

Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp



Vorlesungsübersicht

01 Einführung 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	01 Einführung 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	01 Übung Einführung 28.04.2022 – Hoffmann
02 Sensorik / Wahrnehmung I 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	02 Sensorik / Wahrnehmung I 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	02 Sensorik / Wahrnehmung I 05.05.2022 – Prof. Lienkamp
03 Sensorik / Wahrnehmung II 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	03 Sensorik / Wahrnehmung II 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	03 Übung Sensorik / Wahrnehmung II 12.05.2022 – Schimpe
04 Sensorik / Wahrnehmung III 19.05.2022 – Schimpe	04 Sensorik / Wahrnehmung III 19.05.2022 – Schimpe	04 Übung Sensorik / Wahrnehmung III 19.05.2022 – Schimpe
05 Funktionslogik / Regelung 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	05 Funktionslogik / Regelung 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	05 Funktionslogik / Regelung 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler
06 Übung Funktionslogik / Regelung 09.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	06 Funktionale Systemarchitektur 09.06.2022 – Prof. Lienkamp	06 Aktorik 09.06.2022 – Prof. Lienkamp
07 Deep Learning 23.06.2022 – Majstorovic	07 Deep Learning 23.06.2022 – Majstorovic	07 Übung Deep Learning 23.06.2022 – Majstorovic
08 MMI 30.06.2022 – Prof. Bengler	08 MMI 30.06.2022 – Prof. Bengler	08 MMI Übung 30.06.2022 – Prof. Bengler
09 Controllability 07.07.2022 – Prof. Bengler	09 Controllability 07.07.2022 – Prof. Bengler	09 Übung Controllability 07.07.2022 – Winkle
10 Entwicklungsprozess 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	10 Entwicklungsprozess 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	10 Übung Entwicklungsprozess 14.07.2022 – Hoffmann
11 Analyse und Bewertung FAS 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig	11 Analyse und Bewertung FAS 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig	11 Übung Analyse und Bewertung FAS 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig
12 Aktuelle und künftige Systeme 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	12 Aktuelle und künftige Systeme 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	12 Aktuelle und künftige Systeme 28.07.2022 – Prof. Lienkamp

Leitfragen

05 – Funktionslogik und Regelung

- Wie funktionieren verschiedene Ausprägungen der Quer- und Längsführung?
- Wie sind verschiedene Maßnahmen zur Zielobjektauswahl bei der Längsführung umgesetzt?
- Welche Ansätze bei der Folgeregelung und Querführung gibt es, wie funktionieren sie und wie können sie bewertet werden?
- Wie können Störungen im System berücksichtigt werden?

- 不同类型的横向和纵向引导是如何工作的?

- 纵向制导如何实施不同的目标对象选择措施?

- 顺序控制和横向控制有哪些方法, 它们如何工作, 如何评估?

- 如何考虑系统中的干扰?

Funktionslogik und Regelung

Dr.-Ing. Franz Winkler

Agenda

1. Einführung Methoden und Anforderungen
2. Längsführung
3. Querführung



Funktionslogik und Regelung

Dr.-Ing. Franz Winkler

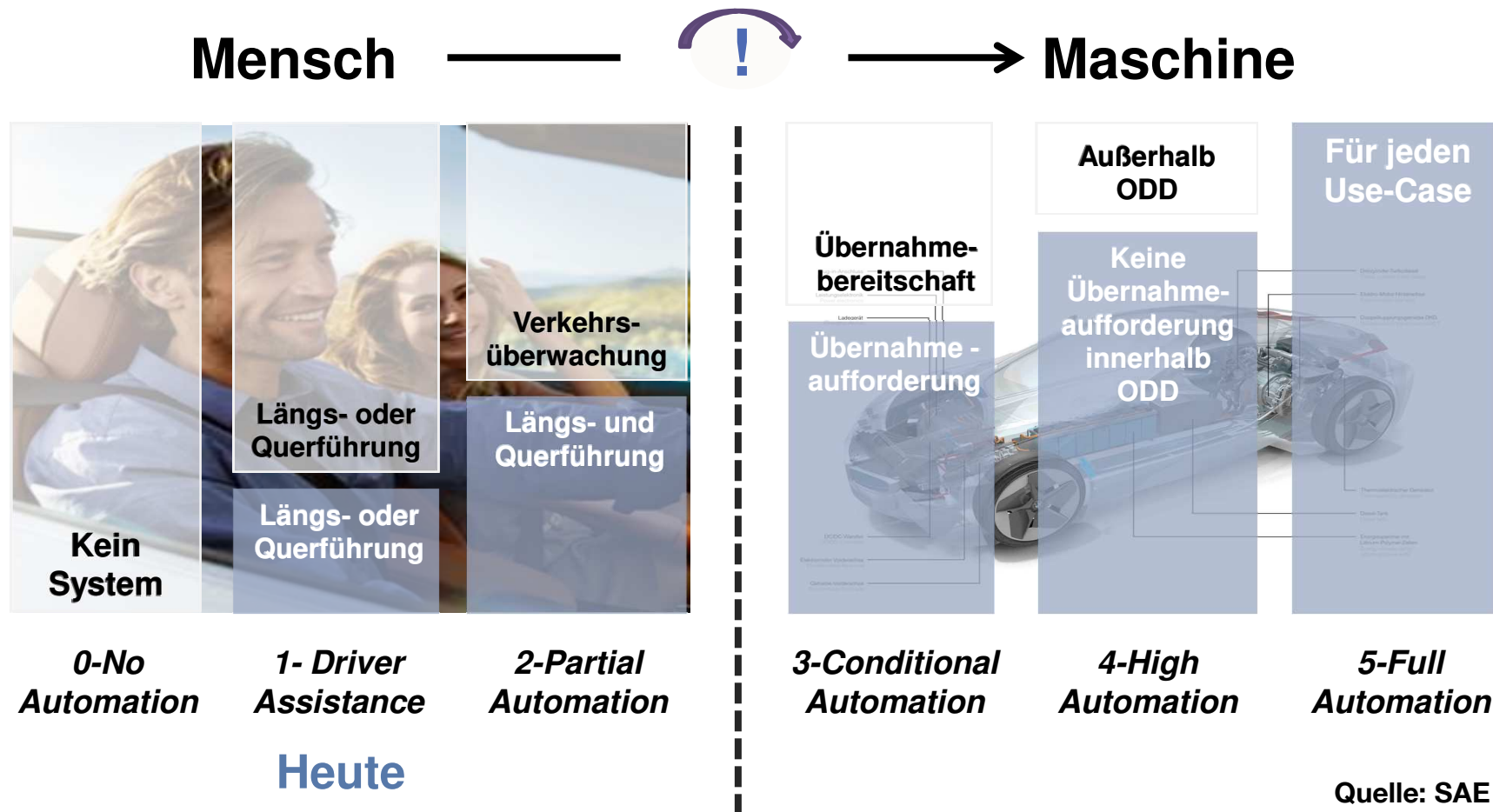
Agenda

1. Einführung Methoden und Anforderungen
 - Definition der Automatisierungsgrade
 - Einteilung der Fahrerassistenzfunktionen
 - Herausforderung einer teilautomatisierten Funktion
 - Anforderungen
 - 3-Ebenen-Modell
 - Aufbau einer Fahrerassistenzfunktion
 - In der Vorlesung behandelte Fahrerassistenzfunktionen



Einführung

Definition der Automatisierungsgrade



Kommentarfolie

Heute ist Teilautomatisierung in ersten Funktionen Realität (Hands-off-Betrieb bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten oder für wenige Sekunden bei Daimler und BMW). Auch bereits sehr komfortabel ausgelegte Lane Keeping Assist bei Audi, VW, Lexus, Infiniti, die eigentlich zu Stufe 1 zählen, kommen dem im Kundenerleben schon sehr nahe.

Mit Hochautomatisiertem Fahren (HaF) entstehen völlig neue Möglichkeiten: „Use of HaF-Time“. Gesetzliche, technische, betriebswirtschaftliche und haftungsrelevante Hürden sind zu meistern.

Beispiele zu den Stufen:

Stufe 1: Adaptive Cruise Control

Stufe 2: Stauassistent

Stufe 3: Autobahncopilot

Stufe 4: Vision für Premium-Mobilität auf Autobahnen und in Innenstädten

Stufe 5: System besitzt keine Einschränkung hinsichtlich der ODD

Operational Design Domain (ODD): „Operating conditions under which a given driving automation system or feature thereof is specifically designed to function, including, but not limited to, environmental, geographical, and time-of-day restrictions, and/or the requisite presence or absence of certain traffic or roadway characteristics.“ [SAE J3016]

Quelle: BAST, SAE, VDA

Einführung

Herausforderungen von Level 1 und Level 2 Funktionen

- Hohe Verfügbarkeit
- Kooperatives Fahrverhalten
- Minimierung von Störungen/Irritationen des Fahrers
- Hinweise nur für den Fahrer bemerkbar
- Transparente Bedienung und Reaktion auf Situationen
- Reproduzierbares Verhalten
- Verdeutlichung der Systemgrenzen, um zu hohes Vertrauen in die Funktion zu vermeiden

- 高可用性

- 合作驾驶行为

- 最大程度减少对驾驶员的干扰/刺激

- 只有驾驶员能注意到的迹象

- 透明的操作和对情况的反应

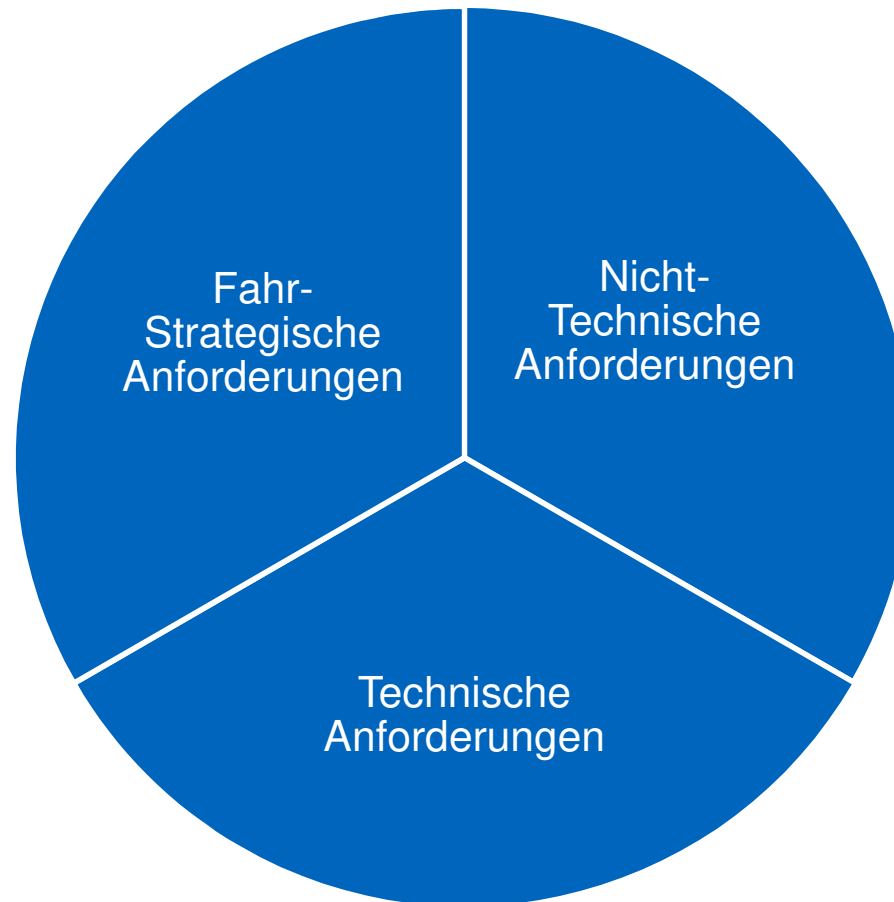
5 Funktionslogik und Regelung → 5.1 Einführung, Methoden und Anforderungen

- 可重复的行为

- 明确系统限制，避免对功能过于自信

Einführung

Anforderungen



Einführung

Fahrstrategische Anforderungen

- Manövrieren durch komplexe Verkehrssituationen
- Vermeidung kritischer Situationen
- Umgang mit wechselnden Umfeldinformationen
- Einhaltung der Verkehrsregeln
- Störungsfreier Verkehrsfluss

- 在复杂的交通环境中操控

- 避免紧急情况

- 应对不断变化的环境信息

- 遵守交通法规

- 畅通无阻的交通

- 在走廊中引导车辆
- 满足客户对特定功能的要求
- 动态路径引导
- 实现的准确性
- 所有合作程度的操作及其转换
- ...对于所有

Einführung

Technische Anforderungen

- Führung des Fahrzeugs in einem Korridor
- Erfüllung kundenfunktionsspezifischer Anforderungen an:
 - Dynamik der Bahnführung
 - Genauigkeit der Umsetzung
- Bedienung sämtlicher Kooperationsgrade und deren Übergänge
...für alle
 - Derivate
 - Beladungszustände
 - Bereifung
 - Reibwerte
 - Sonderausstattungen
 - Hardwarevarianten
 - Fahrzeuggeschwindigkeiten
 - Straßenbeschaffenheiten

- 衍生产品
- 装载条件
- 轮胎
- 摩擦系数
- 特殊设备
- 硬件变体
- 车辆速度
- 路况

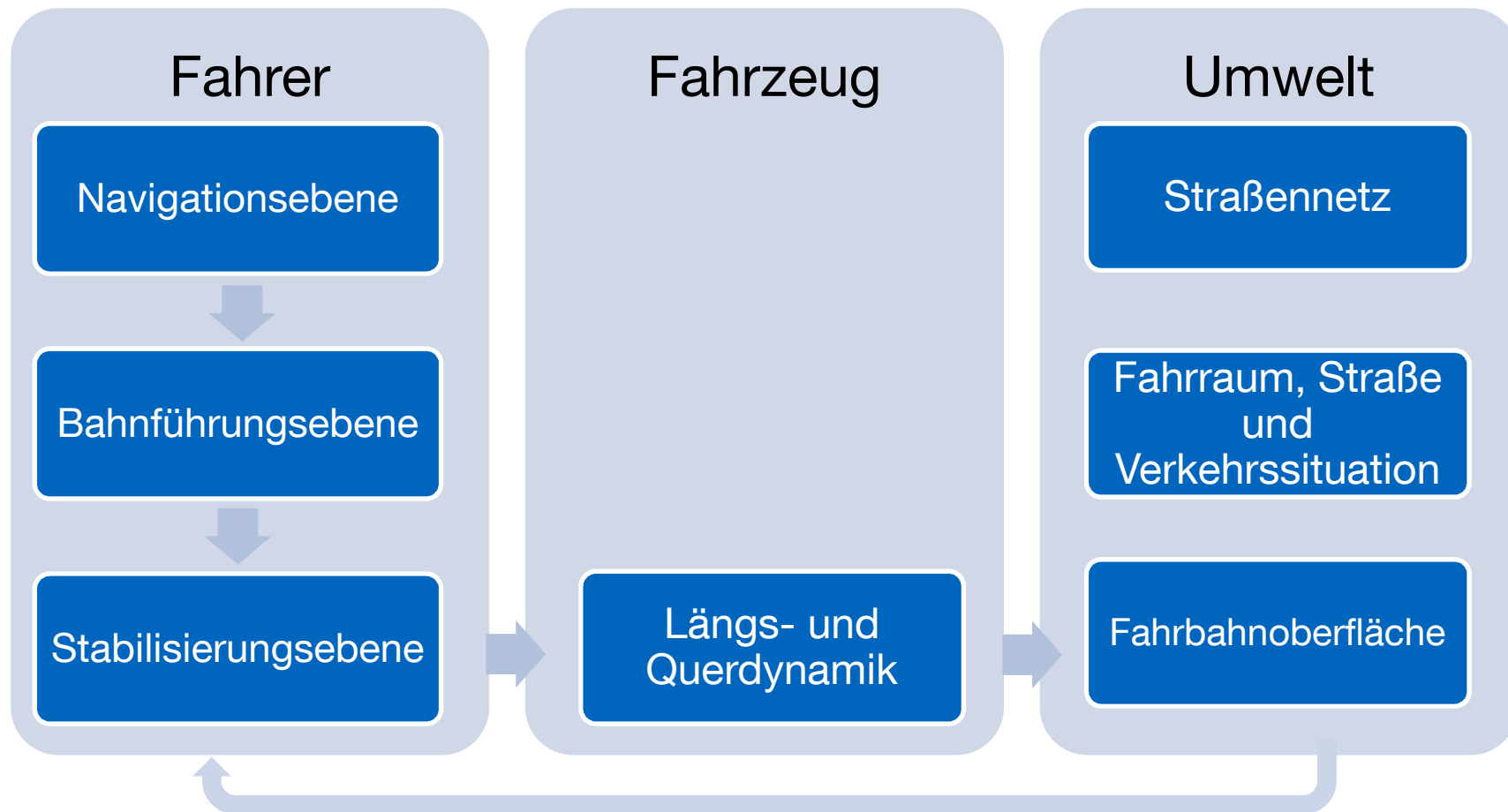
Einführung

Nicht-technische Anforderungen

- Geringer Applikations- und Absicherungsaufwand
- Geringer Ressourcenaufwand (Rechenzeit, Speicherbedarf)
- Vorwärtskompatibilität / Zukunftsfähigkeit
- Skalierbarkeit
- Analysefähigkeit (Komplexitätshandhabung)
- Sichere Implementierung
 - 申请和保护成本低
 - 资源要求低 (计算时间、内存要求)
 - 前向兼容性/未来可行性
 - 可扩展性
 - 分析能力 (复杂性处理)
 - 安全实施

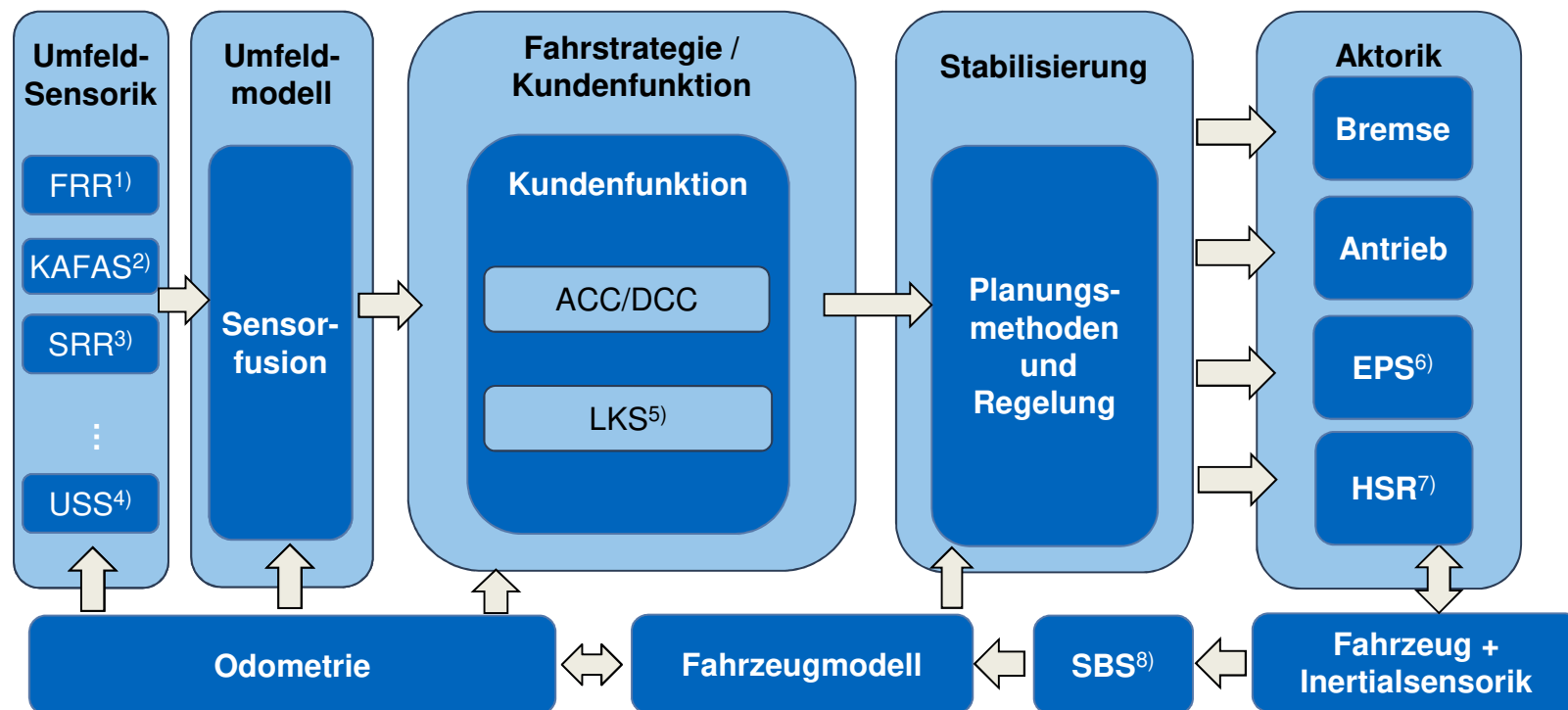
Einführung

Beschreibung der Fahraufgabe: Drei-Ebenen-Modell



Einführung


Aufbau einer Fahrerassistenzfunktion



- ¹⁾ Full range radar; ²⁾ Kamera Fahrerassistenzsysteme; ³⁾ Short range radar;
⁴⁾ Ultraschall-Steuergerät; ⁵⁾ Lane keeping support; ⁶⁾ Electronic power steering (Lenkung);
⁷⁾ Hinterachslenkung; ⁸⁾ Signalbereitstellungsschicht

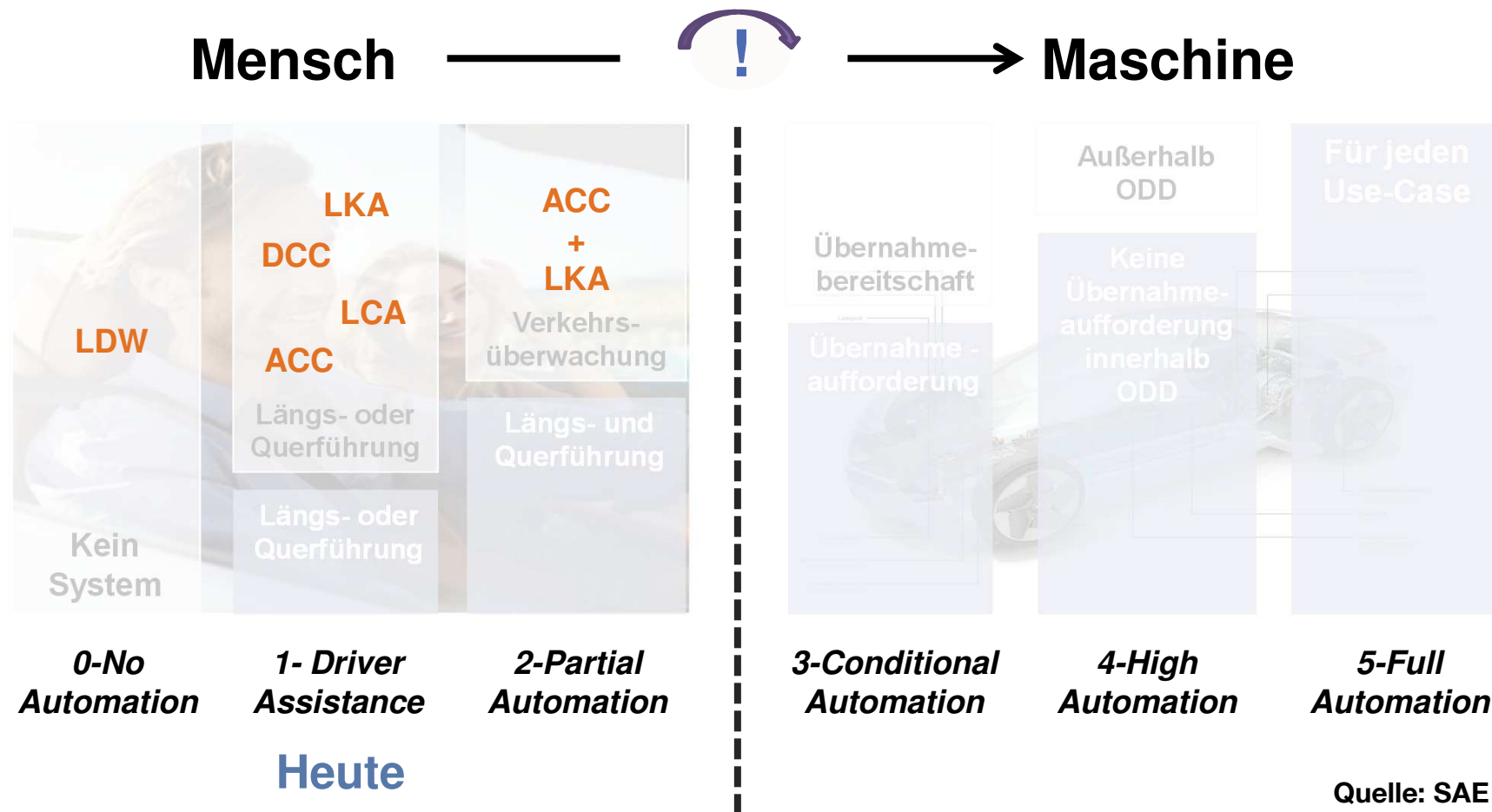
Einführung

In der Vorlesung behandelte Fahrerassistenzfunktionen

- 
- Dynamic Cruise Control (DCC)
 - Adaptive Cruise Control (ACC)
 - Lane Departure Warning (LDW)
 - Lane Keeping Assist (LKA)
 - Lane Change Assist (LCA)

Einführung

In der Vorlesung behandelte Fahrerassistenzfunktionen



Quelle: SAE

Funktionslogik und Regelung

Dr.-Ing. Franz Winkler

Agenda

1. Einführung Methoden und Anforderungen
2. Längsführung
3. Querführung



Funktionslogik und Regelung

Dr.-Ing. Franz Winkler

Agenda

1. Einführung Methoden und Anforderungen
2. Längsführung
 - Definitionen
 - Ziele
 - Herausforderungen ACC/DCC
 - Konzepte von ACC
 - Ausprägungen von ACC
 - Sensorsetup und Systemstruktur
 - Zielobjektauswahl
 - Systemzustände und Zustandsübergänge
 - Regelungstechnische Umsetzung
 - Folgeregelung
 - Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie



Definitionen

Funktionsdefinition: Dynamic Cruise Control (DCC)

Geschwindigkeitsregelung zur Einhaltung einer vom Kunden vorgegebenen Wunschgeschwindigkeit durch Eingriff in Gas oder Bremse. Die verzögernde Wirkung kann dabei je nach Systemausprägung auch durch die Motorbremswirkung erzielt werden.

