

# Erweiterung und Evaluierung einer Autonomous-Overtaking Funktion mit Risikobewusstsein

Jakob Schrott

Betreuer: Dr Jinwei Zhou

3. Oktober 2019

# Inhalt

- ▶ Aufgabenstellung
- ▶ Bestehender Regler
- ▶ Was ist ein sicheres Überholmanöver
- ▶ Stabilität des Fahrzeuges
- ▶ Anpassen der Prädiktion
- ▶ Simulationsaufbau
- ▶ Test-Szenarien
- ▶ Gesamt-Simulation
- ▶ Ermittlung der kritischen Lücke und Vergleich mit Menschen

# Aufgabenstellung

- ▶ Definition eines sicheren Überholmanövers
  1. Nachfolgenden Verkehr beachten
  2. Kollisionsrisiko aller Fahrzeuge minimieren
- ▶ Erweiterung eines Spurwechselreglers
  1. Sicherheitsanforderung
  2. Berücksichtigung des nachfolgenden Fahrzeuges
- ▶ Sicherheit des Manövers mit verschiedenen Kriterien überprüfen
  1. Time Headway
  2. Time to Collision
  3.  $\Delta y$

# Bestehender Regler

- ▶ Deckt ein Szenario ab
- ▶ vernachlässigt nach fahrendes Fahrzeug

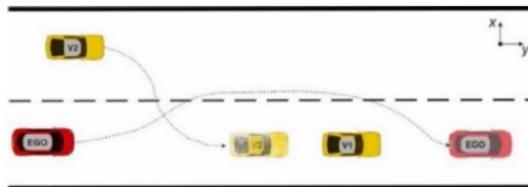


Abbildung: Abgedecktes Szenario des bestehenden Reglers

# Was ist ein sicheres Überholmanöver?

1. Das Cut-Out-Manöver muss rechtzeitig erfolgen, um nicht zu knapp an das vorher fahrenden Fahrzeug heranzufahren. Das nach fahrende Fahrzeug darf zu keinen abrupten Brems- und Ausweichmanöver gezwungen werden.
2. Der Seitenabstand zum zu überholenden Fahrzeug und Fahrbahnrändern muss eingehalten werden
3. Stabilität des Fahrzeuges während des Manövers muss gegeben sein
4. Beim Cut-In-Manöver darf das zu überholende Fahrzeug zu keinem abrupten Brems- oder Ausweichmanöver gebracht werden.

# Lösungsideen zur Implimentierung des sicheren Übermanövers

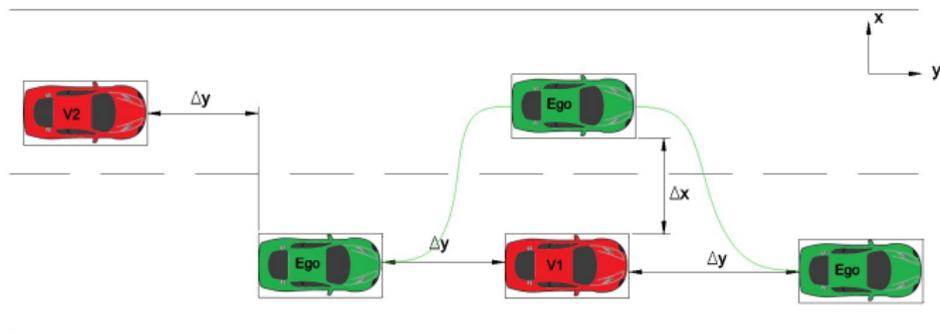


Abbildung: Skizze eines sicheren Überholmanövers

1. Kritische Lücke
2. Seitenabstands- und Beschleunigungsbeschränkung
3. Beschleunigungsbeschränkung
4. Kritische Lücke

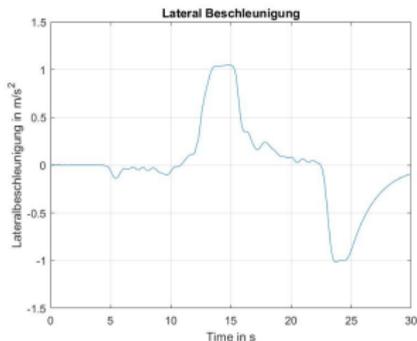
# Stabilität des Fahrzeuges

- ▶ Den Regler eine definierte Lateralbeschleunigung nicht überschreiten lassen
  1. Um ein Überschwingen beim Überholmanöver zu vermeiden
  2. Um den Komfort der Fahrzeuginsassen möglichst hoch zu halten
  3. Um die Stabilität des Fahrzeuges zu gewährleisten

