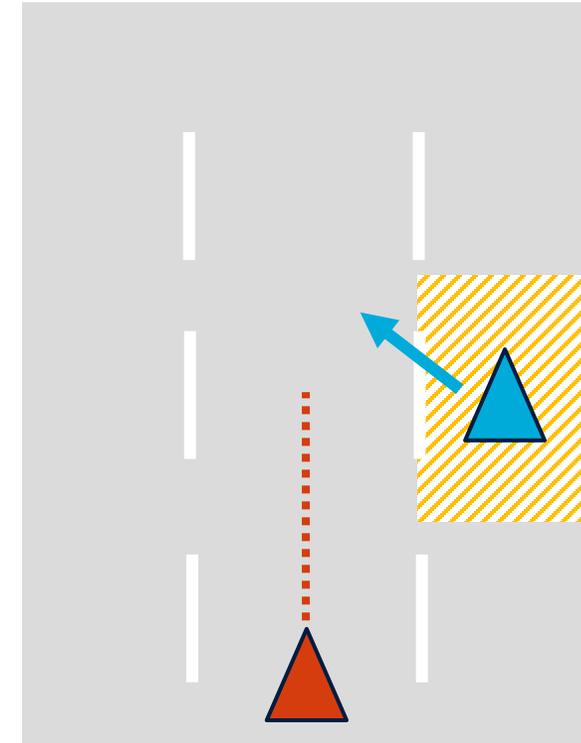
 Sicherheitsabstand



Sicherheitsabstand vorne unterschritten



Sicherheitsabstand hinten unterschritten



Geschwindigkeit über Schwellwert

1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

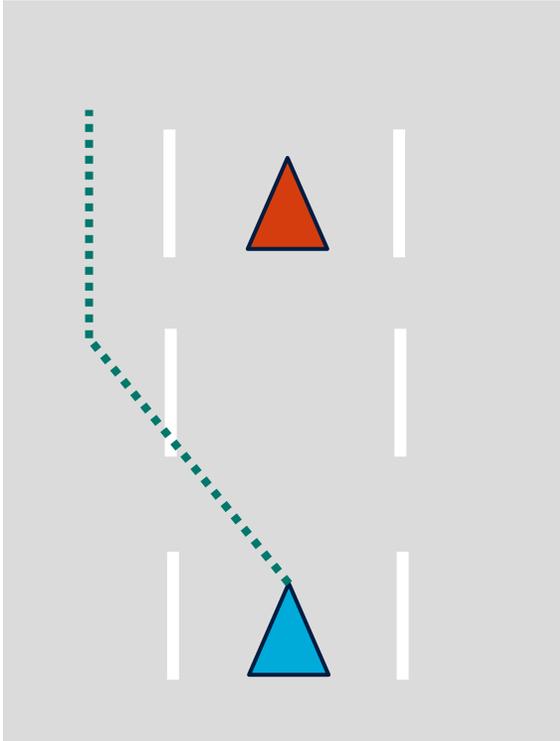
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Überholvorgang: Ablauf



1. Spurwechsel auf die linke Fahrbahn (LCA und ACC)

1. Was bisher geschah

- a. Vision
- b. Technische
Entwicklungen

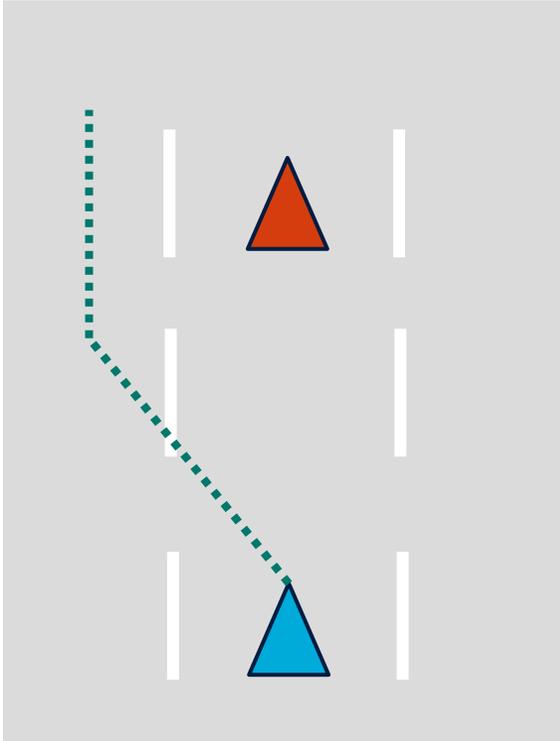
2. Neue Entwicklungen

- a. Zustandsschätzung
- b. Weitere Fahrfunktionen
- c. Autonomes Fahren

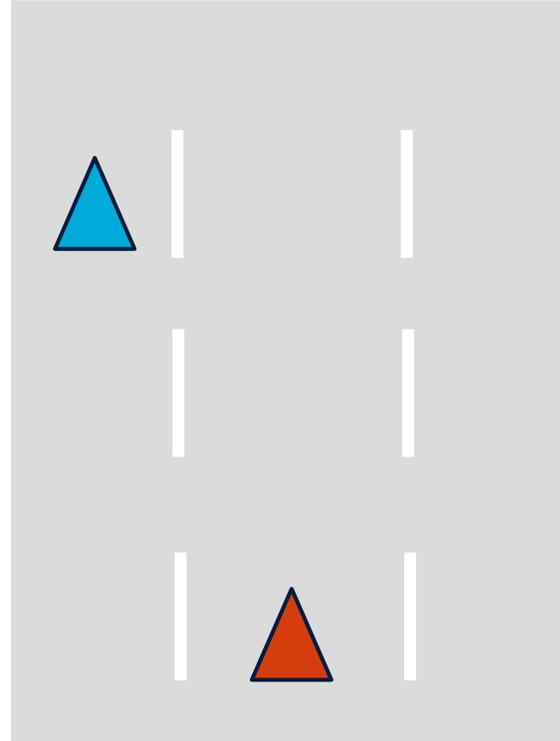
3. Reflexion

4. Ausblick

Überholvorgang: Ablauf

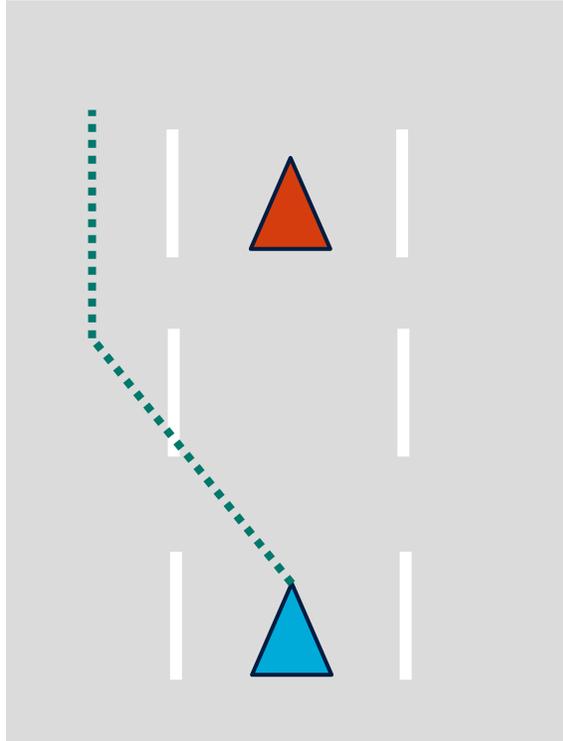


**1. Spurwechsel auf die linke
Fahrbahn (LCA und ACC)**

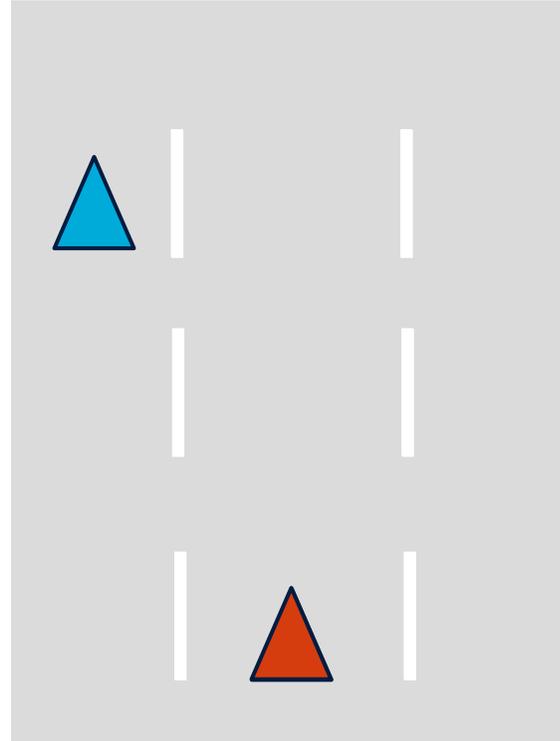


**2. Überholen des Hindernisses
(LKA und ACC)**

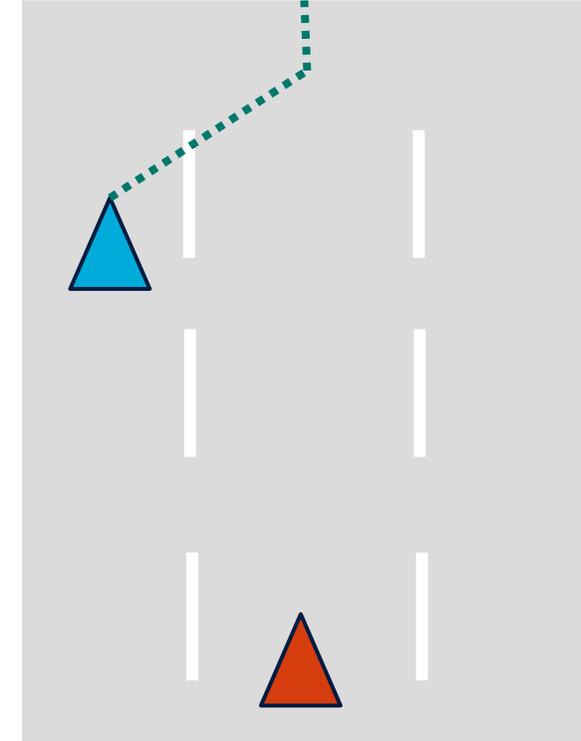
Überholvorgang: Ablauf



1. Spurwechsel auf die linke Fahrbahn (LCA und ACC)



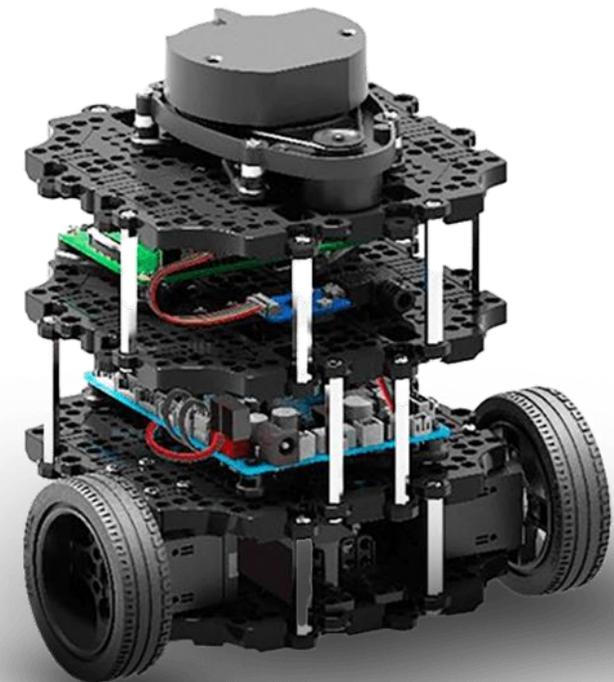
2. Überholen des Hindernisses (LKA und ACC)