速度控制，通过踩油门或刹车，保持客户指定的理想速度。根据系统配置的不同，减速效果也可以通过发动机制动效果来实现。

Ausprägungen:

特点

- 仅利用驱动器:

- 动力有限，所需速度降低

- 下坡行驶时控制目标实现有限

- 利用驱动和制动:

- 充分利用功能的整个允许动态范围

■ Nutzung ausschließlich des Antriebs:

□ Beschränkte Dynamik bei Verringerung der Wunschgeschwindigkeit

□ Beschränkte Realisierung des Regelziels bei Bergabfahrt

■ Nutzung von Antrieb und Bremse:

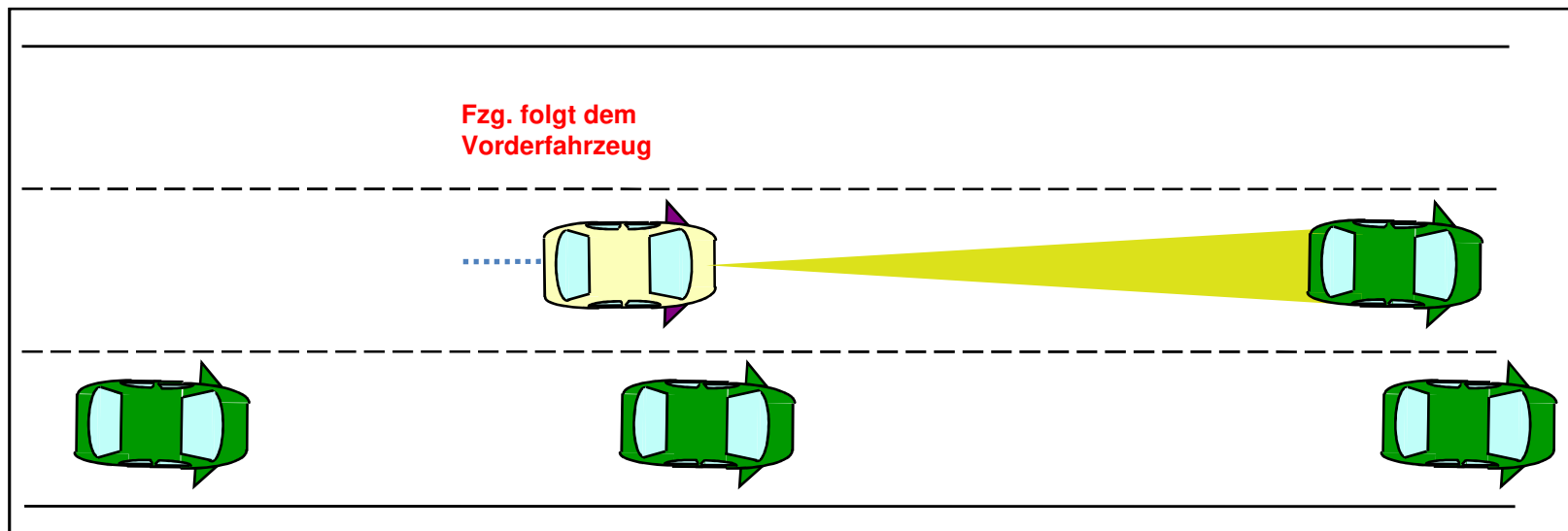
□ Nutzbarkeit des gesamten erlaubten Dynamikbereichs der Funktion

Definitionen

将 DCC 扩展到包括前车距离控制，当预期速度偏离车速或检测到前方有速度较慢的车辆时，干预油门或刹车。

Funktionsdefinition: Adaptive Cruise Control (ACC)

Erweiterung von DCC um eine Abstandsregelung auf vorausfahrende Fahrzeuge durch Eingriff in Gas oder Bremse, falls die Wunschgeschwindigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit abweicht oder ein langsamer fahrendes Vorderfahrzeug detektiert wird.



 Abstandssensor, Fernbereich

Quelle: Maurer, TUBS

Kommentarfolie

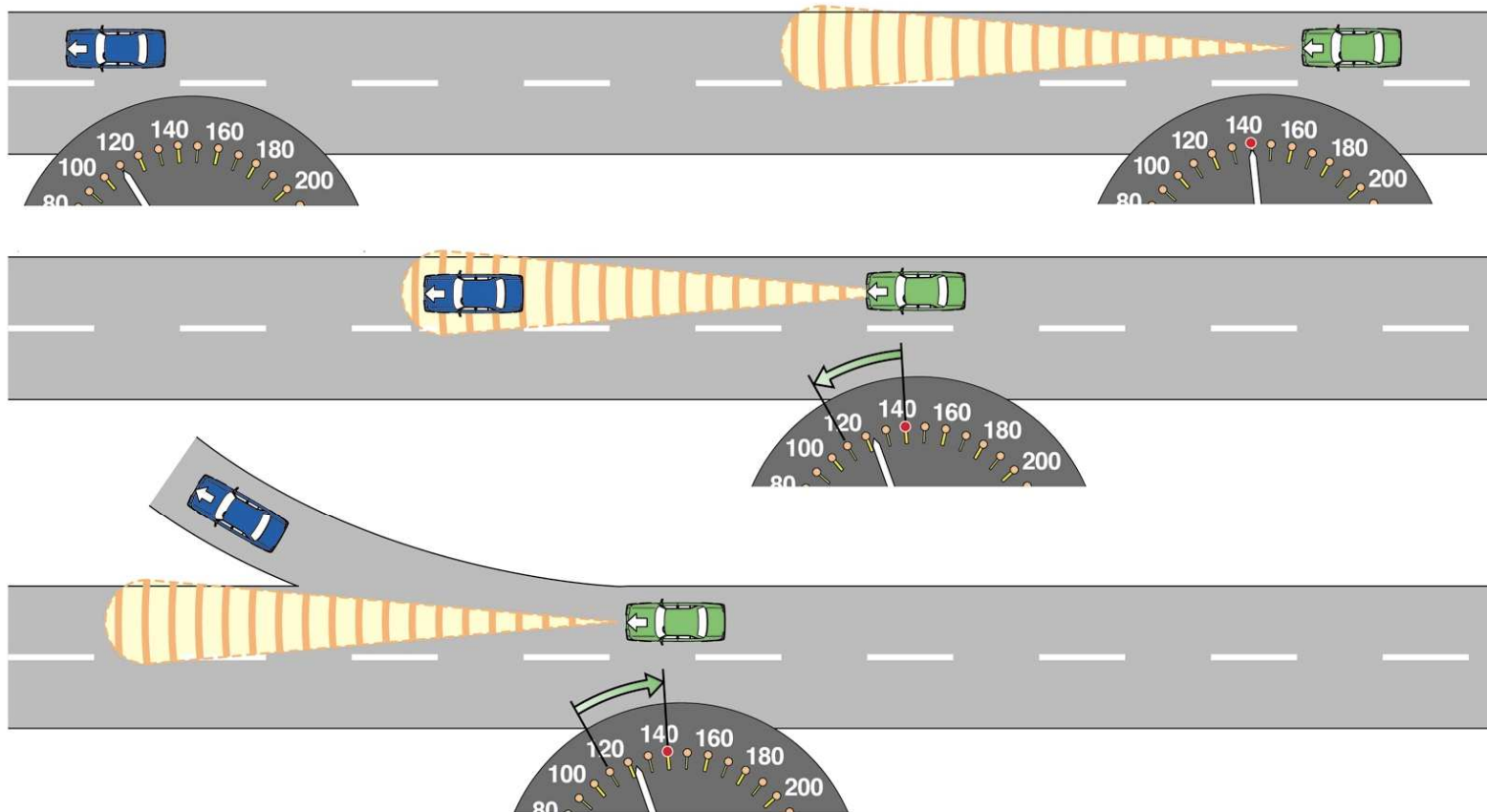
Oben: ACC regelt die gewünschte Geschwindigkeit wie eine herkömmliche CC ein. Besonderheit hier: die Wunschgeschwindigkeit wird im Tacho angezeigt.

Mitte: entdeckt das ACC-Radar ein langsames vorausfahrendes Fahrzeug, so wird die Geschwindigkeit auf die des Vordermanns gedrosselt bzw. evtl. auch gebremst. In einem geschwindigkeitsabhängigen Abstand folgt das ACC-Fahrzeug diesem Fahrzeug bis...

Unten: ...sich die Wege der beiden Fahrzeuge trennen. Dann wird auf ein anderes Fahrzeug geregelt oder die Wunschgeschwindigkeit wieder aufgenommen.

Definitionen

Grundprinzip von Adaptive Cruise Control (ACC)



Quelle: Winner2009

Kommentarfolie

Definitionen

Gerade in Europa war die Dynamic Cruise Control nur unter günstigen Verkehrsbedingungen einsetzbar, da erhebliche Geschwindigkeitsdifferenzen und belebter Verkehr zusammen auftreten und damit eine oftmalige Abschaltung bzw. Sollgeschwindigkeitsänderung die Folge ist.

Die Adaptive Cruise Control soll diese Anpassungsfunktion selbsttätig übernehmen und vorausfahrenden Fahrzeugen in angemessenem Abstand folgen.

In Japan wurden die ersten ACC-Systeme in den Markt eingeführt. Allerdings besaßen diese zur Verzögerung nur die Möglichkeit des Herunterschaltens und des damit möglichen verstärkten Schleppbetriebs.

Für europäische Hersteller und für nachfolgende Entwicklungen in Japan wurde ab 1999 ACC mit Motor- und Bremsengriff eingeführt.

Quelle: Winner, TUD

Definitionen

- Abstandsgesetz (typischerweise 2s-Regel):

$$\Delta x = x_{Objekt}(t) - x_{ziel}(t) \stackrel{!}{=} \Delta x_{statisch} + 2 \text{ sec } v_{EGO}(t)$$

- Time to Collision (TTC):

TTC ist bei schnellerem Vorderfahrzeug unendlich groß, bei langsamerem Vorderfahrzeug gilt der Zusammenhang

$$TTC = \frac{\Delta x}{\Delta v} \quad ||$$

mit

$$\Delta v = v_{EGO} - v_{Objekt}$$

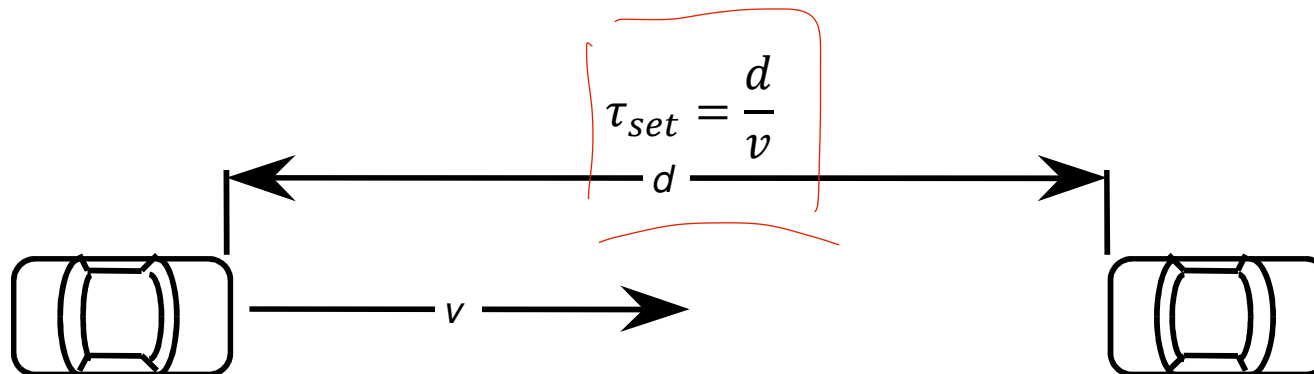
Quelle: Maurer, TUBS

Definitionen

- Zeitlücke, Time gap τ_{set} :

一条路线上的时间间隔，用于描述前一后行驶的车辆之间的间距 d 。时间间隔与车速和间距 d 的关系如下：

Zeitintervall für eine Strecke, welches die Lücke d zwischen hintereinanderfahrenden Fahrzeugen beschreibt. Die Zeitlücke steht mit der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Lücke d wie folgt in Beziehung:



Quelle: Winner, TUD

Ziele

Ziele der Funktion DCC

Funktionsziele (Kundensicht)	Regelungstechnische Ziele
Biomechanische Entlastung des Fahrers (Fußstellung)	
Verringerung der mentalen Belastung beim Halten der Geschwindigkeit	
Einfache und transparente Bedienung	
Halten einer vom Kunden vorgegebenen Geschwindigkeit	Stationäre Genauigkeit. Robustheit gegenüber Störungen (Wind, Steigung, ...)
Komfortables Erreichen der Wunschgeschwindigkeit	Geringer Ruck. Kein Überschwingen

Ziele

Ziele der Funktion ACC

Funktionsziele (Kundensicht)	Regelungstechnische Ziele
Gleiche Ziele wie DCC	
Einhalten eines vorgegebenen Sicherheitsabstands	Stationär genaue Positionsregelung. Reaktion auf Bewegung des Vorderfahrzeugs
Automatischer und komfortabler Übergang zwischen Freifahrt und Folgefahrt	Priorisierung des Geschwindigkeits- und Abstandsziels
Reaktion nur auf kollisionsrelevante Fahrzeuge	Ermittlung der im Fahrkorridor befindlichen Fahrzeuge
Übersteuerbarkeit durch den Fahrer muss stets gegeben sein	Priorisierung des Beschleunigungs- und Verzögerungswunsches des Fahrers

Herausforderungen ACC/DCC

- Möglichst wenige Fahrereingriffe
- Möglichst geringe Anzahl an Fehlreaktionen auf Fahrzeuge/Objekte (Nebenspurstörungen)
- Komfortabler und sicherer Übergang in die Fahrfahrt auch bei hoher Differenzgeschwindigkeit
- Korrekte Reaktion auf starke Verzögerungen/Beschleunigungen des Vorderfahrzeugs
- Einhaltung der Ziele bei starken Steigungsänderungen der Fahrbahn
- Korrekte und komfortable Reaktion bei unterschiedlichen Situationen (Annäherung bei hoher Differenzgeschwindigkeit, Einscherer, Anfahren,...)

- 尽可能减少对驾驶员的干预
- 尽可能减少对车辆/物体的错误反应（侧车道故障）
- 即使在高差速情况下，也能舒适安全地过渡到后续车道
- 对前方车辆的强烈减速/加速做出正确反应
- 在路面坡度急剧变化时保持目标不变
- 在不同情况下做出正确自如的反应（以高差速接近、后退、驶离等）

Kommentarfolie

Anforderungen

- Bei Freifahrt:
 - Konstantgeschwindigkeitsregelung mit hohem Regelkomfort, d. h. mit geringem Längsruck und ohne Schwingungen bei gleichzeitig hoher Regelgüte (ohne erkennbare Abweichungen von der Setzgeschwindigkeit)
 - Geschwindigkeitsregelung mit Bremseneingriff bei heruntergesetzter Wunschgeschwindigkeit und bei Gefällefahrt
- Bei Folgefahrt:
 - Folgeregelung mit schwingungsdämpfender Übernahme der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs, damit dessen Geschwindigkeitsunruhe nicht kopiert wird
 - Zeitlücke auf die gesetzte Sollzeitlücke τ_{Set} einhalten
 - Regelung mit der vom Fahrer erwarteten Dynamik
 - Ruhiges, an dem Standardverhalten von Fahrern orientiertes „Zurückfallen“ bei durch Einscheren verursachter großer Abstandsverkürzung
 - Kolonnenstabilität der Regelung für den Fall des Folgens anderer ACC-Fahrzeuge
 - Hinreichende Beschleunigungsfähigkeit für ein zügiges Mitschwimmen und Aufschließen
 - Verzögerungsfähigkeit für den Großteil der Folgefahrten (ca. 90 %) in fließendem Verkehr
 - Automatische Zielobjekterkennung bei Annäherung oder Ein- und Ausscheren vorausfahrender Fahrzeuge innerhalb eines definierten Abstandsbereichs, d.h. auch Festlegen eines Zielsuchkorridors

Quelle: Winner, TUD

- 使用的执行器
- 带电机和齿轮箱啮合的系统（应用范围非常有限）
- 带电机和制动器啮合的系统

Konzepte von ACC

Technisches Lösungskonzept

目标

- 在一条车道内尽可能不发生碰撞
- 掌握动态行为相似的不同情况

■ Verwendete Aktoren:

- Systeme mit Motor- und Getriebeeingriff (sehr beschränkter Anwendungsbereich)
- Systeme mit Motor- und Bremseneingriff

■ Ziel:

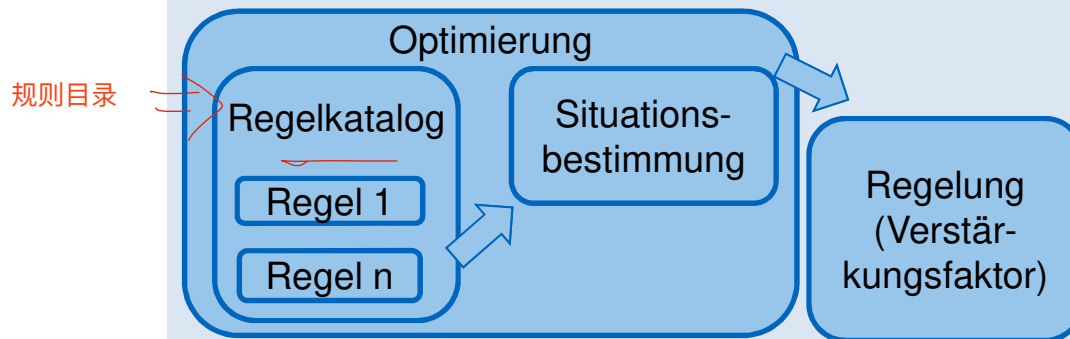
- Möglichst kollisionsfreie Fahrt innerhalb eines Fahrstreifens
- Beherrschung unterschiedlicher Situationen mit ähnlich dynamischem Verhalten

➤ Optimierungproblem innerhalb eines Fahrstreifens

Konzepte von ACC

Technisches Lösungskonzept (Optimierungsproblem innerhalb eines Fahrstreifens)

Statische Optimierung (regelbasiert)



Anwendung:

- Beschränkte Anzahl klarer Situationen

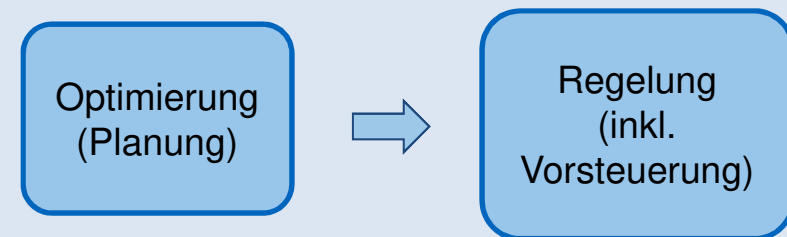
Vorteil:

- Geringer Rechenaufwand

Nachteil:

- Applikation jeder Situation notwendig

Dynamische Optimierung (Optimalsteuerung)



Anwendung:

- Komplexe Szenarien

Vorteil:

- Eine Applikation, ähnliche Verhalten bei allen Szenarien

Nachteil:

- Höherer Entwicklungsaufwand

由于手动和自动变速器的应用以及接近静止区域的高难度挑战，我们对三个特性进行了区分：



Ausprägungen von ACC

- 时速 30 公里以上的纵向制动自动控制系统 (ACC)
- 带减速至静止的 ACC
- 带减速至静止和从静止重新启动功能的 ACC (全速范围)

Mit der Anwendung auf Handschalter und Automatikgetriebe sowie der hohen Herausforderungen im stillstandsnahen Bereich werden drei Ausprägungen unterschieden:

- ACC mit Längsführung über 30 km/h
- ACC mit Verzögerung bis in den Stillstand
- ACC (Full-Speed-Range) mit Verzögerung bis in den Stillstand und Wiederanfahren aus dem Stillstand

Quelle: Winner, TUD

Ausprägungen von ACC

Funktionsanforderungen für ACC mit Längsführung über 30 km/h

■ Funktionsgrenzen

- Keine Regelung bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten
- Minimale Sollgeschwindigkeit (30 km/h)
- Zeitlücke im stationären Bereich nicht kleiner als 1s
- Deaktivierung mit Bremspedal, Übersteuern mit Gaspedal
- Fahrerübernahme bei Systemausfall und Erreichen der Systemgrenzen
- Beschleunigung innerhalb der Grenzen von $a_{min}=-3,5 \text{ m/s}^2$ und $a_{max}=2,5 \text{ m/s}^2$