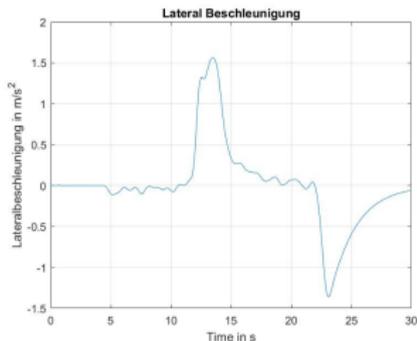
Parameter für maximale Beschleunigung sind falsch eingestellt

# Lateral-Beschleunigungen bei verschiedenen Werten

$$\text{Constraint: } |a_{Lat}| < a_{Lat,max}$$



(a) Lateralbeschleunigung mit  $a_{Lat,max} = 1 \text{ m/s}^2$



(b) Lateralbeschleunigung mit  $a_{Lat,max} = 5 \text{ m/s}^2$

# Gesamtbeschleunigung

- ▶ Maximale Beschleunigung soll komfortabel sein
- ▶ Es soll eine maximale Gesamtbeschleunigung nicht überschritten werden
  - ▶ Diese Constraint soll über eine lineare Funktion implementiert werden, um den Rechenaufwand des Reglers minimal zu halten

# Kamm'scher Kreis mit Komfort-Raute

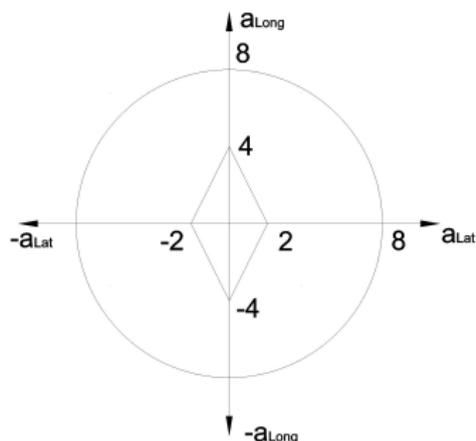


Abbildung: Kamm'scher Kreis und Raute mit komfortabler Beschleunigung

# Berücksichtigung des nach fahrenden Fahrzeuges

- ▶ Soll das Kollisionsrisiko mit nach fahrenden Fahrzeug möglichst gering halten
- ▶ Der Regler soll abrupte Brems- oder Ausweichmanöver anderer Fahrzeuge vermeiden, durch genügend Sicherheitsabstand
- ▶ Prädiktion muss angepasst werden, um das Kollisionsrisiko richtig abzuschätzen
- ▶ die Beschränkungen müssen dafür angepasst werden

# Anpassung der Prädiktion

- ▶ Prädiktion ist nicht genau
- ▶ Bei bestehenden Regler wird langsamer geschätzt als tatsächlich
- ▶ Nach der Anpassung soll der Regler das nach fahrende Fahrzeug schneller schätzen, weil er dadurch mehr Sicherheit erreicht

## Verbesserte Prädiktion

- ▶ Schätzung der Geschwindigkeit des bestehenden Reglers

$$v_{U,lb}(k+i|k) = v_{U,mean}(k+i|k) - \frac{v_{U,sd}(k+i|k)}{\sqrt{\alpha}}, 0 < \alpha < 1$$
$$v_{U,ub}(k+i|k) = v_{U,mean}(k+i|k) + \frac{v_{U,sd}(k+i|k)}{\sqrt{\alpha}}, 0 < \alpha < 1$$

(1)

- ▶ Schätzung der Geschwindigkeit des verbesserten Reglers

$$v_{U,lb}(k+i|k) = v_{U,mean}(k+i|k) + \frac{v_{U,sd}(k+i|k)}{\sqrt{\alpha}}, 0 < \alpha < 1$$
$$v_{U,ub}(k+i|k) = v_{U,mean}(k+i|k) - \frac{v_{U,sd}(k+i|k)}{\sqrt{\alpha}}, 0 < \alpha < 1$$