3. Spurwechsel zurück auf die rechte Fahrbahn (LCA und ACC)

Bösartiger TurtleBot

Julia Debkowski



Szenarien: Motivation

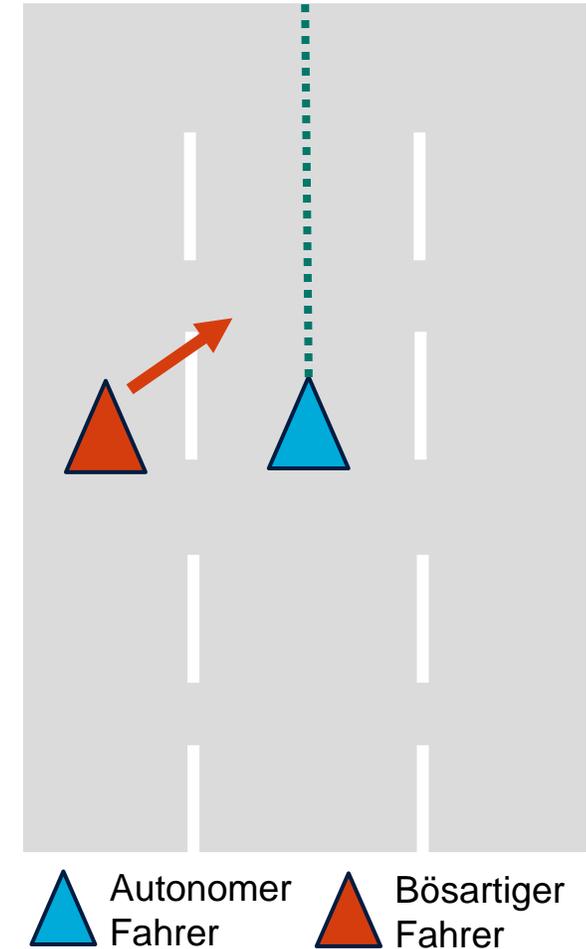
- Simulation ausgewählter gefährlicher Verkehrssituationen
- Testen des Verhaltens des autonomen Fahrers

Annahmen

- Umfeld: Gerade Autobahn
- zwei Verkehrsteilnehmer
 - ein autonomer Fahrer
 - ein „böser“ Fahrer

Szenario 1: Unerwarteter Spurwechsel

- Böartiger Fahrer schert ohne ausreichenden Sicherheitsabstand vor autonomem Fahrer ein

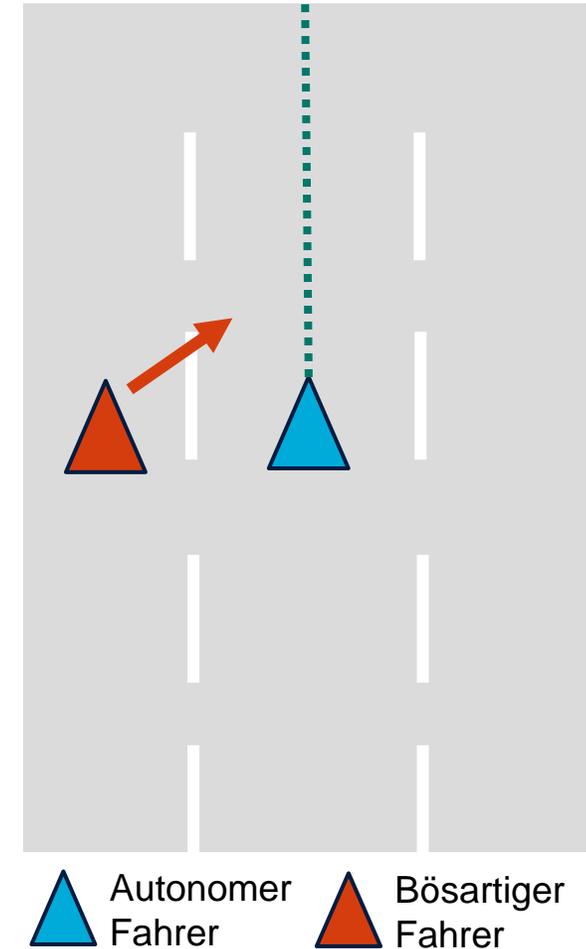


Szenario 1: Unerwarteter Spurwechsel

- Böartiger Fahrer schert ohne ausreichenden Sicherheitsabstand vor autonomem Fahrer ein