功能限制

- 极低速时无法控制
- 最低目标车速 (30 公里/小时)
- 静止范围内的时间间隔不少于 1 秒
- 用制动踏板制动，用加速踏板转向过度
- 在系统故障和达到系统极限时由驾驶员接管
- 加速度在 $a_{min} = -3.5 \text{ m/s}^2$ 和以下范围内

$a_{max}=2.5 \text{ 米/秒}^2$

5 Funktionslogik und Regelung → 5.2 Längsführung

Quelle: Winner, TUD

VL5- 33

Kommentarfolie

- Bei Annäherung:
 - Bei langsamer Annäherung zügig zum Sollabstand regeln
 - Bei schneller Annäherung vorhersehbarer Verzögerungsverlauf, der eine Einschätzung durch den Fahrer erleichtert, ob wegen unzureichender ACC-Verzögerung selbst eingegriffen werden muss
 - Bei „Eintauchen“, also bei Unterschreiten des Sollabstands, ein an dem Standardverhalten von Fahrern orientiertes „Zurückfallen“
- Funktionsgrenzen:
 - Keine Regelung bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten, d. h. geeignete Übergabe an den Fahrer unterhalb einer Mindestgeschwindigkeit (ISO 15622: unterhalb von $v_{low} \leq 5$ m/s keine positive Beschleunigung)
 - Minimale Sollgeschwindigkeit $v_{set,min}$ oberhalb 7 m/s (\Rightarrow 30 km/h Tachogeschwindigkeit)
 - Die Zeitlücke darf im eingeschwungenen Zustand $\tau_{min} = 1$ s nicht unterschreiten.
 - Priorität des Fahrereingriffs, d. h. Deaktivierung bei Bremspedalbetätigung und Übersteuern bei Betätigung des Fahrpedals
 - Vorgabe der Setzgeschwindigkeit v_{set} und Setzzeitlücke τ_{set} durch den Fahrer
 - Geeignete Übergabe bei Systemausfall, insbesondere wenn dieser während eines Verzögerungsvorgangs geschieht.
 - Beschleunigung innerhalb der Grenzen von $a_{min} = -3,5$ m/s² (ursprünglich $-3,0$ m/s², der größere Wert wird in einer überarbeiteten Version der ISO15622 erscheinen) bis $a_{max} = 2,5$ m/s²

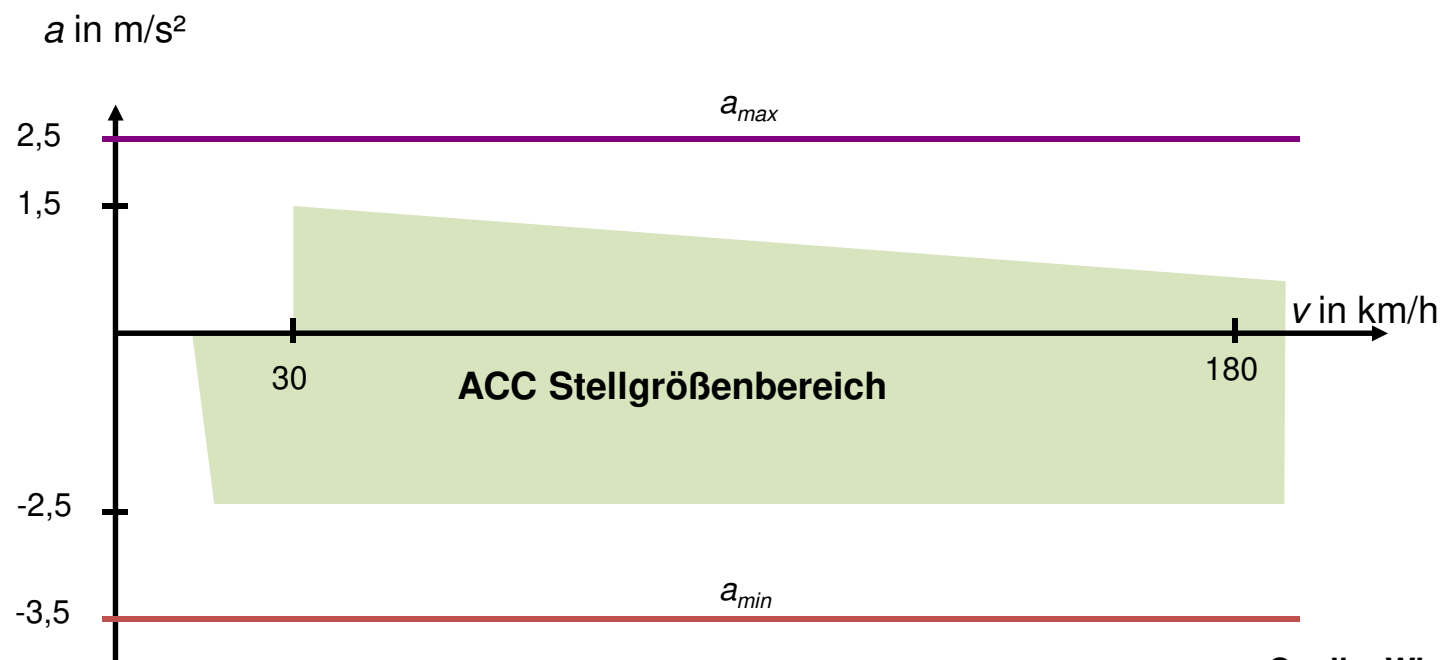
Quelle: Winner 2009

Ausprägungen von ACC

ACC mit Längsführung über 30 km/h (ACC 30+)

Sinnvoller Einsatzbereich: Autobahn und Landstraße

Prinzipieller Betriebsbereich:



Quelle: Winner, TUD

Ausprägungen von ACC

Funktionsanforderungen für ACC mit Verzögerung bis in den Stillstand

- Assistenzziel:
 - wie ACC 30+ erweitert auf Stau- und Stadtbereich
- Funktionsziele:
 - wie ACC 30+
 - Anhalten in den Stand
 - Einhalten eines sinnvollen Anhalteabstands

援助目标:

 - 如 ACC 30+ 扩展到交通堵塞和城市地区

功能目标:

 - 像 ACC 30+ 一样
 - 停止到静止
 - 保持合理的停车距离

要求

 - 尽可能减少驾驶员干预
 - 为驾驶员提供明确的功能限制
 - 减速至静止 (跟随至停止)
- Anforderungen:
 - möglichst wenig Fahrereingriffe
 - für Fahrer klare Funktionsgrenzen
 - Verzögerung bis in den Stillstand (Follow-to-stop)

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Adaptive Cruise Control, wie sie oben beschrieben wurde, eignet sich nicht zum Folgen im Stadtverkehr und bei Stau. Dazu reicht die Sensorleistung nicht aus und auch weitere nachstehend beschriebene Voraussetzungen fehlen ACC.

Die Hauptherausforderung für die Entwicklung bleibt die Auslegung der Funktion mit klaren Funktionsgrenzen, die andererseits nicht zu einer stark eingeschränkten Funktion führen.

Quelle: Winner, TUD

Ausprägungen von ACC

ACC mit Verzögerung bis in den Stillstand

Eigenschaften:

- Komfortables Bremsen in den Stillstand
- Stillstandsmanagement (z.B. mit elektrischer Feststellbremse)

Prinzipieller Betriebsbereich:



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

- Bei Folgefahrt:
 - Regelung im gesamten Geschwindigkeitsbereich bis 0 km/h, insbesondere im Kriechbereich (erhöhte Anforderungen an Koordination Antrieb/Bremse)
- Beim Anhalten:
 - Einregeln eines sinnvollen Anhalteabstands (typisch: 2-5 m)
 - Höhere Verzögerungsfähigkeit bei kleinen Geschwindigkeiten
 - Sicheres Halten im Stand mit geeigneter Betriebsbremse bei aktivem System
 - Bei Systemabschaltung ohne Fahrereingriff im Stillstand ist ein Übergang in einen sicheren Haltezustand ohne Hilfsenergie notwendig
- Funktionsgrenzen
 - Oberhalb von $v_{\text{high,min}} = 20 \text{ m/s}$ ist eine Beschleunigung innerhalb der Grenzen von $a_{\text{min}}(v_{\text{high}}) = -3,5 \text{ m/s}^2$ bis $a_{\text{max}}(v_{\text{high}}) = 2,0 \text{ m/s}^2$ zulässig,
 - unterhalb $v_{\text{low,max}} = 5 \text{ m/s}$ Beschleunigung innerhalb der Grenzen von $a_{\text{min}}(v_{\text{low}}) = -5,0 \text{ m/s}^2$ bis $a_{\text{max}}(v_{\text{low}}) = 4,0 \text{ m/s}^2$.
 - Zwischen $v_{\text{low,max}} (5 \text{ m/s})$ und $v_{\text{high,min}} (20 \text{ m/s})$ darf die Beschleunigung innerhalb der geschwindigkeitsabhängigen Grenzen von $a_{\text{min}}(v) = -5,5 \text{ m/s}^2 + (v/10 \text{ s})$ bis $a_{\text{max}}(v) = 4,67 \text{ m/s}^2 - (2v/15 \text{ s})$ variieren.
 - Die Aufbaurate der Verzögerung γ darf bis 5 m/s die Ruckgrenze von $\gamma_{\text{max}}(v_{\text{low}}) = 5 \text{ m/s}^3$ und ab 20 m/s von $\gamma_{\text{max}}(v_{\text{high}}) = 2,5 \text{ m/s}^3$ nicht überschreiten. Dazwischen ist die Grenze geschwindigkeitsabhängig: $\gamma_{\text{max}}(v) = 5,83 \text{ m/s}^3 - (1 v/6 \text{ s})$.

Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Der erste Schritt zum Einsatz bei Staufahrten ist die Stopp-Funktion. Sie ist heute auch im Funktionsrahmen nach ISO 15622 erlaubt, wenn unterhalb von 5m/s nicht (positiv) beschleunigt wird und die Verzögerung den Wert von 3 m/s² nicht überschreitet. Als zusätzliche Funktionsanforderungen kommen hinzu:

Komfortables Bremsen in den Stillstand

Durch die geringere Gleitgeschwindigkeit an der Bremsscheibe entstehen schon bei einer vom Fahrer durchgeführten Bremsung komfortmindernde NVH (Noise, Vibration, Harshness)-Phänomene. Dazu kommen die vom Bremsaktor (HPVE oder Active Booster) verursachten Geräusche, die wegen des geringeren Motorlärms bei niedrigen Geschwindigkeiten vom Fahrer deutlicher wahrgenommen werden.

Beim Übergang in den Stillstand wechselt die Reibung an der Bremsscheibe von Gleitreibung zur stärkeren Haftreibung. D.h. kurz vor dem Stillstand gibt es eine Verzögerungsspitze, nach der dann der Abfall auf Verzögerung Null folgt und einen stark komfortmindernden Ruck verursacht. Das Ideal ist hier die „Chauffeursbremsung“, bei der in der letzten Phase vor dem Stillstand der Bremsdruck reduziert wird, um den Gesamtruck zu minimieren.

Stillstandsmanagement

Ist das Fahrzeug in den Stillstand überführt worden, ist zu definieren, wie dieser Zustand beibehalten oder beendet wird. Das Halten z.B. nur bei Zündung an und Abschalten bei Entnahme des Zündschlüssels würde zu gefährlichen Situationen führen. Eine hinreichende Lösung wäre die Betätigung einer elektrischen Feststellbremse, die erst durch Gasgeben und/oder Betätigen eines Schalters gelöst wird. Ebenso ist ein Übergang in die Parkstellung des Automatikgetriebes denkbar.

Während die Standard-ACC-Funktion auch mit manuellem Schaltgetriebe und fußbetätigter Kupplung möglich ist, ist bei Bremsen in den Stand eine elektronisch steuerbare oder eine hydrodynamische Kupplung erforderlich.

Quelle: Winner, TUD

Ausprägungen von ACC

Zusätzliche Funktionsanforderungen für Full-Speed-Range ACC

- **Folgefahrt**
 - Regelung im gesamten Geschwindigkeitsbereich bis 0 km/h
 - 后续旅程
 - 在 0 km/h 以下的整个速度范围内进行调节
 - 停车
- **Anhalten**
 - Einhalten eines sinnvollen Anhalteabstands
 - 保持合理的停车距离
 - 更强的低速减速能力
 - 静止时安全停车
 - Höhere Verzögerungsfähigkeit bei kleinen Geschwindigkeiten
 - 起步
 - 传感器可视范围更广 (7.5 米处至少 $\pm 8^\circ \pm 1$ 米)
 - 尽可能全面的近距离覆盖
 - Sicheres Halten im Stand
 - 由驾驶员进行接近释放
- **Anfahren**
 - Breiterer Sensorsichtbereich (mind. $\pm 8^\circ \Rightarrow \pm 1$ m bei 7,5 m)
 - Möglichst vollständige Nahbereichsabdeckung
 - Anfahrfreigabe durch Fahrer

Quelle: Winner, TUD

Ausprägungen von ACC

Full-Speed-Range ACC

Eigenschaften:

- Niedriggeschwindigkeit-Modus nur aktiv mit Zielfahrzeug
- Automatisches Anfahren nach längerem Stopp nur mit Freigabe durch Fahrer und bei vorhandenem Zielobjekt

Prinzipieller Betriebsbereich:



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Die nächste Erweiterungsstufe ist die in der Working Group 14 des ISO TC214 so genannte FullSpeedRange ACC (FSRA). Sie vermeidet die so genannte Freifahrt bei niedrigen Geschwindigkeiten und ist nur aktiv, wenn ein Zielfahrzeug im näheren Abstandsbereich gefunden wird. Damit wird die komplexe Situationsbehandlung bei Freifahrt vermieden, denn dann wäre die ganze Umgebung bis ca. 50 m nach allen potenziellen Hindernissen inkl. der stehenden abzusuchen. Selbst bei Verwendung einer idealen Sensorik wäre offen, ob wegen der Mehrdeutigkeit der Interpretation eine hinreichend fehlreaktionsfreie Freifahrt möglich wird. Durch den Verzicht auf die Freifahrt kann mit realistischem Sensoraufwand eine kundenrelevante Funktion dargestellt werden, die gerade für Staus auf der Autobahn oder vergleichbaren Strecken gut geeignet ist.

Bei längerem Stopp (z.B. 3-5 s) ist eine automatische Weiterfahrt nur mit Fahrerbestätigung (RESUME-Taste oder Gaspedal) erlaubt. Damit wird vermieden, dass Fußgänger, die sich dem Fahrzeug genähert haben (Fensterputzer in romanischen Ländern, sich Bewegung verschaffende Stautouristen), beim Losfahren verletzt werden.

Weitere Maßnahmen bei Stillstand: 2-stufige Fahrerwarnung bei Abgurten bzw. Türöffnen, ist beides der Fall, so wird die Bremse gelöst und über das elektrisch schaltbare Getriebe P eingelegt.

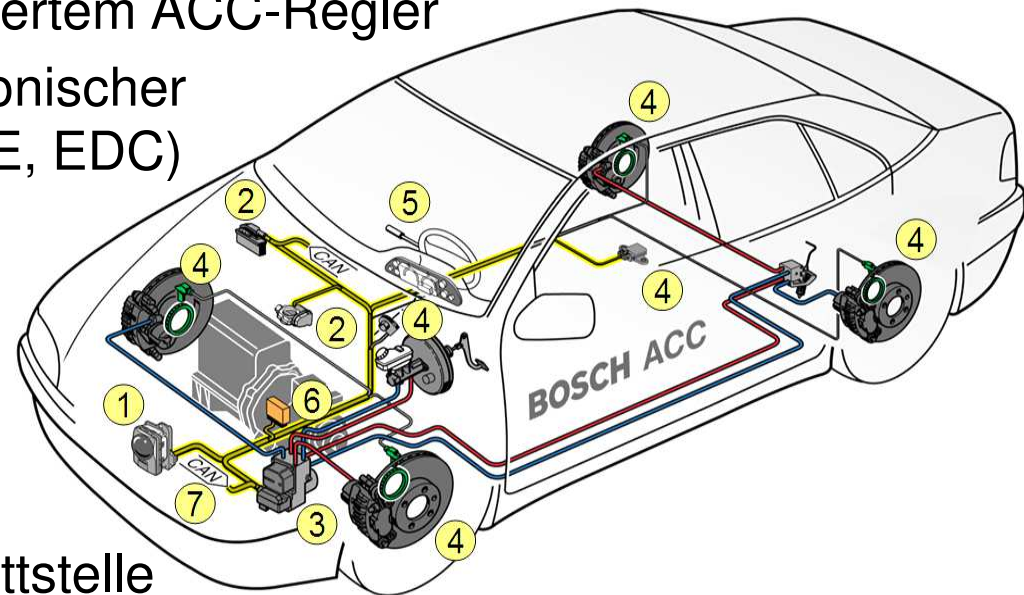
Bei Wiederaufnahme nach Stillstand oder nach Zielverlust unterhalb 30 km/h folgt das mit FSRA ausgerüstete Fahrzeug in den normalen ACC-Betrieb und übernimmt entweder 30 km/h als Mindestsollgeschwindigkeit oder die vorher eingestellte Sollgeschwindigkeit.

Einen anderen Weg wollen zumindest japanische Hersteller probieren mit dem LowSpeedFollowing, das allein auf Nahbereichsensorik aufsetzt und nur Staufolgefahren ermöglicht. In Abweichung zu bisherigen ACC und FSRA-Konzepten ist eine manuelle Zielauswahl angedacht. D.h. der Fahrer bestimmt per Knopfdruck, dass das aktuelle, nahe im Vorfeld des Fahrzeugs befindliche Fahrzeug als Folgeziel zu verwenden ist. Ein automatischer Zielwechsel ist nicht vorgesehen.

Quelle: Winner, TUD

Sensorsetup und Systemstruktur

1. RADAR-Sensor mit integriertem ACC-Regler
2. Motorsteuerung mit elektronischer Momentenschnittstelle (ME, EDC)
3. Bremssystem mit aktiver Bremsdruckerzeugung
4. Sensoren für Messung der Fahrzeugdrehbewegung
5. Bedien- und Anzeigeschnittstelle
6. Getriebeautomatik (optional)
7. Daten-Netzwerk (CAN, Flexray)



第一个集成 ACC 控制器的雷达传感器

带电子扭矩接口 (ME、EDC) 的发动机控制装置

3. 带主动制动压力生成功能的制动系统

4. 用于测量车辆旋转运动的传感器

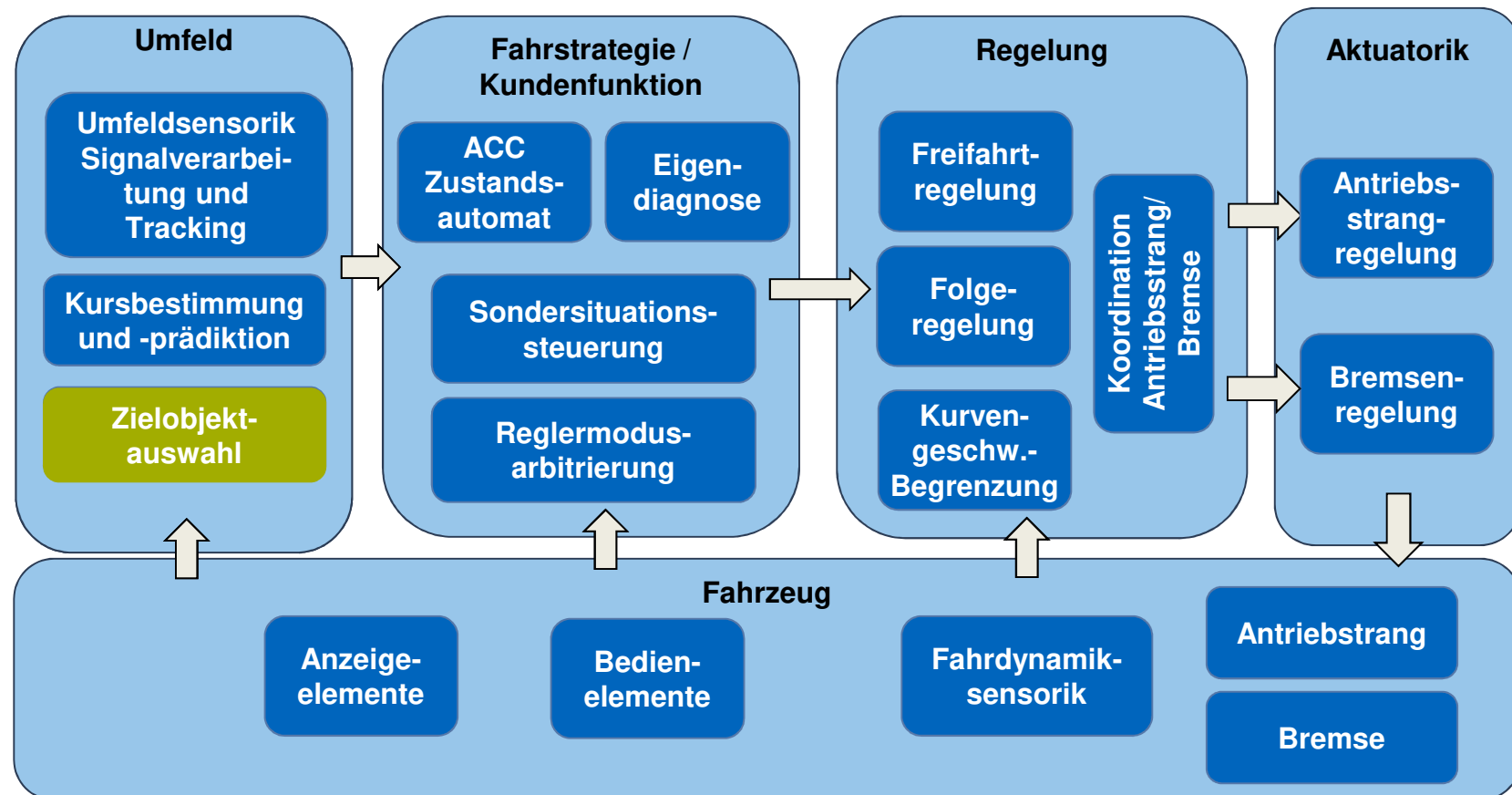
5. 操作和显示界面

6. 自动变速器 (可选)

7. 数据网络 (CAN、Flexray)

Quelle: Winner, TUD

Sensorsetup und Systemstruktur



Kommentarfolie

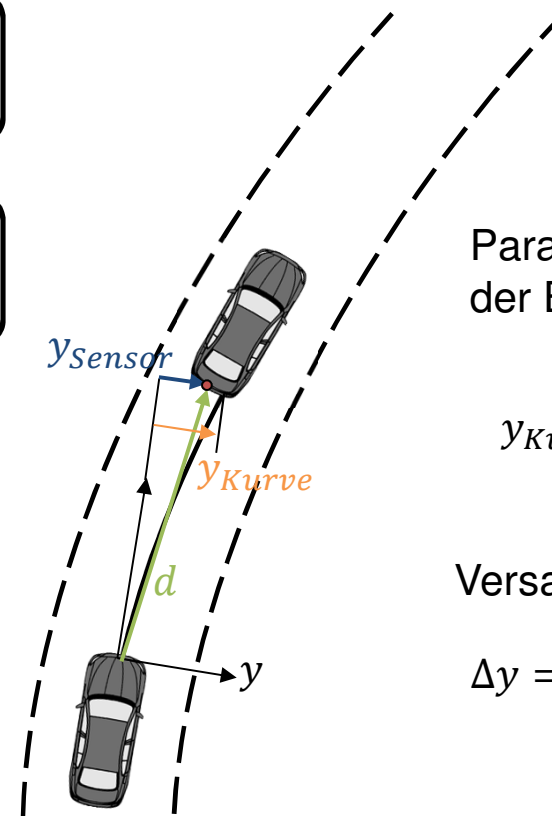
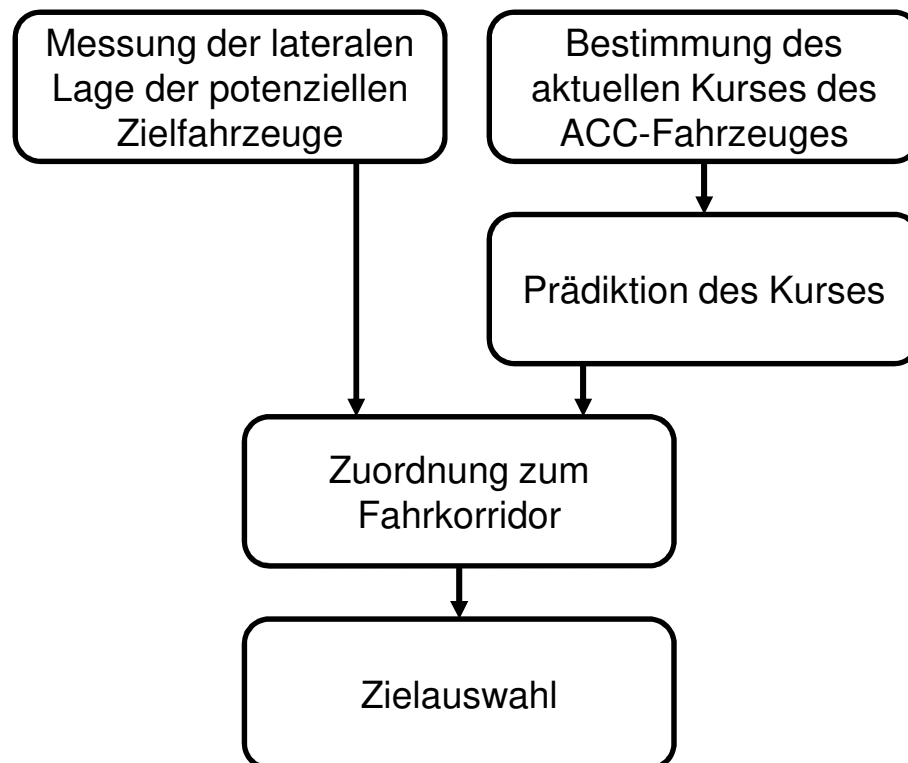
Systemstruktur

Die Vielzahl der Aufgaben einer ACC lassen sich mit der in obiger Abbildung dargestellten Struktur Modulen zuordnen. Die Module selbst können ihrerseits noch unterteilt und verschiedenen Hardware-Einheiten zugeordnet werden, s. a. später beschriebene Beispiele. Auch die Informationsschnittstellen zwischen den Modulen können erheblich variieren. Dies betrifft sowohl den physikalischen Inhalt als auch die Datenrate und Bitrepräsentation.