(2)

- ▶ Durch Vorzeichenumkehr wird das nach fahrende Fahrzeug schneller geschätzt als es ist

# Aufbau des Simulation-Scenarios

- ▶ zweispurige Straße
- ▶ drei Verkehrsteilnehmer

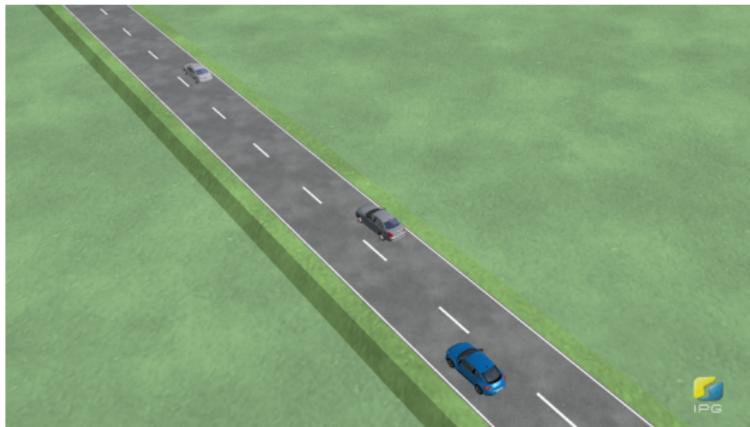


Abbildung: Simulations-Szenario

# Simulation

- ▶ Test Szenario mit unterschiedlichen Startwerten
  - ▶ Ego-Fahrzeug lässt nach fahrendes Fahrzeug passieren  
Szenario 1
  - ▶ Ego-Fahrzeug überholt vor nach fahrenden Fahrzeug  
Szenario 2
- ▶ Gesamt Simulation
  - ▶ Startgeschwindigkeit des nach fahrenden Fahrzeuges wird variiert 26-45 m/s
  - ▶ Startposition des nach fahrenden Fahrzeuges wird zwischen 0-100 m variiert

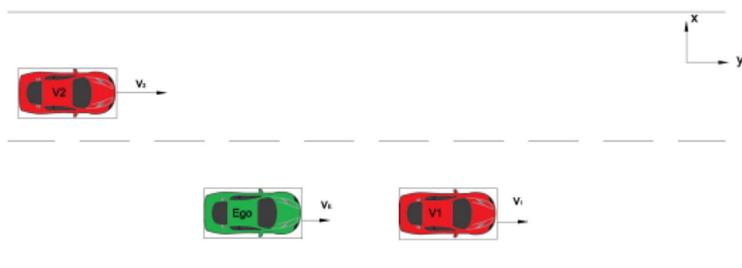


Abbildung: Anfangsordnung des Szenarios

# Test Szenarien

	Szenario 1		Szenario 2	
Fahrzeug	$y_{0,in}$ in m	$v_{0,in}$ in km/h	$y_{0,in}$ in m	$v_{0,in}$ in km/h
EGO	120	110	120	110
V1	240	90	200	90
V2	0	140	0	140

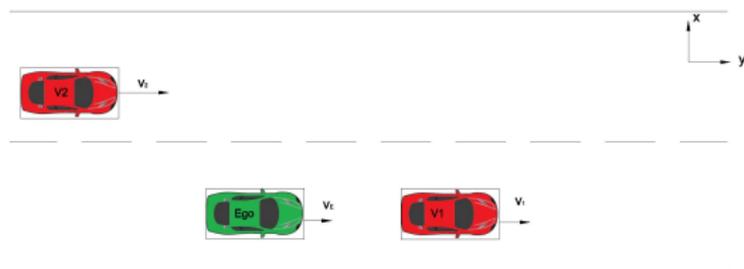


Abbildung: Simulations-Szenario

# Auswertung

- ▶ Lateral-Position über Längs-Position der Fahrzeuge zur Veranschaulichung des Videos
- ▶ Beschleunigung des Ego-Fahrzeuges
- ▶ Risiken des Manövers (TTC, THW und  $\Delta y$ )