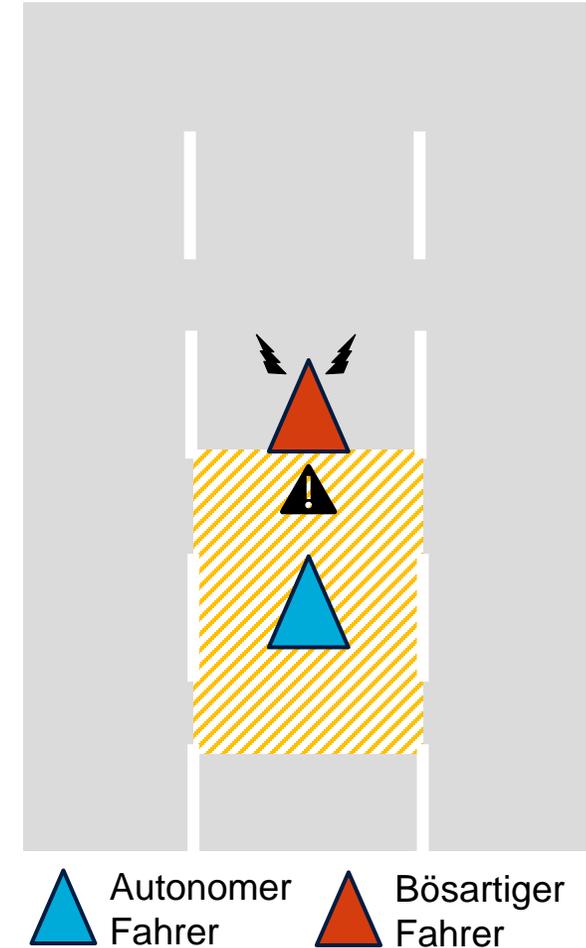
Erwartetes Verhalten

- autonomer Fahrer erkennt Spurwechsel rechtzeitig
➤ stellt sicheren Abstand her



Szenario 2: Unerwartetes Bremsen

- Böartiger Fahrer fährt vor autonomem Fahrer und bremst plötzlich

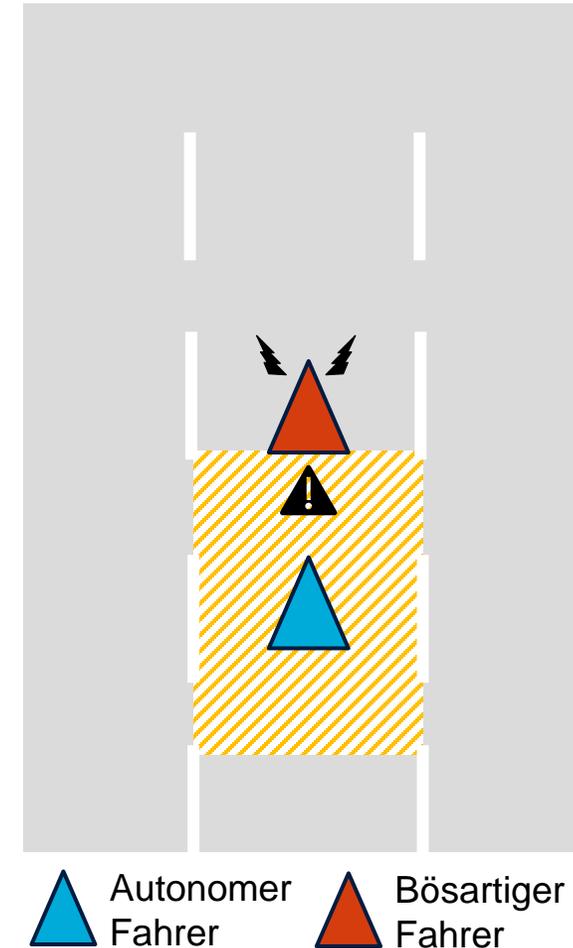


Szenario 2: Unerwartetes Bremsen

- Böartiger Fahrer fährt vor autonomem Fahrer und bremst plötzlich

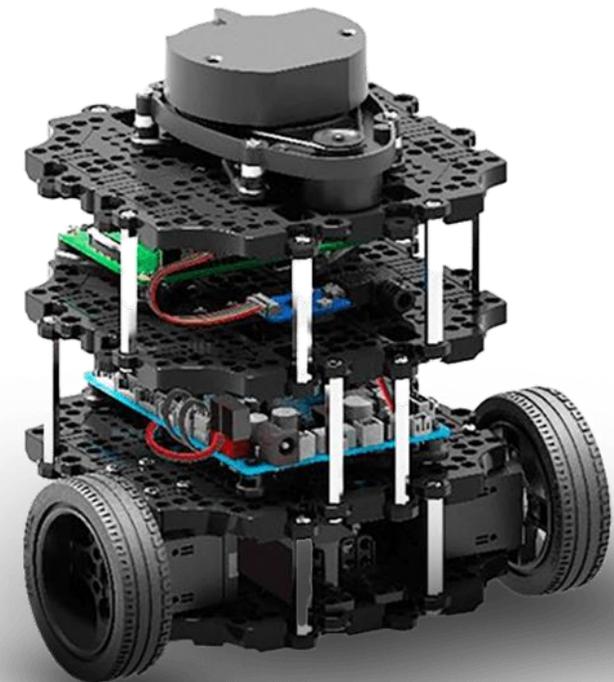
Erwartetes Verhalten

- autonomer Fahrer erkennt Bremsmanöver
 - stellt sicheren Abstand her

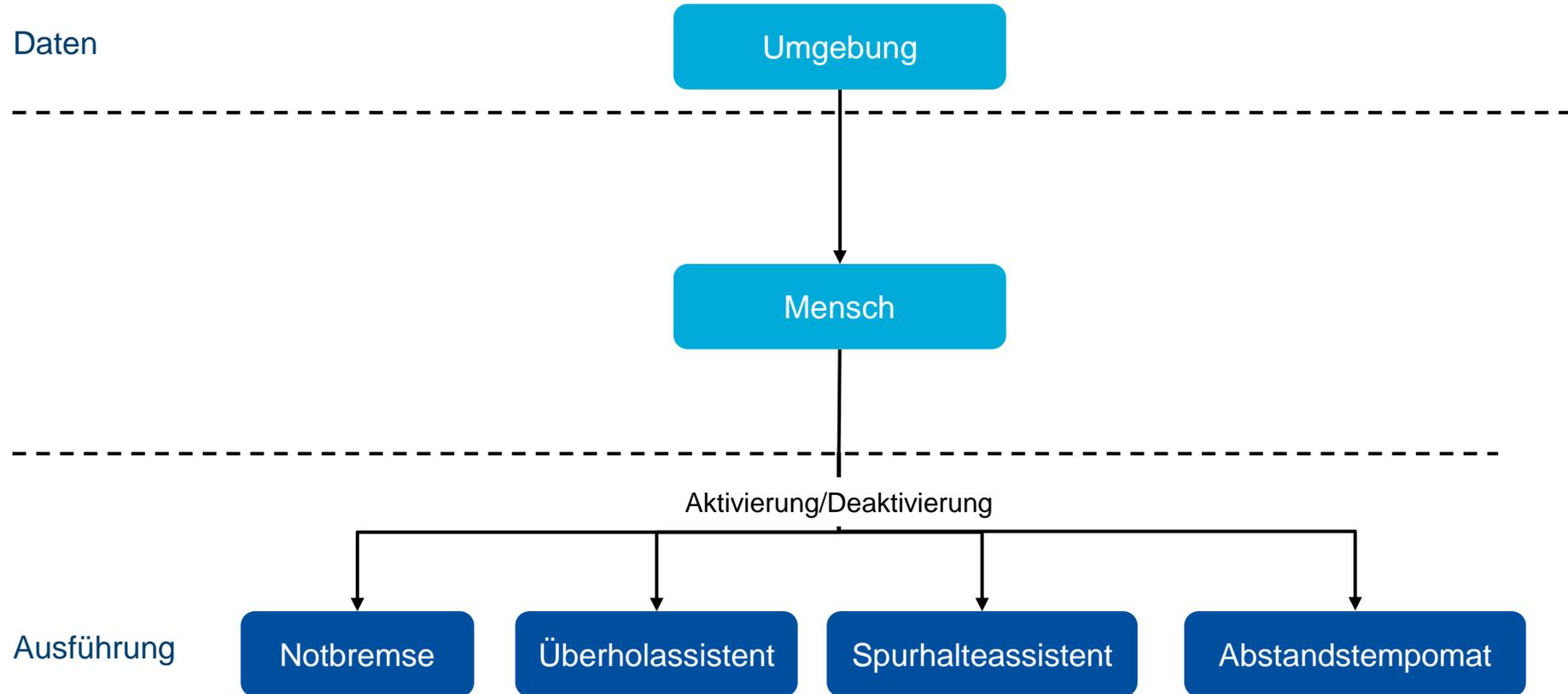


Überwacher: Architektur für autonome TurtleBots

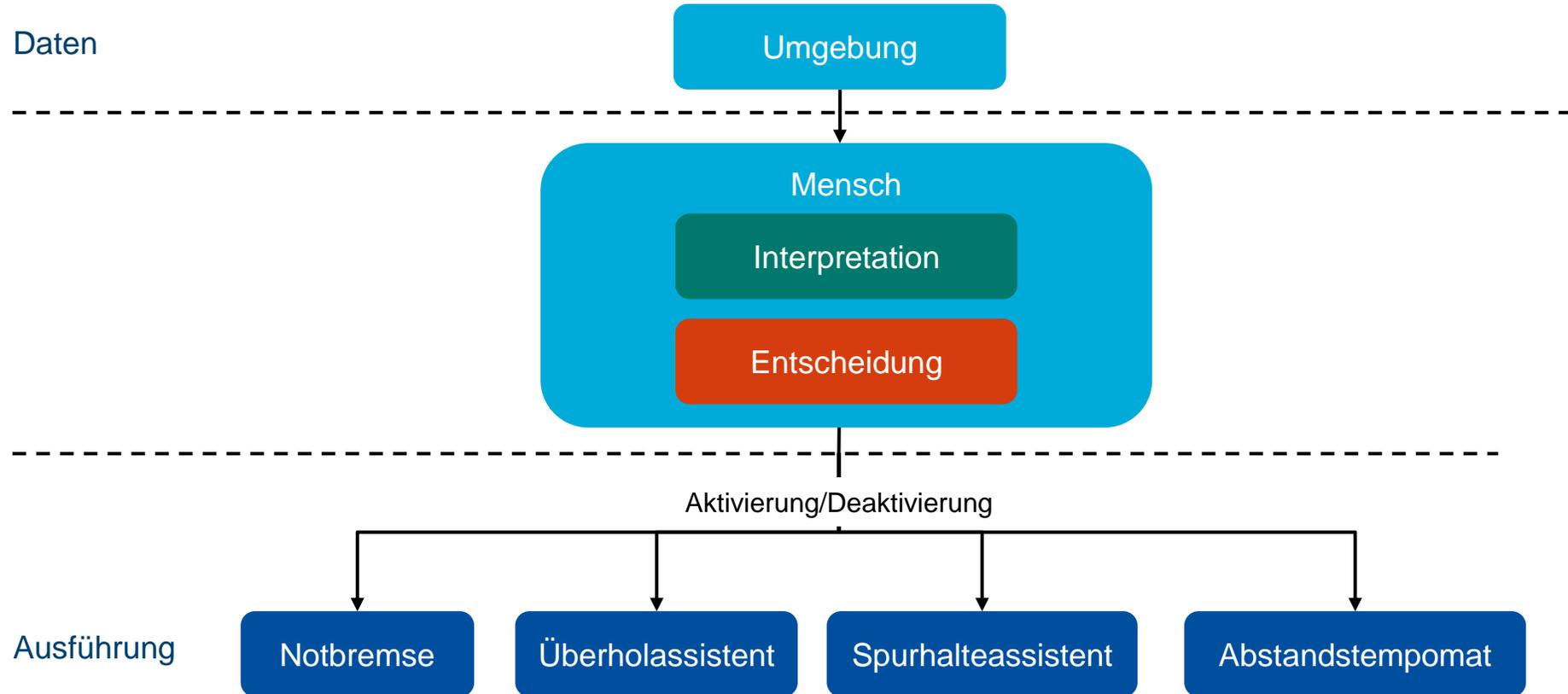
Lasse Heckelmann



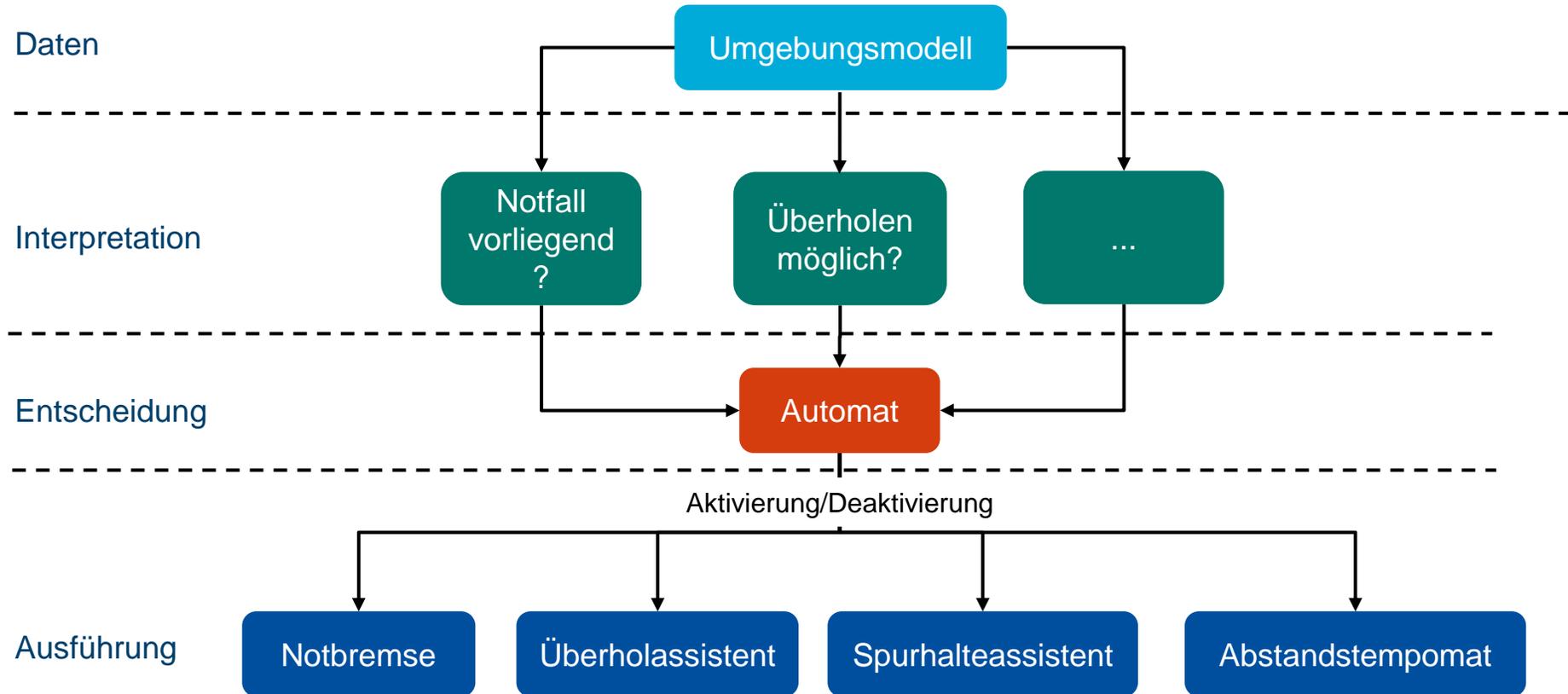
Motivation: Menschliche Fahrer



Motivation: Menschliche Fahrer

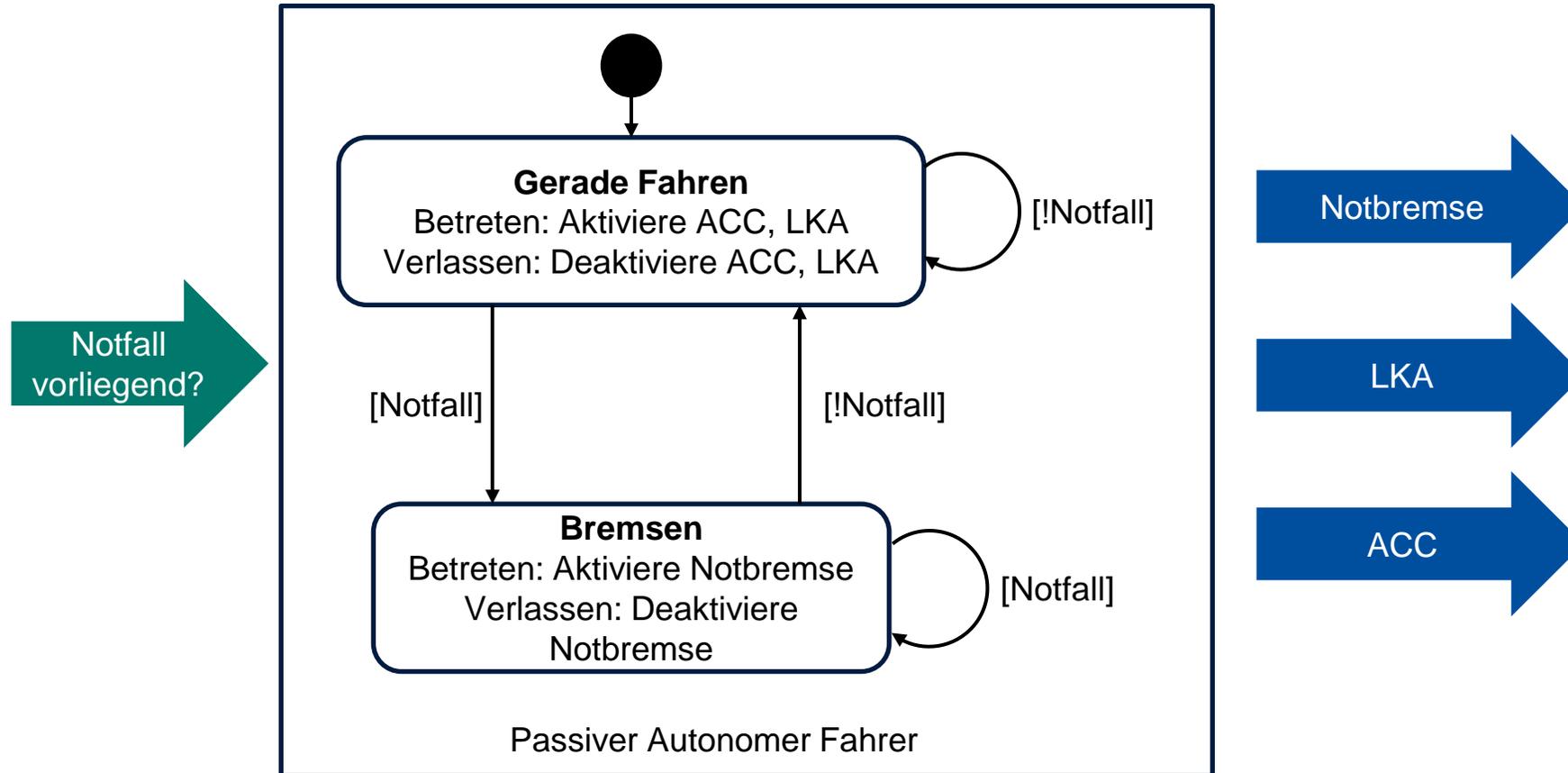


Autonome Fahrer: Architektur



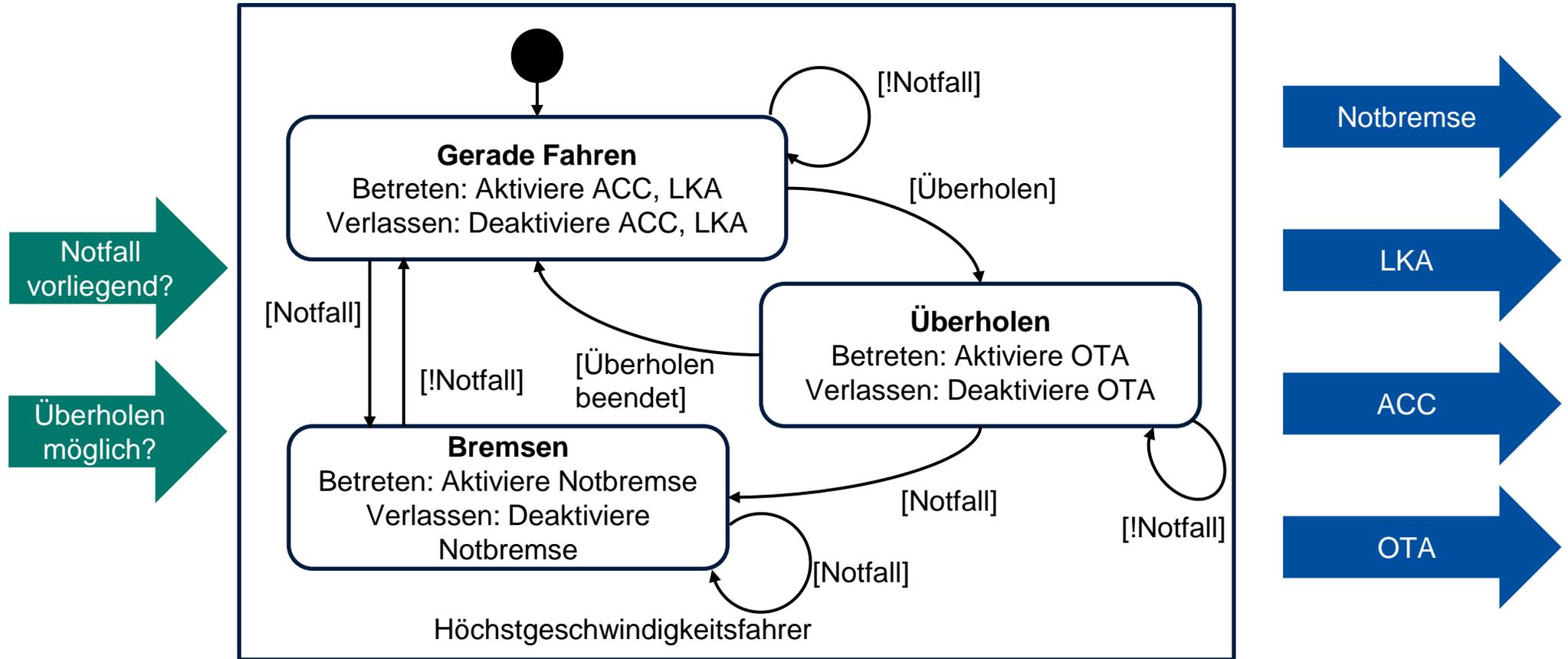
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
3. Reflexion
4. Ausblick

Passiver Fahrer: Automat



1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
3. Reflexion
4. Ausblick

Höchstgeschwindigkeitsfahrer: Automat