Quelle: Winner, TUD

Zielobjektauswahl

Erkennung des Zielfahrzeugs auf eigenem Fahrkorridor



轨迹的抛物线近似:

Parabolische Näherung der Bahnkurve:

$$y_{Kurve} = \frac{\kappa_{präd}}{2} d^2$$

Versatz des Objekts:

$$\Delta y = y_{Kurve} - y_{Sensor}$$

Quelle: Winner 2009

Zielobjektauswahl

确定 ACC 车辆当前行驶轨迹的曲率

Bestimmung der Krümmung der aktuell durchfahrenen Trajektorie des ACC-Fahrzeuges

- Informationsquelle Fahrdynamiksensoren:

Lenkradwinkel

$$\kappa_{\delta} = \frac{\delta_H}{i_s l \left(1 + \left(v_x / v_{ch} \right)^2 \right)}$$

Gierrate

$$\kappa_{\psi} \cong \dot{\psi} / v_x$$

Querbeschleunigung

$$\kappa_{ay} \cong \frac{a_y}{v_x^2}$$

Differenz Radgeschwindigkeiten

$$\kappa_{\Delta v} \approx \frac{\Delta v}{v_x s}$$

Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Für die Bestimmung der aktuellen Fahrtrajektorie kommen grundsätzlich vier vom ESP zur Verfügung gestellte Informationsquellen in Frage, die über ein einfaches fahrdynamisches Modell zu jeweils eigenständigen Werten für die Kurskrümmung kommen.

Symbole:

κ_δ	Krümmung aus Lenkradwinkel bestimmt
δ_H	Lenkradwinkel
i_s	Lenkübersetzung
l	Radstand
v_x	Längsgeschwindigkeit
v_{ch}	Charakteristische Geschwindigkeit (aus Eigenlenkgradient 60..100km/h)
κ_Y	Krümmung aus Gierrate bestimmt
$\dot{\psi}$	Gierrate (Drehgeschwindigkeit um die Hochachse)
κ_{ay}	Krümmung aus Querbeschleunigung bestimmt
a_y	Querbeschleunigung
$\kappa_{\Delta v}$	Krümmung aus Differenz der Raddrehzahlen bestimmt
Δv	Differenz der Drehzahlen (links – rechts) an der nicht angetriebene Achse
s	Spurweite

Quelle: Winner 2009

Zielobjektauswahl

Bestimmung der Krümmung der aktuell durchfahrenen Trajektorie

Störgrößen	Lenkradwinkel	Gierrate	Querbeschleunigung	Raddrehzahlen
Seitenwind	--	+	+	+
Straßenquerneigung	--	+	--	+
Radradius-Toleranzen	0	+	+	-
Empfindlichkeit kleine v	++	0	--	-
Empfindlichkeit große v	-	0	++	-
Offsetdrift	+	--	--	+

Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Keines dieser Signale ist fehlerfrei, wobei die Einflüsse recht unterschiedlich sind. Die günstigsten Gesamteigenschaften besitzt die Gierrate für die Krümmungsbestimmung, allerdings erst nach einem dynamischen Offsetabgleich. Dieser erfolgt neben der Stillstandserkennung (dann ist die Gierrate nahezu Null bis auf die Erdrotation) durch den Abgleich mit den anderen Sensoren und über statistische Mittelung.

Quelle: Winner, TUD

第一个工作假设：当前曲率保持不变

- 不适用于
- 进出弯道 - 自己变道 - 驾驶员转向失误

第二个工作假设：物体和 ACC 车辆保持在自己的车道上

- 不适用于
- 物体进入或离开自己的车道 更改新物体的初始分配（不可能追溯到过去）



Zielobjektauswahl

Kursprädiktion unter Nutzung von Arbeitshypothesen

1. Arbeitshypothese: aktuelle Krümmung wird beibehalten

- nicht zutreffend bei
 - Kurvenein- und ausfahrten
 - eigenem Fahrstreifenwechsel
 - Lenkfehlern des Fahrers

2. Arbeitshypothese: Objekte und ACC-Fahrzeuge bleiben auf ihrem Fahrstreifen

- nicht zutreffend bei
 - ein- oder ausscherenden Objekten
 - eigenem Fahrstreifenwechsel
 - Erstzuordnung von neuen Objekten (kein Rückgriff auf Vergangenheit möglich)

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Für die Vorhersage des zukünftigen Kurses sind der (zukünftige) Verlauf der Fahrbahn und die zukünftige Fahrstreifenwahl des ACC-Fahrzeugs und eigentlich auch die der potenziellen Zielfahrzeuge notwendig. Da diese Informationen nicht zugänglich sind, behilft man sich mit Arbeitshypothesen. Die zwei wichtigsten sind hier aufgeführt. Später werden noch weitere Möglichkeiten genannt.

Quelle: Winner, TUD

Zielobjektauswahl

Optimierung der Kursprädiktion

优化价格预测的措施:

- 不同工作假设的混合结果

- 观察物体轨迹

- 根据情况对方法进行加权 ("老" 物体和 "平静" 情况下的历史记录更多, 从而也减少了转向干扰的影响)

Maßnahmen zur Optimierung der Kursprädiktion:

- Mischung der Ergebnisse verschiedener Arbeitshypothesen
- Beobachtung der Objekttrajektorien
- Situationsabhängige Gewichtung der Ansätze (mehr Historie bei „alten“ Objekten und in „ruhigen“ Situationen, dadurch auch Reduktion der Auswirkung von Lenkunruhe)

Resultat:

- Deutliche Senkung der Fehler, kaum Zielverluste
- Bei „neuen“ Objekten aber immer noch hohe Unsicherheit

Quelle: Winner, TUD

改善分配的措施:

- 应用定性方法（模糊逻辑）进行驾驶软管校正
- 成员函数的平均化
- 延迟释放目标物体
- 优化驱动管轮廓，在侧轨干扰和后期反应之间实现最佳折衷
- 将驱动管宽度作为（动态）优化参数

Zielobjektauswahl

Zuordnung zum prädizierten Kurs

Maßnahmen zur Verbesserung der Zuordnung:

- Anwendung qualitativer Methoden (Fuzzy-Logik) für Fahrschlauchkorrektur
- Mittelung für Zugehörigkeitsfunktion
- Spätes Loslassen des Zielobjekts
- Optimierung der Fahrschlauchkontur für besten Kompromiss zwischen Nebenspurstörungen und Spätreaktionen
- Fahrschlauchbreite als (dynamischer) Optimierungsparameter

Resultat:

- Desensibilisierung gegenüber Fluktuationen (Winkel, Krümmung)
- Verzögerte Reaktion bei ein- und ausscherenden Zielfahrzeugen

Quelle: Winner, TUD

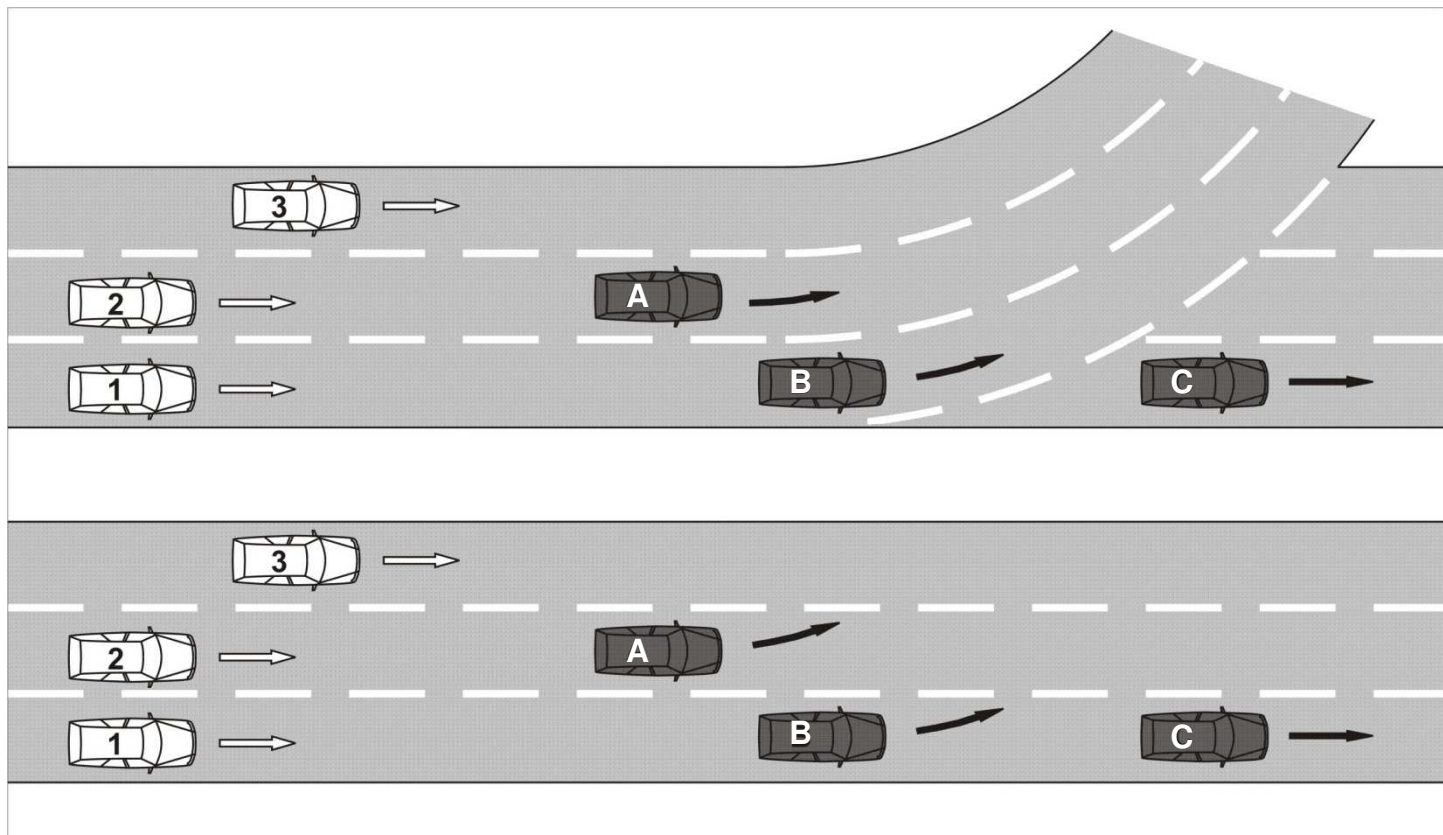
Kommentarfolie

Mit den verschiedenen Maßnahmen zur Verbesserung der Zuordnung zum Fahrstreifen gelingt es, eine praxistaugliche Funktionalität zu erreichen. Allerdings bleiben Nachteile bei der Behandlung von Einscher- und Ausschersituationen, die zudem vom Fahrer dadurch noch schwerwiegender erlebt werden, dass er diese Manöver etliche Sekunden vorher schon erahnt.

Quelle: Winner, TUD

Grenzen der Zielobjektauswahl

Beispiele problematischer Fahrsituationen



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Die grundsätzliche Schwierigkeit einer richtigen Zuordnung soll mit dieser Abbildung beschrieben werden.

In diesem Beispielszenario fahren drei ACC-Fahrzeuge (1,2,3) hinter drei potenziellen Zielobjekten (A,B,C) her.

Betrachtet man das Szenario in der unteren Abbildung:

- Für 1 war bisher B das Zielfahrzeug. Nach Verlassen des Fahrstreifens durch B wird C zum Zielobjekt, sofern nicht auch 1 den Fahrstreifen wechselt.
- Ähnliches gilt auch für 2: bisher war A das Zielfahrzeug, nun wird es B oder es bleibt A, wenn 2 den Fahrstreifenwechsel mit vollzieht.
- 3 konnte bisher frei fahren und muss sich nun auf A als Zielfahrzeug einstellen.

Schon in dieser Abbildung wird klar: in die Kursprädiktion geht auch das Verhalten zum Fahrstreifenwechsel des ACC-Fahrers ein.

Bei gleichen Positionen der Fahrzeuge ist aber auch andere Interpretation möglich, wenn nämlich die Fahrbahn, wie im oberen Szenario, eine Abzweigung enthält und in einer Kurve verläuft.

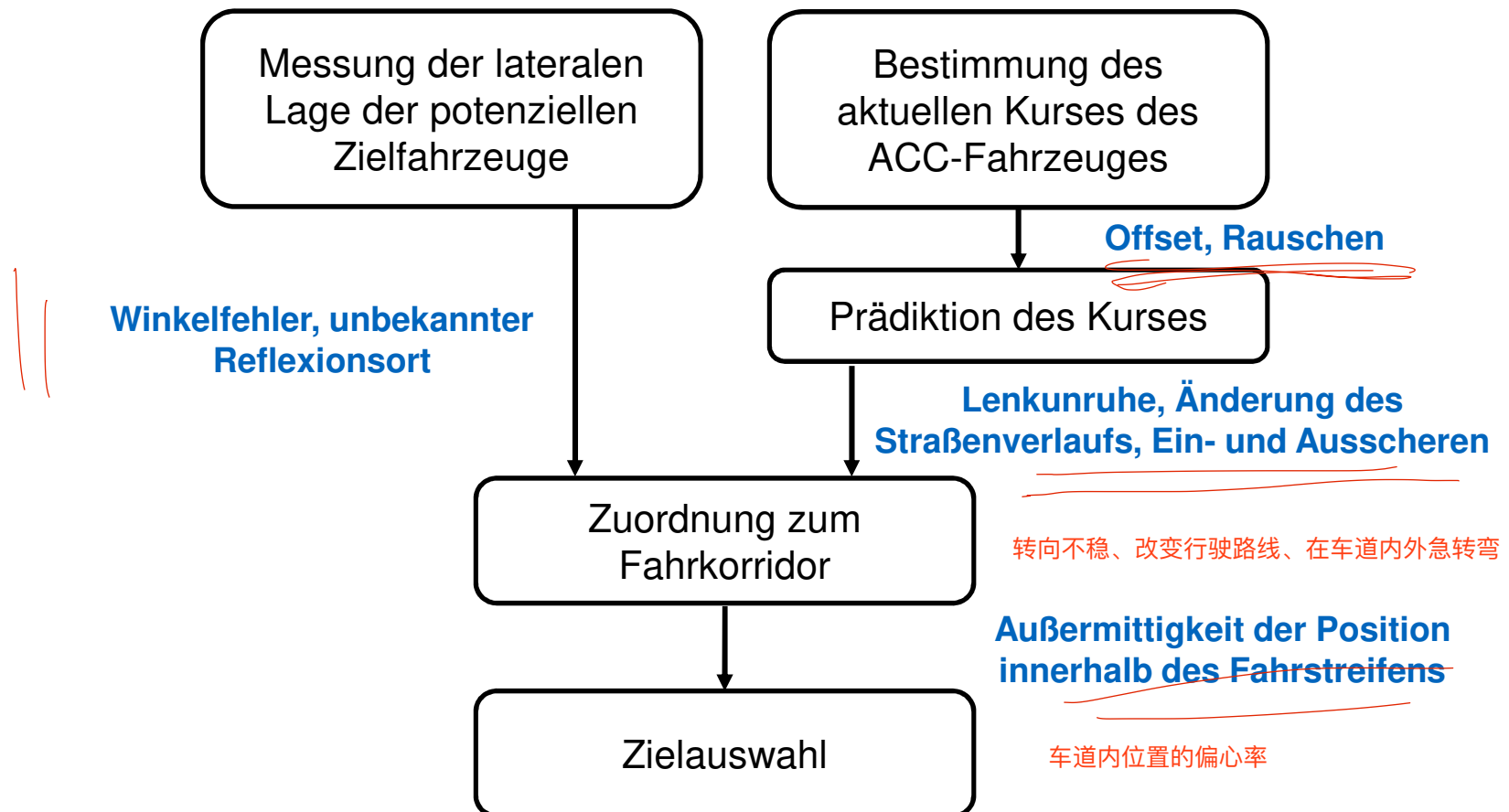
- 3 kann weiterhin frei fahren
- 2 folgt A
- 1 kann B folgen, aber auch C, wenn der Abzweigung gefolgt wird.

Dieses Beispiel zeigt, dass weder eine fehlerfrei bekannte Position von potenziellen Objekten noch eine fehlerfreie Krümmungsbestimmung eine eindeutige Beschreibung für die zukünftige Regelaufgabe ermöglicht. Selbst bei Kenntnis der Fahrstreifenverläufe (z.B. durch Videofahrstreifenerkennung oder digitaler Karte+Navigation) lassen sich einige Situationen nicht klar vorhersagen, da die Reaktion des Fahrers bzgl. der Fahrstreifenwahl nicht maschinell erahnt werden kann.

Quelle: Winner, TUD

Zielobjektauswahl

Bilanz und wichtigste Fehlerquellen



Quelle: Winner, TUD

Zielobjektauswahl

Gesamtbetrachtung

- 补偿程序相互帮助
- 在实践中，考虑到的误差很少在同一方向同时发生
- 由于对微小偏差的高度敏感性，ACC 显示出 "日常形式" (即使对不同的竞争系统也是统一的现象)
- 错误率：每 100 公里约 1 次侧轨故障或 1 次 "错误" 进路
- 对目标变化反应缓慢

- Kompensationsverfahren helfen sich gegenseitig
- Betrachtete Fehler treten in der Praxis selten gleichzeitig in gleicher Richtung auf
- Wegen hoher Sensitivität auf kleine Abweichungen zeigt ACC „Tagesform“ (einheitliches Phänomen auch für verschiedene Wettbewerbssysteme)
- Fehlerquote: ca. 1 Nebenspurstörung oder 1 „schlechte“ Annäherung pro 100km
- Nur langsame Reaktion auf Zieländerungen

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

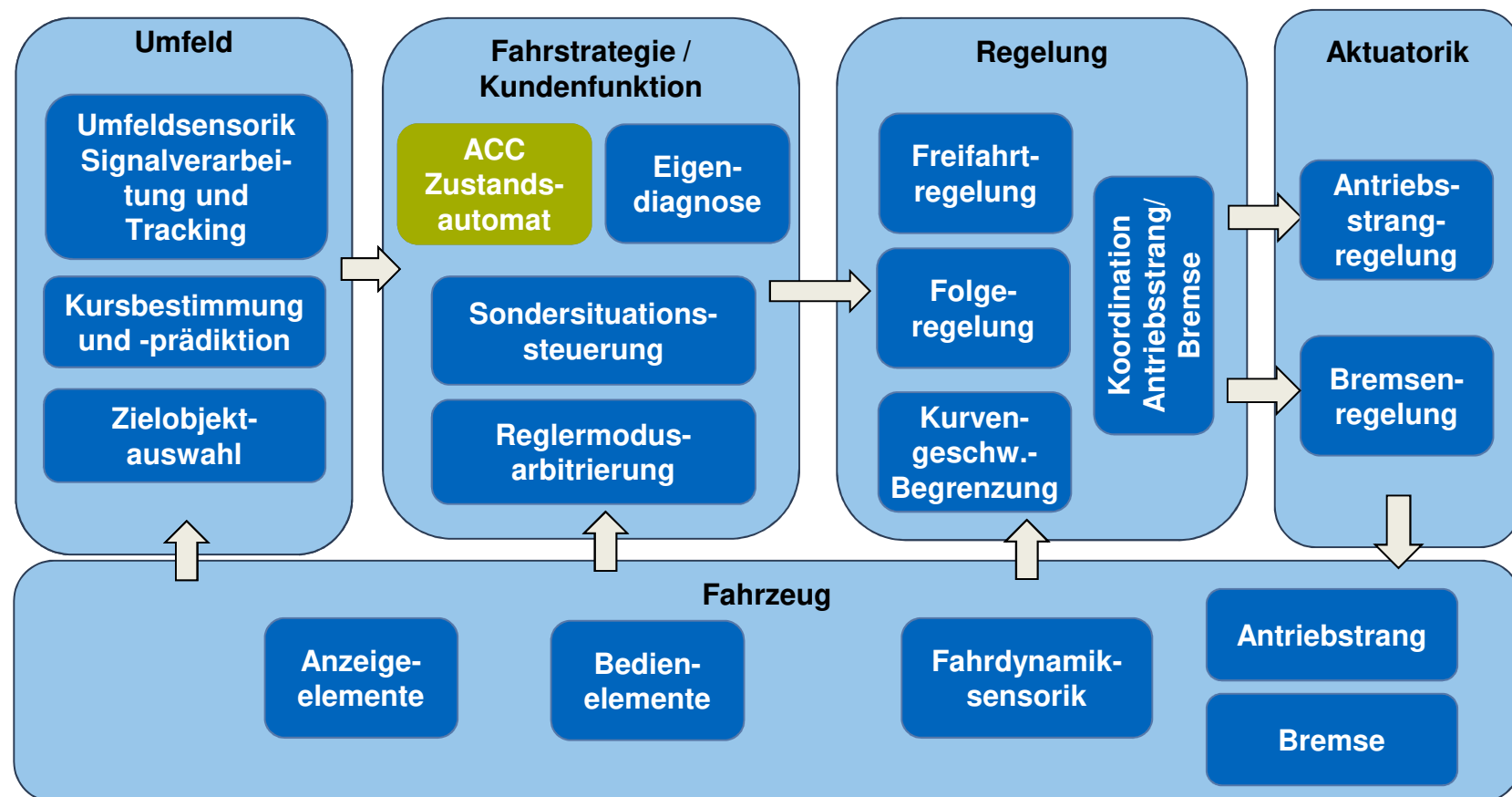
Würden alle Fehler zugleich mit den vorher genannten Werten auftreten, so wäre eine akzeptable ACC-Funktion nicht möglich. Zum einen helfen sich die verschiedenen Fehlerkompensationsmaßnahmen, zum anderen kommt es auch bei gleichzeitigem Auftreten der Fehler nicht immer zu einer Fehlervergrößerung.

