

Carl von Ossietzky
Universität
Oldenburg

BTC

*embedded
systems*

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

Abt. Verteilte Regelung in Vernetzten Systemen

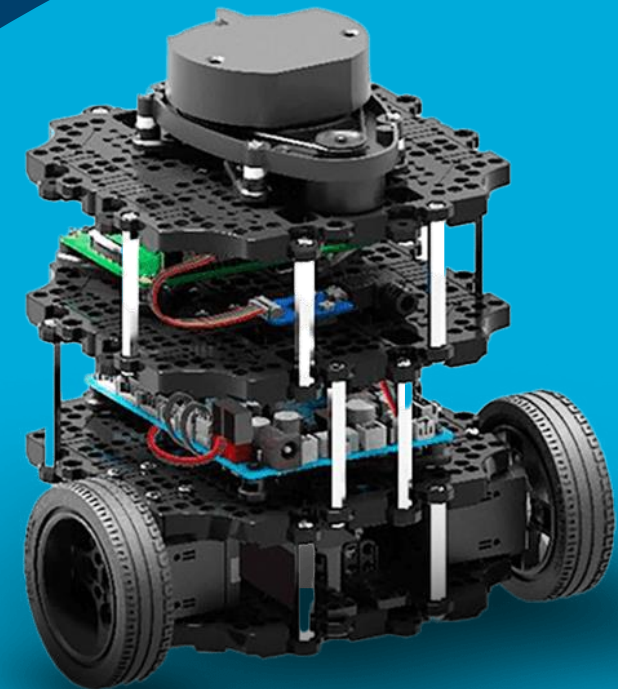


iTraffic with TurtleBots

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

25.01.2024



PG iTraffic with TurtleBots

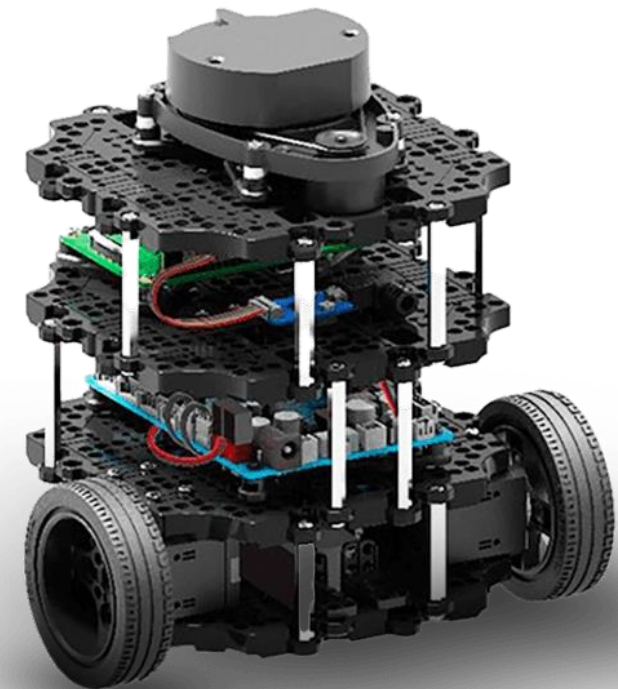


PG iTraffic - Zweite Meilensteinpräsentation

Paulina Kowalska

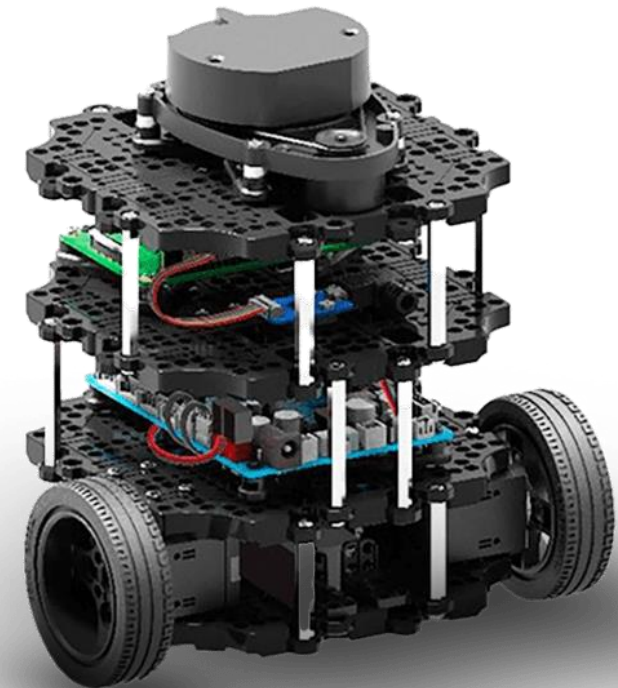
Agenda

1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 1. Spurerkennung mit Kamera
 2. Hinderniserkennung
 3. Adaptiver Tempomat
 4. Modellprädiktive Regelung
 5. Spurwechselassistent: Aktueller Stand
3. Das neue Testbed
4. Ausblick



Was Bisher Geschah

Paulina Kowalska



1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechslassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

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

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat




d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechselassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

Unsere Produkte

TurtleCar-Core 	TurtleCar-Test 	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>Testplattform für autonome Fahrfunktionen</p> <ul style="list-style-type: none">• Einfache Definition von Testfällen• Simulatives & automatisiertes Testen von Fahrfunktionen	<p>...entsprechend den Szenarien der Vision</p> <ul style="list-style-type: none">• Entwicklung von Reglern gegen die TurtleCar-Schnittstelle• Nutzung von Modellprädiktiver Regelung• Ggf. Anbindung neuer Sensorik

1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

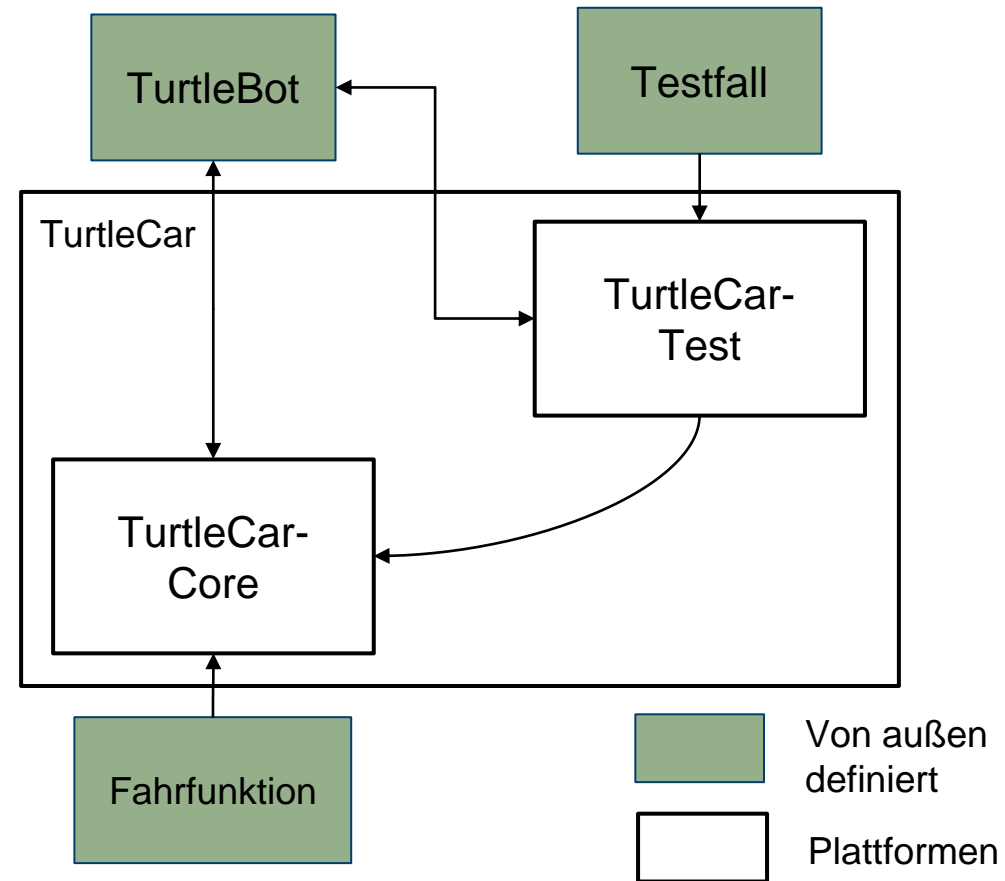
d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechslassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

Die Plattform TurtleCar



1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechselassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

Unser Szenario

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• Kollisionsvermeidungs- system• Überholen	<ul style="list-style-type: none">• Umgang mit "böartigen" Verkehrsteilnehmern• Kolonnenfahrt• Generelle Autobahnfahrfunktionen

1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

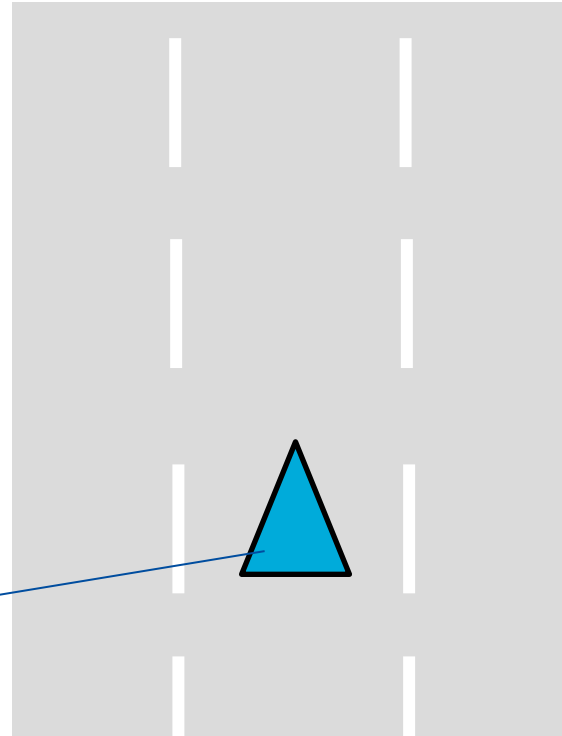
- a. Spurerkennung Kamera
- b. Hinderniserkennung
- c. Adaptiver Tempomat
- d. Modellprädiktive
Regelung
- e. Spurwechselassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

Unser Szenario: Gerade Autobahn

Ego-Fahrzeug



1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

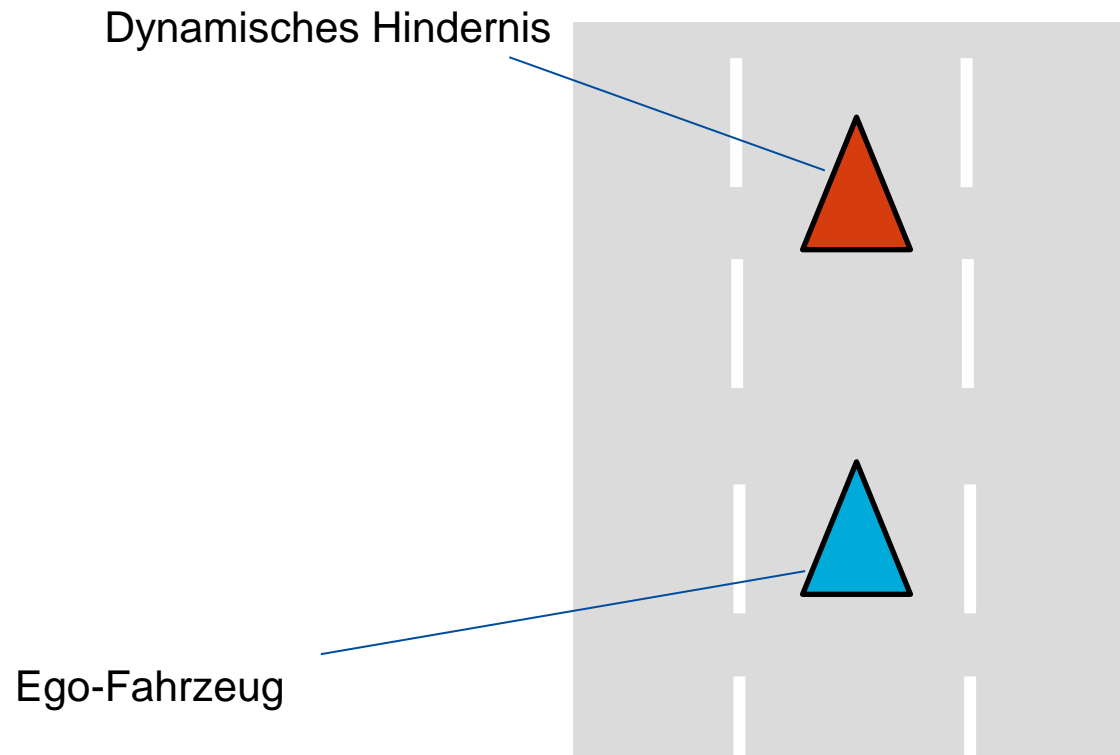
d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechslassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

Unser Szenario: Gerade Autobahn



1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

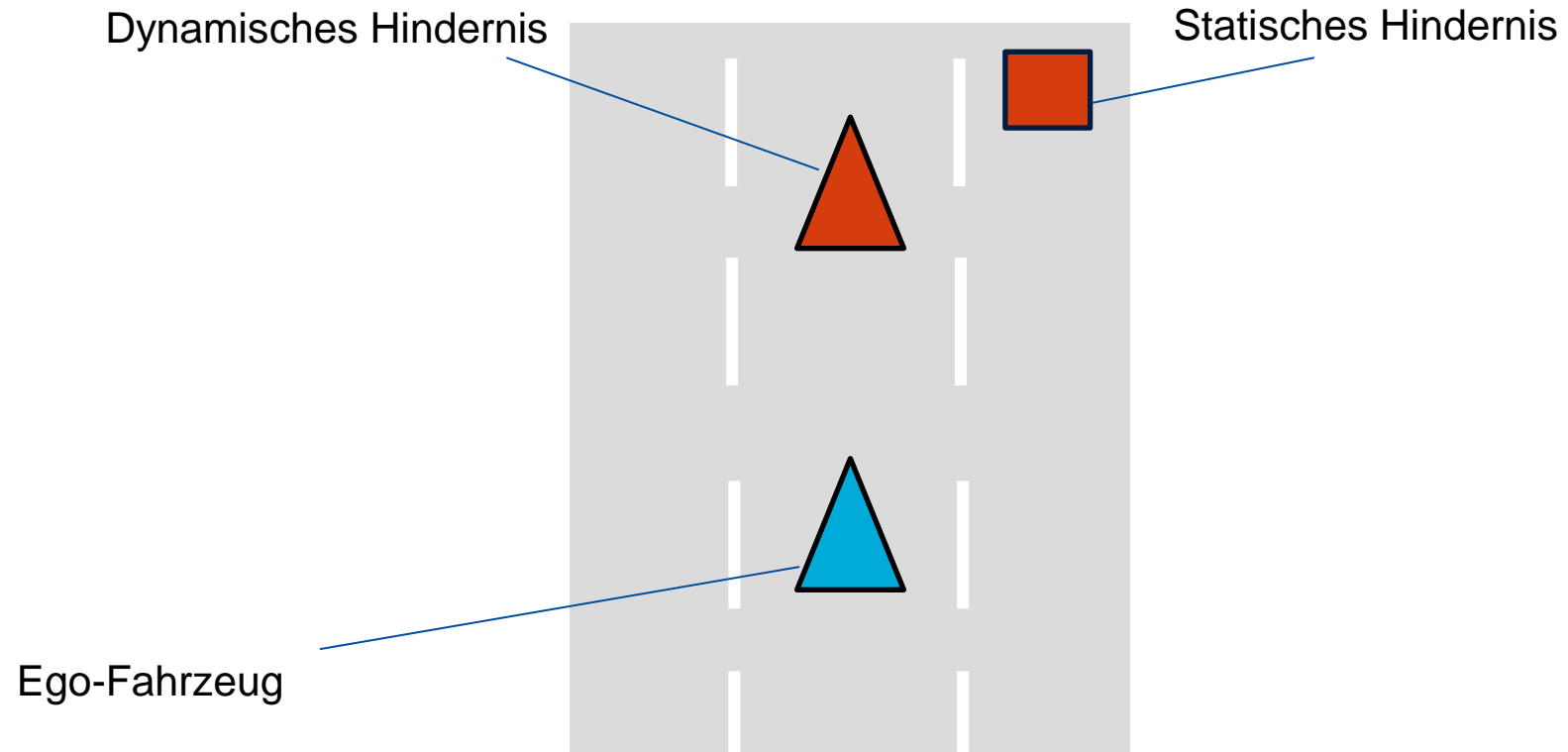
d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechslassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