# Skizze zu Time to Collision und Time Headway

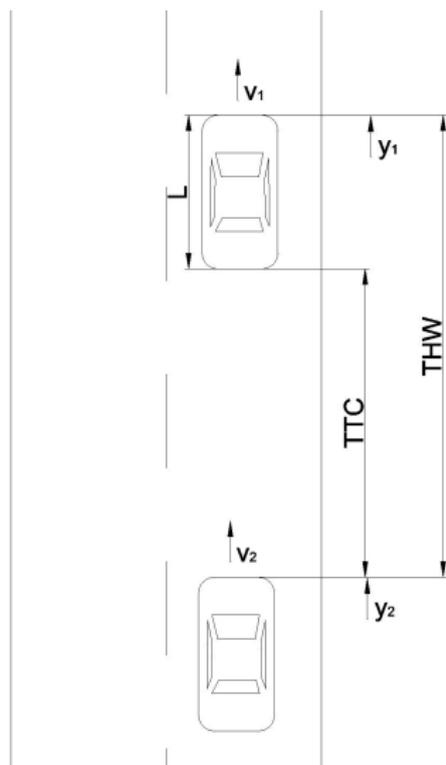


Abbildung: Skizze für Time Headway und Time to Collision

# Time to Collision (TTC) und Time Headway (THW)

- ▶ Time to Collision

Beschreibt die Zeit die zwei Fahrzeuge brauchen um zu kollidieren und die Risikofunktion ergibt sich zu:

$$R = \frac{v_2 - v_1}{y_1 - y_2 - L} \text{ for } v_2 > v_1$$

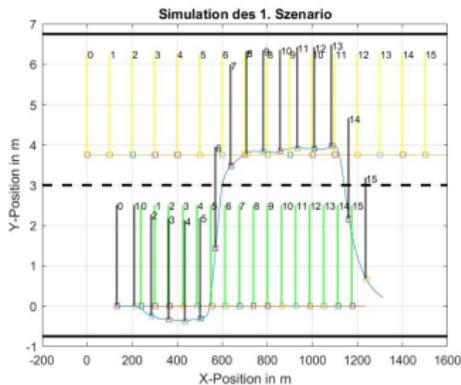
Wobei L die Fahrzeuglänge ist

- ▶ Time Headway

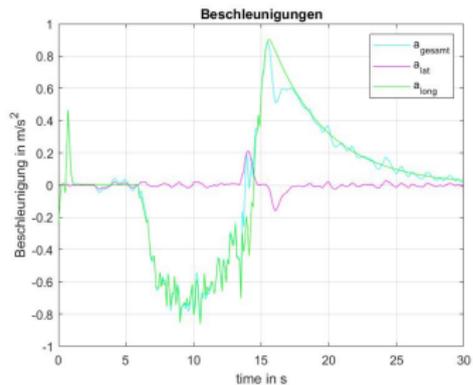
Beschreibt den Zeitabstand der Front des Nachfahrenden Autos zur Front des Vorherfahrenden Autos und die Risiko-Funktion ergibt sich zu:

$$R = \frac{v_2}{y_1 - y_2}$$

# Szenario 1

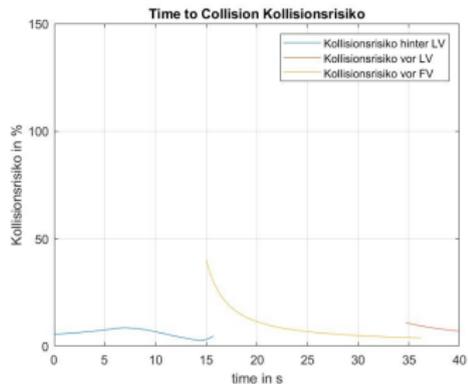


(a) Lateral-Position über Längs-Position der Fahrzeuge

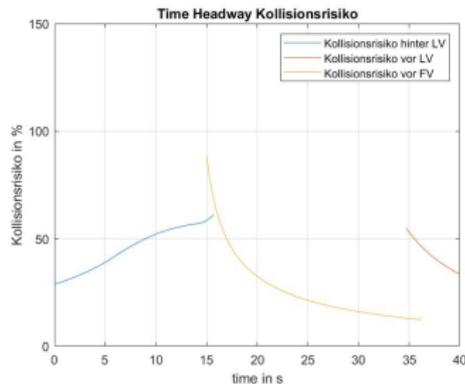


(b) Beschleunigungen des Ego-fahrzeugs während des 1. Szenarios

# Szenario 1



(c) Kollisionsrisiko nach TTC

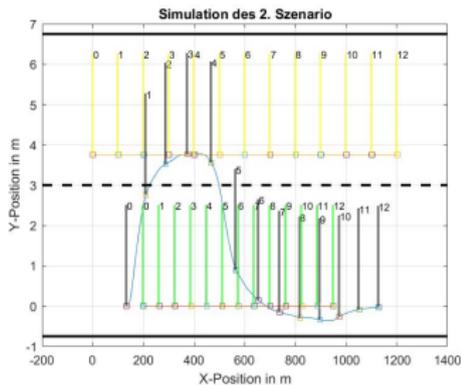


(d) Kollisionsrisiko nach THW

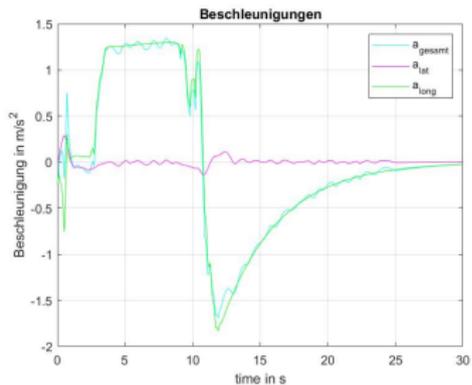
- ▶ Durch Überholmanöver kommt die Unterbrechung zustande
- ▶ Zeigt die Kollisionswahrscheinlichkeit in Prozent
- ▶ LV bezeichnet vorher fahrendes Fahrzeug und FV bezeichnet nach fahrendes Fahrzeug
- ▶ Kollisionsrisiko hinter FV nach dem Überholmanöver entfällt weil die Bedingung für Time to Collision nicht erfüllt ist

$$v_{FV} > v_E$$

# Szenario 2

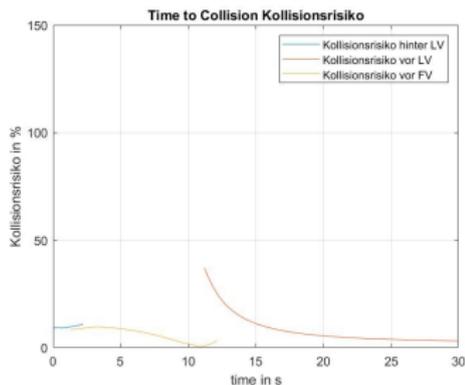


(e) Lateral-Position über Längs-Position der Fahrzeuge

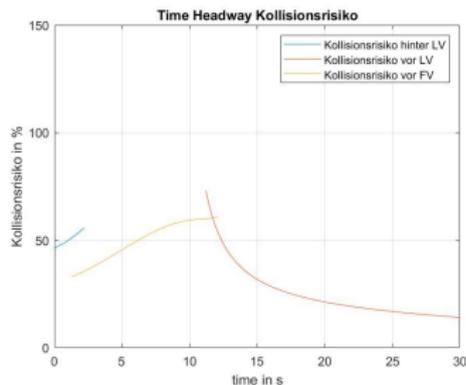


(f) Beschleunigungen des Ego-fahrzeugs während des 1. Szenarios

## Szenario 2



(g) Kollisionsrisiko nach TTC



(h) Kollisionsrisiko nach THW

- ▶ Durch Überholmanöver kommt die Unterbrechung zustande
- ▶ Zeigt die Kollisionswahrscheinlichkeit in Prozent
- ▶ LV bezeichnet vorher fahrendes Fahrzeug und FV bezeichnet nach fahrendes Fahrzeug