Wie groß die Fehler sind, hängt aber von bestimmten Konstellationen ab, die von den Versuchsfahrern nicht zugeordnet werden konnten, so dass man dann von Tagesform sprach. Die Optimierung lässt zwar eine kundenwertige Funktion zu, aber nur in einem sehr engen Toleranzband.

Eine Restunsicherheit aber verbleibt immer. Sie ist zwar immer etwas komfortmindernd, andererseits erleben die Fahrer hinreichend häufig die potenziellen Ausfallreaktionen eines solchen Systems und sind durch die im Betrieb auftretenden Fehler auf den Gesamtausfall hervorragend vorbereitet.

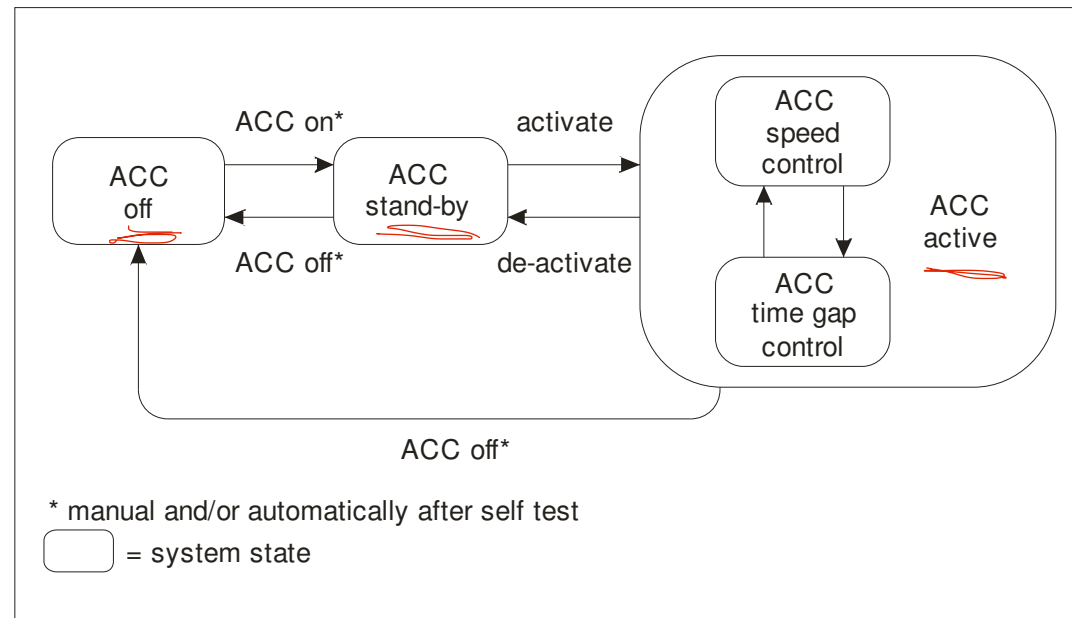
Quelle: Winner, TUD

Sensorsetup und Systemstruktur



Systemzustände und Zustandsübergänge

ISO 15622



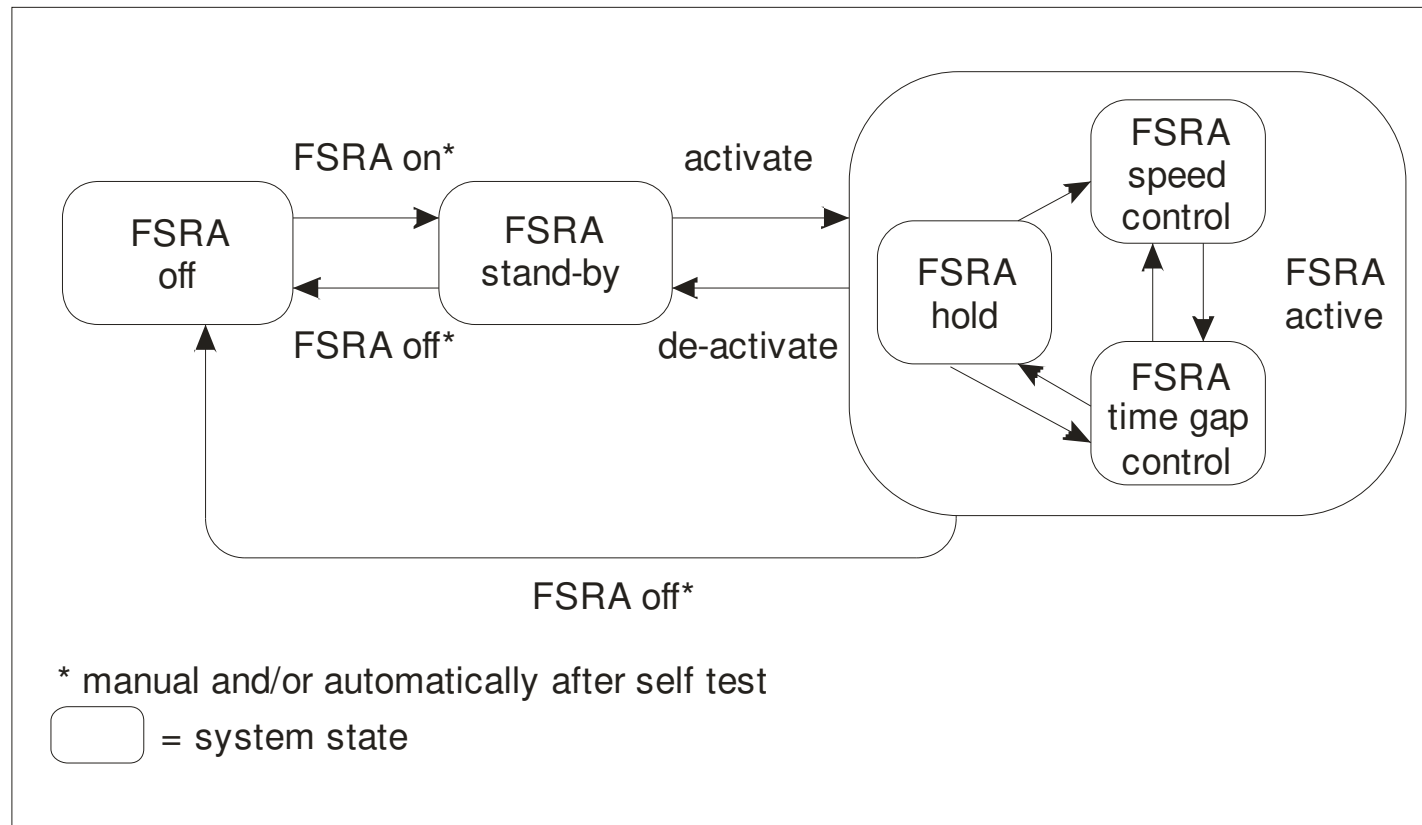
Systemzustände:

- **ACC off:** Direkter Zugriff auf Aktivierung des Zustandes „ACC active“ ist abgeschaltet.
- **ACC Stand-by:** Keine Längsführung durch ACC. System ist bereit für Aktivierung durch den Fahrer.
- **ACC aktive:** System regelt Geschwindigkeit und/oder Zeitlücke.

Quelle: Winner 2009

Systemzustände und Zustandsübergänge

Full-Speed-Range-ACC



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

ACC-Zustandsmanagement und Mensch-Maschine-System (MMS)

Gemäß des schon erwähnten ISO-Standards werden drei Grundmodi unterschieden:

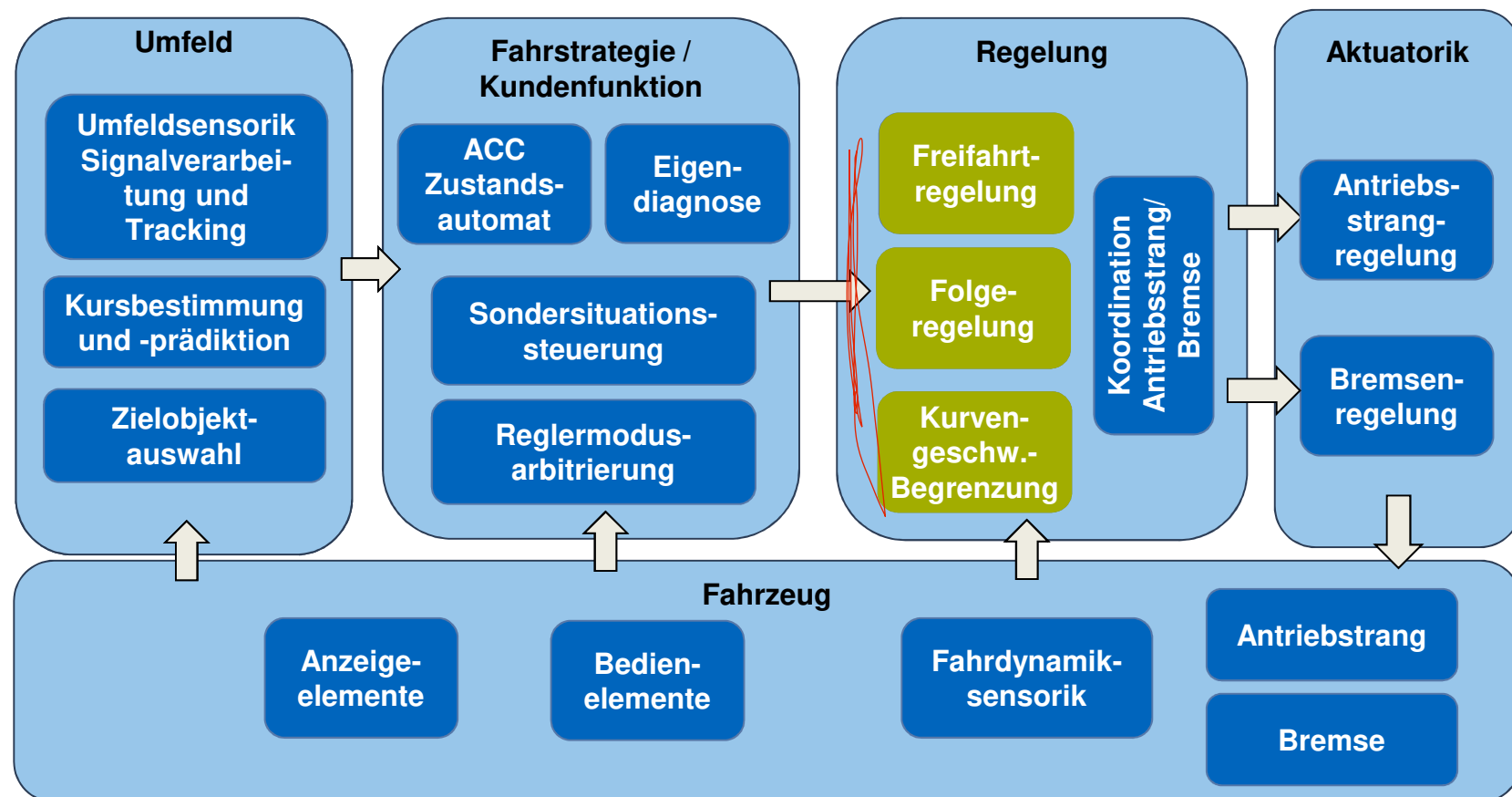
- Der abgeschaltete Zustand (**ACC off**), aus dem heraus der Fahrer nicht aktivieren kann (z.B. ausgeschalteter Main-Switch, erkannter Defekt)
- Der aktivierbare **Stand-by**-State. Wenn der Fahrer in diesem Zustand die Aktivierungsschalter betätigt, beginnt die Regelung. Umgekehrt kommt man bei einfachem Abschalten, z.B. durch Bremspedalbetätigung, vom aktiven Zustand in den Stand-by-Zustand.
- **ACC Active** State: In diesem Zustand finden die beiden Regel-Modi statt (Geschwindigkeitsregelung analog zu DCC und die Folgeregelung, hier ACC time gap control genannt).

FSR-ACC

Im Fall eines Full-Speed-Range-ACC kommen der Zustand FSRA-Hold und dessen Zustandsübergänge hinzu. FSRA-Hold beschreibt den Zustand des stillstehenden Fahrzeugs.

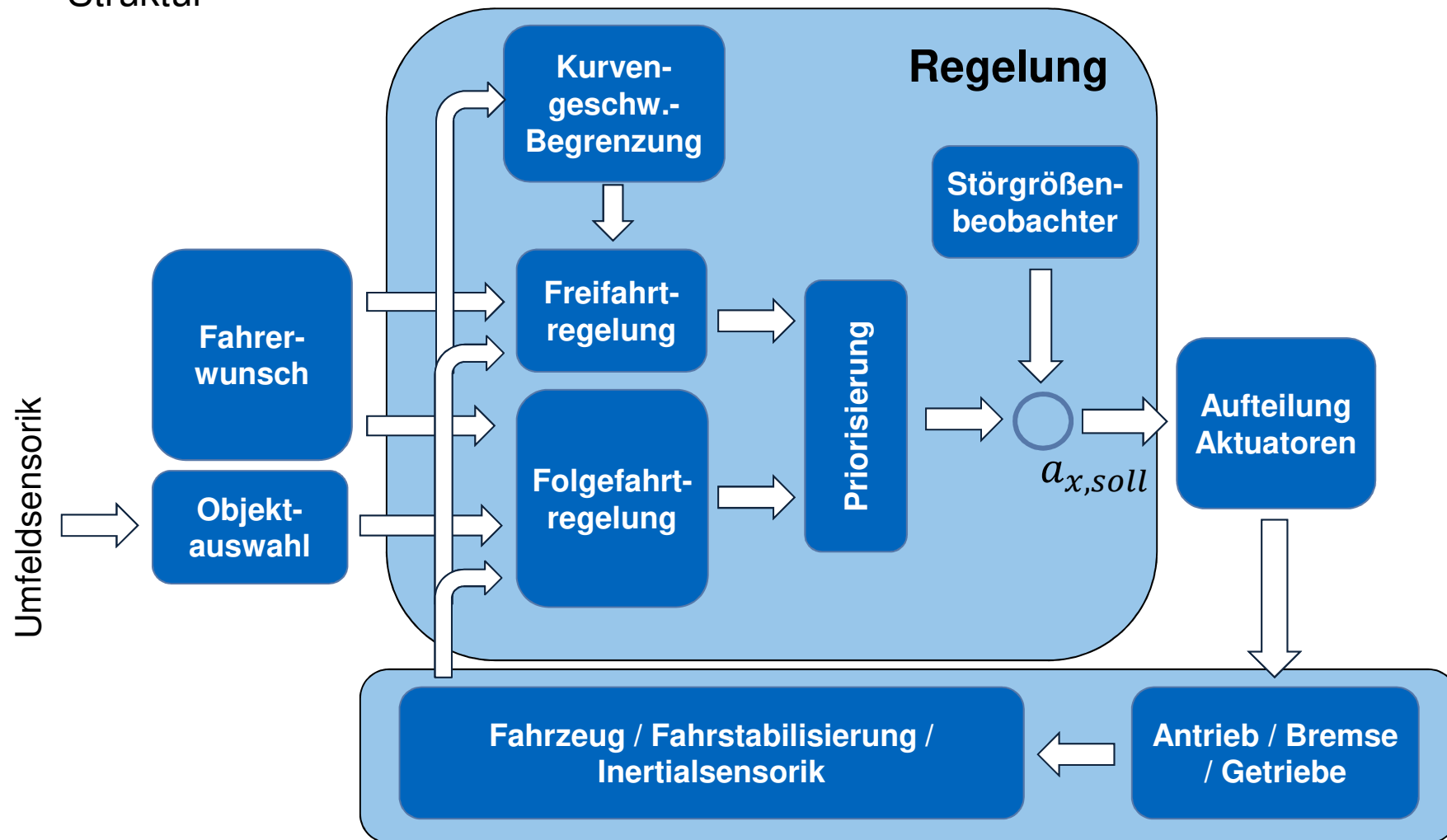
Quelle: Winner, TUD

Sensorsetup und Systemstruktur



Regelungstechnische Umsetzung

Struktur



Kommentarfolie

Folgeregelung

Die Abbildung zeigt in stark vereinfachter Darstellung die ACC-Regelung:

Die Wunschgeschwindigkeit und die Wunschzeitlücke wird innerhalb der definierten Grenzen vom Fahrer gewählt. Der Radar-Sensor liefert potenzielle Zielfahrzeuge mit den Daten Abstand d , Relativgeschwindigkeit v_{rel} (=Differenzgeschwindigkeit) und laterale Position (y_v) oder Winkellage.

Die Inertialsensorik liefert die Information über die Istgeschwindigkeit und die Gierrate.

Mit diesen Informationen kann nun die Objektauswahl erfolgen. Dessen Abstand wird als Istabstand d_{ist} und entsprechend dessen Relativgeschwindigkeit als v_{rel} des relevanten Zielfahrzeugs verwendet. Für die Folgeregelung wird noch der Sollabstand benötigt, der über Wunschzeitlücke und Istgeschwindigkeit gebildet wird. In der Folgeregelung wird die Relativgeschwindigkeit Null und der Sollabstand eingeregelt (natürlich vorausgesetzt, dass es sich um einen Folgevorgang handelt).

Parallel zur Folgeregelung erfolgt eine Fahrgeschwindigkeitsregelung, die versucht, die Differenz zwischen Wunschgeschwindigkeit und Istgeschwindigkeit auszugleichen.

Die ebenfalls parallel arbeitende Kurvengeschwindigkeitsbegrenzung verhindert eine unangemessene Beschleunigung in Kurven. Dies ist erforderlich, da der ACC-Sensor in der Kurve nur eine effektiv verminderte Reichweite besitzt und u.U. sogar das bisherige Zielobjekt „verliert“. Für die Kurvenregelung sind die Eingangsgrößen die Gierrate und die Istgeschwindigkeit (ggf. auch die Querschleunigung).

Alle drei Regelfunktionen liefern Ausgangswerte, z.B. Sollbeschleunigungen. In dem Block „Priorisierung“ wird einer der drei Ausgangswerte ausgewählt (z.B. nach dem Least-Acceleration-Prinzip, bei dem der kleinste Sollbeschleunigungswert ausgewählt wird).

Die resultierende Sollbeschleunigung wird umgesetzt in die Sollgrößen für die Aktorsubsysteme wie Motorsteuerung (meistens Indiziertes Sollmoment) und Bremse (Beschleunigung oder Druck). Diese sorgen ihrerseits dafür, dass sich das Fahrzeug entsprechend der Vorgabe verhält, dass sich also die gewünschte Sollbeschleunigung einstellt.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

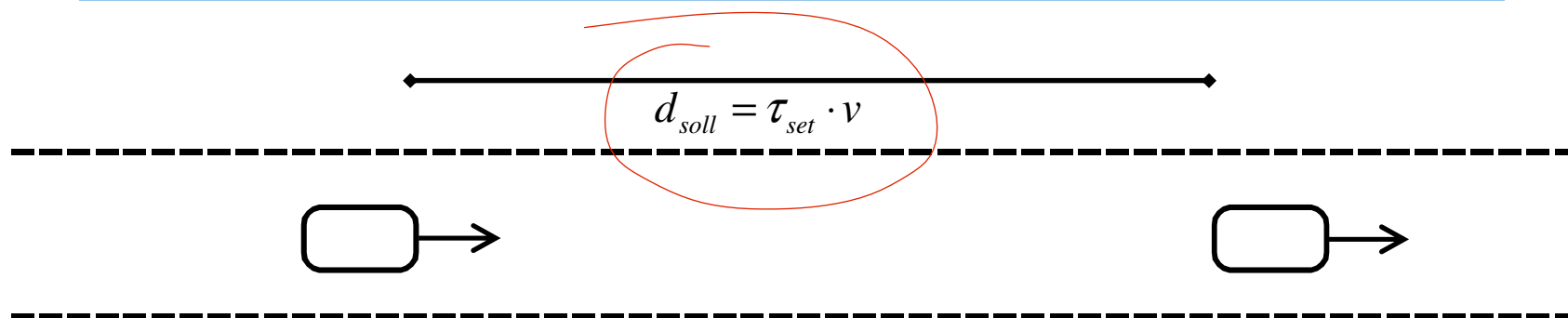
Entwurfsidee eines Folgereglers

随动控制器的设计思路

- Sollabstand (d_{soll}) = Zeitlücke (τ_{set}) · Geschwindigkeit (v)
- Bei Vernachlässigung der Fahrzeuiglänge:

$$\begin{cases} x_{i+1}(t) = x_i(t - \tau_{set}) \\ \dot{x}_{i+1}(t) = \dot{x}_i(t - \tau_{set}) \\ \ddot{x}_{i+1}(t) = \ddot{x}_i(t - \tau_{set}) \end{cases}$$

→ ACC übernimmt um τ_{set} verzögertes Beschleunigungsprofil



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Als Ausgangspunkt der weiteren Überlegungen wird angenommen, dass das ACC-Fahrzeug in einer Zeitlücke τ_{set} dem Zielfahrzeug folgt. Unter Vernachlässigung der Fahrzeuglängen lässt sich daraus ableiten, dass das ACC-Fahrzeug nach einer Zeitdauer von τ_{set} die Position des Zielfahrzeugs erreicht. D.h. das ACC-Fahrzeug kopiert die Position des Zielfahrzeugs, allerdings um die Zeitlücke verschoben. Folgerichtig ist die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Vordermanns zeitverschoben kopiert.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Ausprägungen nach Winner:

- Beschleunigungsgeführter Regler
- Beschleunigungsgeführter Regler mit PT1-Verhalten
- Relativgeschwindigkeitsgeführter Regler
- Kaskadenregelung

优胜者的特点

- 加速引导控制器
- 具有 PT1 行为的加速度控制控制器
- 相对速度控制控制器
- 级联控制

Quelle: Winner, TUD

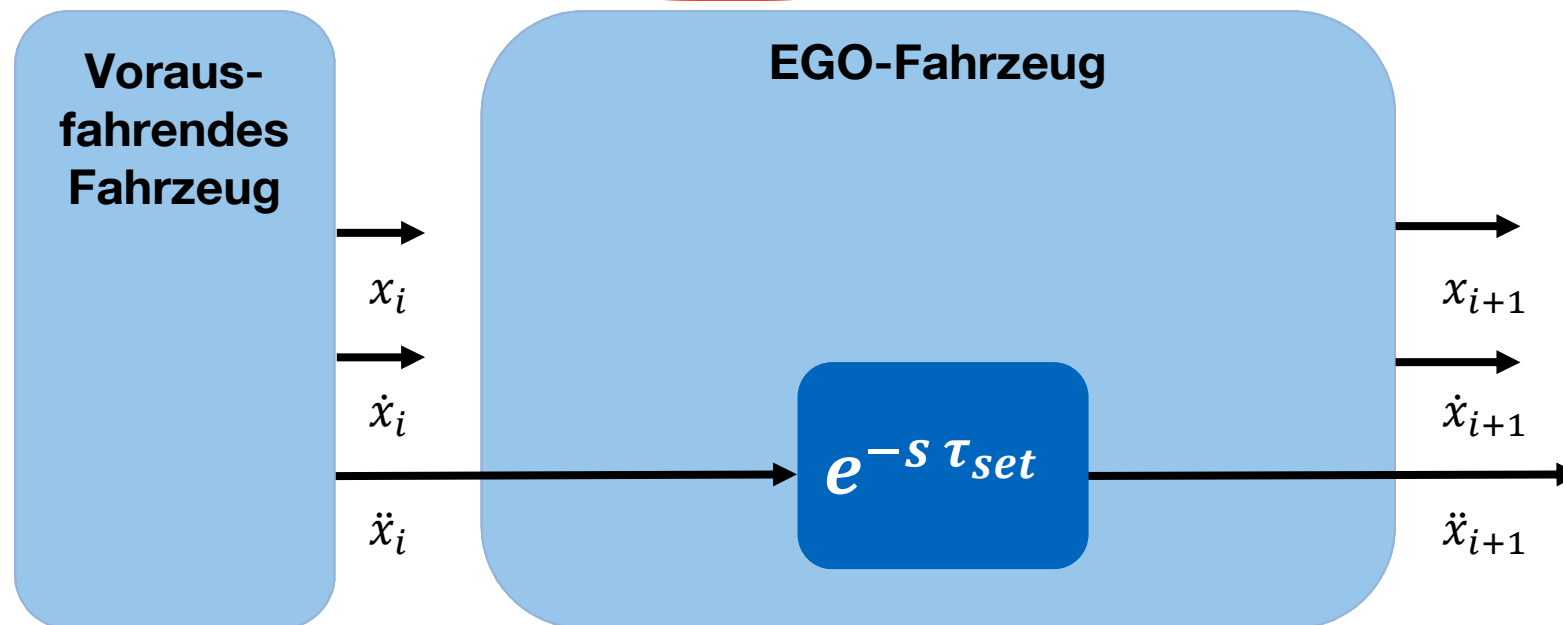
Folgeregelung

Beschleunigungsgeführter Regler

Sollabstand (d_{soll}) = Zeitlücke (τ_{set}) · Geschwindigkeit (v)

→ ACC übernimmt um τ_{set} verzögertes Beschleunigungsprofil:

$$\ddot{x}_{i+1}(t) = \ddot{x}_i(t - \tau_{set})$$



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Der so abgeleitete Regler benötigt für die Funktion die Zielobjektbeschleunigung und gibt als Ausgangswert eine Sollbeschleunigung für einen nachfolgenden idealen Beschleunigungsregler, sodass sich das ACC-Fahrzeug (i+1) mit dieser so gebildeten Sollbeschleunigung bewegt. Die Geschwindigkeit und der Weg ergeben sich als Folge der integrierten Beschleunigung.