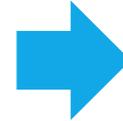


Reflexion

Lasse Heckelmann

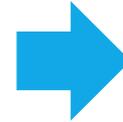
Technische Aspekte

Bugs in Robotis eigener TurtleBot
Software



Zeitaufwändiges Anpassen und
Bereitstellung dieses Codes

Hohe Unzuverlässigkeit von ROS2
in WLAN



(Späte) Einbindung von Zenoh als
Workaround

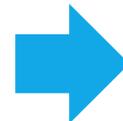
Features mit dem echten TurtleBot
nur mit "Glück" testbar

Keine Unterstützung bei der
Fehlerdetektion zur Compile-Zeit



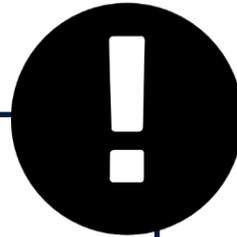
Entwicklung eigener Strategien für
schnelleren Entwicklungsfluss

Nutzung vorgefertigter KI-Modelle

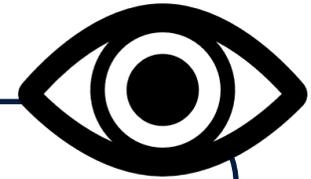


Manueller Transfer auf unsere
Umgebung

Arbeitsprinzipien

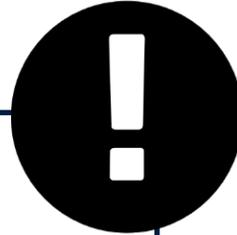


- Gesunde Gestaltung der PG
- Kein Burnout
- Klare und regelmäßige gruppeninterne Kommunikation

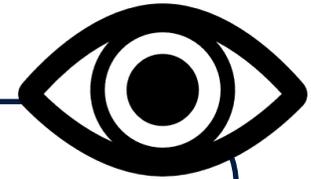


- Kein Loggen von Zeit
- Review auf Vertrauensbasis
- Urlaub nach Absprache
- Kein Crunch

Arbeitsprinzipien



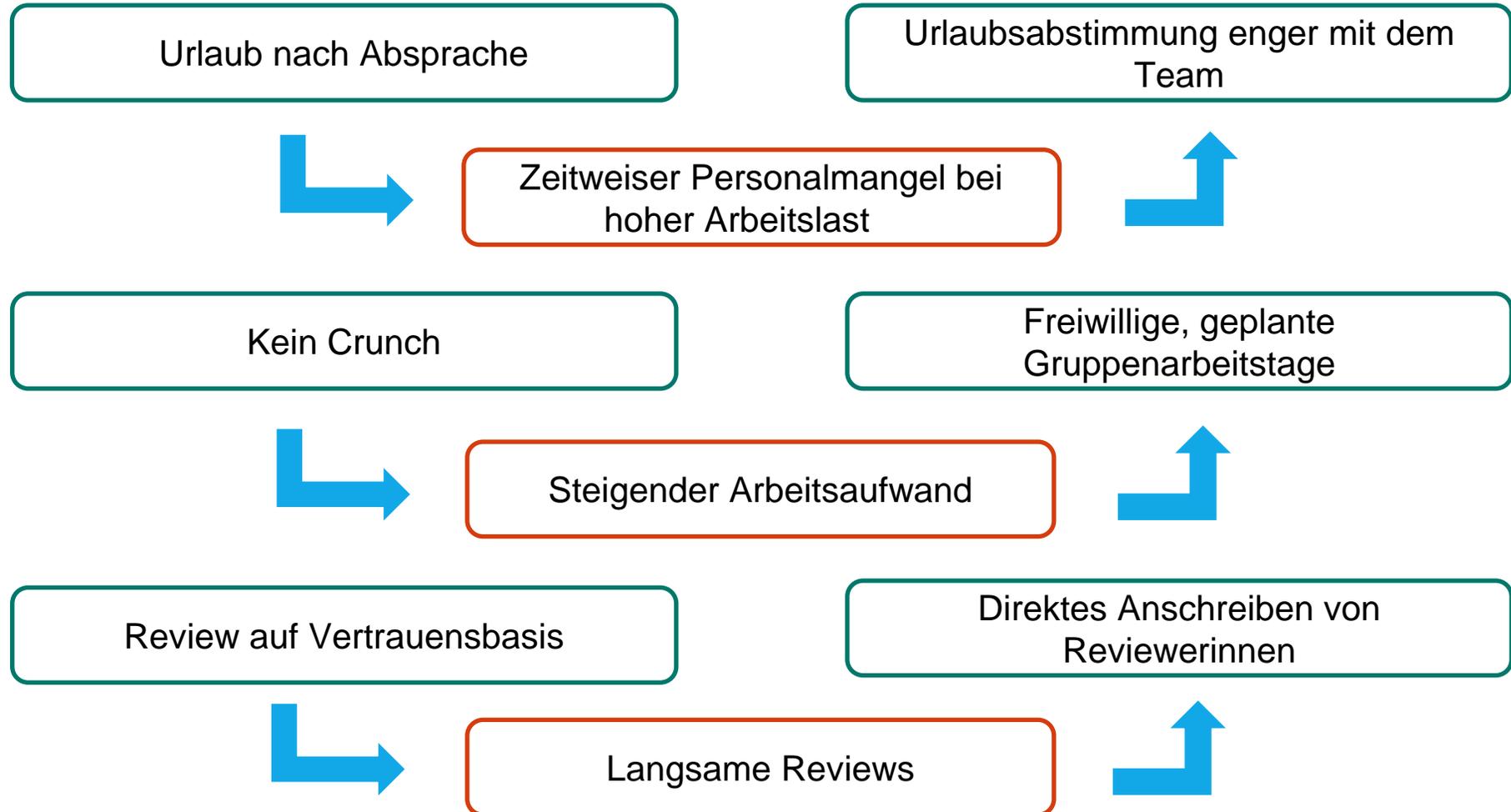
- Gesunde Gestaltung der PG
- Kein Burnout
- Klare und regelmäßige gruppeninterne Kommunikation