Unser Szenario: Gerade Autobahn



1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

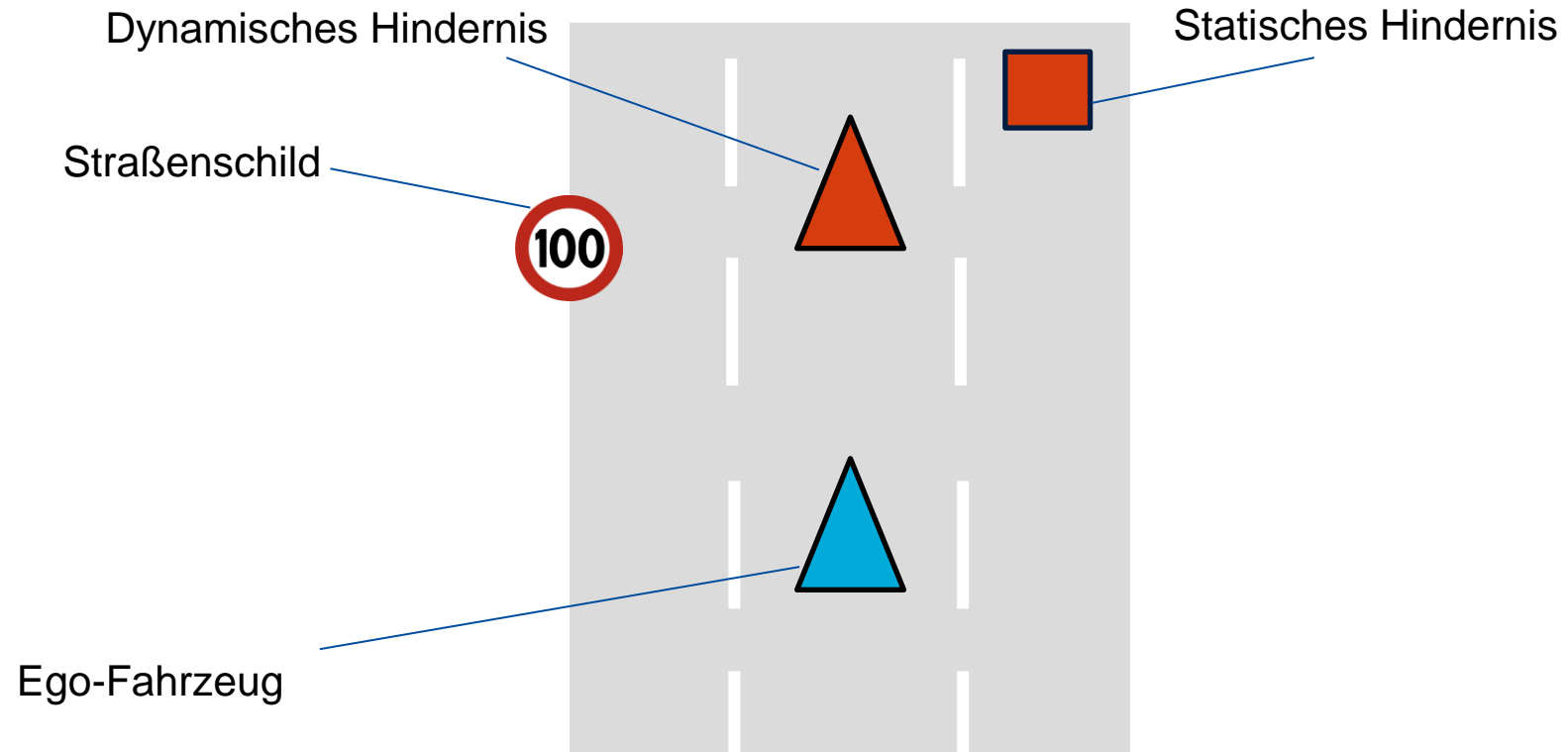
d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechsellassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

Unser Szenario: Gerade Autobahn



1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechselassistent

3. Das neue Testbed

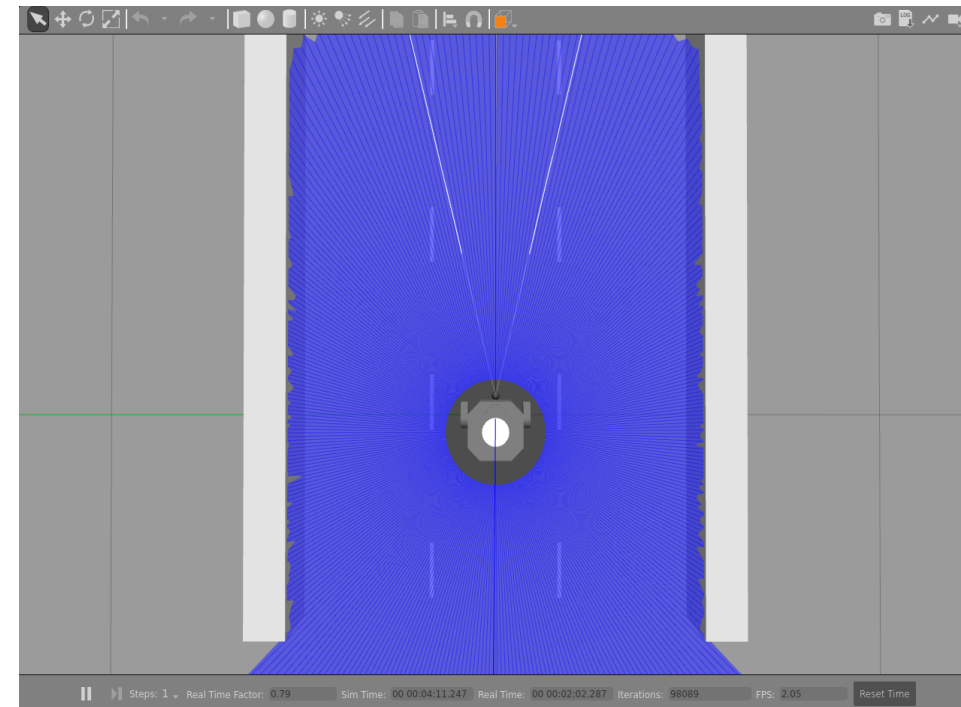
4. Ausblick

Fahrspurerkennung mit LIDAR

- LIDAR liefert wichtige Daten über die Nähe des Roboters zu umliegenden Objekten.
- Umwandlung von Polarkoordinaten in ein intuitiveres kartesisches Koordinatensystem

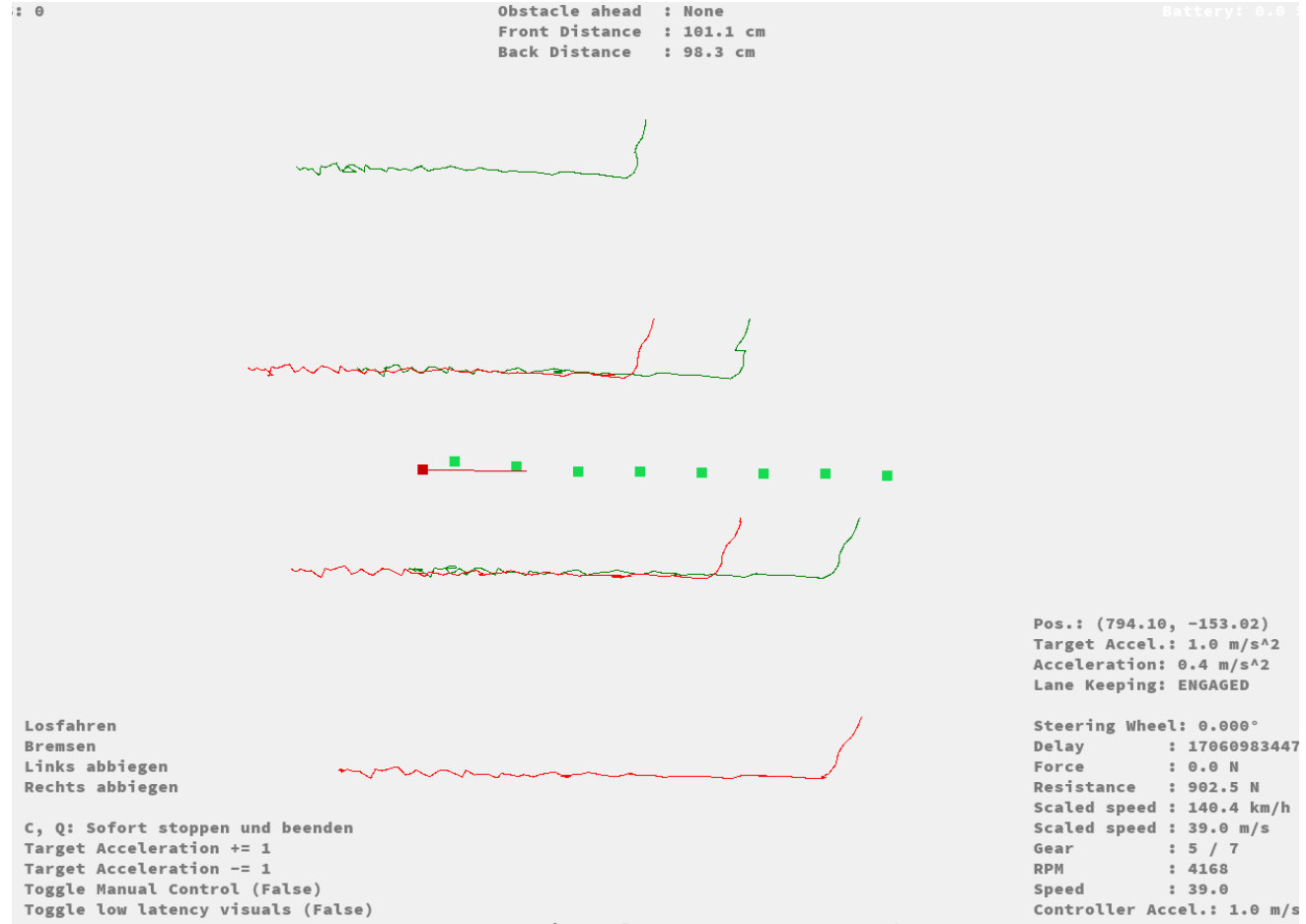
Vorbedingungen:

- bestimmte Struktur der Fahrspuren
- Wand auf rechten Fahrbahnseite



1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Spurhalteassistent



1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechselassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