Hinweis:

Führt man die Laplace Transformation der Gleichung $\ddot{x}_{i+1}(t) = \ddot{x}_i(t - \tau_{set})$ durch so erhält man die Übertragungsfunktion $G(s) = e^{-s \tau_{set}}$ vom Eingang \ddot{x}_i zum Ausgang \ddot{x}_{i+1} im Frequenzbereich. Für die Durchführung der Laplace Transformation sei auf die Grundlagenvorlesung „Regelungstechnik“ verwiesen.

Was sind Übertragungsfunktionen?

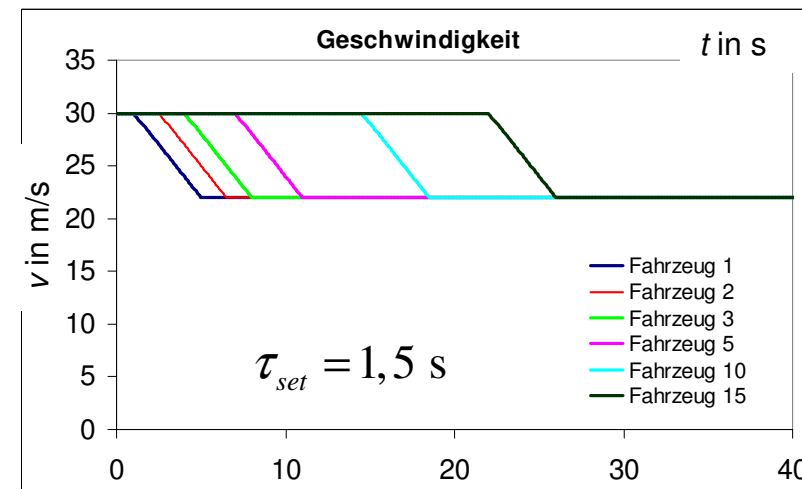
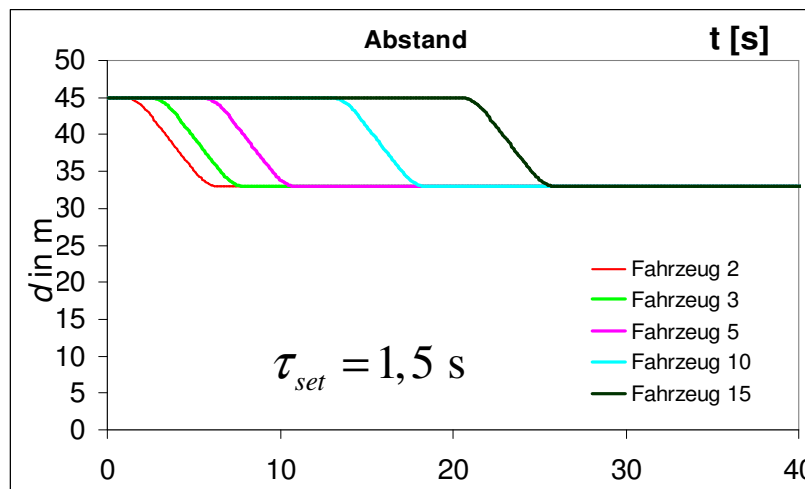
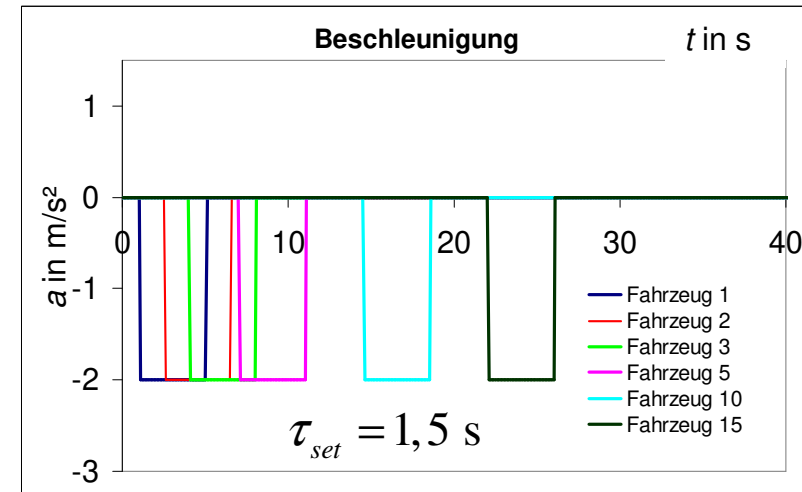
→ <https://www.youtube.com/watch?v=RJleGwXorUk>

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Beschleunigungsgeführter Regler

Resultat: Beispiel Verzögerungsstufe
2 m/s² für 4s



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

In einer Kette von ACC-Fahrzeugen folgen dem ersten Zielfahrzeug (Fahrzeug 1) alle anderen bis Fahrzeug 15 im angenommenen Abstand $\tau_0 \cdot v$ ($= 1,5 \text{ s} \cdot 30 \text{ m/s} = 45 \text{ m}$). Fahrzeug 1 verzögert für 4 s mit 2 m/s^2 . Als Folge dessen fährt es dann mit einer um 8 m/s langsameren Geschwindigkeit weiter. Die nachfolgenden Fahrzeuge folgen im wahrsten Sinne mit der Zeitverzögerung von τ_0 diesem Vorbild. Die Abstandsverringerung in Folge der nun kleineren Geschwindigkeit erfolgt für alle Fahrzeuge der Kette in gleicher Weise.

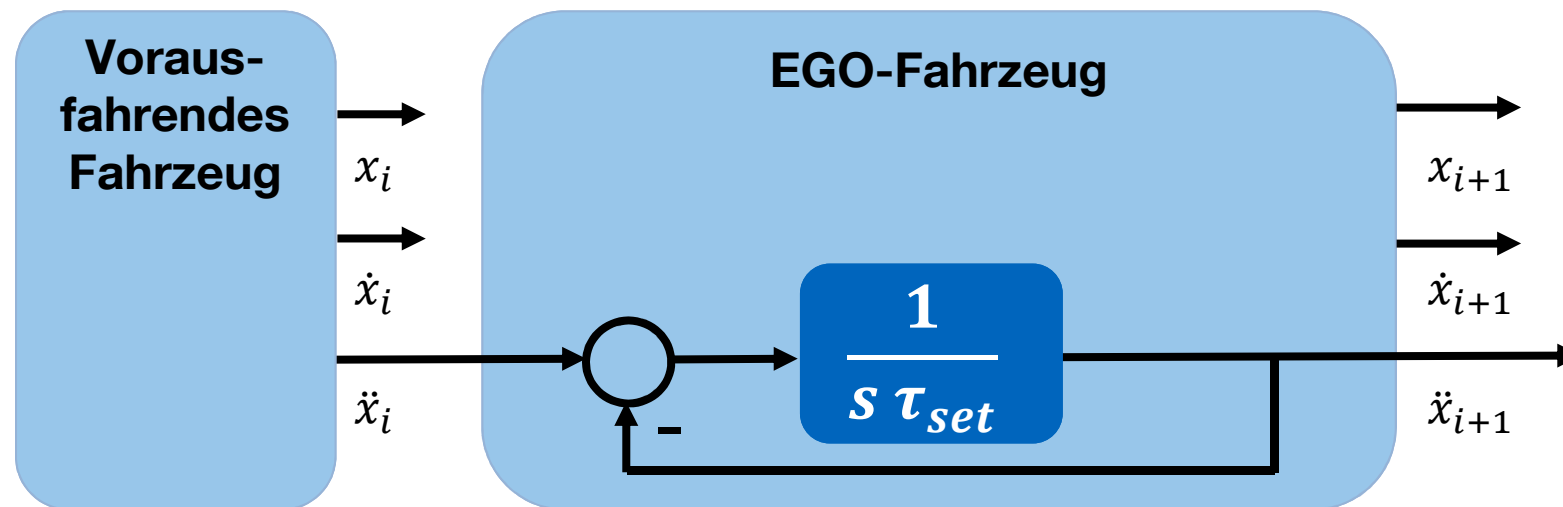
在一连串的自动控制车辆中，第一辆目标车辆（1 号车）以 $\tau_0 \cdot v$ ($= 1.5 \text{ 秒} \cdot 30 \text{ 米/秒} = 45 \text{ 米}$) 的假定距离紧随其后，直到 15 号车。车辆 1 以 2 m/s^2 的速度减速 4 秒。结果，它继续以慢 8 米/秒的速度行驶。随后的车辆在时间延迟为 τ_0 的情况下继续行驶。链条中的所有车辆都会以同样的方式因速度降低而缩短距离。

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Beschleunigungsgeführter Regler mit PT₁-Verhalten

- Statt Verzögerung PT₁-Verhalten
→ Dämpfung der Beschleunigungsstufe
- Umwandlung zum Relativgeschwindigkeitsregler:



$$\ddot{x}_{i+1} = \tau_{set}^{-1} \int (\ddot{x}_i - \ddot{x}_{i+1}) dt = \tau_{set}^{-1} \left(\int \ddot{x}_i dt - \int \ddot{x}_{i+1} dt \right) = \tau_{set}^{-1} (\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1})$$

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Geht man von dem „sturen Kopieren“ der Vorderfahrzeugbewegung ab und ersetzt die Verzögerungsstufe durch einen Tiefpass mit PT1-Verhalten, so lässt sich obige Blockdarstellung ableiten. Spaltet man nun die Terme im ersten Integral auf und integriert sie als einzelnen Term auf, so erhält man die Aussage, dass ein Regler, dessen Sollbeschleunigung proportional zur Geschwindigkeitsdifferenz ist, dem beschleunigungsgeführten Tiefpass-Regler entspricht.

Hinweise:

- Die vollständige Übertragungsfunktion vom Eingang \ddot{x}_i zum Ausgang \ddot{x}_{i+1} in obigem Blockschaltbild lautet $G(s) = \frac{1}{1+s\tau_{set}}$. Dies entspricht einem PT1-Verhalten. Die Übertragungsfunktion $G(s)$ kann mit Hilfe des Blockschaltbildes ermittelt werden:

$$(\ddot{X}_i(s) - \ddot{X}_{i+1}(s)) \frac{1}{s\tau_{set}} = \ddot{X}_{i+1}(s)$$

Aufgelöst nach:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\ddot{X}_{i+1}(s)}{\ddot{X}_i(s)} = \frac{1}{1 + s\tau_{set}}$$

- Eine Multiplikation im Laplace-Bereich mit $\frac{1}{s}$ entspricht einer Integration im Frequenzbereich. Eine Multiplikation im Laplace-Bereich mit s entspricht einer Ableitung im Zeitbereich.

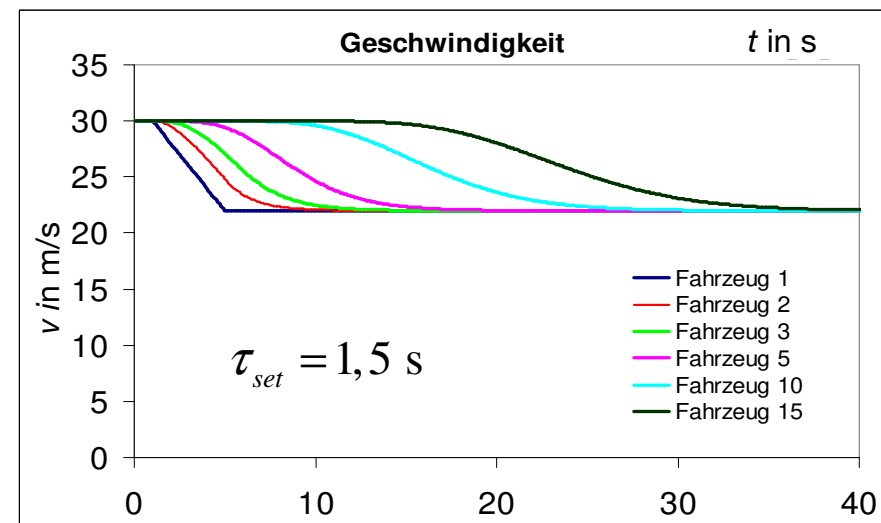
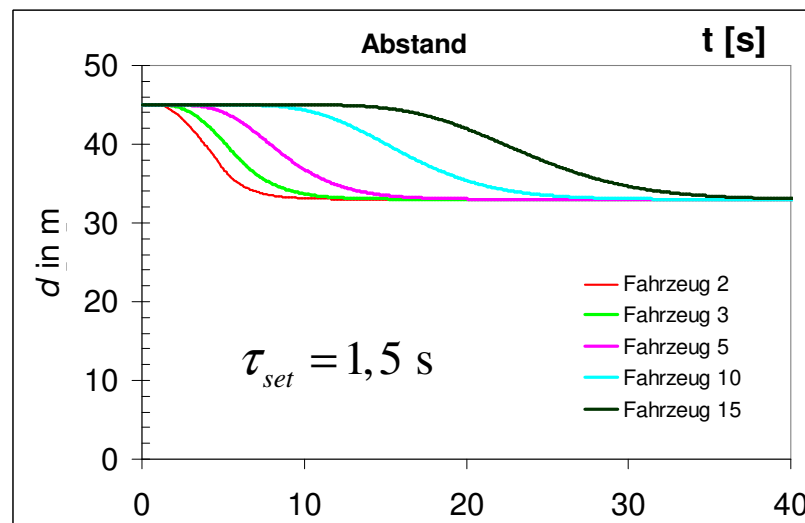
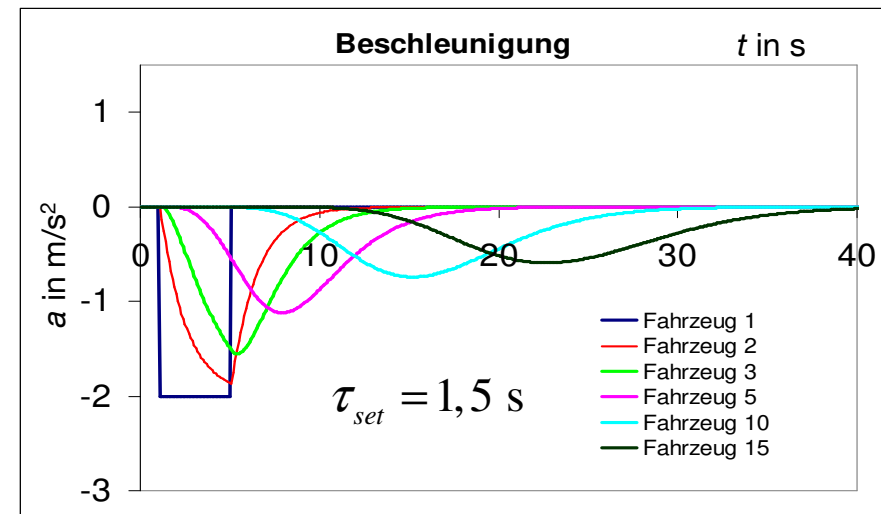
Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Beschleunigungsgeführter Regler mit PT_1 -Verhalten

Resultat:

- Beispiel Verzögerungsstufe 2 m/s^2 für 4 s



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Die Tiefpasscharakteristik des Reglers führt zu einem Verschleifen der Reaktion in der fortlaufenden ACC-Kette. Da aber die Gruppenlaufzeit des Tiefpasses mit der Zeitlücke übereinstimmt, konvergieren die Folgeregler ohne Überschwingen zum gleichen Geschwindigkeits- und Abstandsenswert.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Probleme mit beschleunigungsgeführtem Regler

- Bestimmung der Beschleunigung \ddot{x}_i nur sehr umständlich:
 - Messung der Relativgeschwindigkeit durch Radar
 - daraus Ableitung der Relativbeschleunigung
 - Messung der Egofahrzeuggeschwindigkeit über Raddrehzahlen
 - daraus Ableitung der Ego-Beschleunigung
 - Addition der Relativbeschleunigung und Ego-Beschleunigung
- Keine Anpassung von Geschwindigkeitsunterschieden und Zeitlückenabweichungen
- Keine Störunterdrückung (kein gesichert stationär genaues Verhalten)
- Verzögerung muss exakt umgesetzt werden

- 确定加速度 E 非常麻烦:
- 用雷达测量相对速度
- 由此推导出相对加速度
- 通过轮速测量自我车速
- 由此推导出自我加速度
- 将相对加速度和自我加速度相加
- 不调整速度差和时间差偏差
- 无干扰抑制 (无法确保静态精确行为)
- 必须准确执行延迟

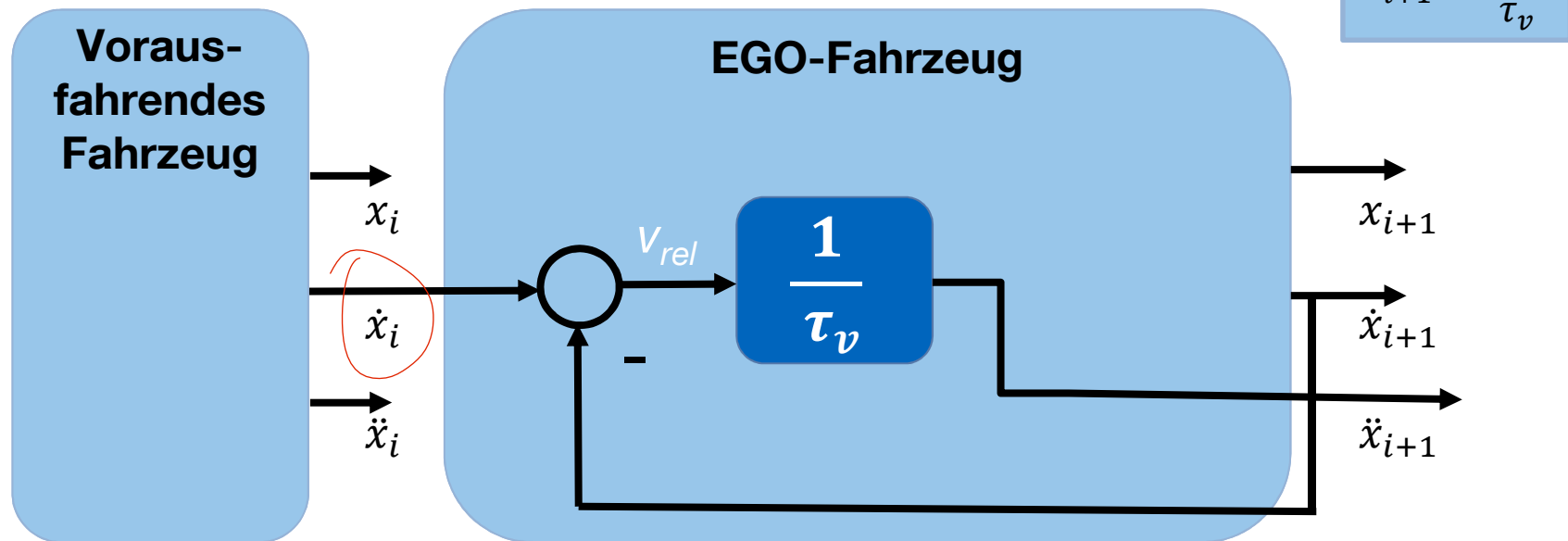
Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Relativgeschwindigkeitsgeführter Regler

Statt Beschleunigungsführung nun v_{rel} als direkter Eingang

- Identisches Verhalten wie beschleunigungsgeführter PT_1 -Regler (für $\tau_v = \tau_{set}$)
- Gute Messgröße v_{rel} , aber keine Abstandsanpassung



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Die Vorteile der Umwandlung vom beschleunigungsgeführten Regler zum relativgeschwindigkeitsgeführten Regler liegen auf der Hand, da v_{rel} als Messgröße zur Verfügung steht. Die bisherigen Betrachtungen gingen vom eingeschwungenen Ausgangszustand aus, d.h. $v_{rel} = 0$ und Istabstand $d = \text{Sollabstand } \tau_{set} \cdot v$. Ist jedoch der Abstand ein anderer (z.B. bei Erstannäherung oder Einscherern), so muss auch die Differenz zwischen Soll- und Istabstand ausgeregelt werden.