- Kein Loggen von Zeit ✓
- Review auf Vertrauensbasis
- Urlaub nach Absprache
- Kein Crunch



Arbeitsprinzipien - Updates



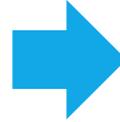
Organisatorisches

Mangelnde langfristige Planung



Klare Definition von Meilensteinen und
Deadlines über Sprintgrenzen hinaus

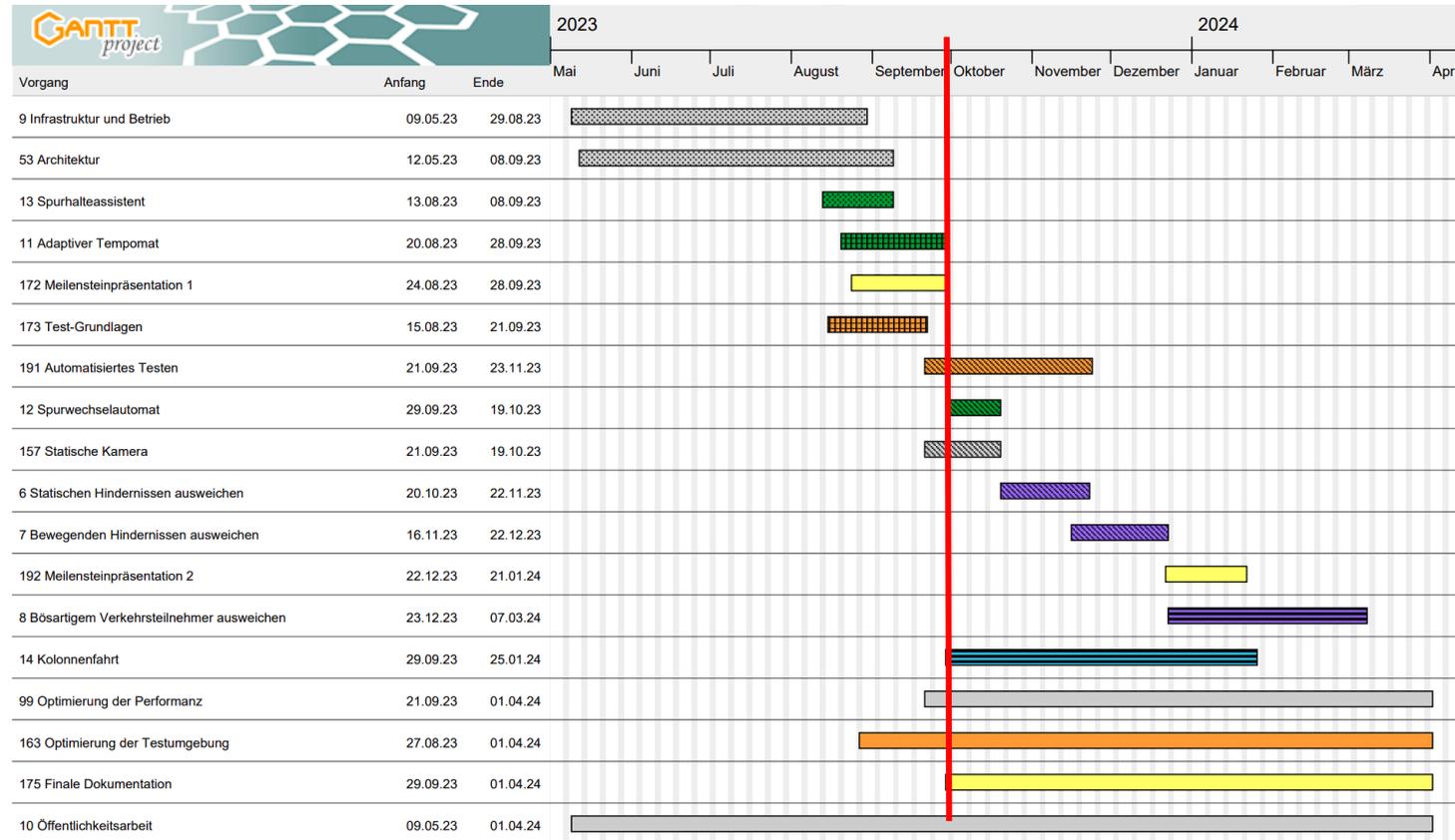
Lange Sprintplanung



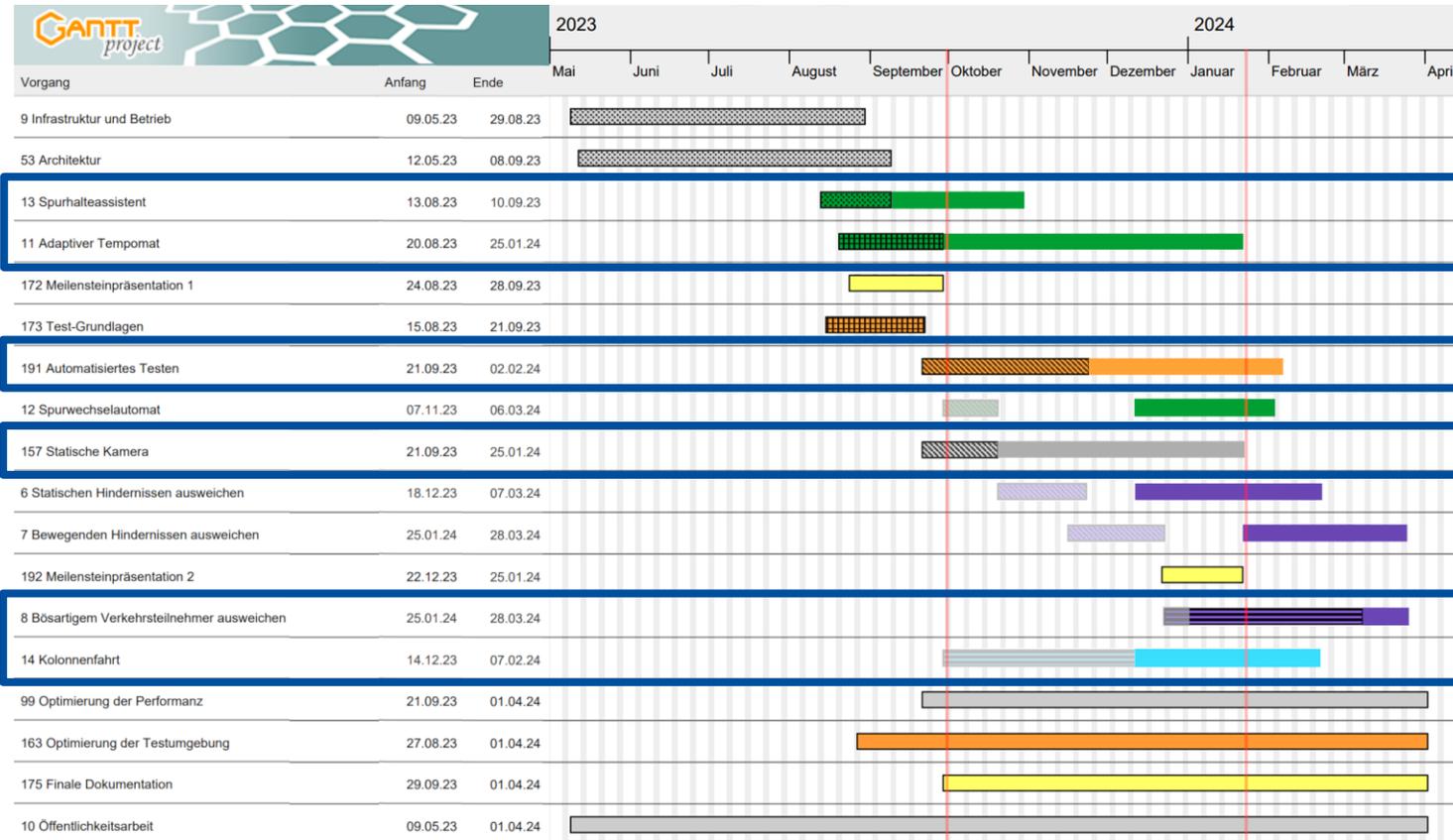
Einführung des Refinements

Weekly mit Professoren und Betreuern

Erster Zeitplan

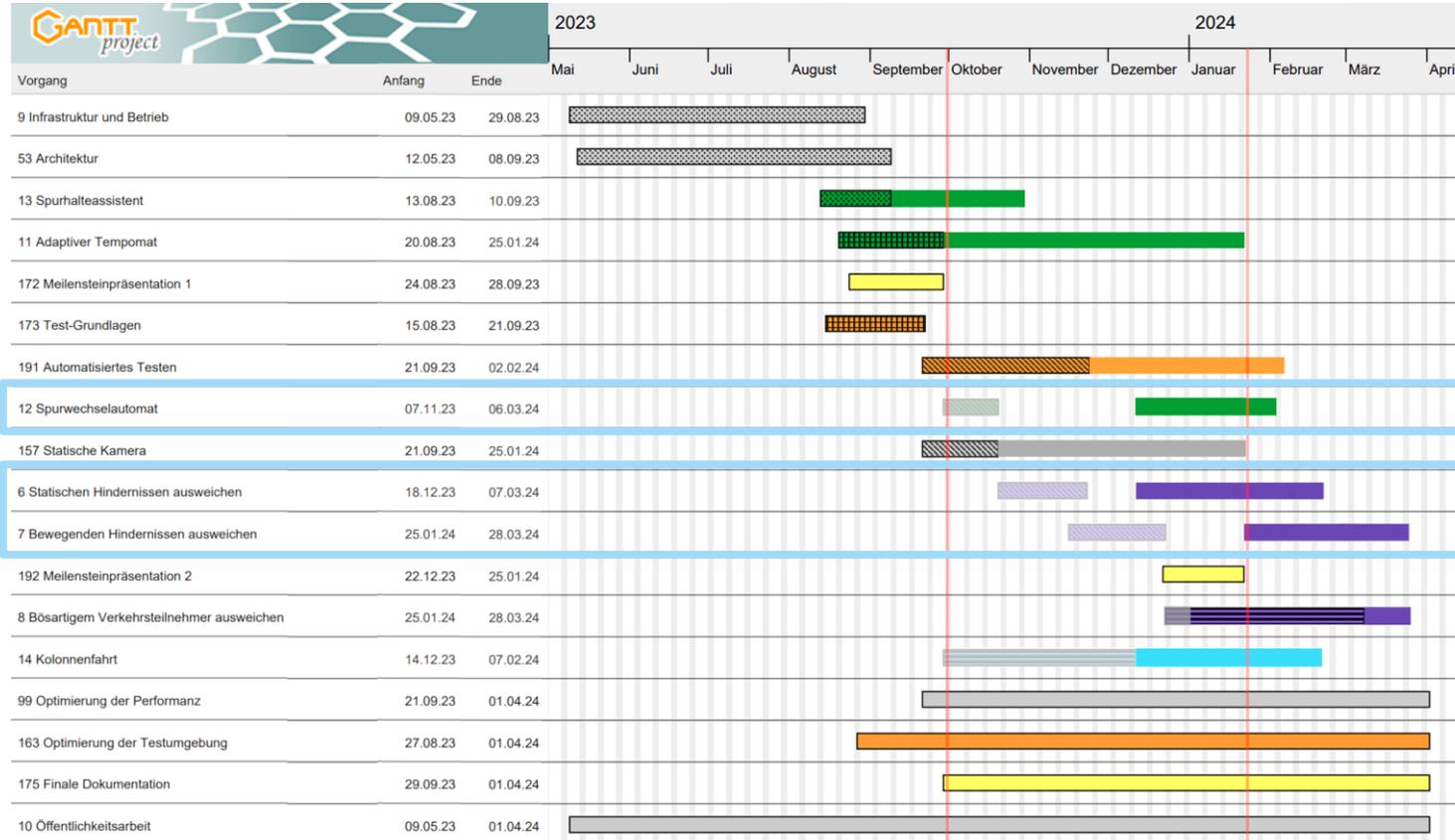


Überarbeiteter Zeitplan



Überarbeiteter Zeitplan

- 1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
- 2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
- 3. Reflexion
- 4. Ausblick