1. Meilenstein

Abgeschlossen



TurtleCar-Core:
Entwicklungsplattform für
Fahrfunktionen



Spurhalteassistent



Fahrspurerkennung Lidar

Überarbeitung in MS 2



TurtleCar-Test: Testplattform
zur automatisierten Validierung



Aufbau von Testscenarien

1. Was bisher geschah

2. Fahrfunktionen: Neue
Entwicklungen

a. Spurerkennung Kamera

b. Hinderniserkennung

c. Adaptiver Tempomat

d. Modellprädiktive
Regelung

e. Spurwechsellassistent

3. Das neue Testbed

4. Ausblick

2. Meilenstein

Abgeschlossen



Abstandstempomat



Hinderniserkennung Kamera



Upgrade TurtleCar-Test:
Testplattform zur
automatisierten Validierung



Konzept für Kolonnenfahrt

In Arbeit



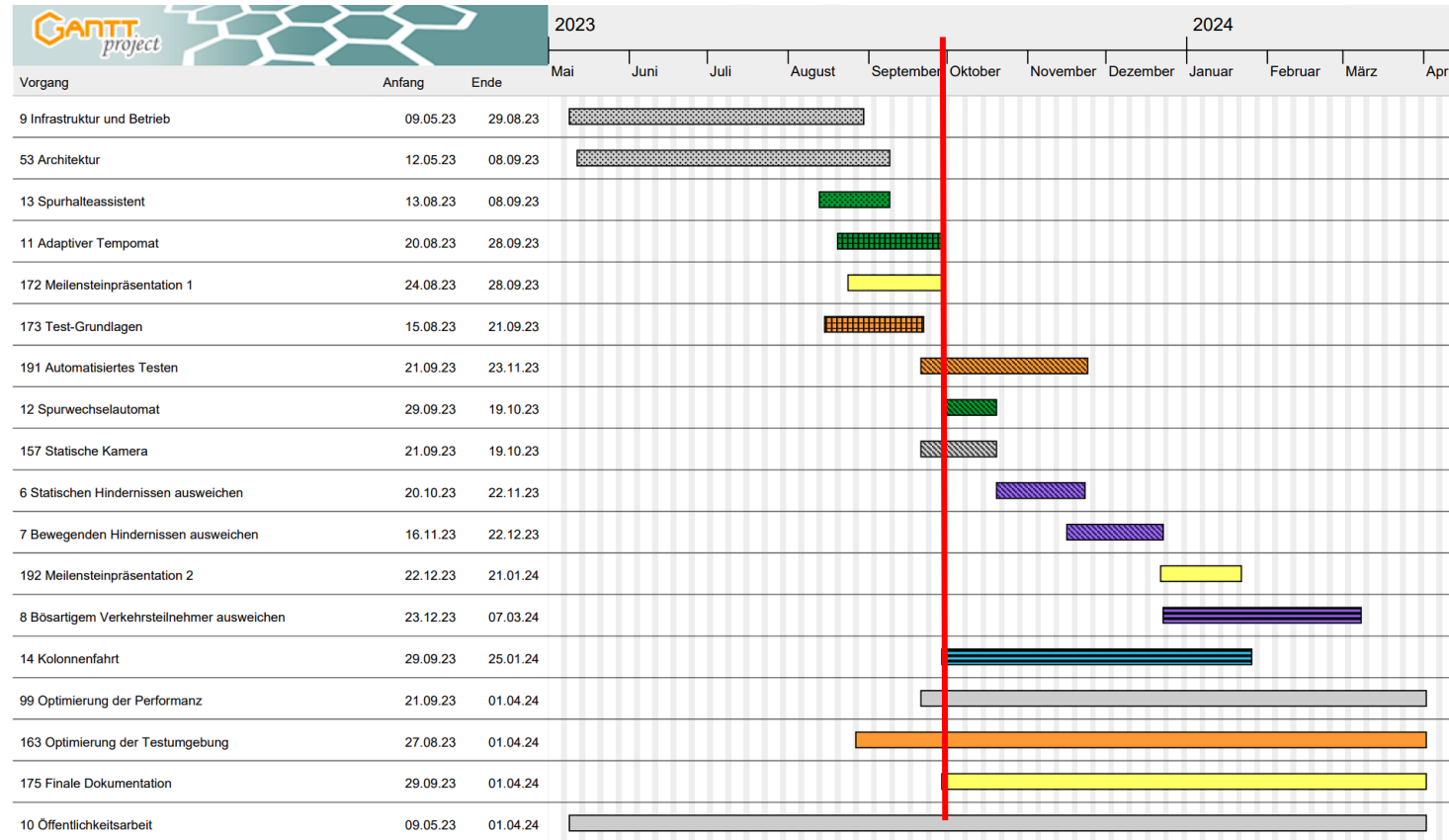
Spurwechsellassistent



Ausweichen von
stationären und
beweglichen Objekten

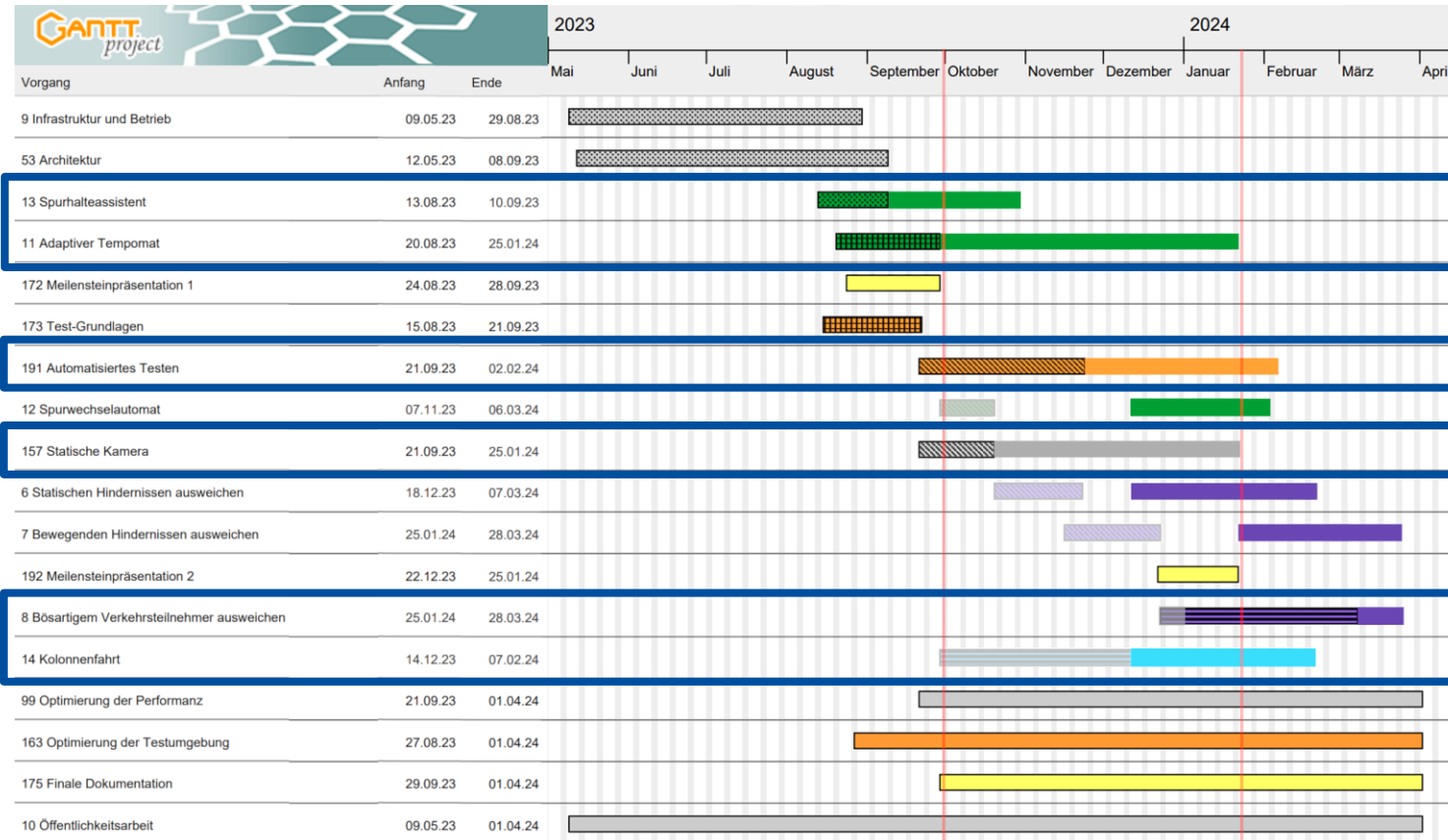
Zeitplan – MS 1

1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick



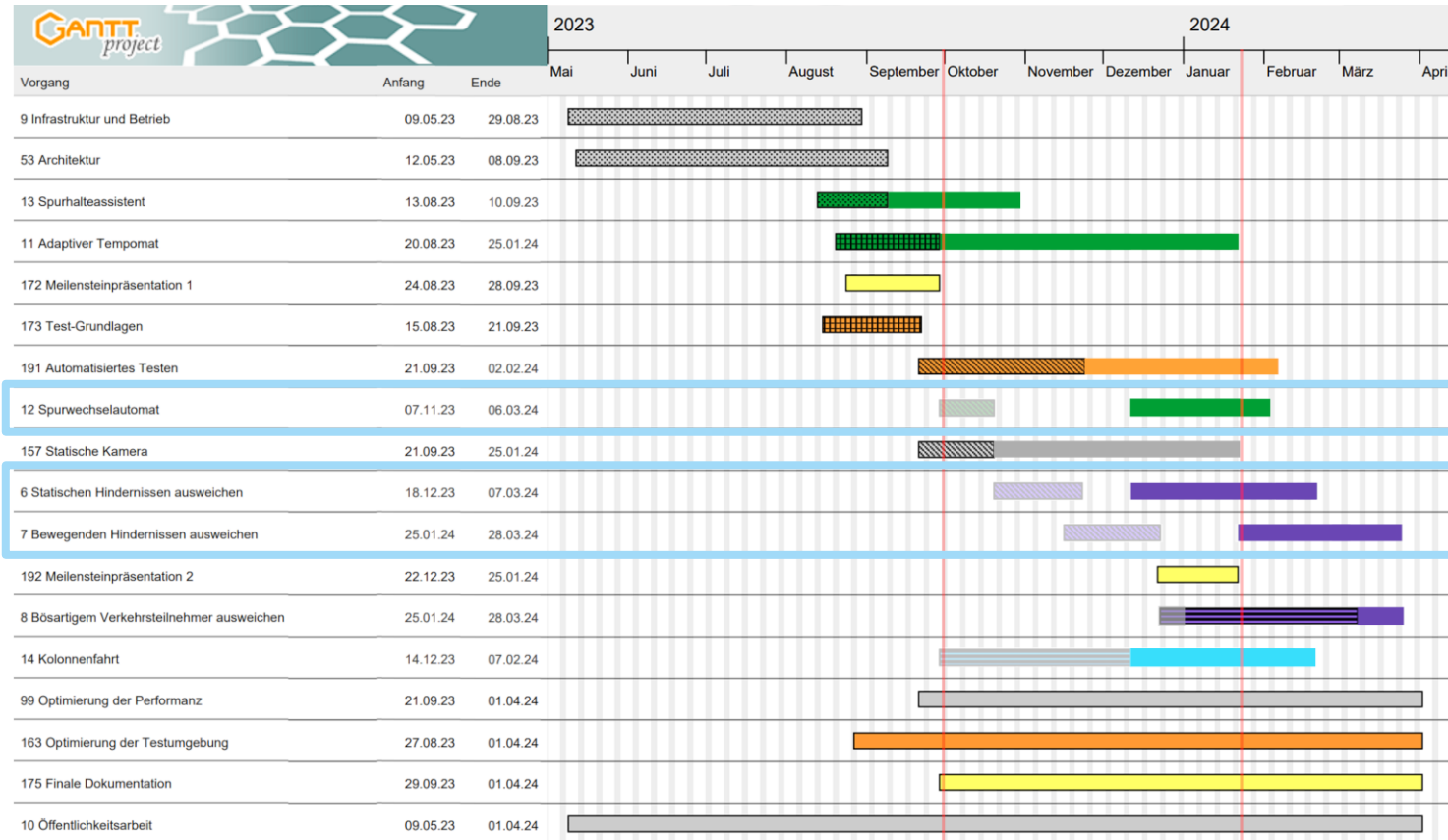
1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselaassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Zeitplan – MS 2

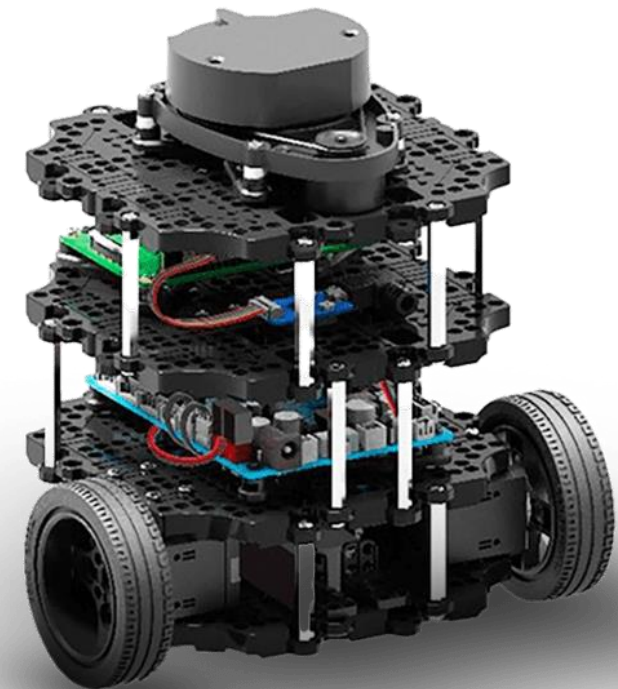


- 1. Was bisher geschah
- 2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
- 3. Das neue Testbed
- 4. Ausblick

Zeitplan – MS 2

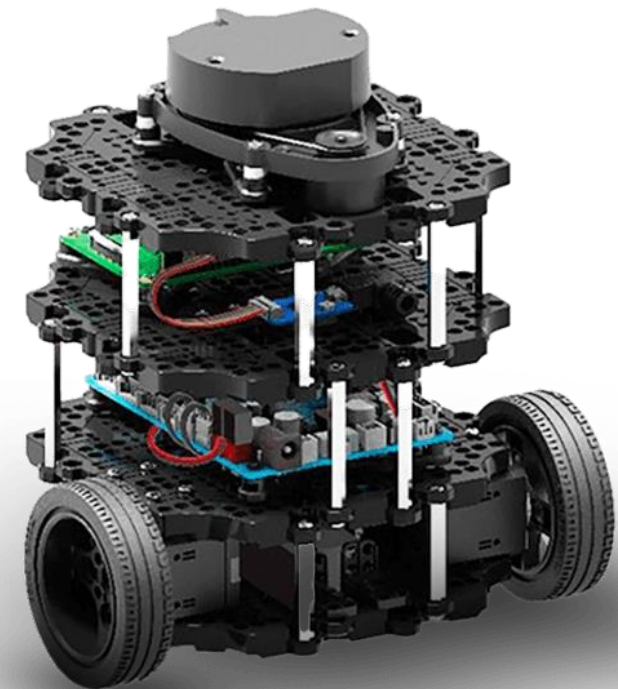


Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen



Spurerkennung

Filip Wojciak

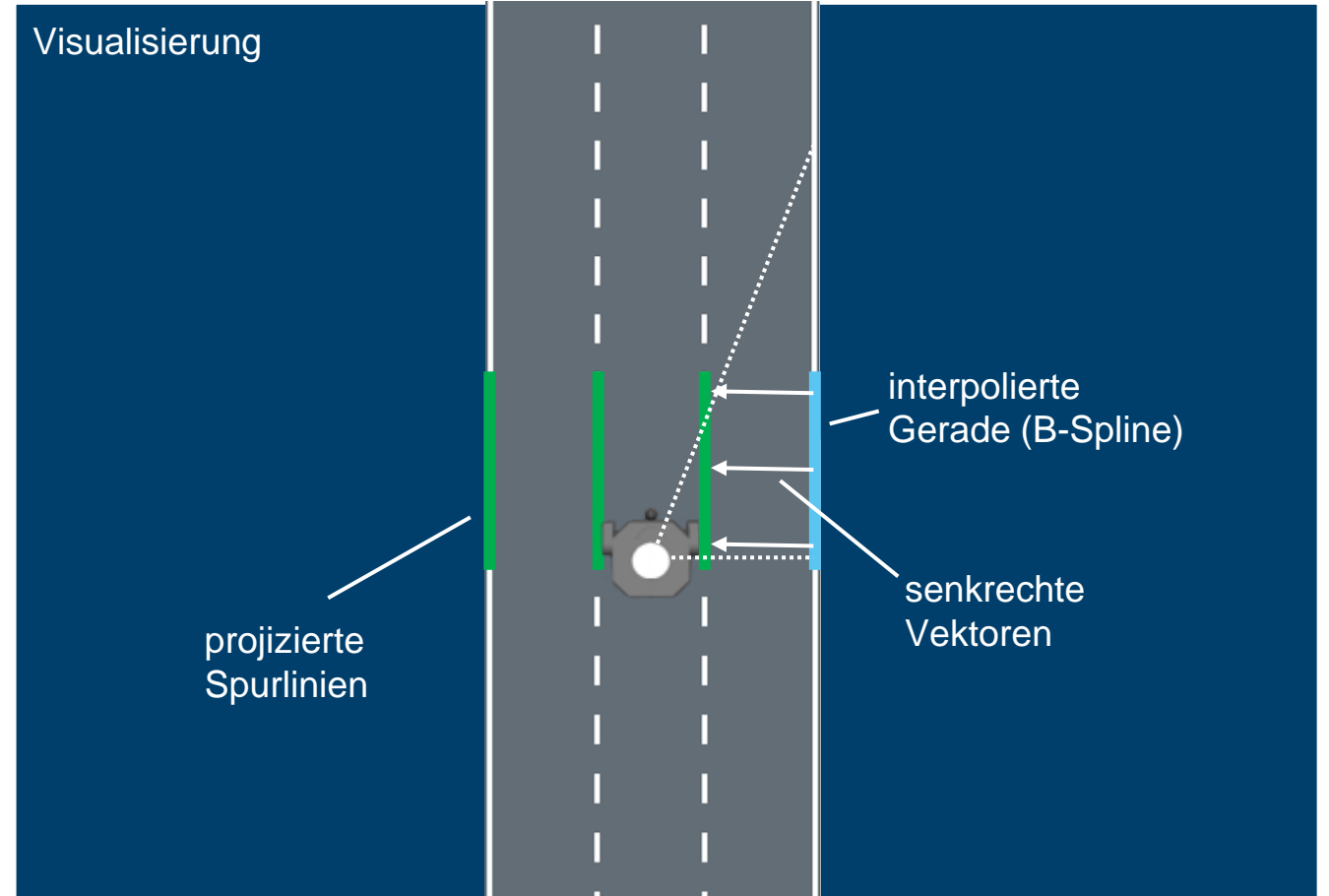
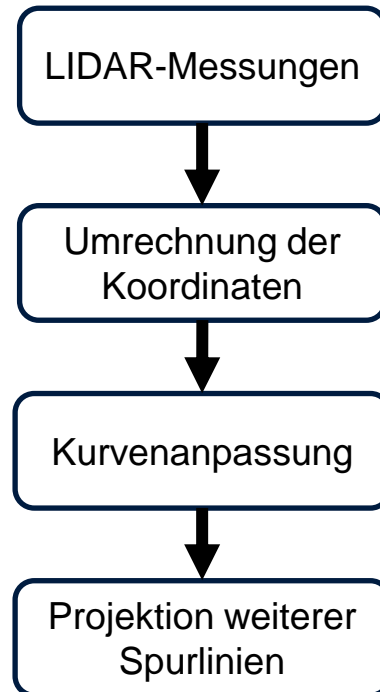


1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

MS1: Spurerkennung mit LIDAR

Annahme: Wand rechts

Funktionsweise:



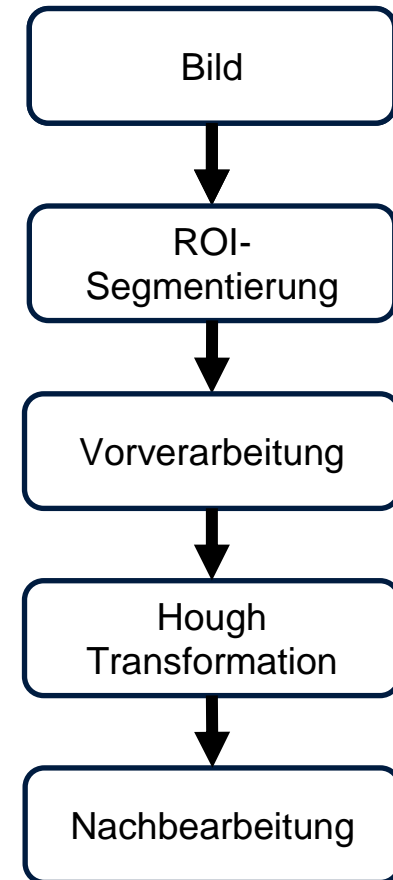
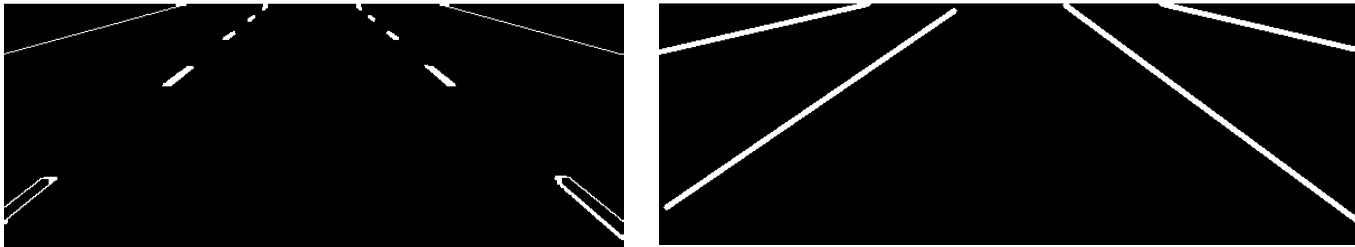
Spurerkennung mit Kamera

Motivation:

- Implementation der Spurerkennung mit LIDAR ist „rudimentär“
- Ermöglicht tatsächliche Spurerkennung

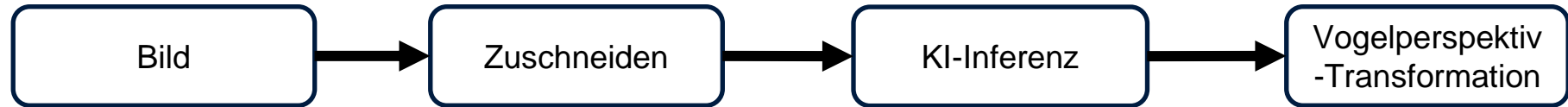
Ursprünglicher Ansatz:

- Basiert auf klassischer Computer Vision
- Limitiert nur auf gerade Straßen
- Schlechte Performanz in der Realität



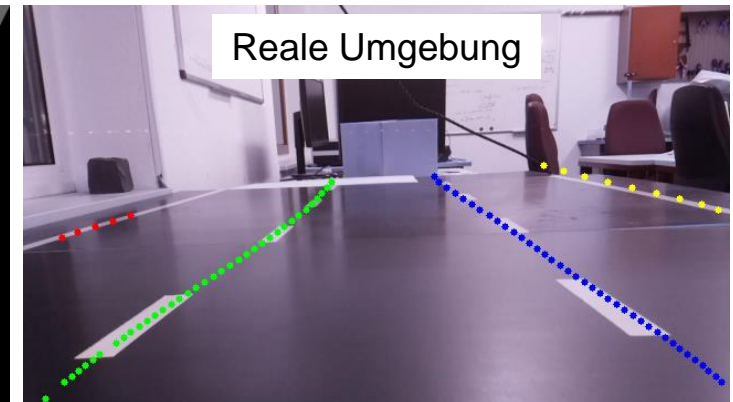
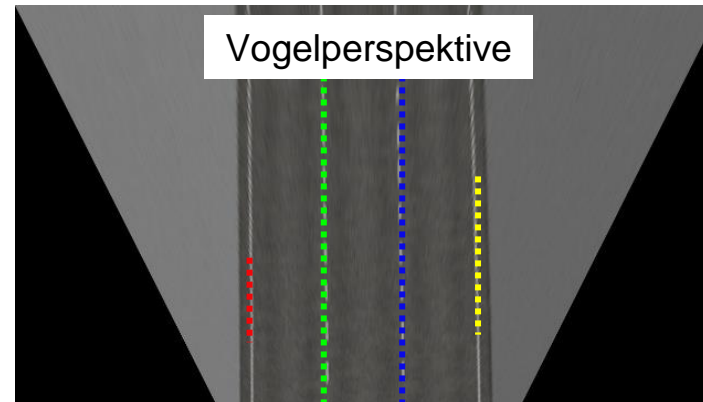
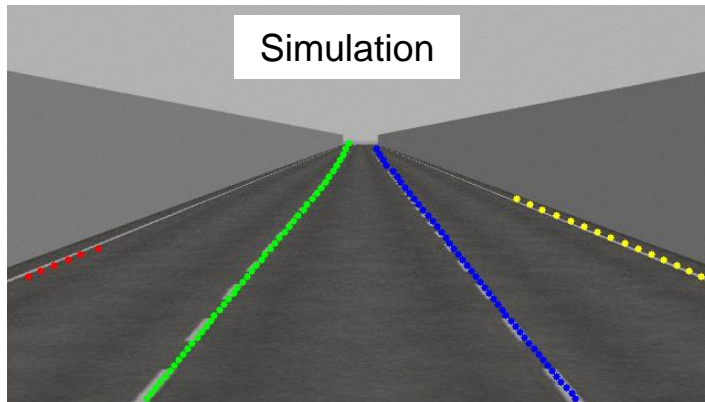
Spurerkennung mit Kamera

Funktionsweise:



KI-Modell (Ultra Fast Lane Detection):

- Spezialisiert auf schnelle Erkennung
- Trainingsdaten: ~6400 US-Autobahn Bilder
- Vortrainiertes KI-Modell