In diesem Bild wird die für die spätere Betrachtung wichtige Verallgemeinerung der Regelkonstanten von τ_{set} zu τ_v eingeführt.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung

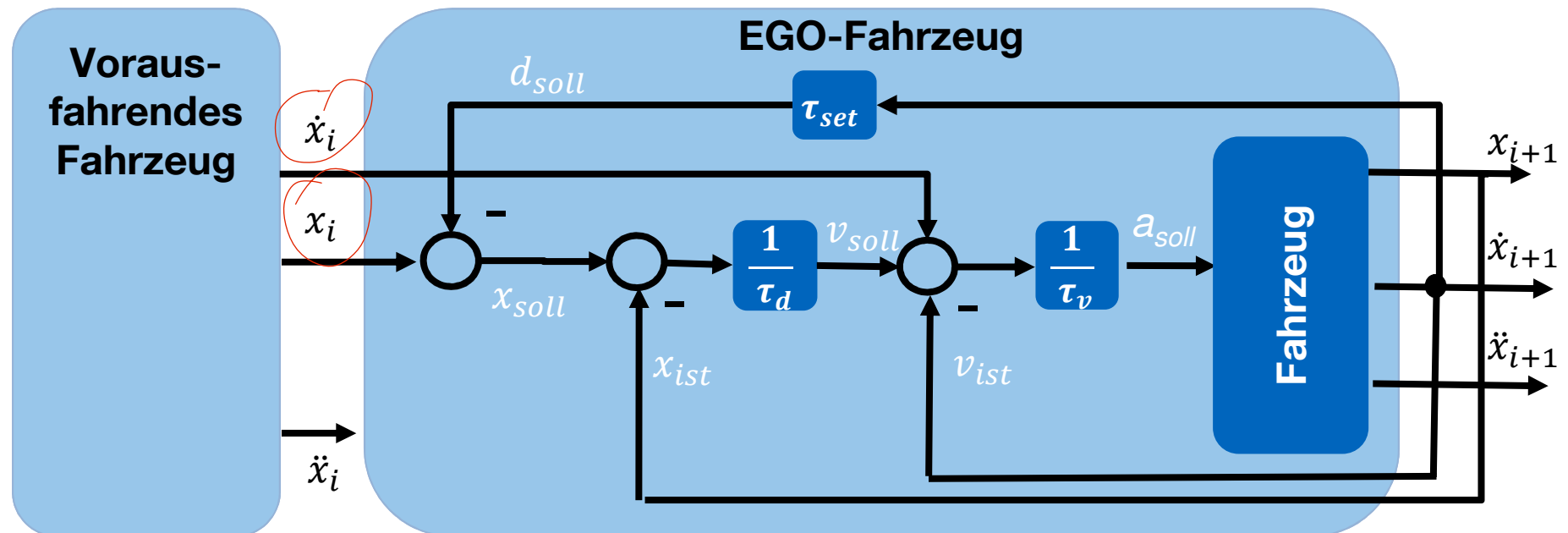
级联控制

- 目标距离 = 时间差 · (自我) 速度: "

- 速度和位置控制:

- &

- Sollabstand = Zeitlücke · (Ego-)Geschwindigkeit: $d_{soll} = \tau_{set} \cdot v_{EGO}$
- Geschwindigkeits- und Positionsregelung:



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Um die Abstandsdifferenz zu berücksichtigen, wird der Zweig von v_{rel} zur Faktorisierung mit τ_v^{-1} unterbrochen. Zunächst wird der Sollabstand als Produkt der Zeitlücke und der Istgeschwindigkeit gebildet. Die Differenz zwischen Abstand d und d_{soll} wird mit τ_d^{-1} multipliziert. Dieses Produkt stellt eine zusätzliche Relativgeschwindigkeit zum Ausgleich der Abstandsdifferenzen dar. Folglich bildet sie mit der gemessenen Relativgeschwindigkeit die Summe, die mit τ_v^{-1} multipliziert wird. Der Regler wird nun durch die beiden Zeitkonstanten τ_v und τ_d bestimmt.

Bildung des Regelfehler für den Abstand:

$$x_{soll} = x_i - d_{soll}$$

$$x_{ist} = x_{i+1}$$

$$\text{Regelfehler} = x_{soll} - x_{ist} = x_i - d_{soll} - x_{i+1}$$

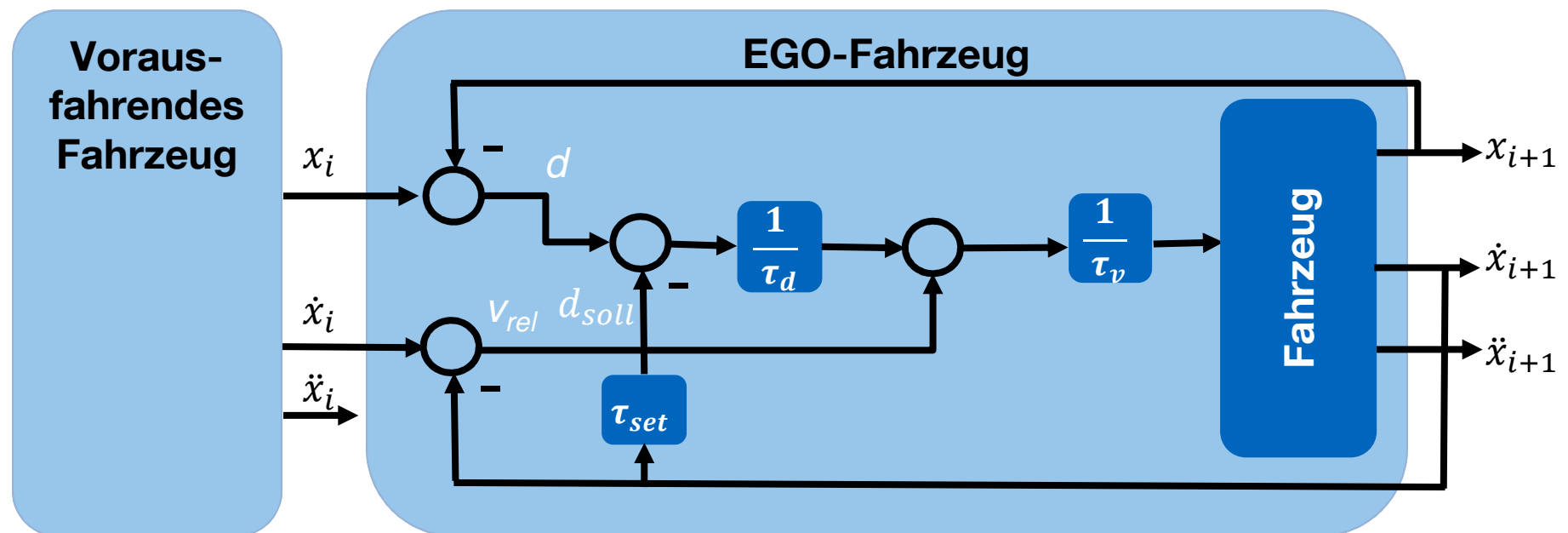
Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung, Darstellung über Relativabstand und Relativgeschwindigkeit

Differenz Ist-Sollabstand wird mit $1/\tau_d$ gewichtet auf v_{rel} addiert

➤ Regler wird durch die zwei Zeitkonstanten τ_v und τ_d bestimmt



$$\ddot{x}_{i+1} = \frac{v_{rel} + (d - d_{soll})/\tau_d}{\tau_v}$$

mit $v_{rel} = \dot{x}_i - \dot{x}_{i+1}$

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung

- τ_d 的测定

- 与目标距离（相当于剪切车辆）之间的距离差为-20m，应仅导致轻微减速（1m/s²）。

- Bestimmung von τ_d :
- Abstandsdifferenz von -20m zu Sollabstand (entspricht einsche-
rendem Fahrzeug) soll nur zu leichter Verzögerung (1m/s²) führen

$$\ddot{x}_{i+1} = \frac{v_{rel} + (d - d_{soll})/\tau_d}{\tau_v}$$

$$-1 \frac{m}{s^2} = \frac{0 + (-20m)/\tau_d}{\tau_v} \Leftrightarrow \tau_v \cdot \tau_d = 20s^2$$

→ Produkt $\tau_v \cdot \tau_d = 20s^2$

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Nun gilt es, eine praxistaugliche Auslegung für diese beiden Konstanten zu finden. Als erstes Beispiel soll das Zurückfallen in einer Einschersituation betrachtet werden. Dabei wird angenommen, dass das einscherende Fahrzeug ohne Geschwindigkeitsdifferenz in einem Abstand einschert, der 20 m kleiner ist als der Sollabstand. Eine angemessene Reaktion wäre eine Verzögerung von etwa 1 m/s². Dies entspricht dem Gas wegnehmen oder einer sehr leichten Bremsung. Aus dem Regelgesetz folgt, dass das Produkt $\tau_v \cdot \tau_d$ den Wert 20 s² annehmen sollte. Dieser Wert wird bei den nachfolgenden Betrachtungen verwendet.

Die Anwendung des Relativgeschwindigkeits- und Abstandsreglers (mit $\tau_v = 1,5$ s und $\tau_d = 20\text{s}/1,5$) auf das Szenario mit der Verzögerungsstufe ergibt ein nicht unterscheidbares Verhalten zum alleinigen Relativgeschwindigkeits- bzw. PT₁-Beschleunigungsregler. Dies ist auch verständlich, da die Anfangsbedingung ohne Abstandsregeldifferenz gewählt wurde.

Was ist stationäre Genauigkeit? Was ist ein PID-Regler?

→ <https://www.youtube.com/watch?v=wkfEZmsQqiA>

Was ist eine Vorsteuerung?

→ https://www.youtube.com/watch?v=FW_ay7K4jPE

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung

级联控制

- 级联控制的其余缺点：
- 出现故障时无稳态精度

- 干扰变量举例
坡度 空气阻力 滚动阻力

- Verbleibender Nachteil der Kaskadenregelung:
 - Keine stationäre Genauigkeit bei Vorliegen von Störungen

措施

- Beispiel für Störgrößen:

- Steigungen
- Luftwiderstand
- Rollwiderstand

- 在控制回路中用 PI 控制器代替 P 控制器
- 受操纵变量限制的问题（上发条）

前馈控制

- 可直接考虑限制因素

- Maßnahmen:

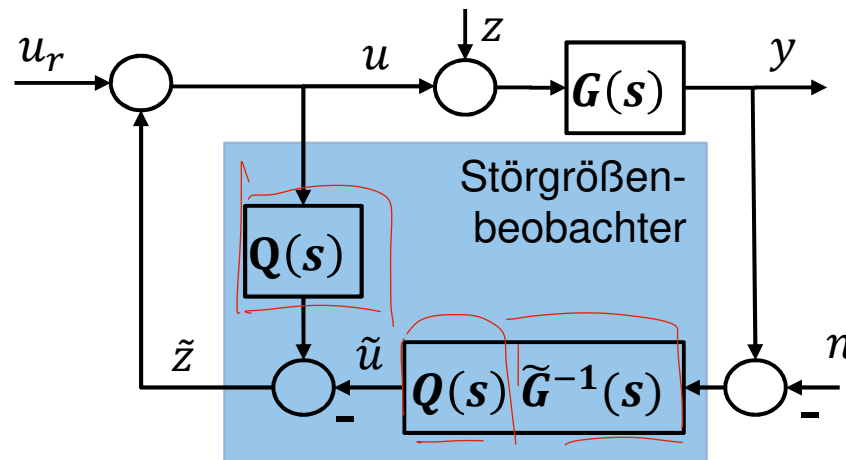
- PI-Regler anstatt P-Regler im Regelkreis
 - Problem mit Stellgrößenbegrenzungen (Wind-up)
- Störgrößenaufschaltung
 - Möglichkeit Begrenzungen direkt zu berücksichtigen

- 不可测量的干扰可通过干扰观测器来触发。
- 可扩展的影响
- 在控制环路中产生一个积分成分
- 可测量/可建模干扰可改善观测结果。

Folgeregelung

Störgrößenaufschaltung

- Nicht messbare Störungen können durch einen Störgrößenbeobachter aufgeschaltet werden.
- Skalierbarer Einfluss
- Erzeugt einen Integral-Anteil im Regelkreis
- Beobachtungsergebnis kann durch messbare/modellierbare Störungen verbessert werden.
- Beispielhafte Umsetzung:

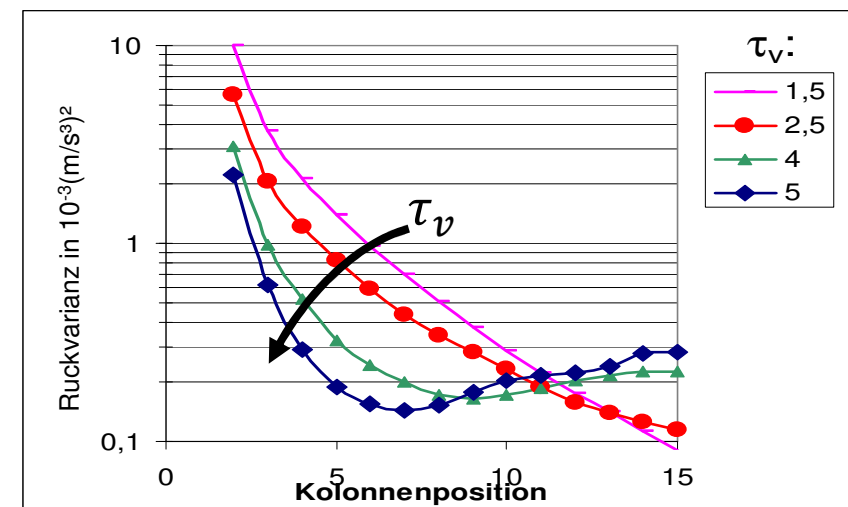
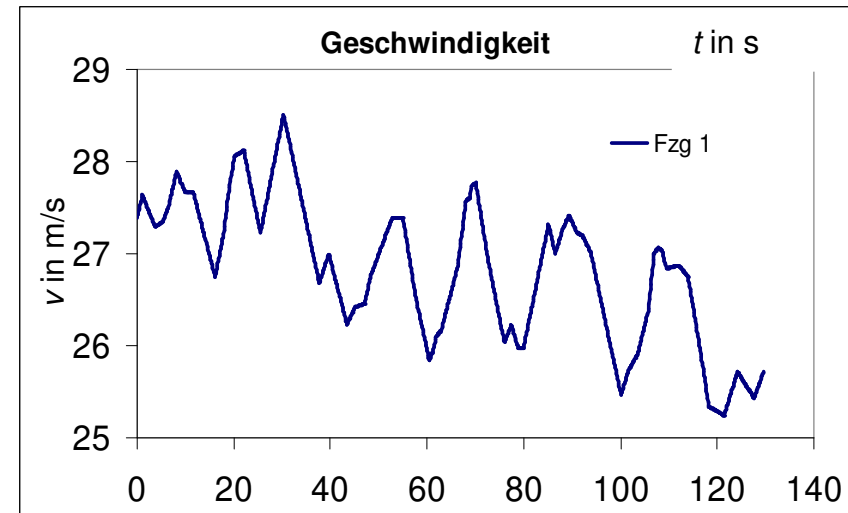
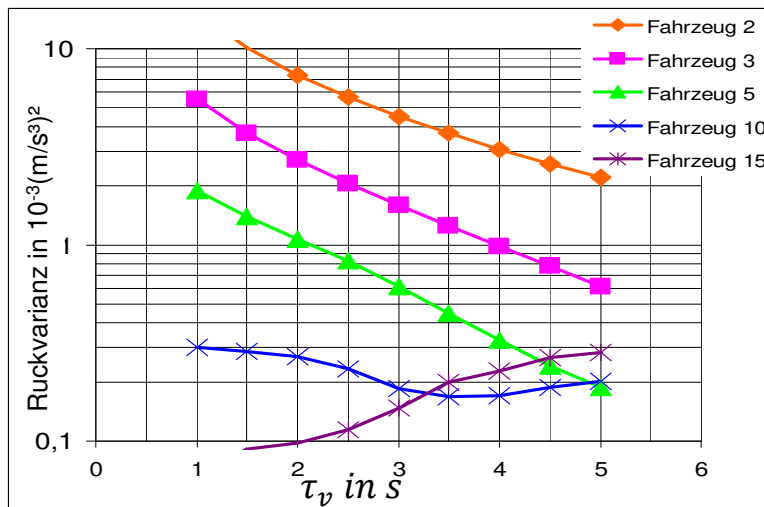


u ... Sollbeschleunigung
 y ... Istbeschleunigung
 z ... Störung
 n ... Messrauschen
 $G(s)$... Strecke
 $Q(s)$... Filter

Folgeregelung

Verhalten eines typischen Fahrers

- Fahrer ändern die Fahrzeugbeschleunigung in Stufen
- Absenkung der Stufenauswirkung durch größere Werte von τ_v
- aber auch Anfachen der Resonanzschwingung $\approx 0,025\text{Hz}$



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Im praktischen Betrieb ist eine Regelung mit $\tau_v=1,5$ s und $\tau_d=20\text{s}/1,5$ keinesfalls komfortabel. Die Ursache ist, dass Fahrer die Fahrgeschwindigkeit nicht konstant halten. Betrachtet man ein typisches Folgemanöver eines „humanen“ Fahrers [Witte1996], so sieht man ein unstetiges Beschleunigungsverhalten. Dies lässt sich damit erklären, dass die Relativgeschwindigkeit vom Menschen nur grob bestimmt werden kann und dass die Gaspedalposition nach der Trial&Error-Methode gewählt wird, d.h. erst geändert wird, wenn es zu einer merklichen Abweichung zum Wunschverhalten gekommen ist.

Die Übertragung dieses Ruckverhaltens auf nachfolgende Fahrzeuge kann durch eine größere Regelzeitkonstante τ_v erheblich abgemildert werden. Die Ruckvarianz als Bewertungsgröße ist über die mittlere quadratische Abweichung des Rucks, der zeitlichen Ableitung der Beschleunigung, vom mittleren Ruck (der hier nahezu Null ist) definiert. Ruck gilt allgemein als komfortmindernde Größe. Die beiden Abbildungen zeigen deutlich die ruckvermindernde Wirkung größerer τ_v . Bei hoher Kolonnenpositionszahl sieht man allerdings wieder ein Ansteigen der Ruckvarianz. Dies ist ein Zeichen beginnenden Aufschaukelns der Resonanz bei 0,025 Hz.

$$\text{Ruckvarianz} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\ddot{x}_{i,k} - \bar{\ddot{x}}_i)^2 \quad \text{mit} \quad \bar{\ddot{x}}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \ddot{x}_{i,k}$$

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung

■ Mehr Komfort bei kolonneninstabiler Regelung

□ Bessere Dämpfung höherer Frequenzen

- 更高频率的衰减效果更好

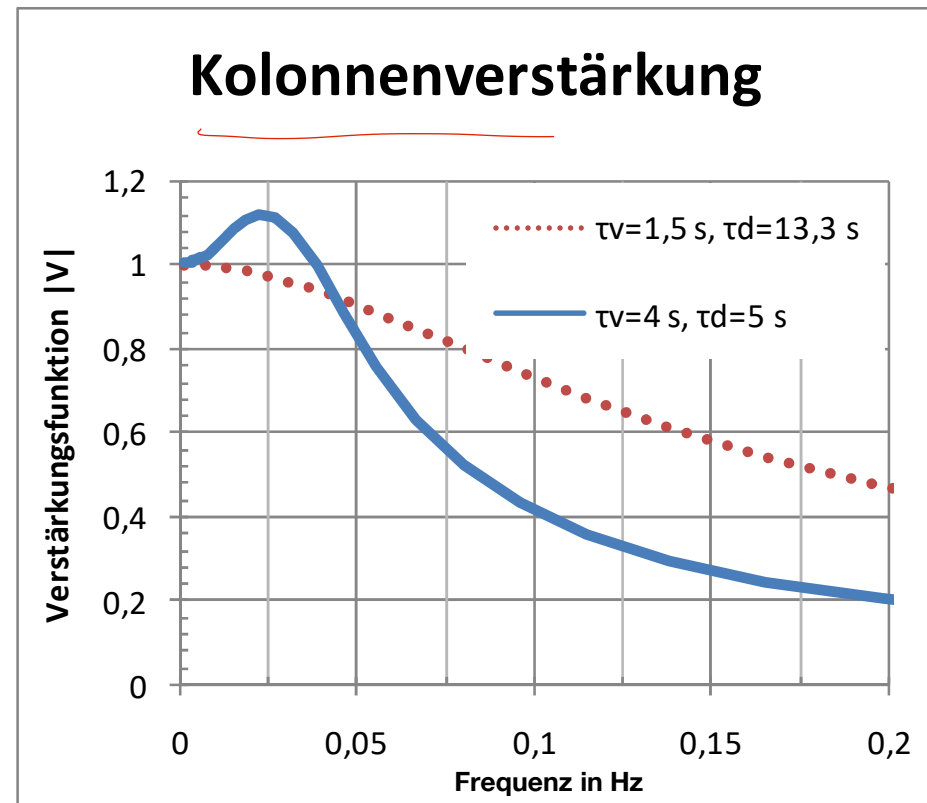
- 减少颠簸

□ Reduziert den Ruck
aber: Instabilität bei ca. 0,025Hz

- 但：在约 0.025Hz 处不稳定

$$V(\omega) = \frac{A_{i+1}(\omega)}{A_i(\omega)}$$

$$\text{mit } a_i(t) = \ddot{x}_i(t)$$



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Betrachtet man die Fortpflanzung der Beschleunigung von einem Fahrzeug zum nächsten, so lässt sich die Kolonnenstabilität über die Betrachtung des Frequenzgangs bestimmen. Dazu werden der Quotient zwischen der (komplexen) Beschleunigungsamplitude des Fahrzeugs $i+1$ und der des vorausfahrenden Fahrzeugs i gebildet. Auf Basis des Regelgesetzes mit der entsprechenden Umwandlung von Geschwindigkeit und Abstand als einfaches oder doppeltes Integral kann die Übertragungsfunktion V gebildet werden.

Mit den $a_i(t) = \ddot{x}_i(t)$ ergibt sich obige komplexe Übertragungsfunktion $V(\omega)$:

$$V(\omega) = \frac{A_{i+1}(\omega)}{A_i(\omega)} = \frac{1 + j\omega\tau_d}{1 + j\omega(\tau_d + \tau_{set}) - \omega^2\tau_d\tau_v}$$

Die Kolonne ist genau dann stabil, wenn die Bedingung

$$|V(\omega)| = \left| \frac{A_{i+1}(\omega)}{A_i(\omega)} \right| \leq 1, \text{ für } \omega \geq 0$$

erfüllt ist. Der Betrag $|V(\omega)|$ beginnt bei $V(0)=1$ und fällt für

$$\tau_v \leq \tau_{set} \left(1 + \frac{\tau_{set}}{2\tau_d} \right)$$

monoton ab, andernfalls steigt er zunächst und fällt danach umso stärker ab.

Ein Betrag größer 1 bedeutet aber ein Aufschaukeln der Beschleunigung von Fahrzeugposition zu Fahrzeugposition; das Verhalten ist also instabil.