Ausblick

Lasse Heckelmann

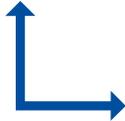
Zusammenfassung



Kalman-Filter für den
Fahrzeugzustand



Überholen von
stationären und
beweglichen Objekten



Globales Koordinatensystem



Autonomes Fahrzeug

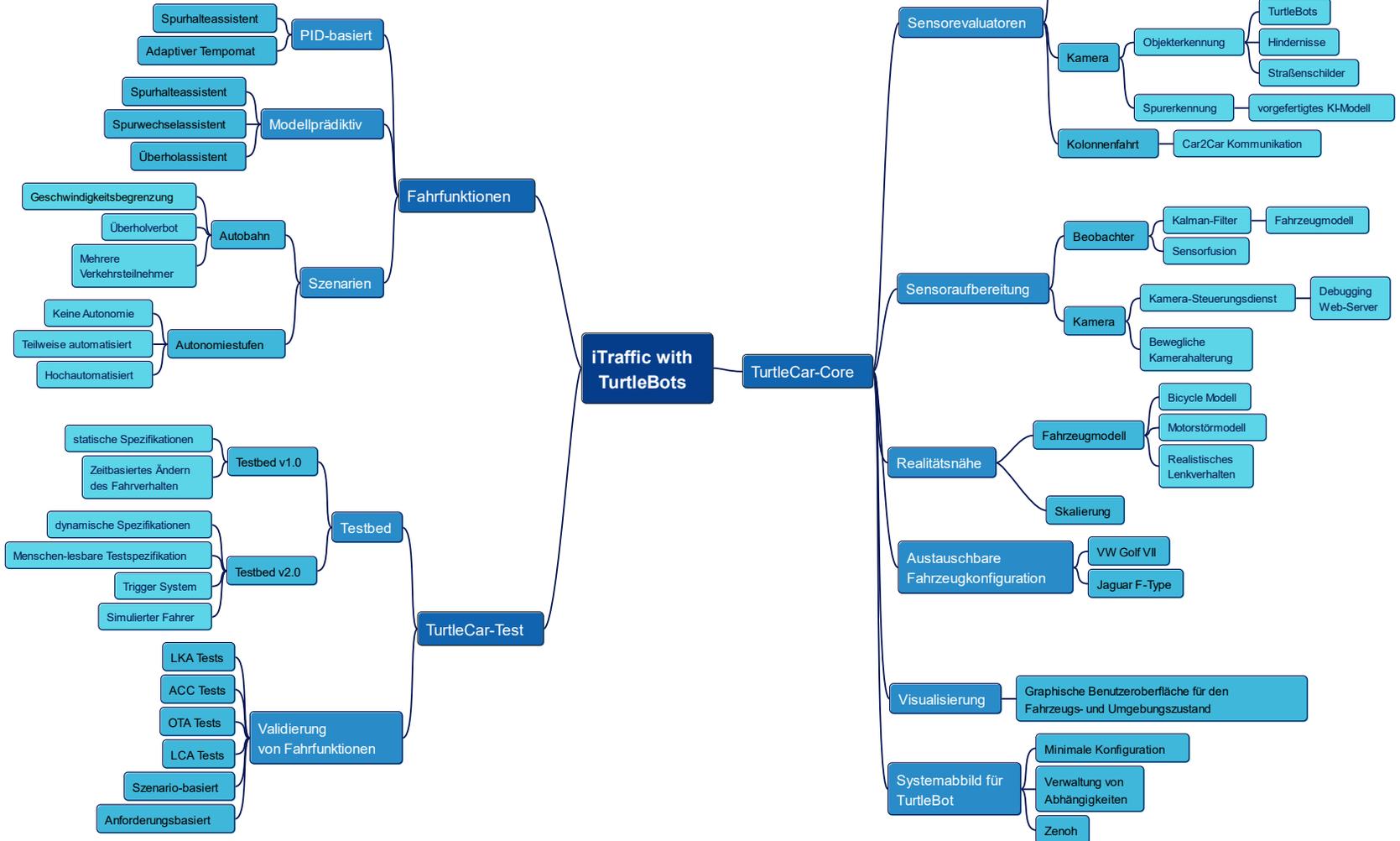


Car2Car-Kommunikation



Sicheres Verhalten bei bös-
artigen Verkehrsteilnehmern

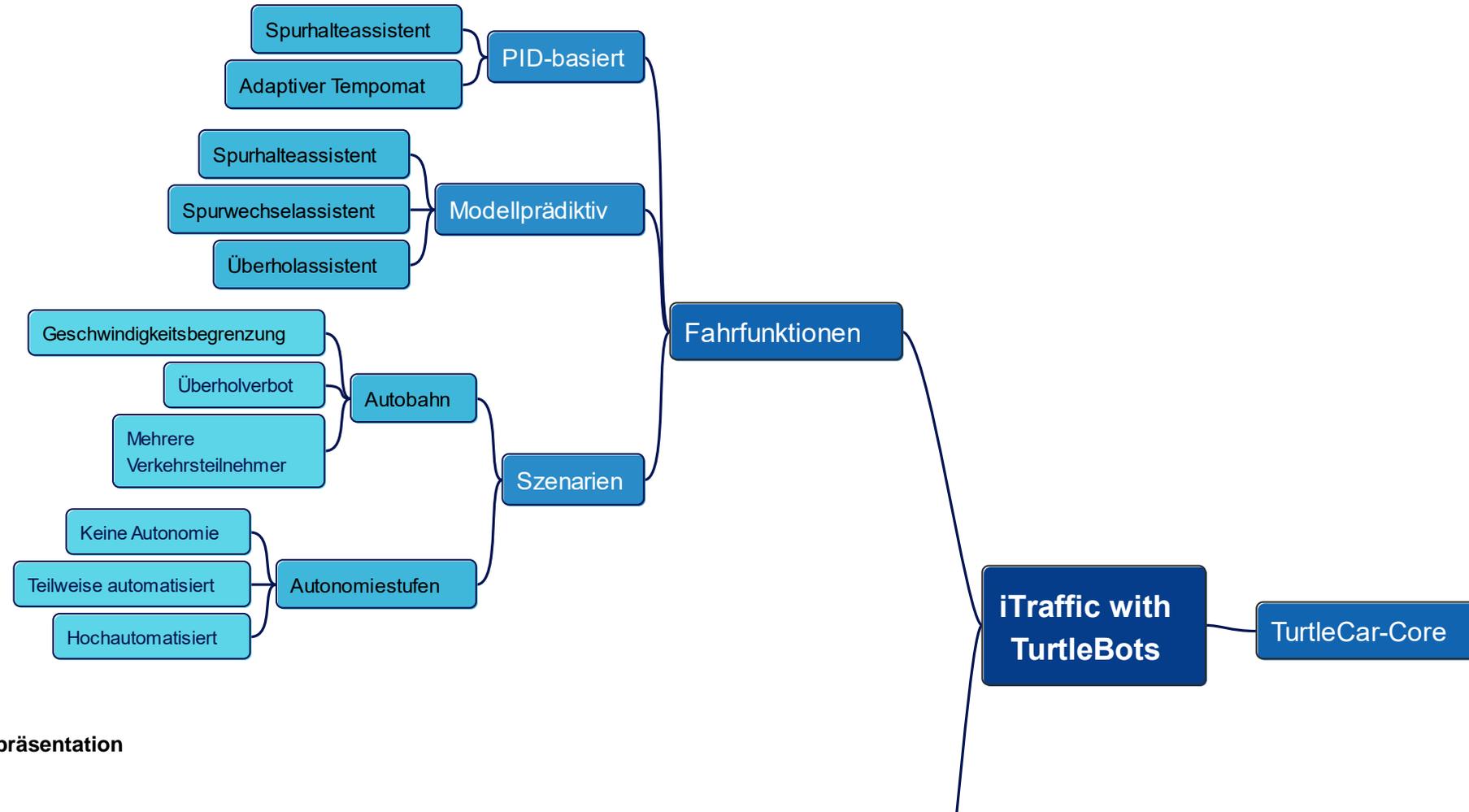
Zusammenfassung des Jahres



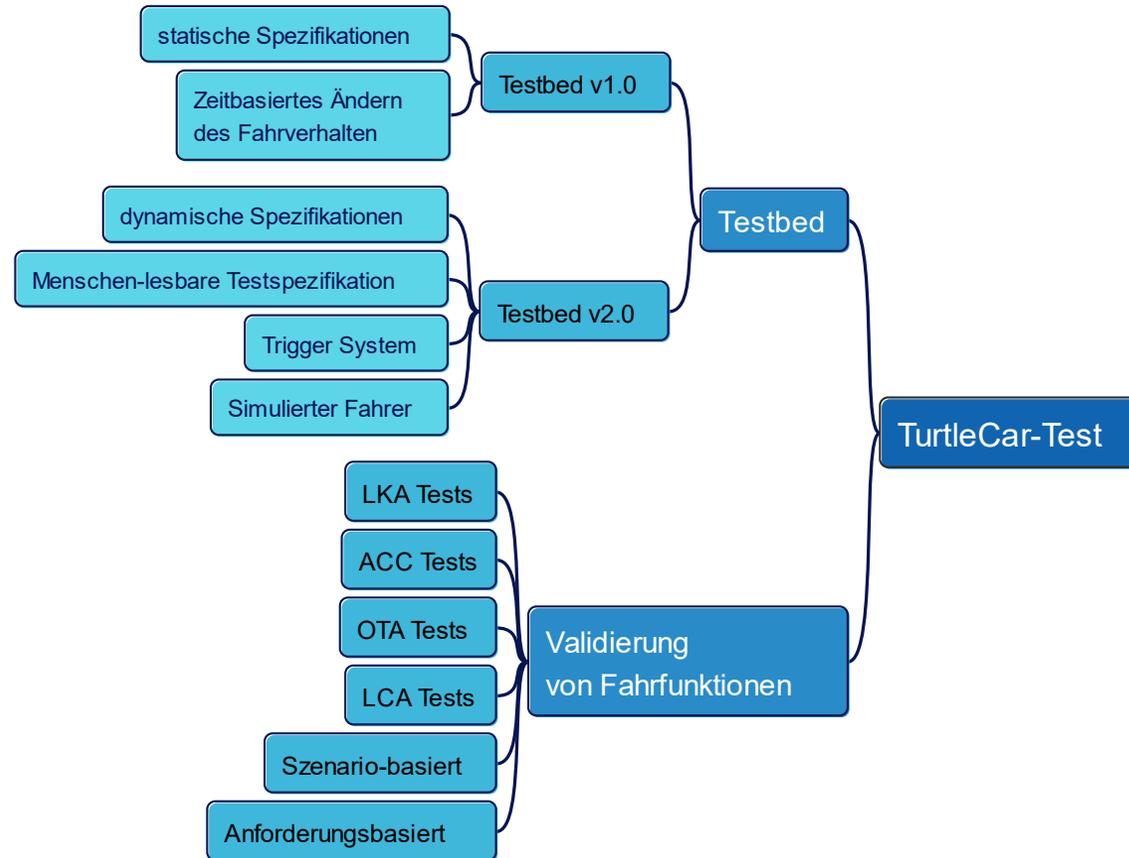
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Zusammenfassung des Jahres



Zusammenfassung des Jahres



iTraffic with
TurtleBots

TurtleCar-Core

TurtleCar-Test

Testbed v1.0

statische Spezifikationen

Zeitbasiertes Ändern
des Fahrverhalten

Testbed

dynamische Spezifikationen

Menschen-lesbare Testspezifikation

Testbed v2.0

Trigger System

Simulierter Fahrer

Validierung
von Fahrfunktionen

LKA Tests

ACC Tests

OTA Tests

LCA Tests

Szenario-basiert

Anforderungsbasiert

1. Was bisher geschah

a. Vision

b. Technische

Entwicklungen

2. Neue Entwicklungen

a. Zustandsschätzung

b. Weitere Fahrfunktionen

c. Autonomes Fahren

3. Reflexion

4. Ausblick

Zusammenfassung des Jahres

1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Fahrfunktionen

iTraffic with
TurtleBots

TurtleCar-Core