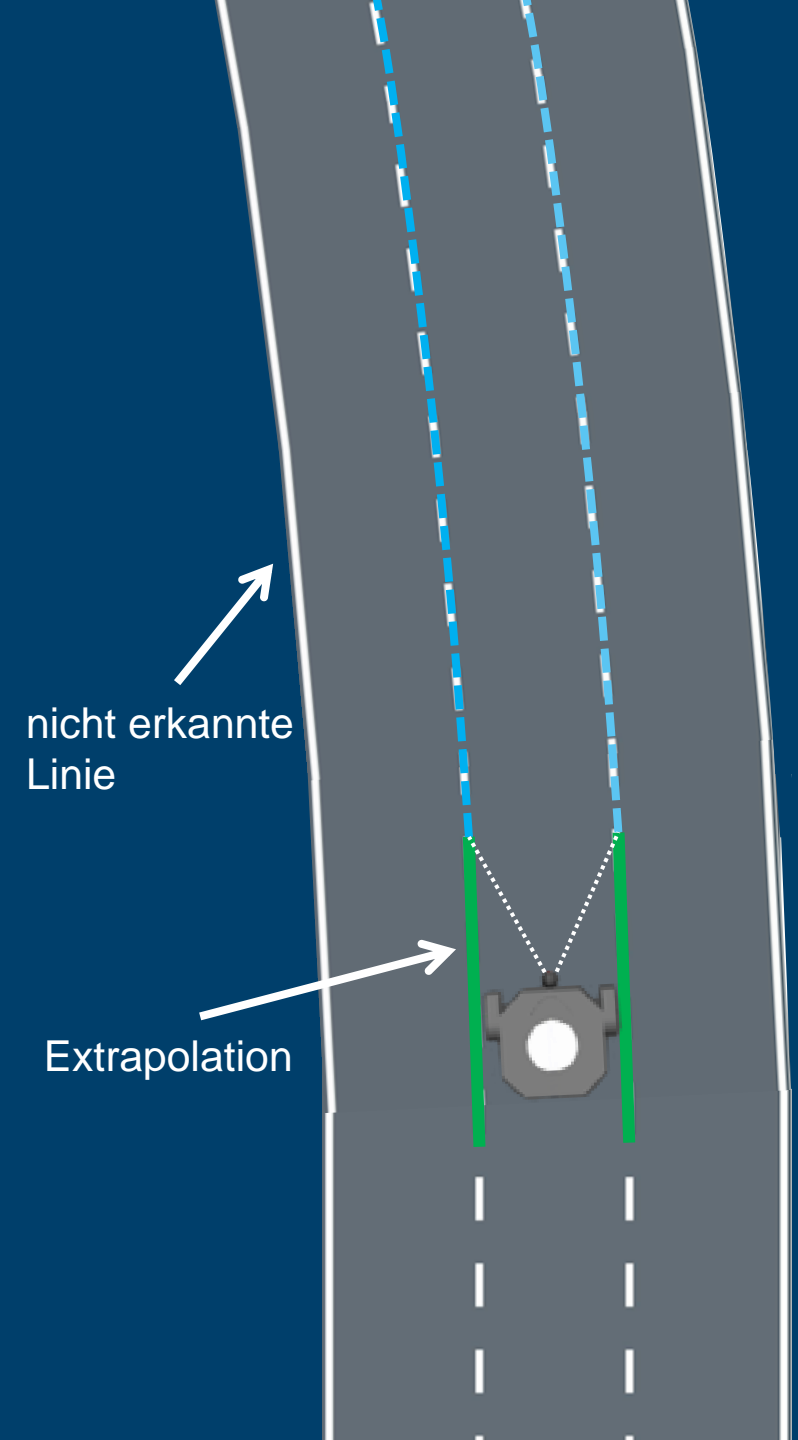
Spurerkennung mit Kamera

Vorteile:

- Keine Notwendigkeit der Wand
- Kann Spuren "durch" Objekte Erkennen

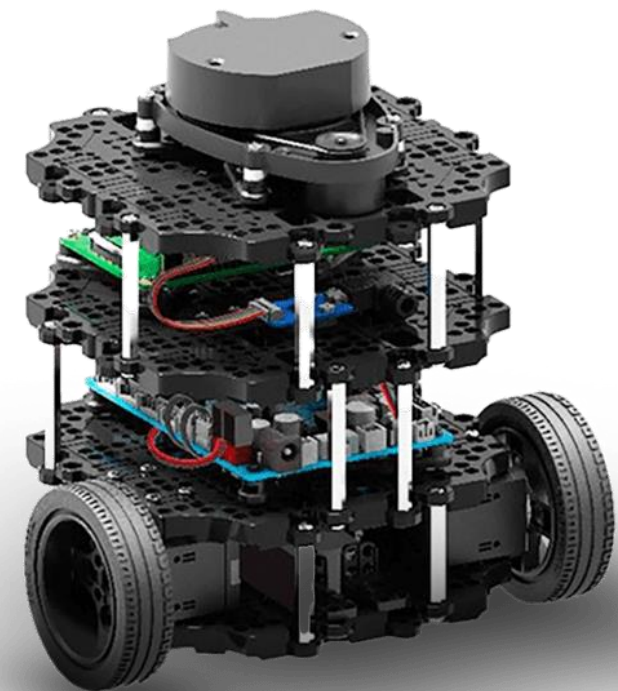
Limitierungen:

- Beleuchtung beeinflusst die Erkennung
- Eigene Spur wird am besten erkannt
- KI auf Datensatz mit anderen Kameras trainiert
- Spuren können nur auf Distanz erkannt werden



Hinderniserkennung

Filip Wojciak



Hinderniserkennung mit Kamera

Motivation:

- Der TurtleBot muss Hindernisse identifizieren können, um auf sie zu reagieren.

Recherchierten Ansätze:

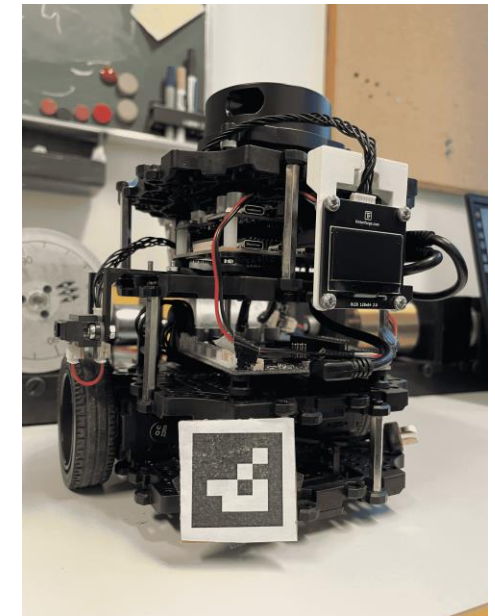
- Klassisch: Erkennung von Markern
 - **ArUco**, AprilTag
- KI-Basiert: Objekterkennung
 - CNNs (YOLOv7)
 - Erfordern Training

➔ Klassische Ansätze sind besser geeignet

Hinderniserkennung mit Kamera

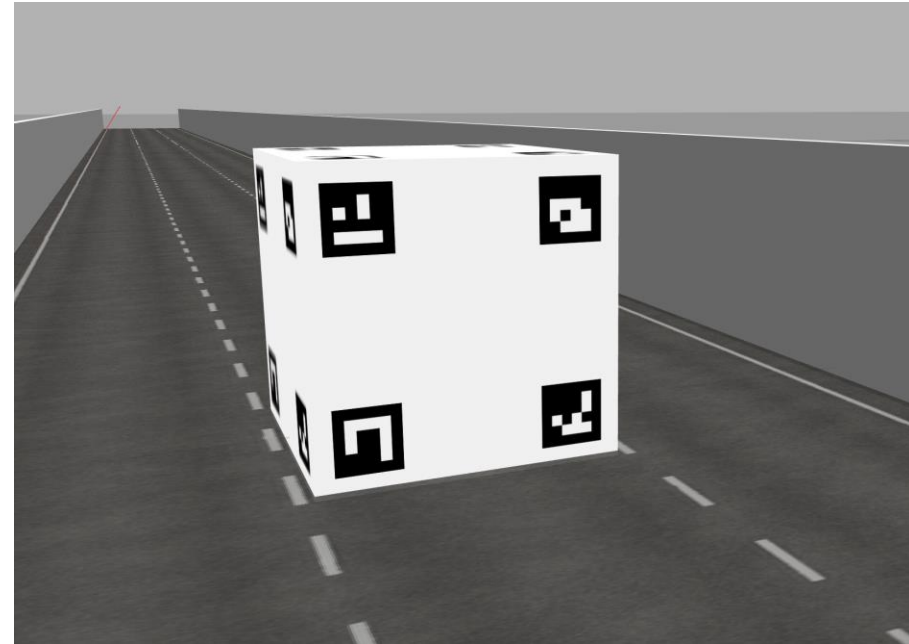
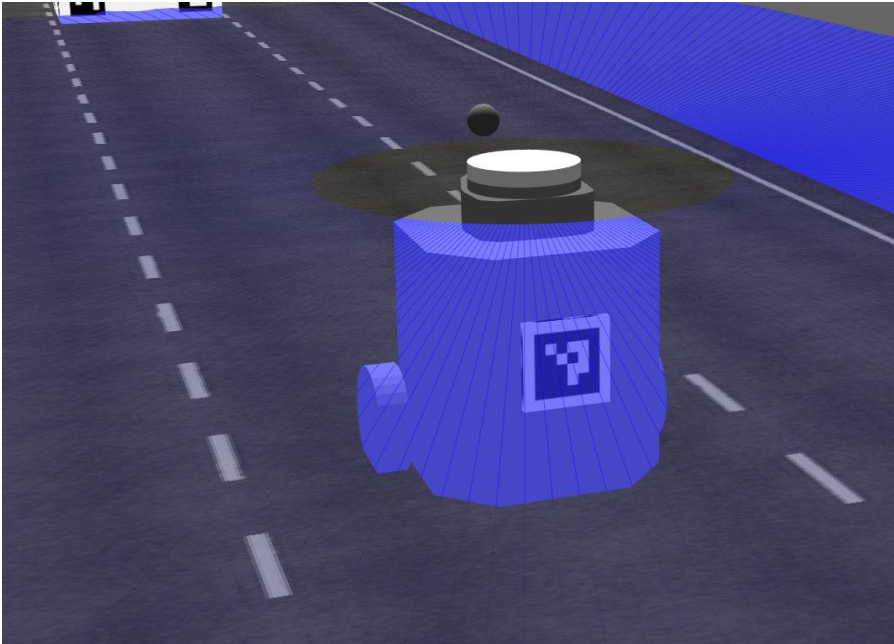
Funktionsweise:

- **ArUco Bibliothek:**
 - Erkennung von Markern in Bildern
 - Berechnung deren Distanzen
- Nutzung des Marker Sets mit maximaler Identifizierbarkeit
- Unterscheidet zwischen Objekttypen mithilfe festgelegter Marker IDs
 - Statische Hindernisse
 - Dynamische Hindernisse (TurtleBots)
- Einmalige Kalibrierung ist notwendig



1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung**
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechslassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

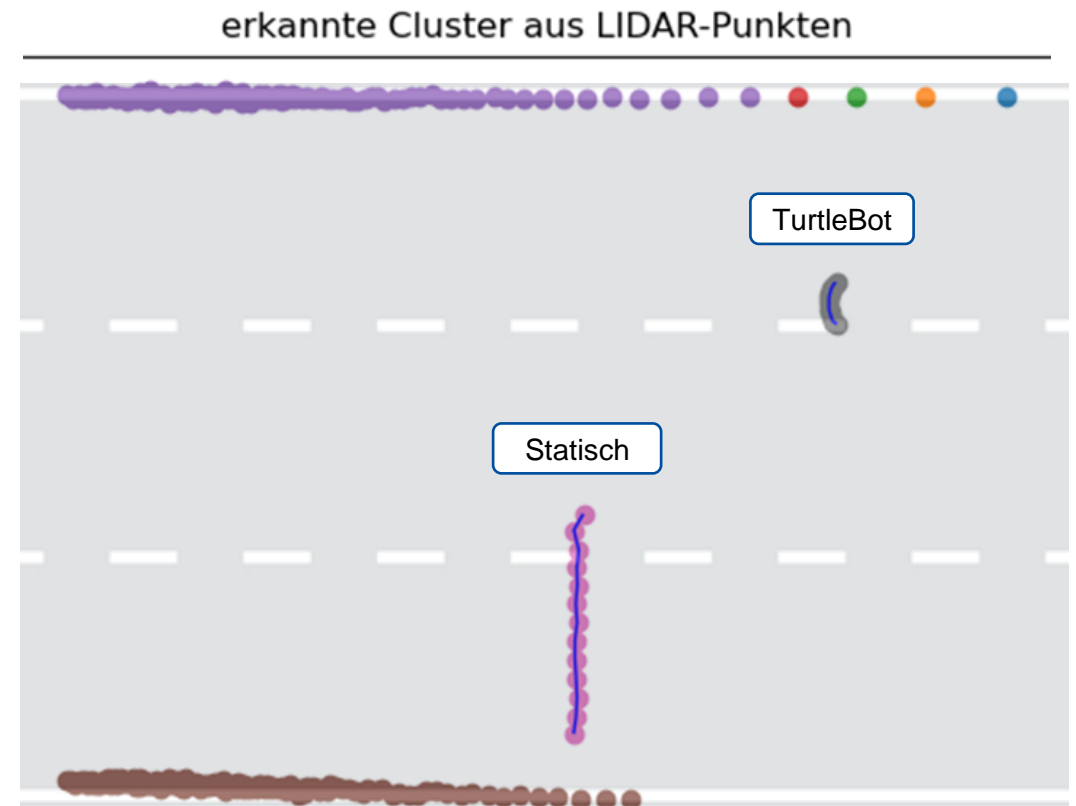
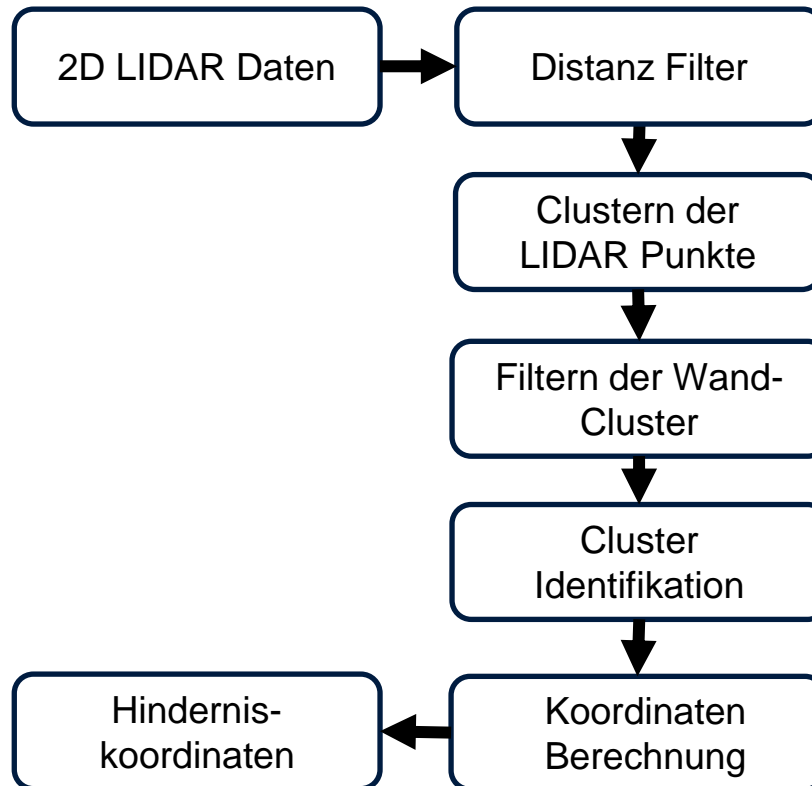
Hinderniserkennung mit Kamera



Hinderniserkennung mit LIDAR

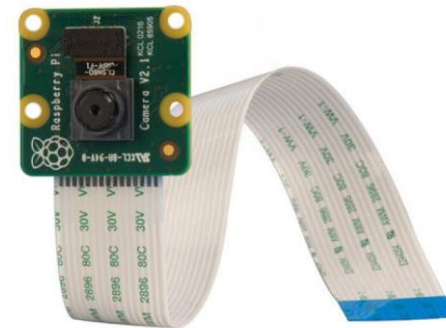
Problematik: Wie erkennen wir ein Fahrzeug, das uns überholen möchte?

Funktionsweise:



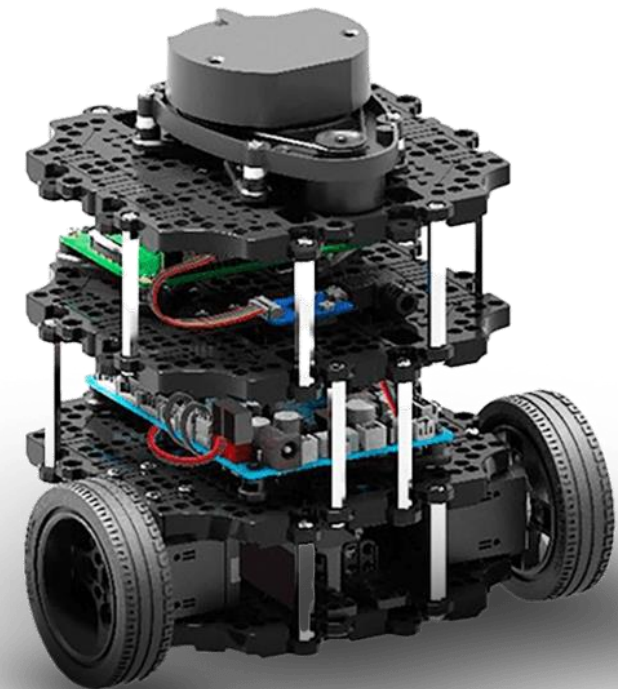
Hinderniserkennung: LIDAR vs Kamera

	LIDAR	Kamera
+	<ul style="list-style-type: none">Erkennung in alle RichtungenGenaue Distanzmessungen	<ul style="list-style-type: none">Robust und zuverlässigKann zwischen Objekttypen anhand der IDs unterscheiden
-	<ul style="list-style-type: none">Wird auf Distanz ungenauerFunktioniert nur auf einer HöheKann nicht gut zwischen Objekten unterscheiden	<ul style="list-style-type: none">Auf das Sichtfeld begrenztMarker mit passenden IDs sind angebrachtMarker können verdeckt werden



Abstandstempomat

Paulina Kowalska



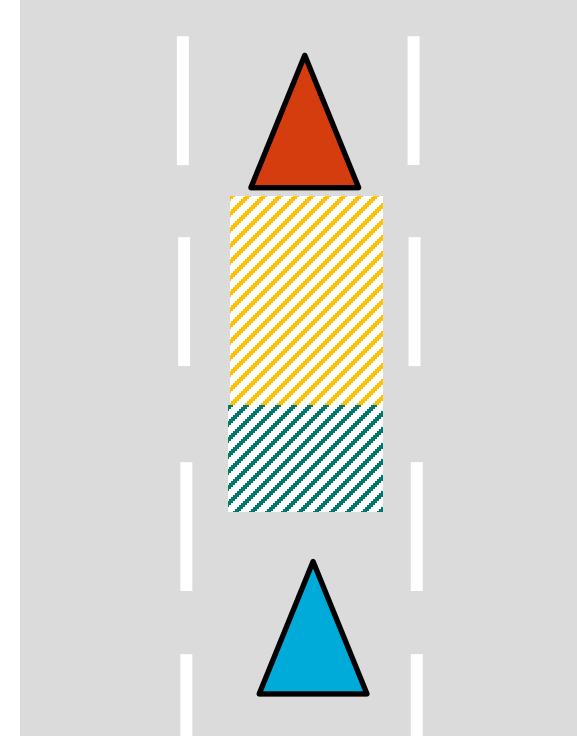
Anforderungen

Funktionale Anforderungen

- Eingestellte Geschwindigkeit halten, wenn Abstand groß genug
- Geschwindigkeit verringern, wenn zur Einhaltung des Sicherheitsabstands notwendig
- Überbrückung durch Fahrer

Nichtfunktionale Anforderungen

- Anwendbar bei Geschwindigkeiten zwischen 60 und 200 km/h



1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. **Adaptiver Tempomat**
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

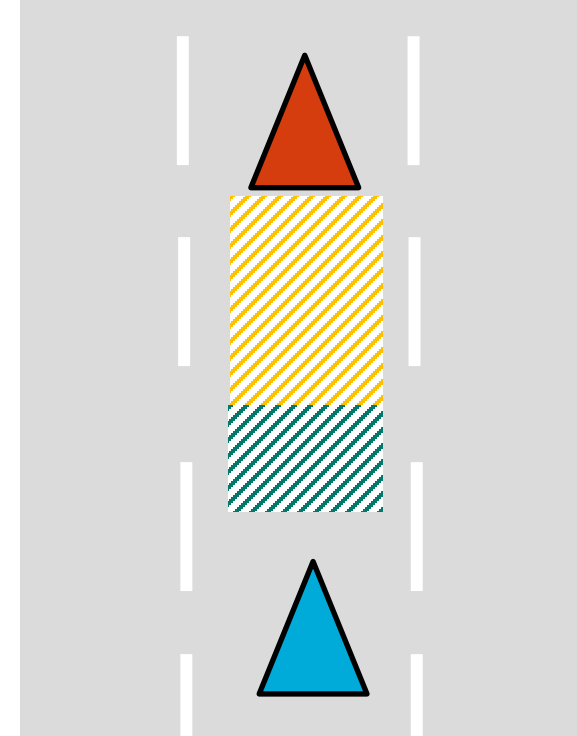
Betriebsmodi

Cruise Mode

Zielgeschwindigkeit
halten

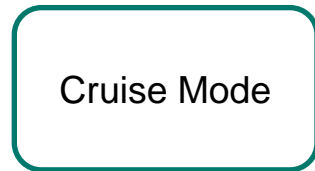
Abhängig von...