# Gesamt Simulation

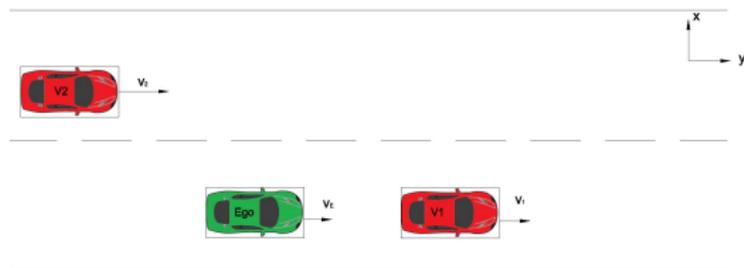
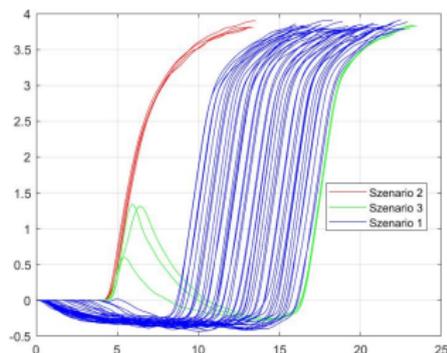


Abbildung: Simulations-Szenario

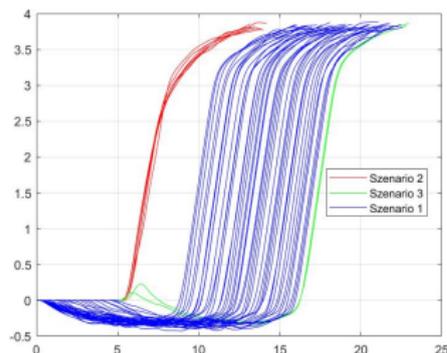
- ▶ Erwartetes Ergebnis sind die zwei Testszenarien
- ▶ Auswertung und Vergleich der beiden Regler
- ▶ Eine Beurteilung anstellen welcher besser geeignet ist

# Ergebnis der Simulation

- ▶  $v_{2,in} = 140 \text{ km/h}$



(a) Lateral-Position über Zeit des bestehenden Reglers

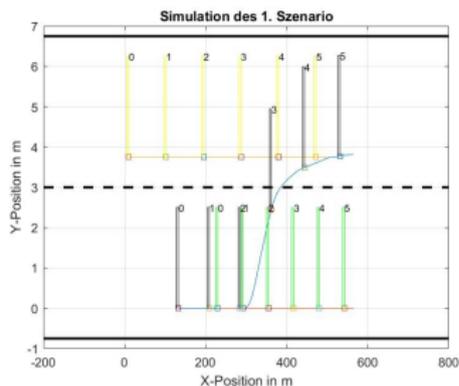
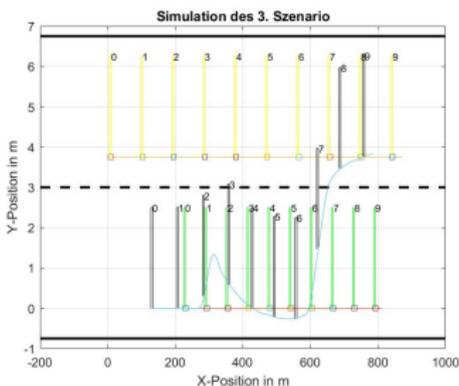


(b) Lateral-Position über Zeit des verbesserten Reglers

- ▶ In der Gesamten Simulation die Kurzen Ausschler-Manöver von elf auf neun reduziert und sie sind weniger stark ausgeprägt

# Direkter Vergleich einer Trajektorie

- Vergleich anhand der Lateral-Position  
Bestehender Regler  
Verbesserter Regler

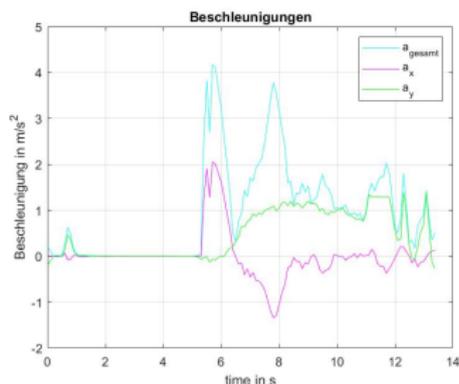
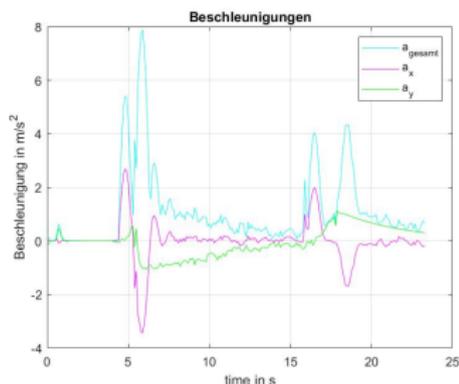