Sensorevaluatoren

LIDAR

Objekterkennung

TurtleBots

Hindernisse

Spurerkennung

Kamera

Objekterkennung

TurtleBots

Hindernisse

Straßenschilder

Spurerkennung

vorgefertigtes KI-Modell

Kolonnenfahrt

Car2Car Kommunikation

Sensoraufbereitung

Beobachter

Kalman-Filter

Fahrzeugmodell

Sensorfusion

Kamera

Kamera-Steuerungsdienst

Debugging
Web-Server

Bewegliche
Kamerahalterung

Realitätsnähe

Fahrzeugmodell

Bicycle Modell

Motorstörmodell

Realistisches
Lenkverhalten

Skalierung

1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Zusammenfassung des Jahres

TurtleCar-Test

iTraffic with
TurtleBots

TurtleCar-Core

Sensoraufbereitung

Beobachter

Kalman-Filter

Fahrzeugmodell

Sensorfusion

Kamera

Kamera-Steuerungsdienst

Debugging
Web-Server

Bewegliche
Kamerahalterung

Realitätsnähe

Fahrzeugmodell

Bicycle Modell

Motorstörmodell

Realistisches
Lenkverhalten

Skalierung

Austauschbare
Fahrzeugkonfiguration

VW Golf VII

Jaguar F-Type

Visualisierung

Graphische Benutzeroberfläche für den
Fahrzeugs- und Umgebungszustand

Systemabbild für
TurtleBot

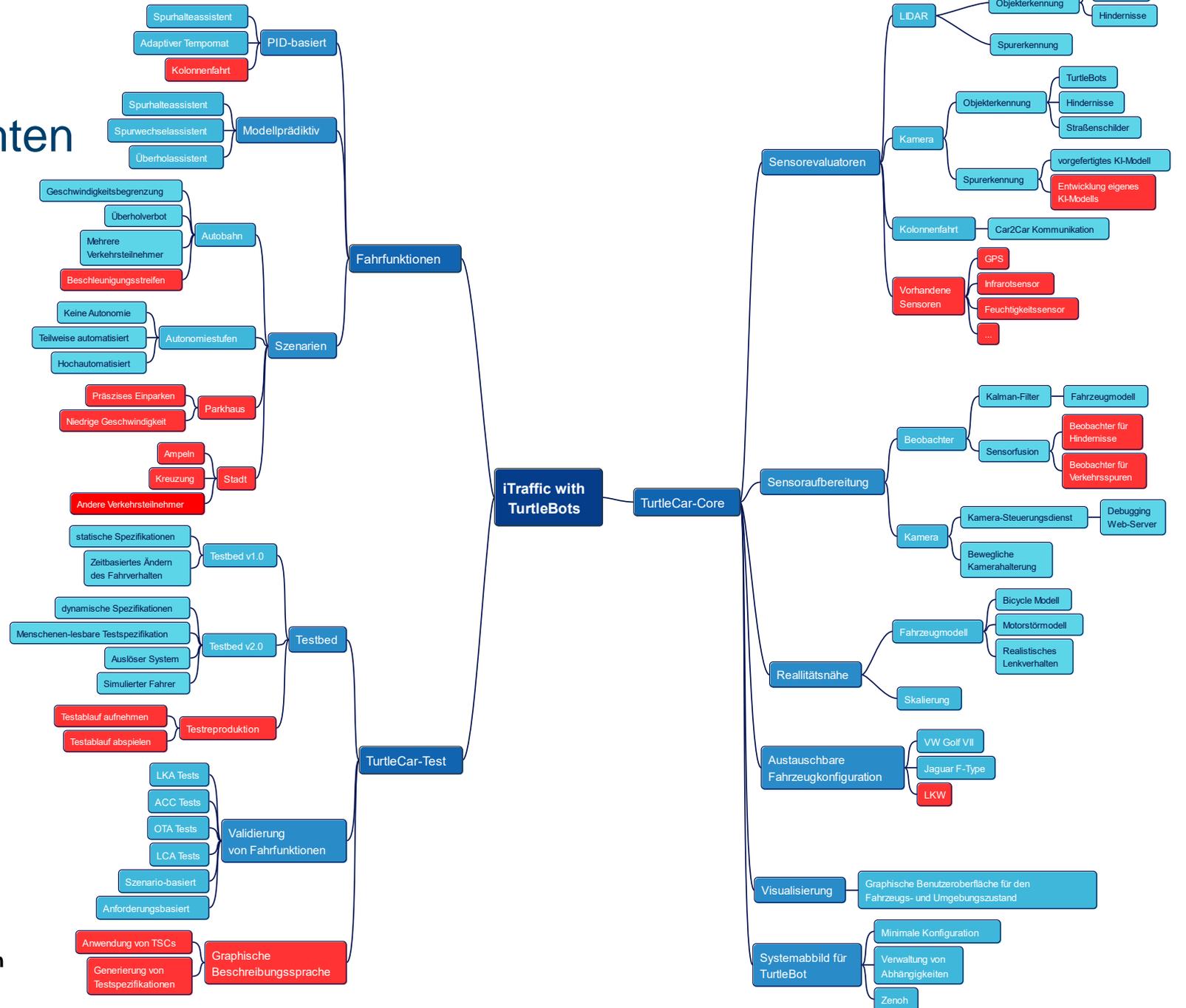
Minimale Konfiguration

Verwaltung von
Abhängigkeiten

Zenoh

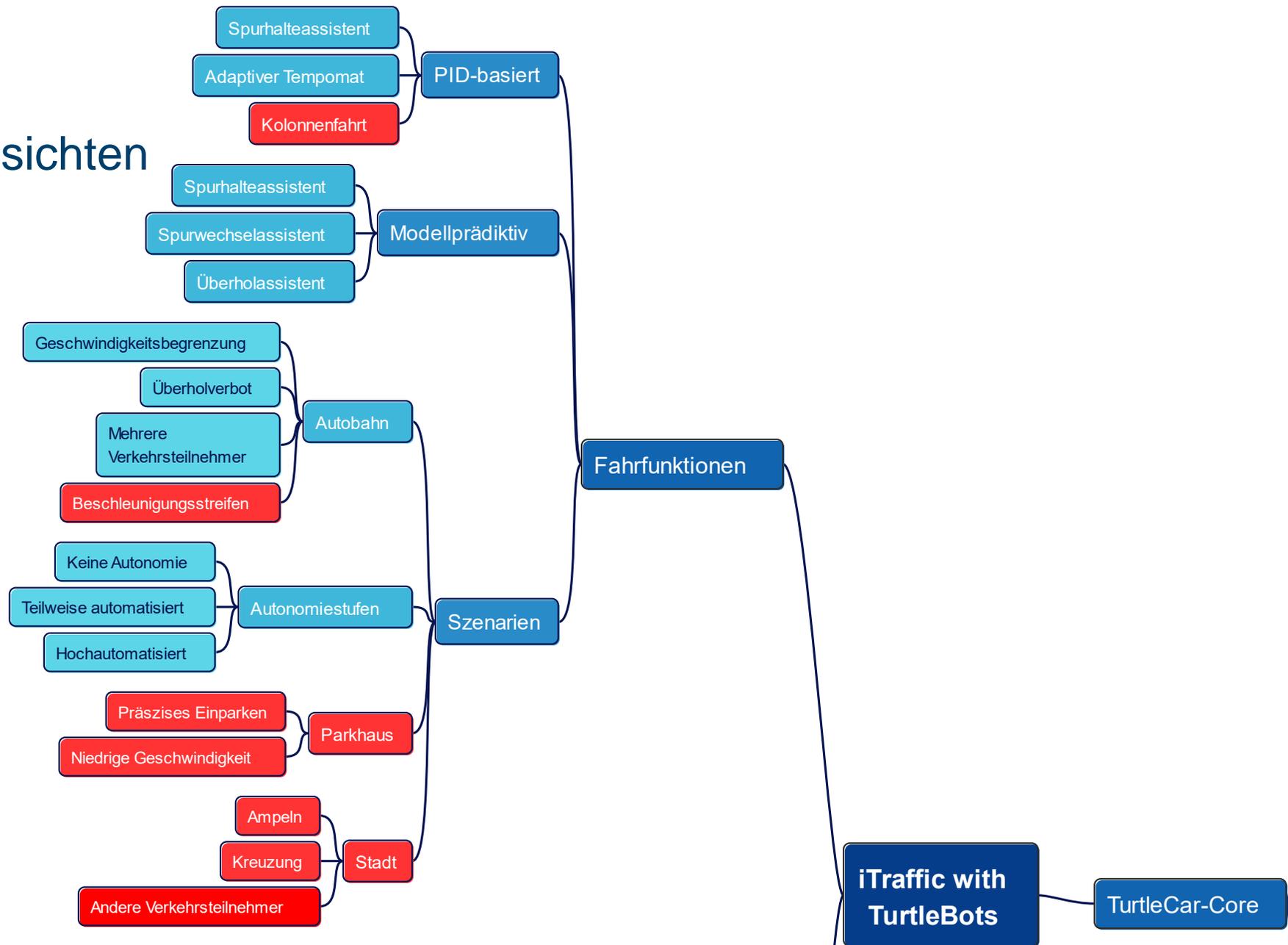
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Zukunftsaussichten