- Aktuelle
Geschwindigkeit
- Zielgeschwindigkeit



1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. **Adaptiver Tempomat**
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

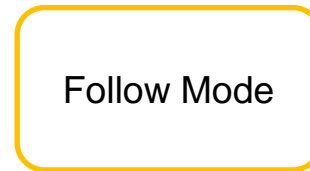
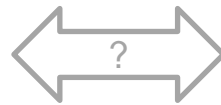
Betriebsmodi



Zielgeschwindigkeit
halten

Abhängig von...

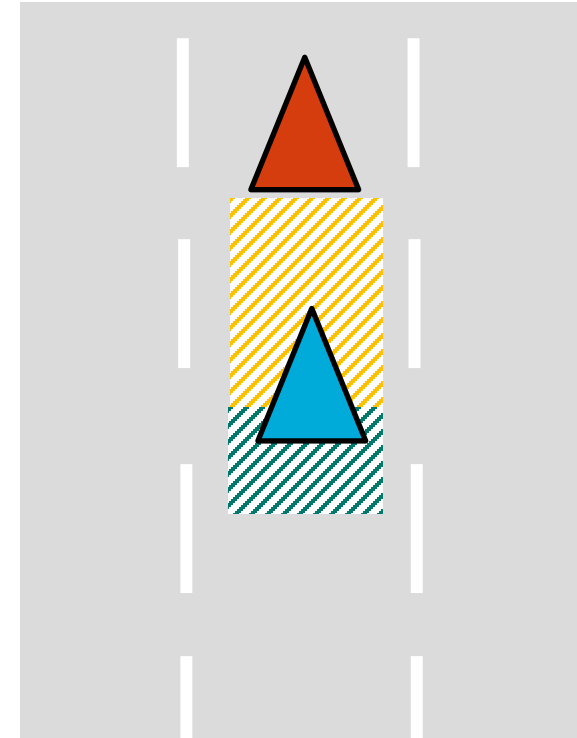
- Aktuelle Geschwindigkeit
- Zielgeschwindigkeit



Abstand halten

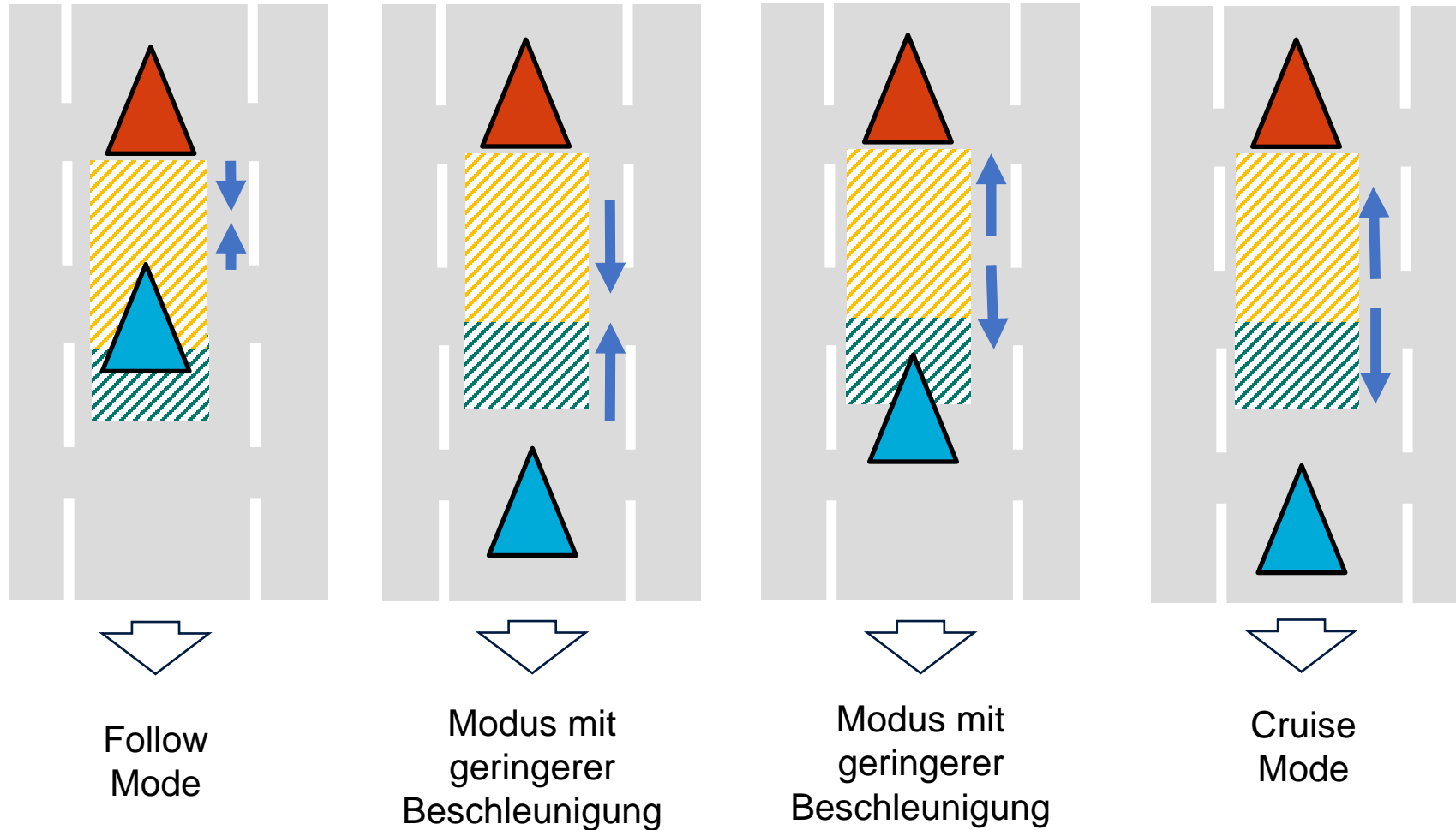
Abhängig von...

- Abstand zum Vordermann
- Geschwindigkeitsunterschied



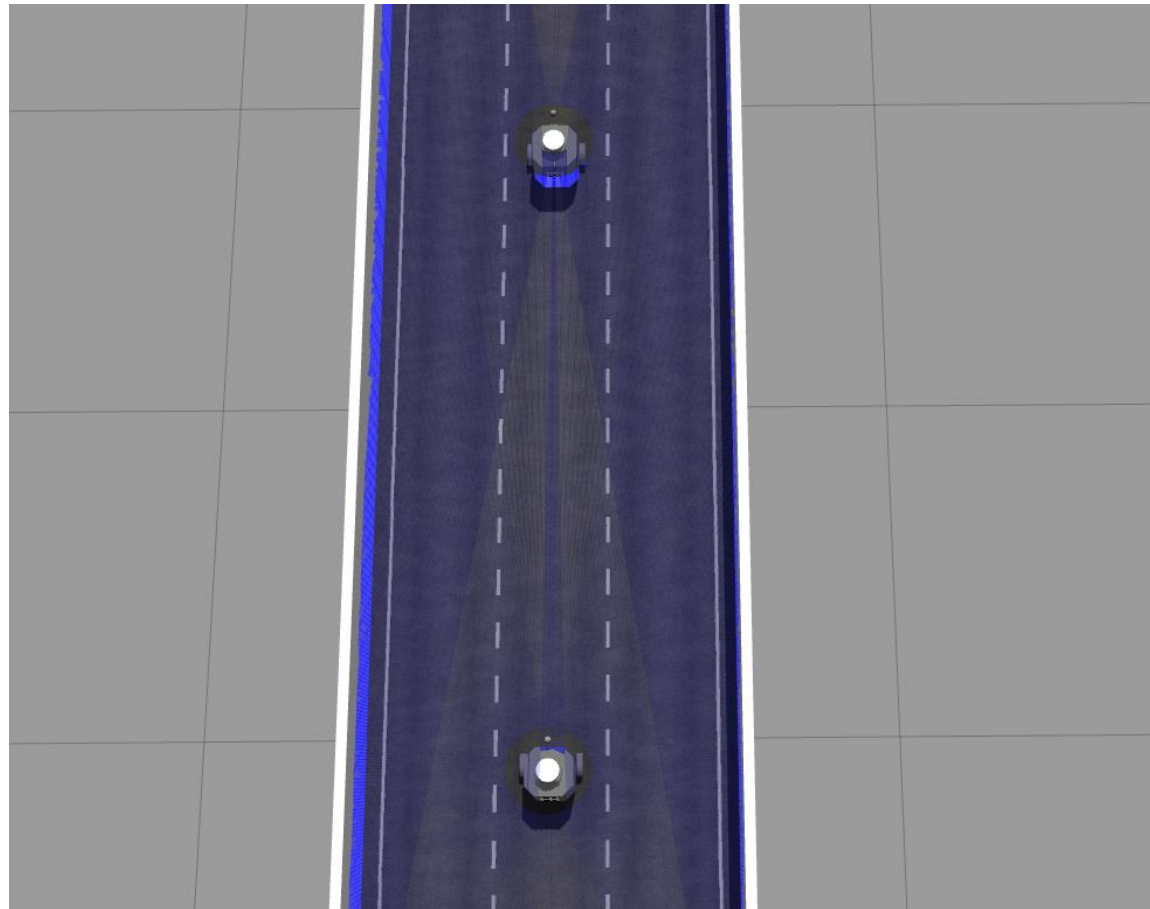
1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat**
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechslassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Wann ist welcher Modus aktiv?



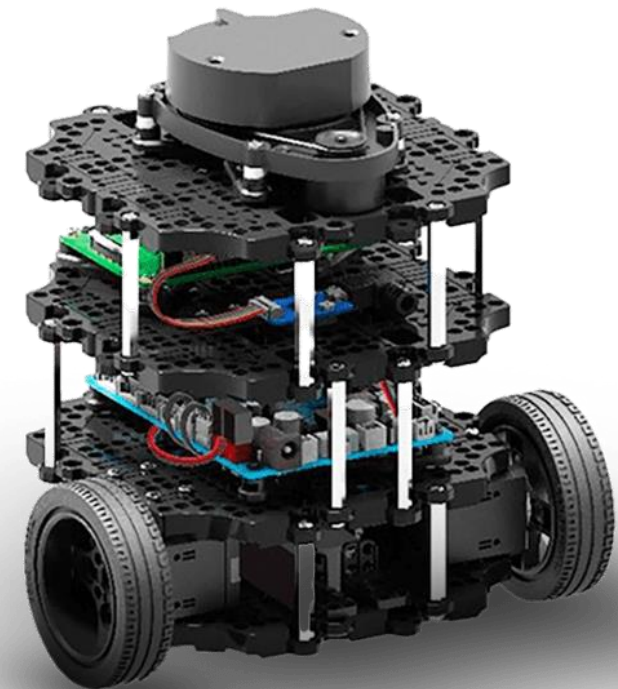
1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat**
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Abstandstempomat in Aktion



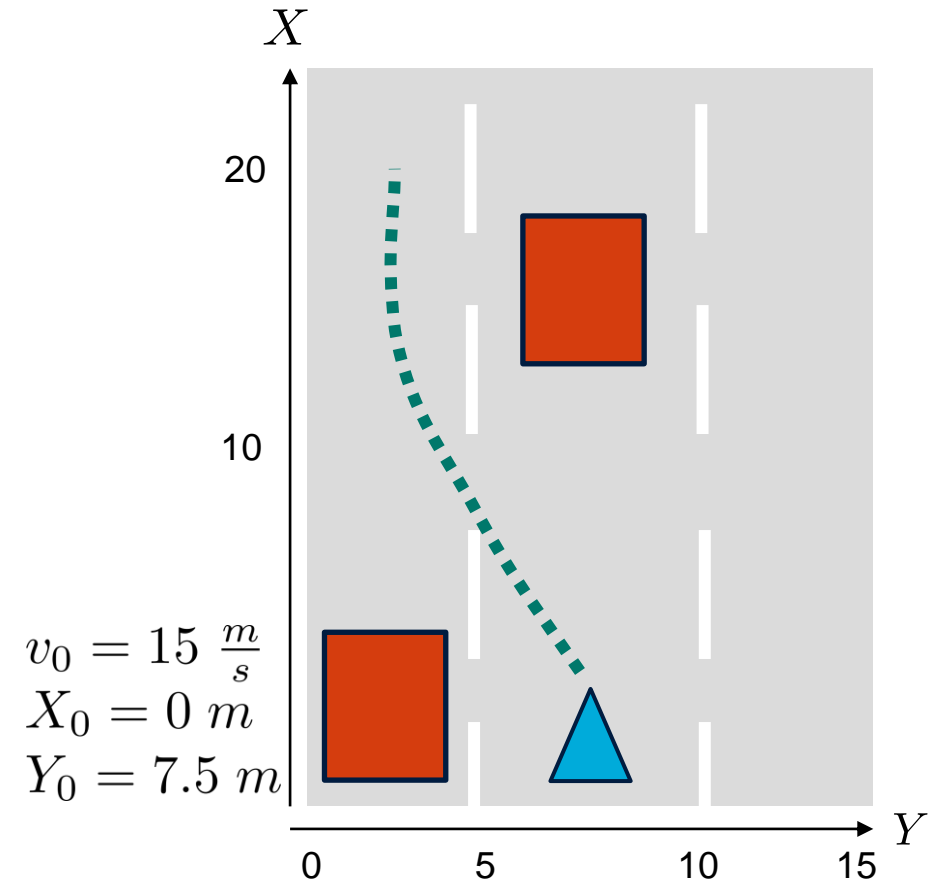
Modelprädiktive Regelung

Carl Schneiders



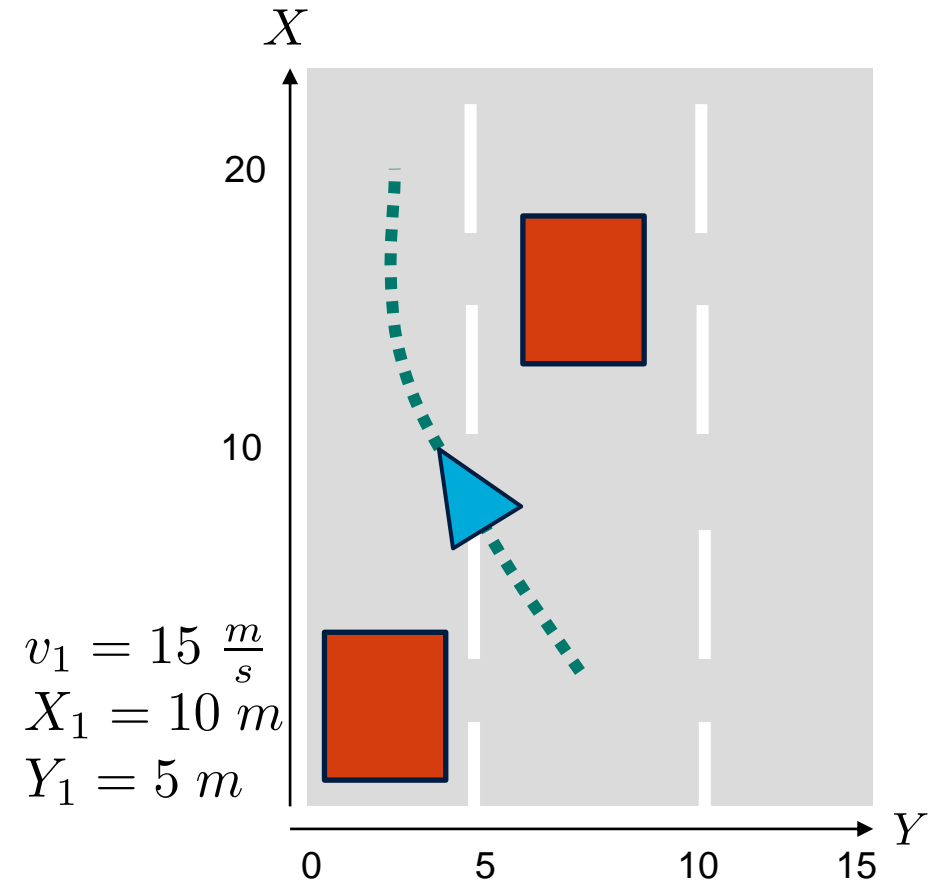
1. Was bisher geschah
2. **Fahraktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung**
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Verfolgung Beliebiger Trajektorien