(c) Lateral-Position über Längs-Position der Fahrzeuge des bestehenden Reglers

(d) Lateral-Position über Längs-Position der Fahrzeuge des verbesserten Reglers

# Vergleich der Beschleunigung

## ► Vergleich anhand der Beschleunigungen



(e) Beschleunigungen des Ego-Fahrzeugs des bestehenden Reglers

(f) Beschleunigungen des Ego-Fahrzeugs des verbesserten Reglers

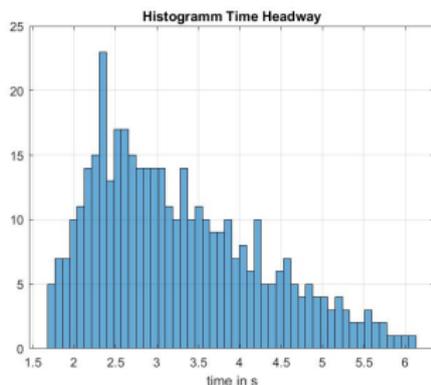
# Vergleich Regler und Mensch

- ▶ Vergleich an der minimalen Lücken Akzeptanz

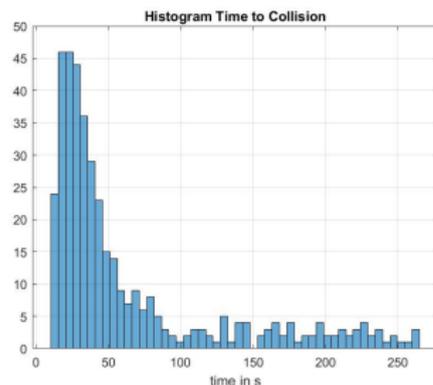
Fahrer	$TTC_{min}$ in s	$THW_{min}$ in s	$\Delta y_{min}$ in m
Regler	10	1.7	48
Mensch	1.01	0.32	10.2

- ▶ Lücken werden anhand von TTC und THW berechnet
- ▶ Werte für Menschen wurden aus Paper entnommen
- ▶ Geringster Abstand der für Menschen und Regler ausreichen um Auszuscheren

# Histogramme



(g) Histogramm der THW Zeit



(h) Histogramm der TTC Zeit

- ▶ Zeigt die TTC- und THW-Zeit zu nach fahrenden Fahrzeug zu Beginn des Überholmanövers
- ▶ Es wurden nur Fälle verwendet, welche dem 1 Szenario ähnlich sind

# $\Delta y$ Histogramm

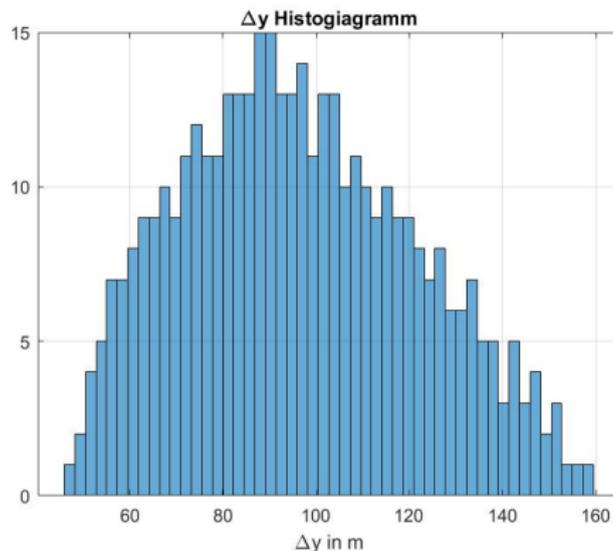


Abbildung: Histogramm der Positionsdivergenz

- Zeigt die Längs-Positionsdivergenz am Anfang des Überholmanövers