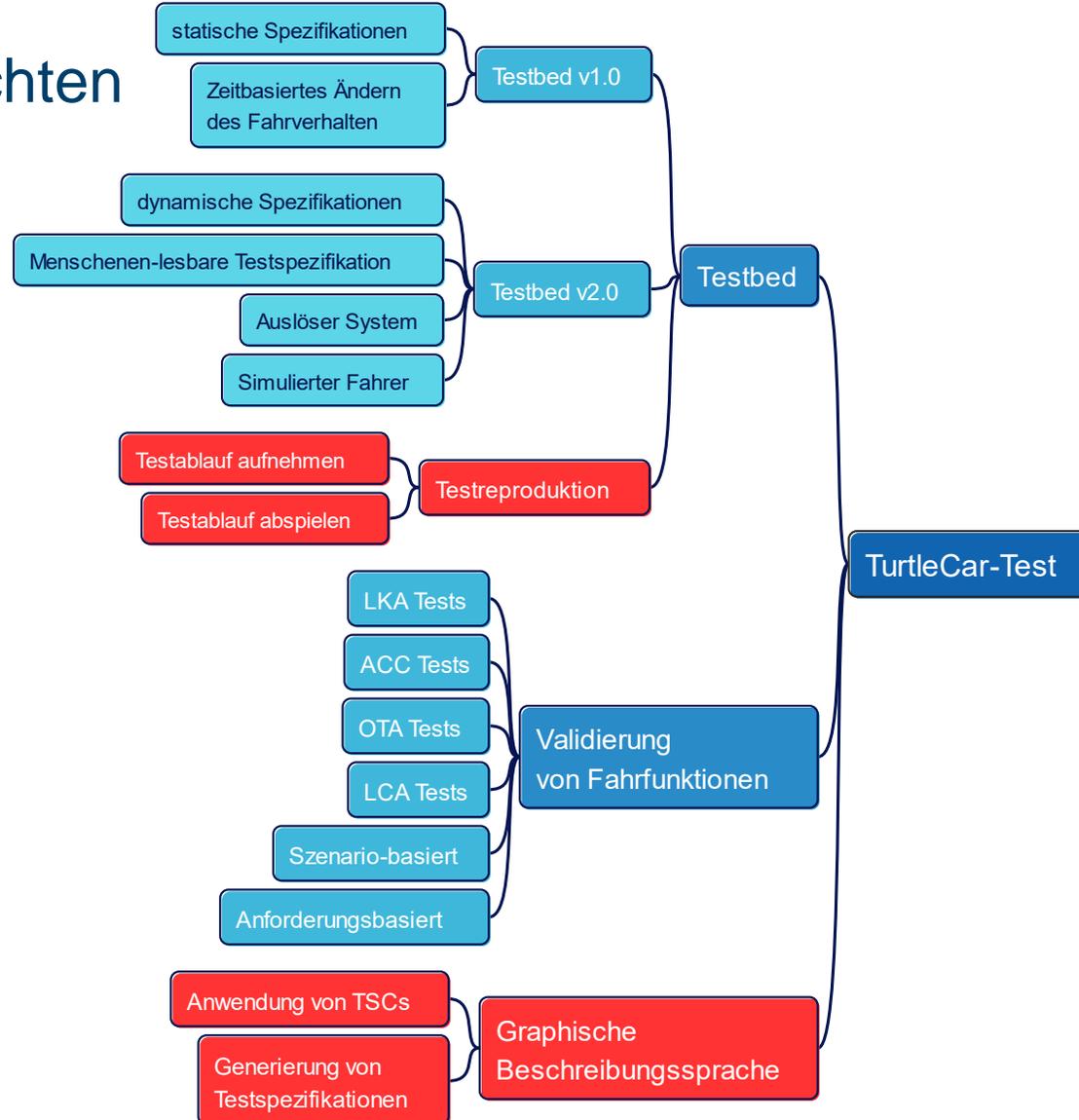
1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Zukunftsaussichten



1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Zukunftsaussichten

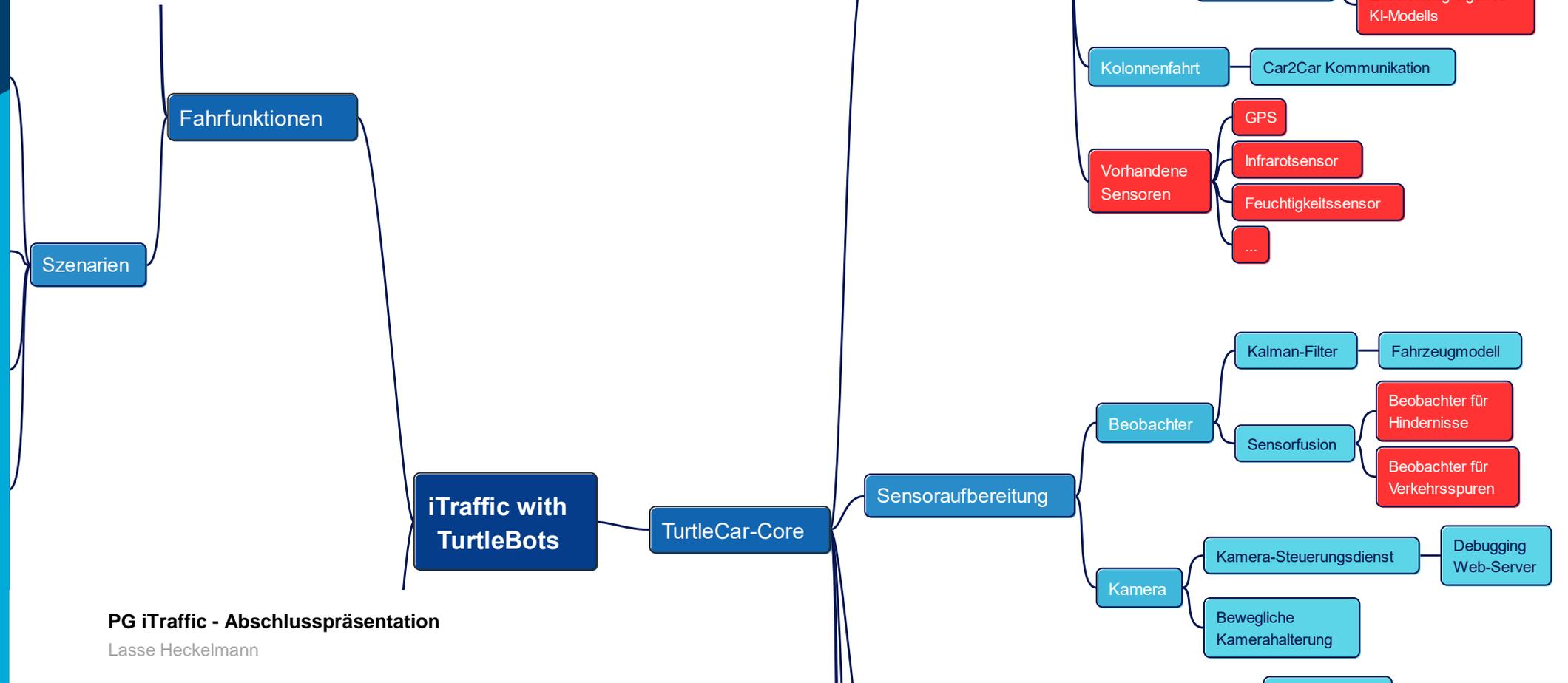


iTraffic with
TurtleBots

TurtleCar-

1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Zukunftsaussichten



1. Was bisher geschah
 - a. Vision
 - b. Technische Entwicklungen
2. Neue Entwicklungen
 - a. Zustandsschätzung
 - b. Weitere Fahrfunktionen
 - c. Autonomes Fahren
3. Reflexion
4. Ausblick

Zukunftsaussichten

TurtleCar-Test

iTraffic with
TurtleBots

TurtleCar-Core

Sensoraufbereitung

Beobachter

Kalman-Filter

Fahrzeugmodell

Sensorfusion

Beobachter für
Hindernisse

Beobachter für
Verkehrsspuren

Kamera

Kamera-Steuerungsdienst

Debugging
Web-Server

Bewegliche
Kamerahalterung

Reallitätsnähe

Fahrzeugmodell

Bicycle Modell

Motorstörmodell

Realistisches
Lenkverhalten

Skalierung

Austauschbare
Fahrzeugkonfiguration

VW Golf VII

Jaguar F-Type

LKW

Visualisierung

Graphische Benutzeroberfläche für den
Fahrzeugs- und Umgebungszustand

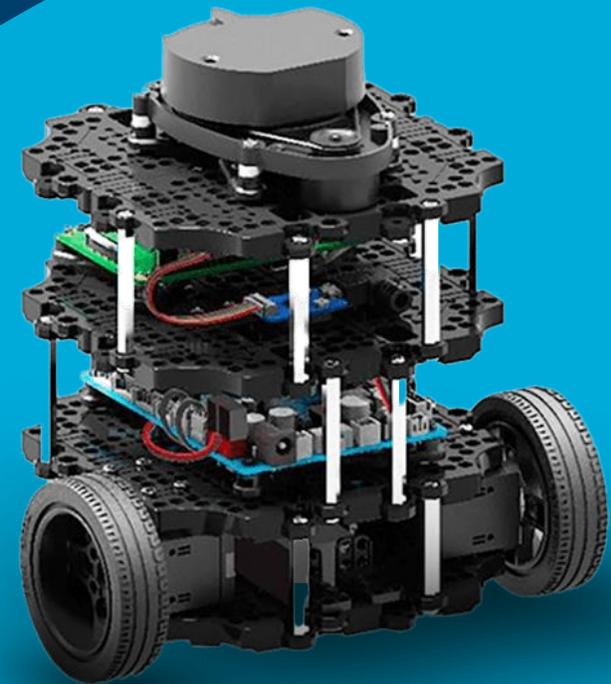
Systemabbild für
TurtleBot

Minimale Konfiguration

Verwaltung von
Abhängigkeiten

Zenoh

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



Carl von Ossietzky
Universität
Oldenburg

Live-Demo

Hier, In 5 Minuten