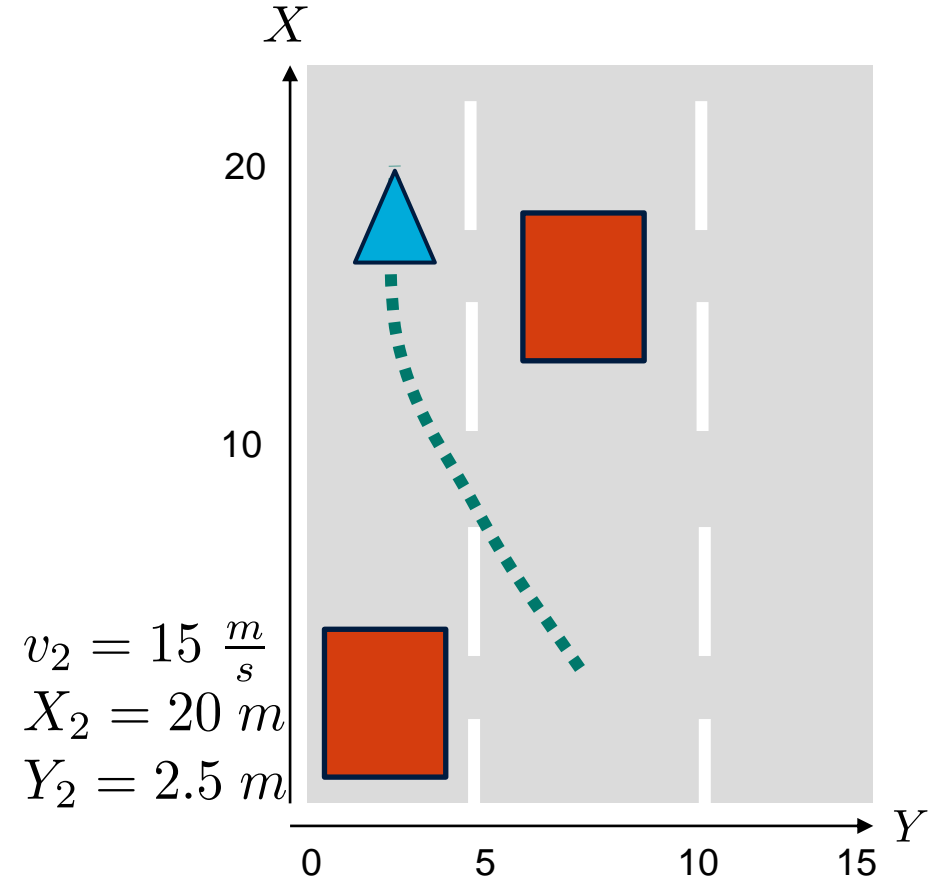
1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. **Modellprädiktive Regelung**
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Verfolgung Beliebiger Trajektorien



1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. **Modellprädiktive Regelung**
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Verfolgung Beliebiger Trajektorien



Verfolgung Beliebiger Trajektorien

Nominale Trajektorie:

$$x_n = [v_n, \psi_n, X_n, Y_n, a_n, \omega_n, \kappa_n]$$

Einschränkungen für das Fahrzeug:

$$5 < Y_0 < 10 \quad \forall k : a_k < 5$$

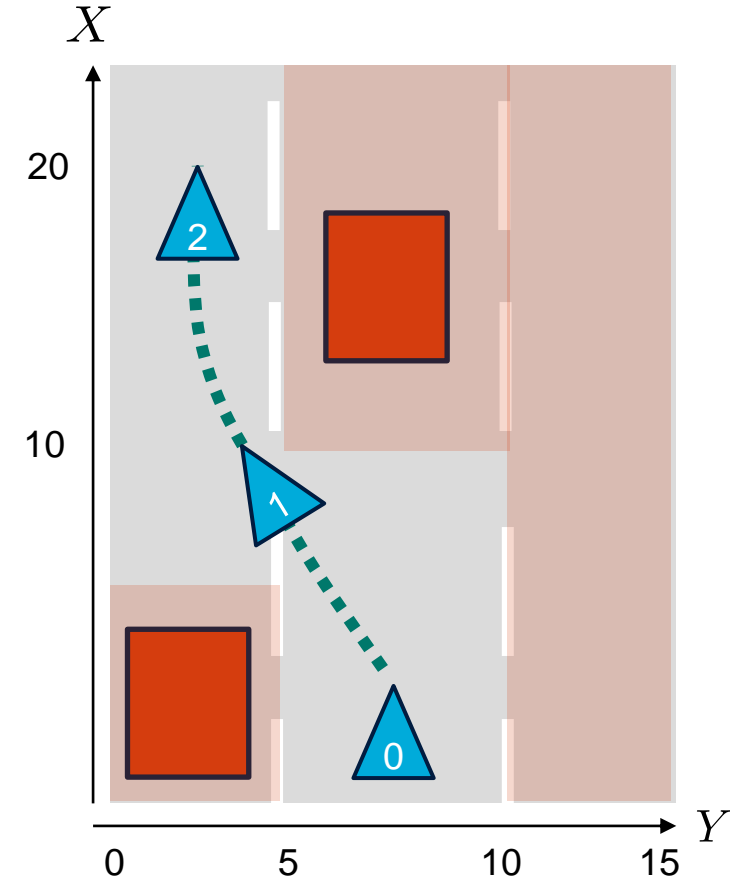
$$0 < Y_1 < 10 \quad \forall k : \omega_k < 4$$

$$0 < Y_2 < 5$$

Gesucht:

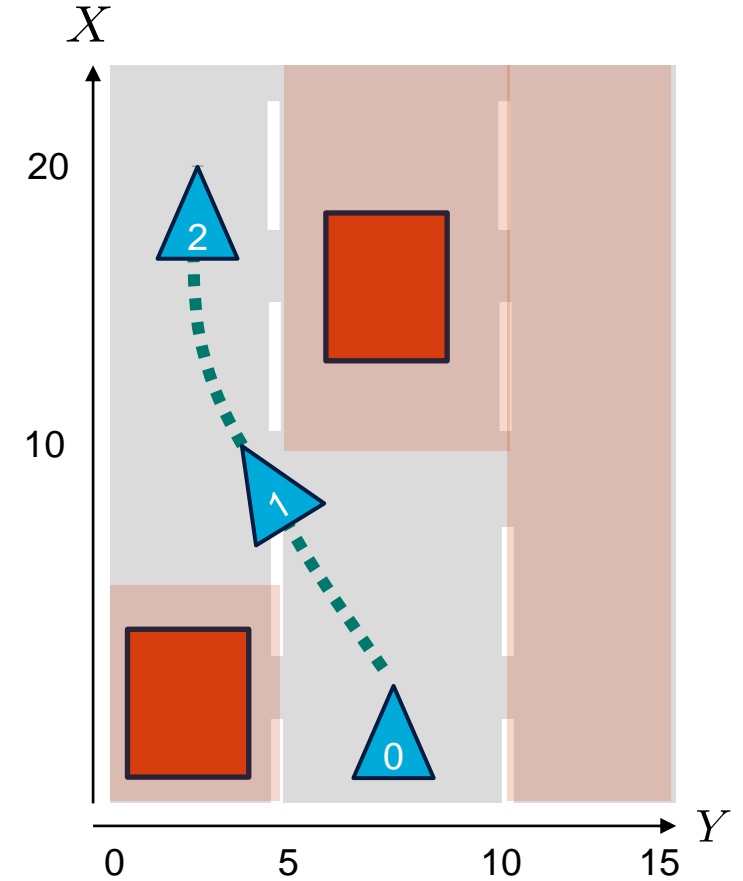
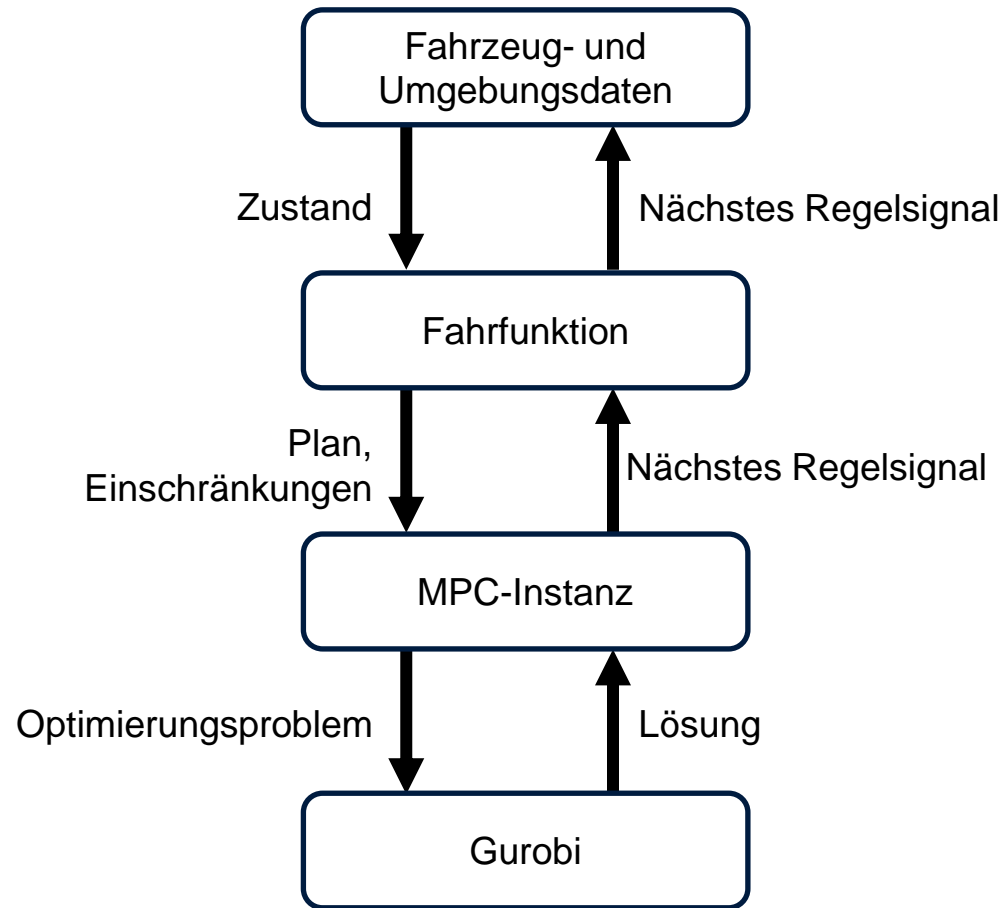
- Beschleunigungen a_k
- Lenkwinkel θ_k

... so dass die Trajektorie unter Einhaltung aller Einschränkungen möglichst genau verfolgt wird



1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. **Modellprädiktive Regelung**
 - e. Spurwechsellassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Architektur



1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechslassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Bicycle-Modell

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

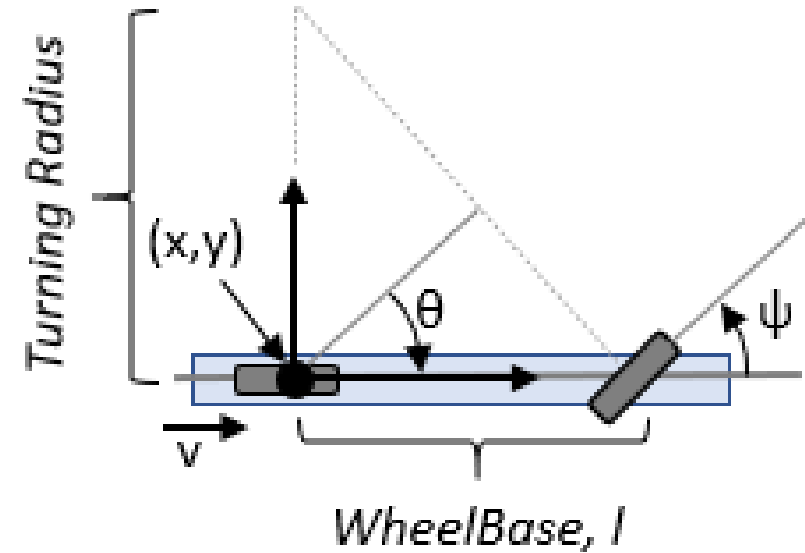
$$\dot{x}_2 = \dot{\psi} = \omega = \frac{v}{l} \cdot \tan(\theta)$$

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

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

$$u_1 = a$$

$$u_2 = \omega = \frac{v}{l} \cdot \tan(\theta)$$



1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. **Modellprädiktive Regelung**
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

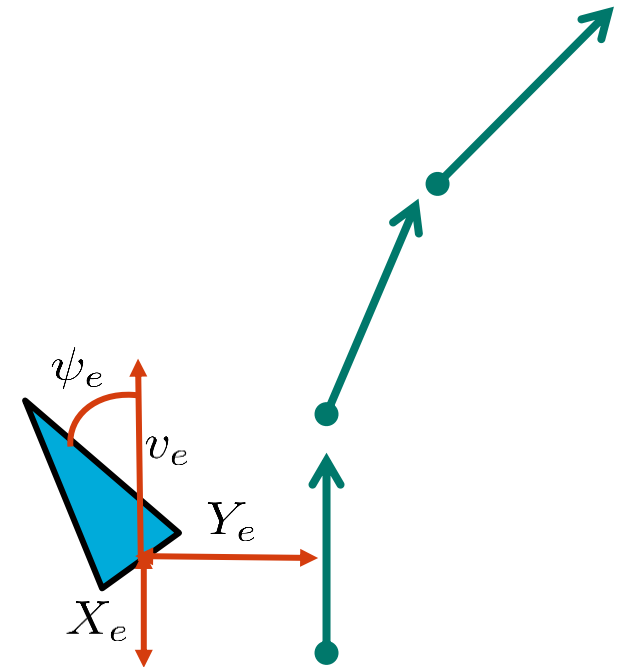
Fehlerdynamik

$$\dot{v}_e = a - a_n$$

$$\dot{\psi}_e = \omega - \omega_n$$

$$\dot{X}_e = v_e + \omega_n Y_e$$

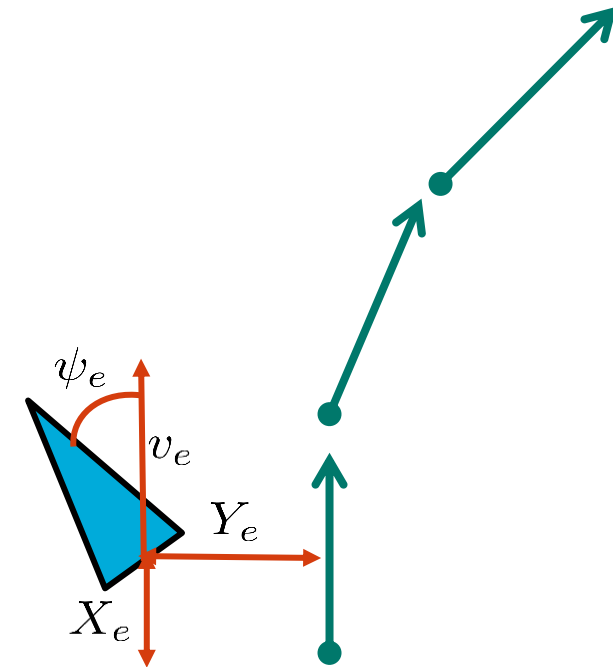
$$\dot{Y}_e = v_n \psi_e - \omega_n X_e$$



1. Was bisher geschah
- 2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung**
 - e. Spurwechslassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Linearisiert und Diskretisiert

$$\begin{pmatrix} v_{e,k+1} \\ \psi_{e,k+1} \\ x_{e,k+1} \\ y_{e,k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{e,k} + T \cdot (a_k - a_{n,k}) \\ \psi_{e,k} + T \cdot (\omega_k - \omega_{n,k}) \\ x_{e,k} + T \cdot (v_{e,k} + \omega_{n,k} \cdot y_{e,k}) \\ y_{e,k} + T \cdot (v_{n,k} \cdot \psi_{e,k} - \omega_{n,k} \cdot y_{e,k}) \end{pmatrix}$$



1. Was bisher geschah
2. **Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen**
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. **Modellprädiktive Regelung**
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Optimierungsproblem

$$\min_u \sum_{k=0}^N \begin{pmatrix} v_{e,k} \\ \psi_{e,k} \\ x_{e,k} \\ y_{e,k} \end{pmatrix}^T Q_k \begin{pmatrix} v_{e,k} \\ \psi_{e,k} \\ x_{e,k} \\ y_{e,k} \end{pmatrix} + \sum_{k=0}^{N-1} \begin{pmatrix} a_k \\ \omega_k \end{pmatrix}^T R_k \begin{pmatrix} a_k \\ \omega_k \end{pmatrix}$$

Zustandsentwicklung entsprechend der Fehlerdynamik:

$$\begin{pmatrix} v_{e,k+1} \\ \psi_{e,k+1} \\ x_{e,k+1} \\ y_{e,k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{e,k} + T \cdot (a_k - a_{n,k}) \\ \psi_{e,k} + T \cdot (\omega_k - \omega_{n,k}) \\ x_{e,k} + T \cdot (v_{e,k} + \omega_{n,k} \cdot y_{e,k}) \\ y_{e,k} + T \cdot (v_{n,k} \cdot \psi_{e,k} - \omega_{n,k} \cdot y_{e,k}) \end{pmatrix}$$

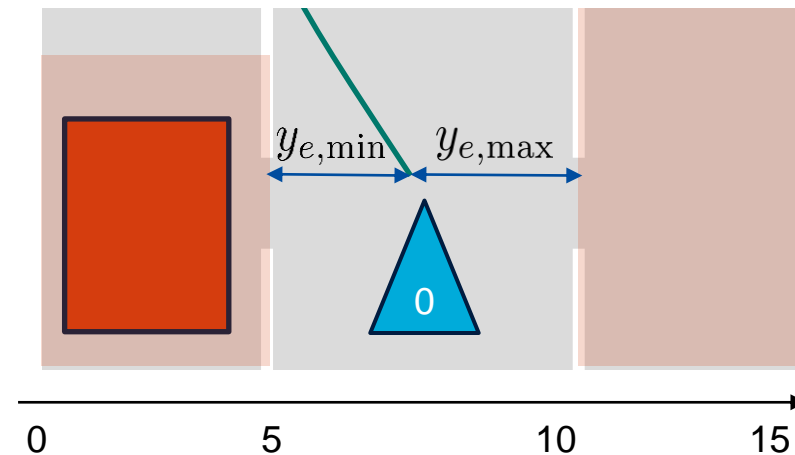
Inputs beschränkt durch Min- und Max-Werte:

$$\forall k \in [0, N-1] : \frac{v}{L} \delta_{min} \leq \omega_k \leq \frac{v}{L} \delta_{max}$$

$$\forall k \in [0, N-1] : a_{min} \leq a_k \leq a_{max}$$

Verbot von Bereichen:

$$y_{e,min} \leq y_e \leq y_{e,max}$$



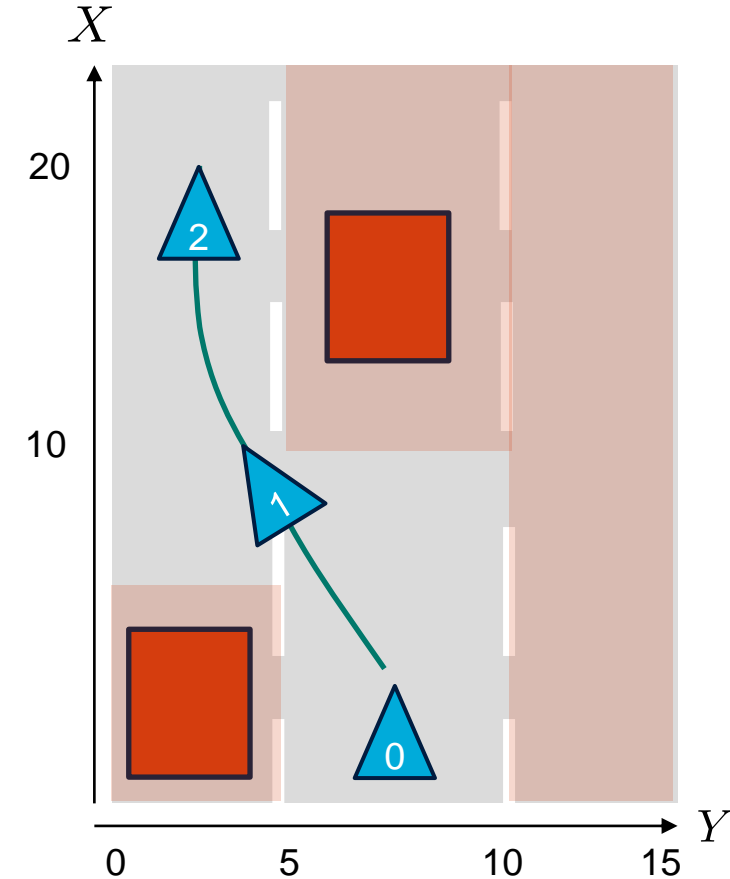
Was haben wir damit erreicht?

Architektur

- Fahrfunktionen implementieren = Planung implementieren
- Vereinheitlichte Schnittstelle für das Errechnen von Regelgrößen

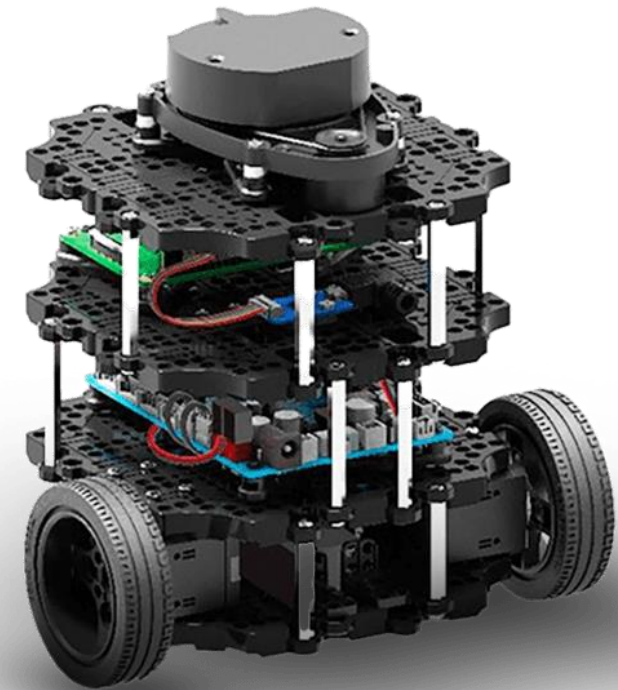
Geplante MPC-basierte Fahrfunktionen

- Spurwechselassistent
- Hindernisumfahrung
- Automatisches Überholen
- Ausweichstrategie bei böartigem Fahrer



Spurwechselsassistent

Carl Schneiders



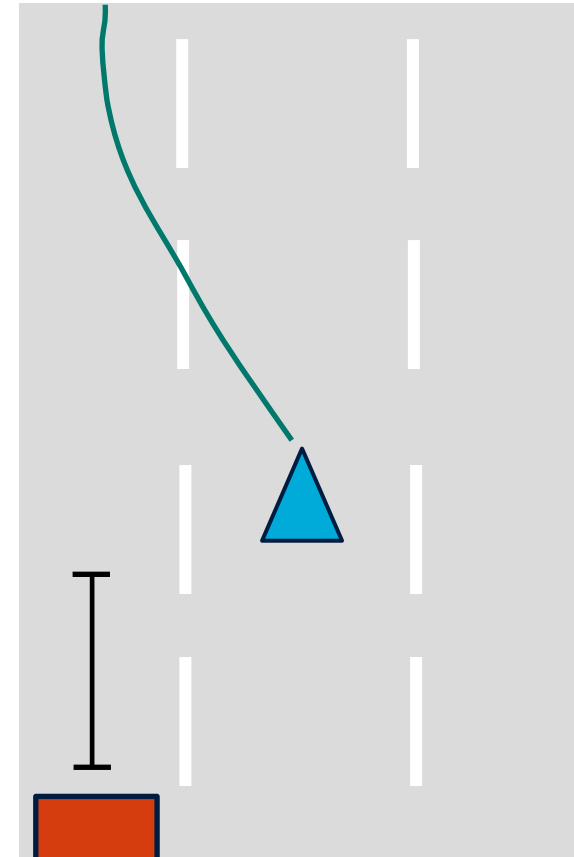
Anforderungen

Funktionale Anforderungen

- Entscheidung über Durchführbarkeit des Spurwechsels treffen
- Spurwechsel durchführen
- Sicherheitsabstand zu anderen Fahrzeugen halten
- Überbrückung durch Fahrer

Nichtfunktionale Anforderungen

- Anwendbar zwischen 60 und 200 km/h



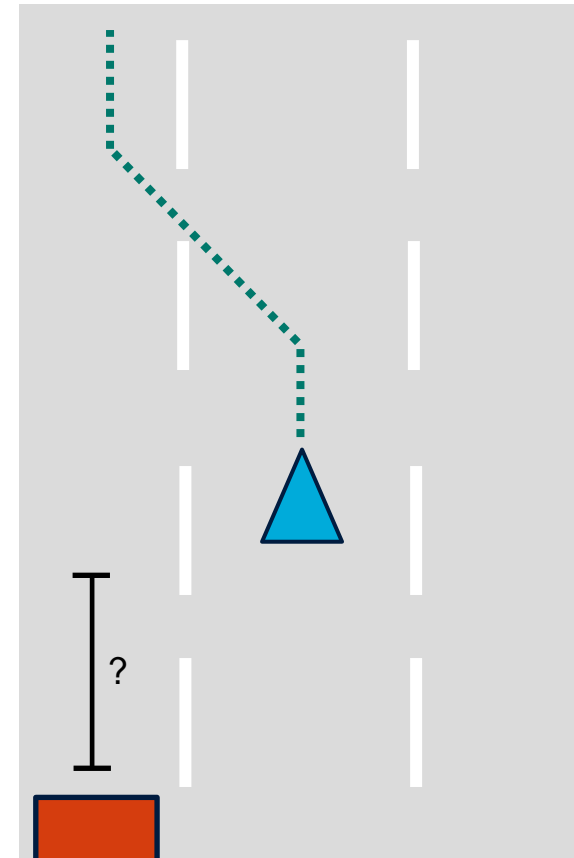
Umsetzung mit MPC

Aktueller Stand

- MPC bekommt Trajektorie für Spurwechsel
- Halten der aktuellen Geschwindigkeit vorgegeben
- Nur Lenkung der MPC wird an Fahrzeug weiter gegeben
- Trajektorie wird während des Manövers regelmäßig neu geplant

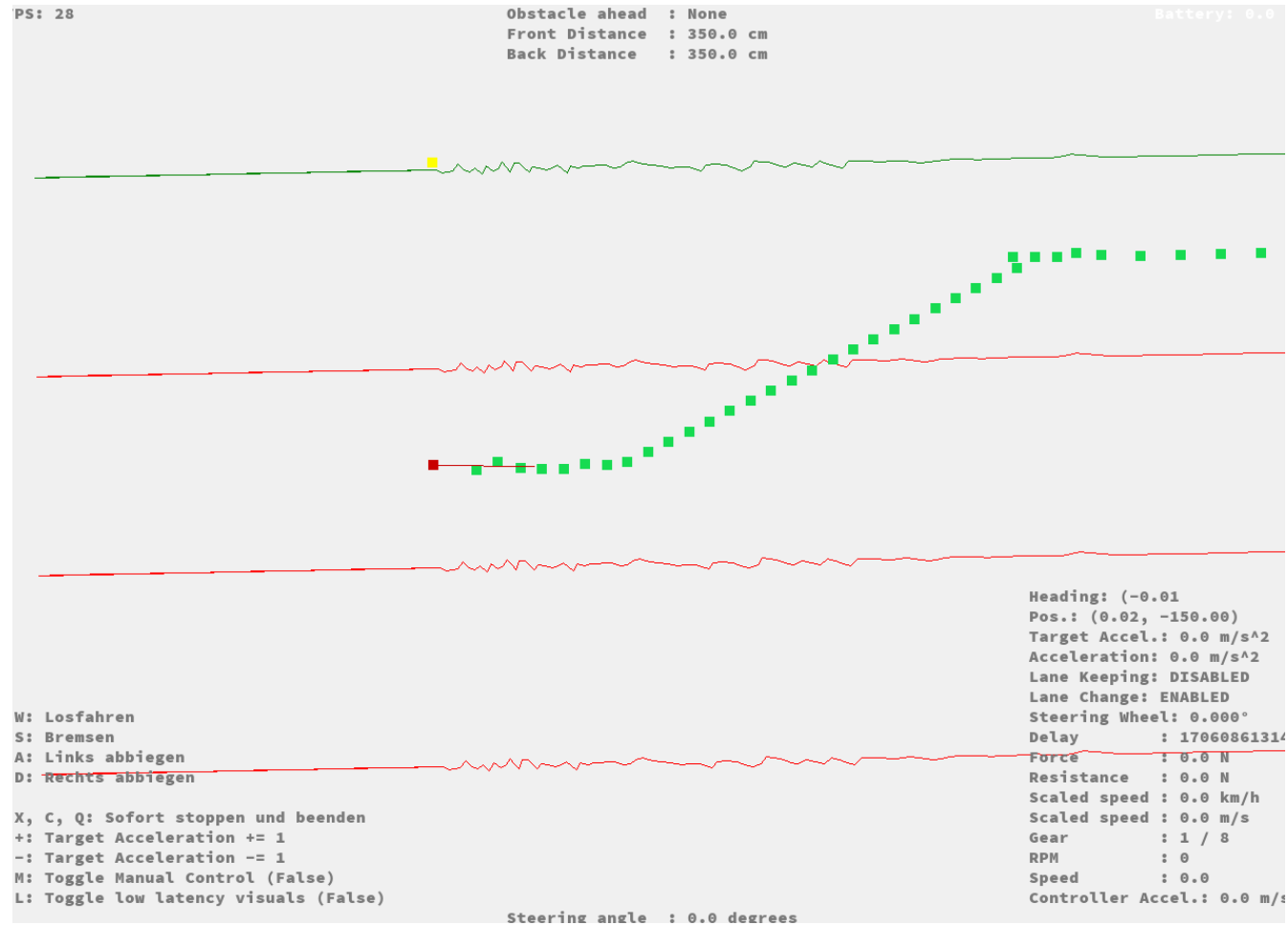
Noch zu implementieren

- Entscheidung, ob Spurwechsel sicher möglich
- Übergeben der Positions-Einschränkungen an MPC



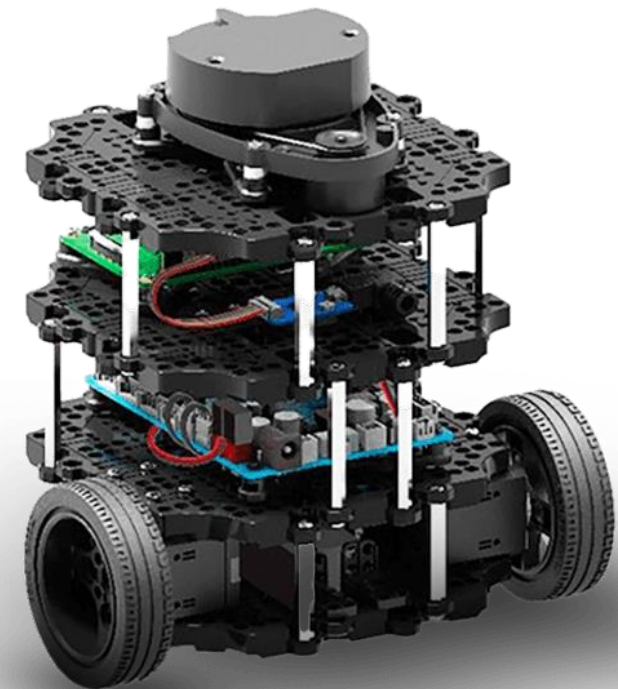
1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Spurwechselassistent in Aktion



TurtleCar-Test

Simon Struck



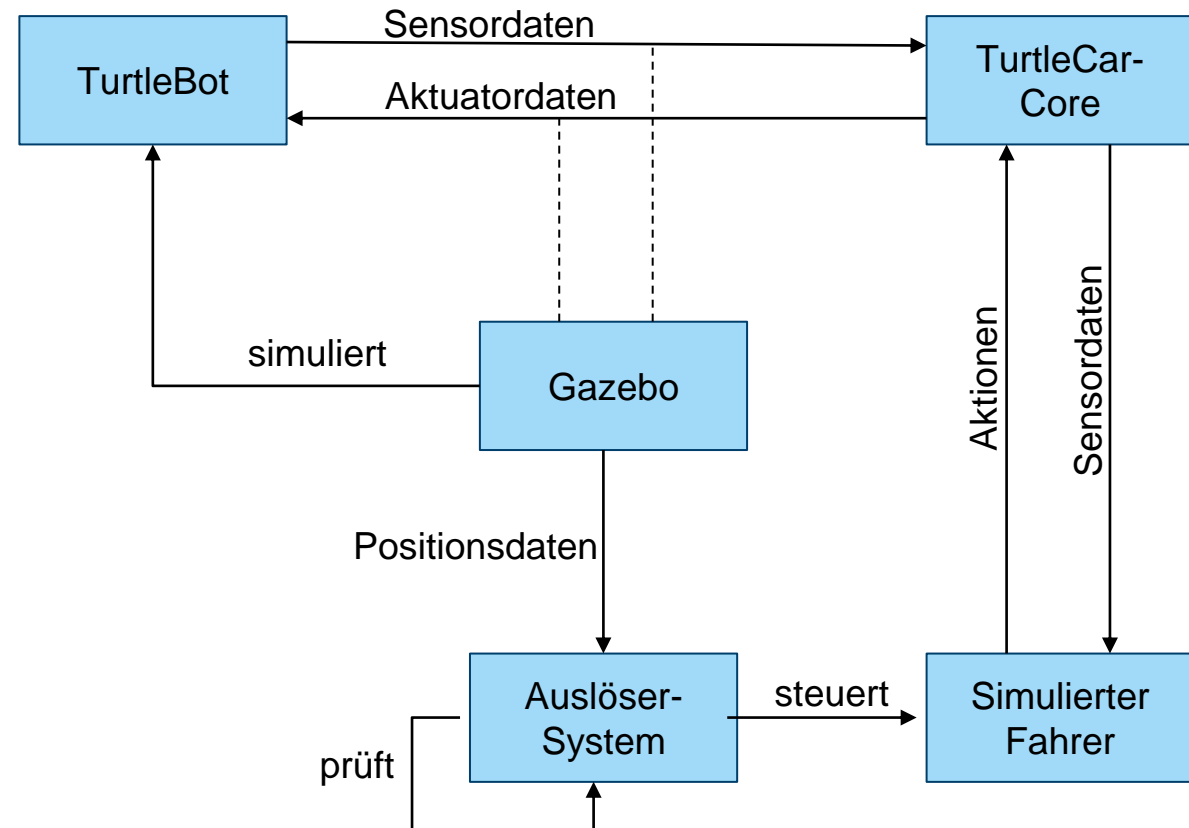
Motivation

- Tests müssen...
 - ...einfach zu schreiben sein
 - ...einfach zu lesen sein
 - ...einfach zu debuggen sein
- Entwickelte Fahrfunktionen können mit altem Testbed nicht getestet werden
- Testszenario Syntax nicht menschenlesbar

Architektur

Eigenschaften:

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



Definition von Testfällen

Startbedingungen:

- Anzahl Roboter
- Startposition / -rotation
- Fahrzeugmodell
- Zustandsautomaten

Eingabebefehle:

- Beschleunigen
- Lenken
- Bremsen
- Aktive Fahrfunktionen

Prüfkriterien:

- Absolute Position
- Relative Position
- Betreten von Bereichen
- Verlassen von Bereichen
- Rotation
- Geschwindigkeit
- Distanz zu Objekten
- ...



1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechslassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Trigger-System



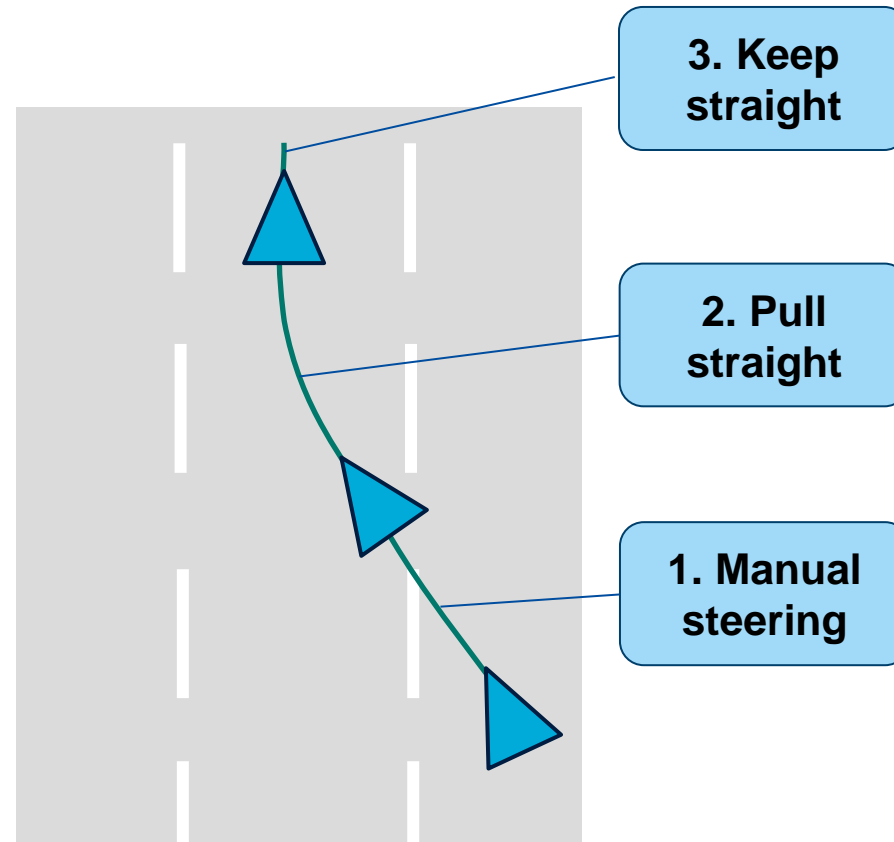
```
Trigger.in_state(<Zustand>)
```

```
.once(lambda: <Bedingungen>)
```

```
.execute(<Aktionen>)
```

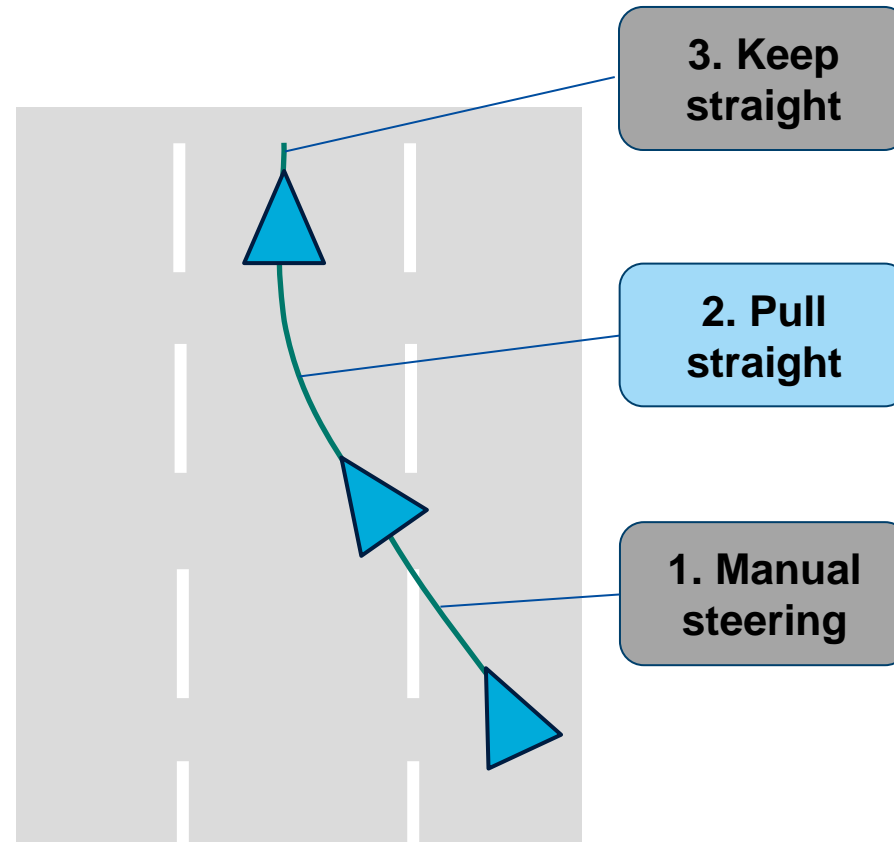
1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
- 3. Das neue Testbed**
4. Ausblick

Testablauf



1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
- 3. Das neue Testbed**
4. Ausblick

Testablauf



1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
- 3. Das neue Testbed**
4. Ausblick

Testablauf

1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
- 3. Das neue Testbed**
4. Ausblick

Testablauf

Zustand

LKA ist aktiv

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
)
```

1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Testablauf

Zustand

LKA ist aktiv

Bedingung

Turtlebot verlässt seine Fahrspur

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
) .once(  
    lambda: ego_bot.is_partially_inside(lane_left)  
        or ego_bot.is_partially_inside(lane_right),  
)
```

1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Testablauf

Zustand

LKA ist aktiv

Bedingung

Turtlebot verlässt seine Fahrspur

Aktion

Test schlägt fehl

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
) .once(  
    lambda: ego_bot.is_partially_inside(lane_left)  
        or ego_bot.is_partially_inside(lane_right),  
) .execute(  
    TestOutcome.Fail  
)
```

1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Testablauf

Zustand

LKA ist aktiv

Bedingung

Turtlebot verlässt seine Fahrspur

Aktion

Test schlägt fehl

Zustand

LKA ist aktiv

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
) .once(  
    lambda: ego_bot.is_partially_inside(lane_left)  
        or ego_bot.is_partially_inside(lane_right),  
) .execute(  
    TestOutcome.Fail  
)
```

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
)
```


1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Testablauf

Zustand

LKA ist aktiv

Bedingung

Turtlebot verlässt seine Fahrspur

Aktion

Test schlägt fehl

Zustand

LKA ist aktiv

Bedingung

10 Sekunden in der Spur bleiben

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
) .once(  
    lambda: ego_bot.is_partially_inside(lane_left)  
        or ego_bot.is_partially_inside(lane_right),  
) .execute(  
    TestOutcome.Fail  
)
```

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
) .once(  
    lambda: lka_timer.current_time() > 10.0  
)
```

Testablauf

Zustand

LKA ist aktiv

Bedingung

Turtlebot verlässt seine Fahrspur

Aktion

Test schlägt fehl

Zustand

LKA ist aktiv

Bedingung

10 Sekunden in der Spur bleiben

Aktion

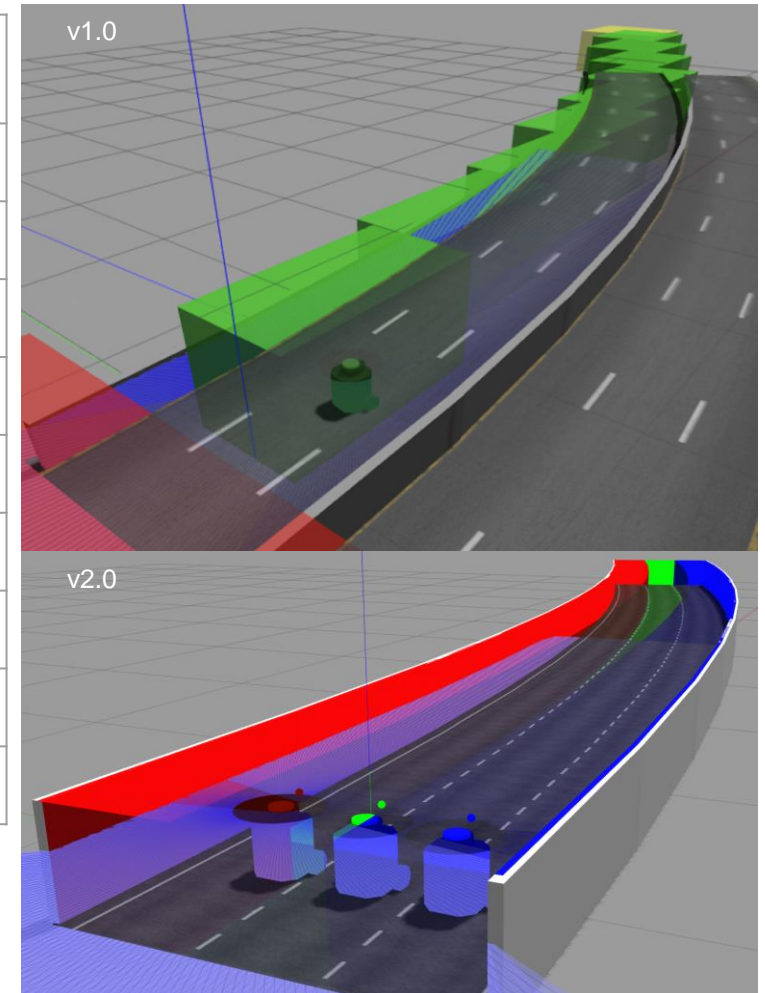
ist Test erfolgreich abgeschlossen

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
) .once(  
    lambda: ego_bot.is_partially_inside(lane_left)  
        or ego_bot.is_partially_inside(lane_right),  
) .execute(  
    TestOutcome.Fail  
)
```

```
Trigger.in_state(  
    phases_sm.in_state("lka_active")  
) .once(  
    lambda: lka_timer.current_time() > 10.0  
) .execute(  
    TestOutcome.Success  
)
```

Versionsvergleich

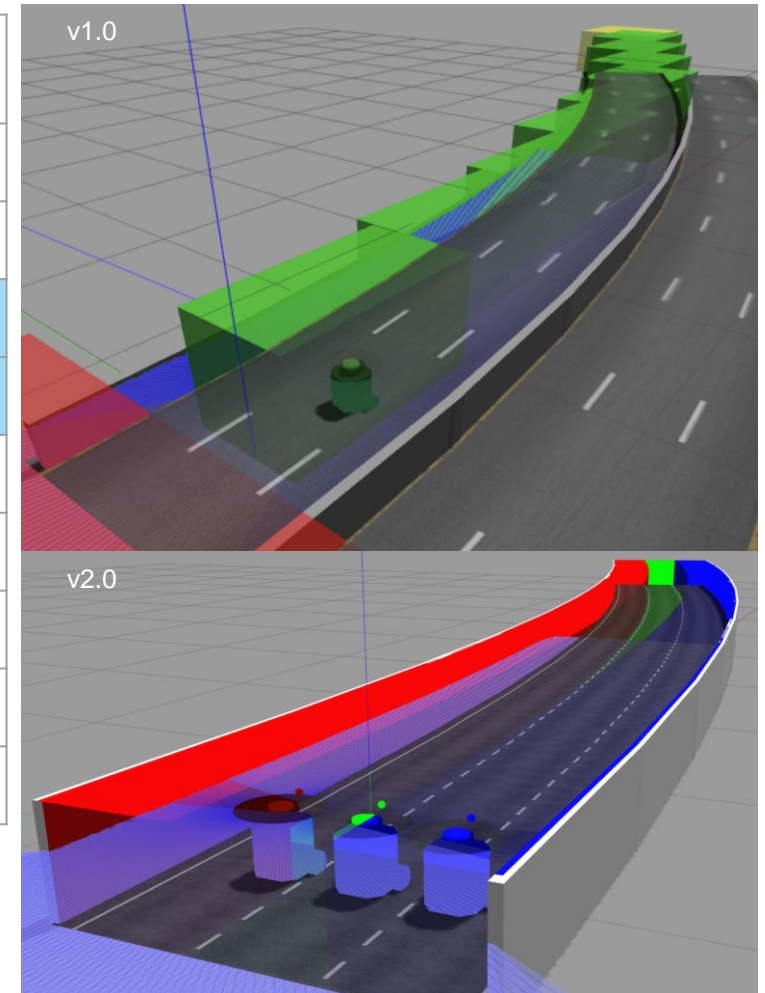
Feature	Testbed v1.0	Testbed v2.0
Statische Test-Bedingungen	✓	✓
Zeitbasiert User-Input generieren	✓	✓
Dynamische Test-Bedingungen	✗	✓
Zustandsautomaten	✗	✓
Test-Bereiche als Polygonen	✗	✓
Menschen-lesbarer Testdefinitions-Syntax	✗	✓
Testdefinition direkt von Anforderungen ableitbar	✗	✓
Test Debugging Support	✗	✓
Support für 50+ simultane TurtleBots	✗	✓



- 1. Was bisher geschah
- 2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechslassistent
- 3. Das neue Testbed
- 4. Ausblick

Versionsvergleich

Feature	Testbed v1.0	Testbed v2.0
Statische Test-Bedingungen	✓	✓
Zeitbasiert User-Input generieren	✓	✓
Dynamische Test-Bedingungen	✗	✓
Zustandsautomaten	✗	✓
Test-Bereiche als Polygonen	✗	✓
Menschen-lesbarer Testdefinitions-Syntax	✗	✓
Testdefinition direkt von Anforderungen ableitbar	✗	✓
Test Debugging Support	✗	✓
Support für 50+ simultane TurtleBots	✗	✓



- 1. Was bisher geschah
- 2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
- 3. Das neue Testbed
- 4. Ausblick

1. Was bisher geschah
2. Fahrfunktionen: Neue Entwicklungen
 - a. Spurerkennung Kamera
 - b. Hinderniserkennung
 - c. Adaptiver Tempomat
 - d. Modellprädiktive Regelung
 - e. Spurwechselassistent
3. Das neue Testbed
4. Ausblick

Testausführung

Executing Scenario: cardinal_positions.py

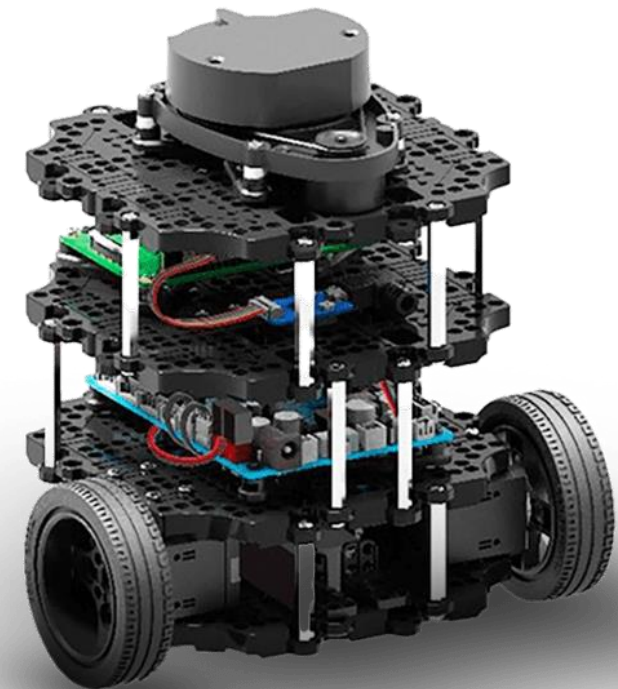
Test successful!

Testing results:

```
+-----+
|          Test Name          | Start Time | Duration | Test Status |
+-----+
| all_actions.py              | 15:38:57  | 5.373893 | SUCCESS    |
| active_driving_function.py  | 15:39:02  | 4.043784 | SUCCESS    |
| relative_positions_rotated.py | 15:39:06  | 3.864159 | SUCCESS    |
| relative_positions_partial.py | 15:39:10  | 6.009948 | SUCCESS    |
| distances.py                | 15:39:16  | 7.954255 | SUCCESS    |
| state_machine.py            | 15:39:24  | 4.586946 | SUCCESS    |
| lanes.py                    | 15:39:29  | 4.272418 | SUCCESS    |
| front_behind_check.py       | 15:39:33  | 4.356601 | SUCCESS    |
| left_right_check.py         | 15:39:37  | 4.435796 | SUCCESS    |
| spawn_2_bots.py             | 15:39:42  | 6.525441 | SUCCESS    |
| cardinal_positions.py        | 15:39:48  | 4.412251 | SUCCESS    |
+-----+
```

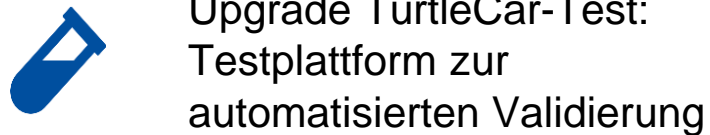
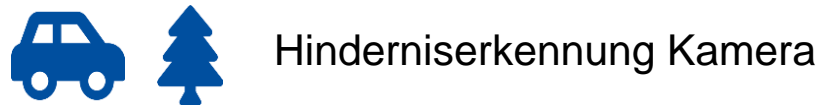
Ausblick

Simon Struck

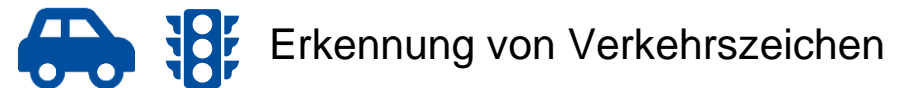
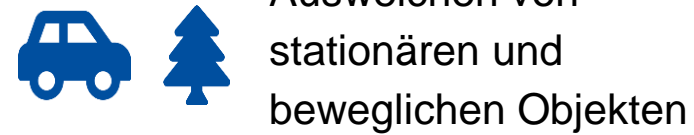
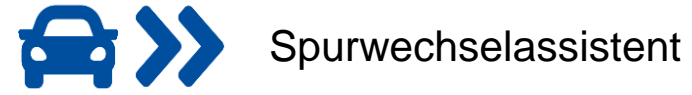


Zusammenfassung

2. Meilenstein



Nächste Schritte



Carl von Ossietzky
Universität
Oldenburg

Live-Demo

Hier, In 5 Minuten