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Herleitung von:

$$V(\omega) = \frac{A_{i+1}(\omega)}{A_i(\omega)} = \frac{1 + j\omega\tau_d}{1 + j\omega(\tau_d + \tau_{set}) - \omega^2\tau_d\tau_v}$$

Ausgangsformeln von Folie 5-84 bis Folie 5-87:

$$\ddot{x}_{i+1} = \frac{v_{rel} + (d - d_{soll})/\tau_d}{\tau_v} \quad \text{mit} \quad v_{rel} = \dot{x}_i - \dot{x}_{i+1}; \quad d_{soll} = \tau_{set} \cdot \dot{x}_{i+1}; \quad d = x_i - x_{i+1}$$

$$\tau_v \ddot{x}_{i+1} = \dot{x}_i - \dot{x}_{i+1} + \frac{1}{\tau_d} (x_i - x_{i+1} - \tau_{set} \cdot \dot{x}_{i+1})$$

$$\tau_d \tau_v \ddot{x}_{i+1} = \tau_d \dot{x}_i - (\tau_d + \tau_{set}) \dot{x}_{i+1} + x_i - x_{i+1}$$

$$\rightarrow \text{Laplace Transformation mit: } \ddot{x}_{i+1} = A_{i+1}; \quad \dot{x}_{i+1} = \frac{1}{s} A_{i+1}; \quad x_{i+1} = \frac{1}{s^2} A_{i+1}$$

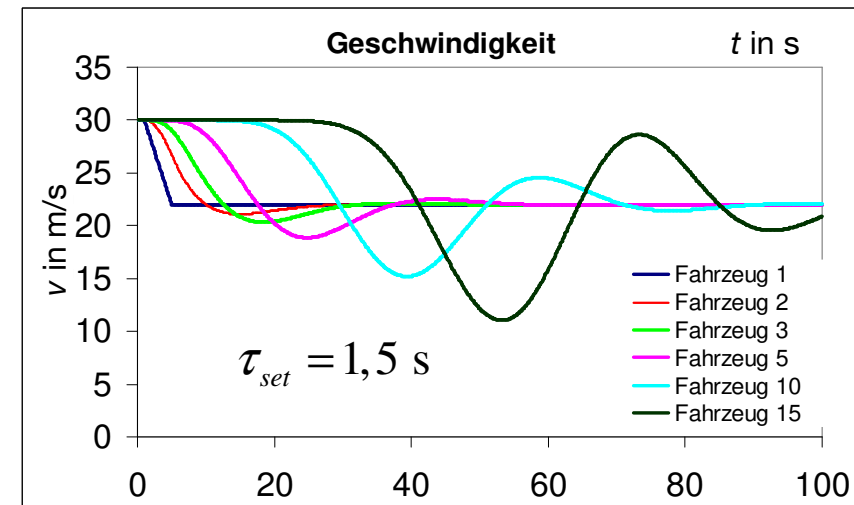
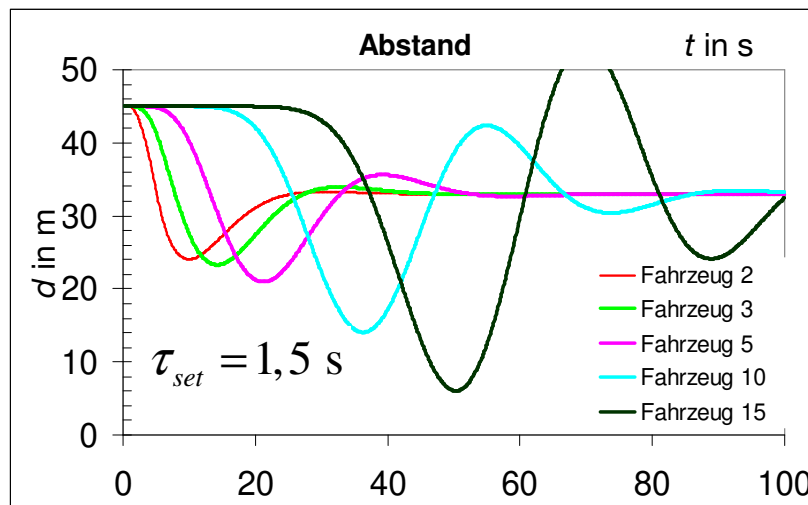
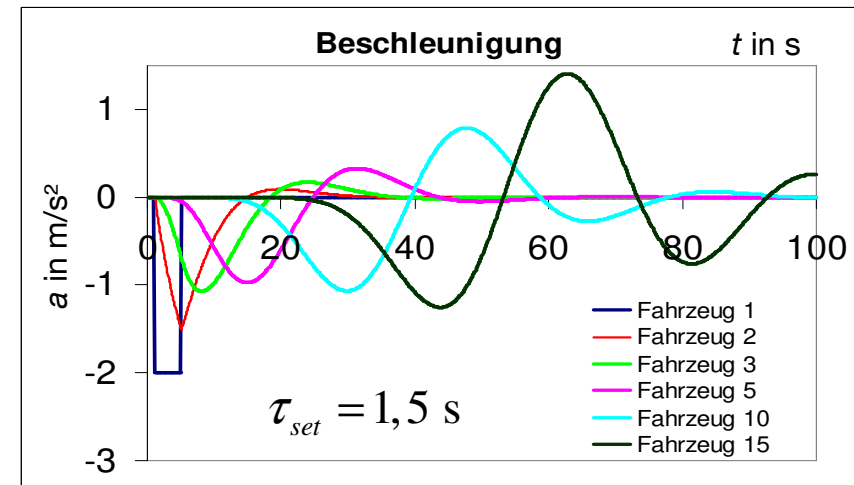
$$(\tau_d \tau_v s^2 + (\tau_d + \tau_{set})s + 1)A_{i+1} = (\tau_d s + 1)A_i$$

Unter Verwendung von $s = j\omega$ bzw. $s^2 = -\omega^2$ ergibt sich obige Formel für $V(\omega)$. Auf Folie 5-78 sehen Sie die gleiche Übertragungsfunktion für einen Beschleunigungsgeführten Regler mit PT1 Verhalten.

Folgeregelung

Kaskadenregelung

- Beispiel Verzögerungsstufe 2m/s^2 für 4s
- $\tau_{set} = 1,5\text{s}$, $\tau_v = 4\text{s}$ (instabil), $\tau_d = 5\text{s}$



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

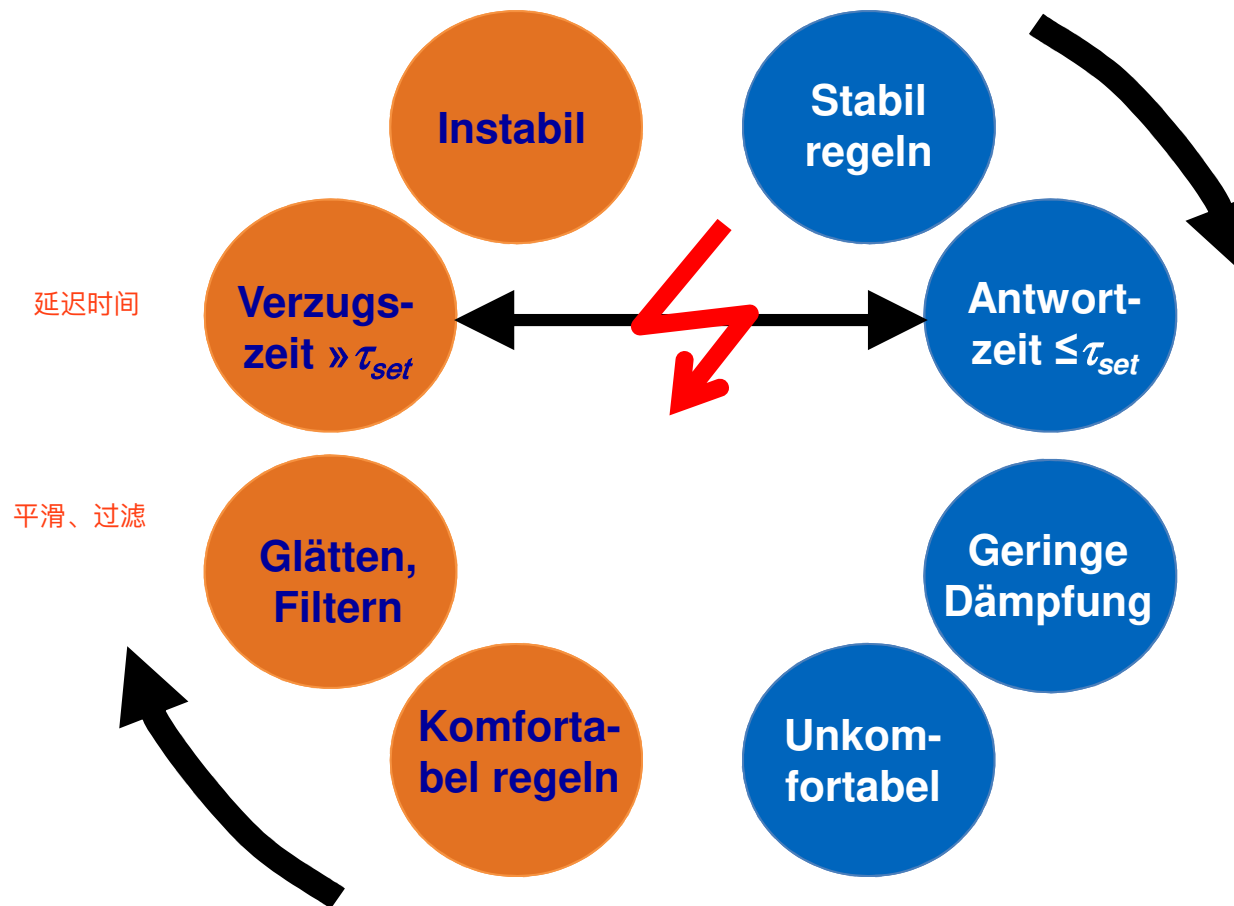
Wählt man nun eine größere Geschwindigkeitsregelzeitkonstante von $\tau_v=4$ s (und folglich auch $\tau_d=5$ s), ist ein überschwingendes Verhalten in der ACC-Kolonne zu beobachten. Die Beschleunigungsausschläge sind zunächst geringer als bei $\tau_v=1,5$ s (Fahrzeuge 2 und 3), ab Fahrzeug 5 werden größere Ausschläge beobachtet. Im Abstandsdiagramm sieht man, dass das Fahrzeug 15 nur noch einen bedrohlich kleinen Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug besitzt.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

舒适性和支柱稳定性

Dilemma zwischen Komfort und Kolonnenstabilität



Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung

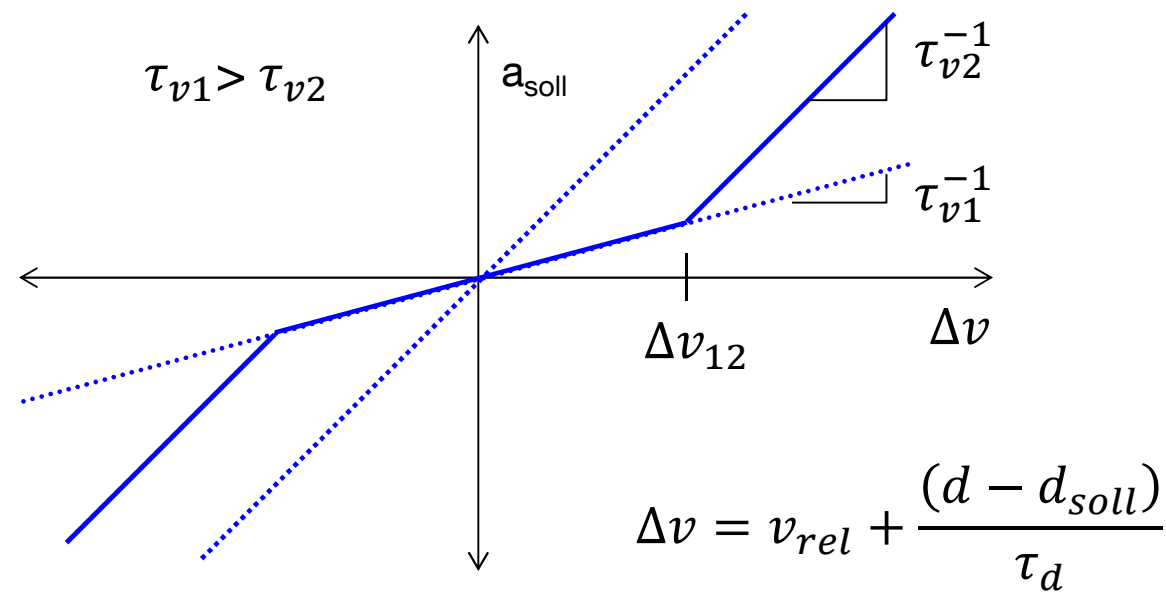
非线性控制器

- 时间常数大！ *D 用于较小的控制偏差

- 小时间常数！ */ 用于较大的控制偏差

■ Nichtlinearer Regler

- Große Zeitkonstante τ_{v1} bei kleineren Regelabweichungen
- Kleine Zeitkonstante τ_{v2} bei größeren Regelabweichungen



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

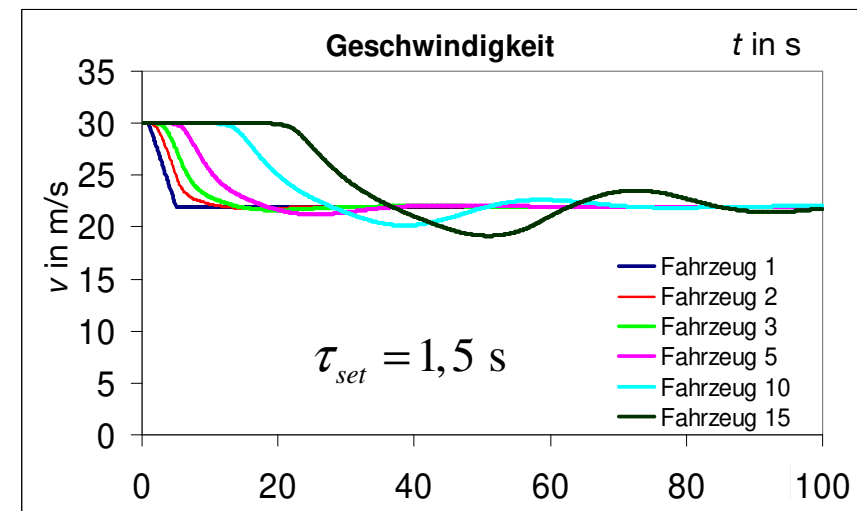
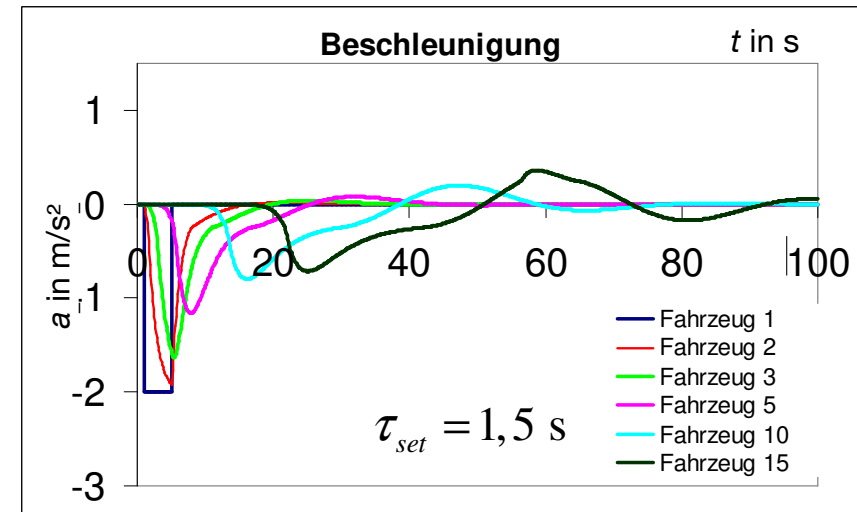
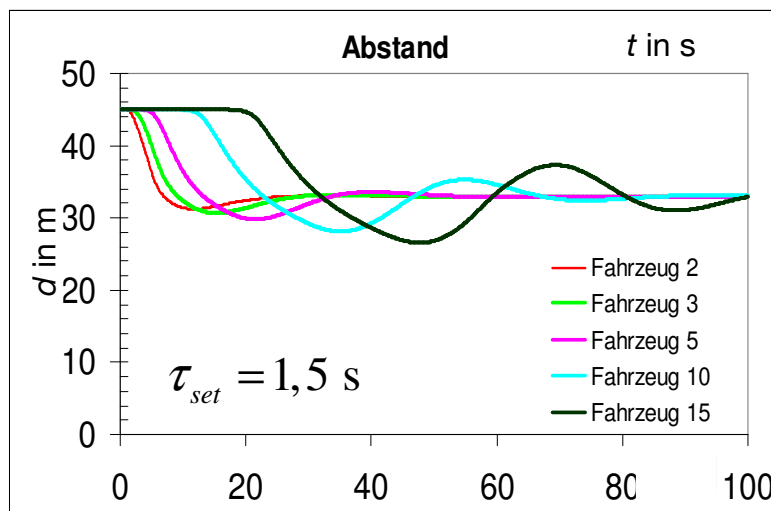
Einen Ausweg bieten nichtlineare Regler. Dabei wird im Bereich kleiner Abweichungen das komfortable Verhalten implementiert und bei größeren Abweichungen eine eher stabile Auslegung. Im Diagramm ist als Beispiel eine zweifach geknickte Kennlinie angegeben, die entsprechendes leistet.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung

- Beispiel Folgefahrt mit Verzögerungsstufe
- $\tau_{set} = 1,5s$, $\tau_d = 5s$, $\tau_{v1} = 4s$,
 $\tau_{v2} = 1,33s$, $\Delta v_{12} = 1 \frac{m}{s}$ ($3,6 \frac{km}{h}$)



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

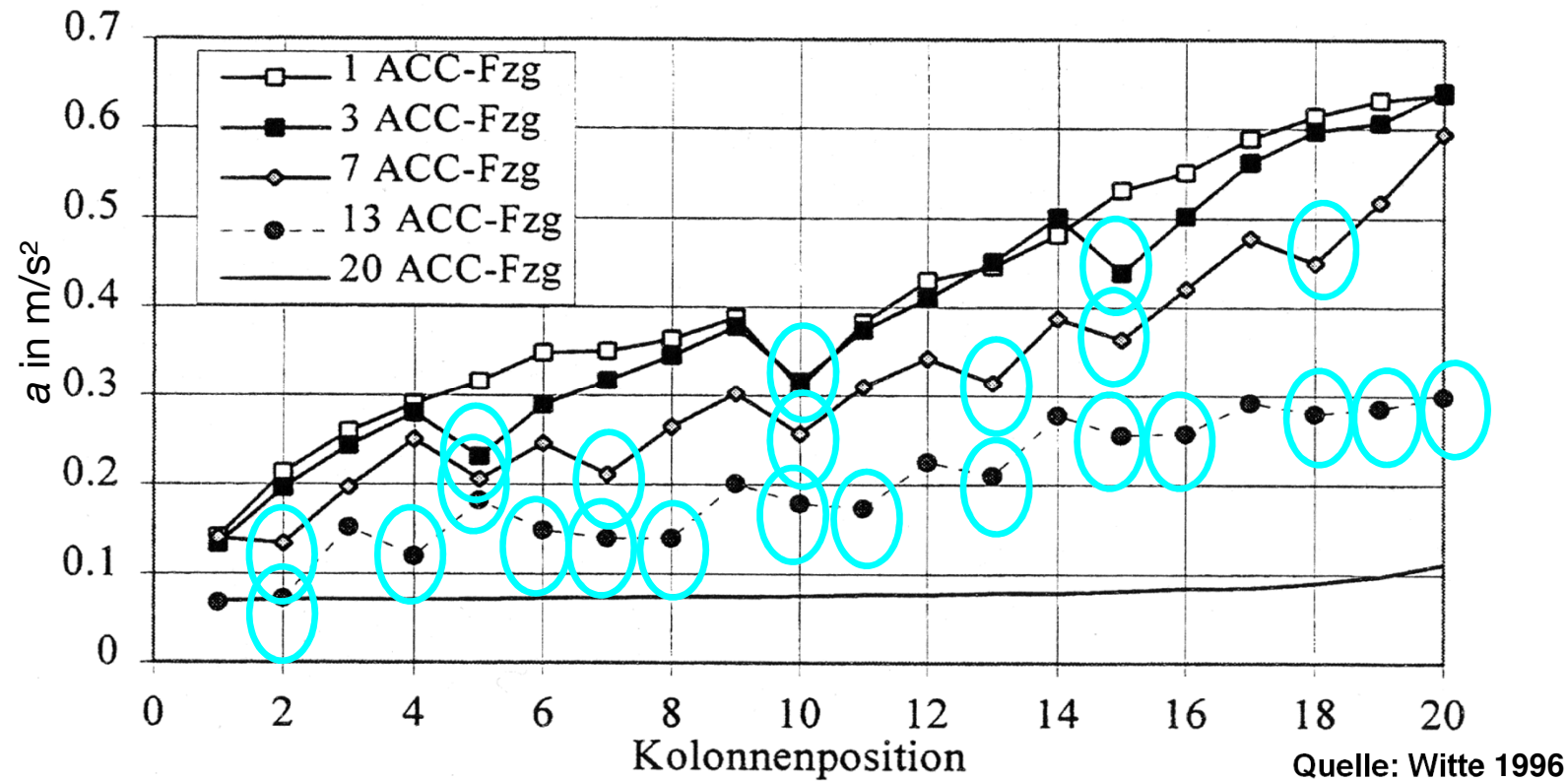
Eine entsprechend der vorstehenden Kennlinie implementierter Regler zeigt dann die damit erreichbaren Stabilitätsverbesserung. Auch bei Fahrzeug 15 ist nur noch ein geringes Überschwingen vorhanden. Bezogen auf das Kleinsignalverhalten ist dies allerdings weiterhin ein kolonneninstabiler Regler.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Kaskadenregelung

- „Verkehrsberuhigung“ durch ACC



Kommentarfolie

Die Betrachtungen zur Kolonnenstabilität gehen immer von einer Kette von vollständig mit ACC regelnden Fahrzeugen aus. Bei einem gemischten Verkehr wirkt sich ACC schon mit einem kleinen Anteil verkehrsberuhigend aus, wie [Witte1996] in einer Simulation aufzeigte.

Quelle: Winner, TUD

Folgeregelung

Zusammenfassung

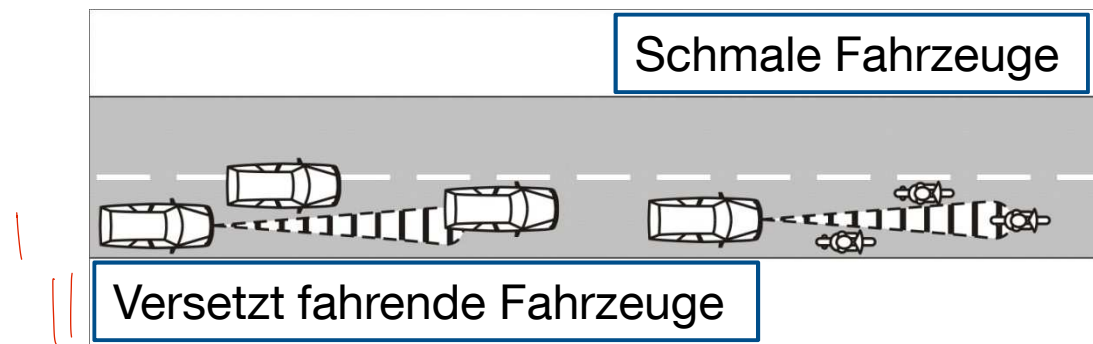
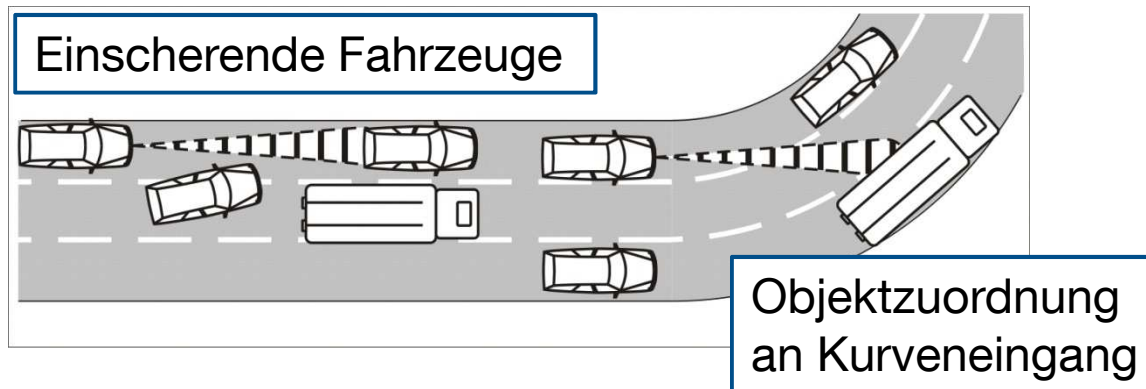
- 需要非线性相对速度和距离控制，以兼顾舒适性和跟车稳定性
- 减速跳跃时有足够的稳定性
- 良好的 "前方不稳定" 平滑性
- 在小信号行为中，立柱仍不稳定
- 然而，实际交通状况会破坏振荡的形成
- 在实际测试中，即使使用 8ACC 车辆链，也观察不到摆动现象
- 在 "人为" 纵向引导的情况下，加速度波动的增幅通常要高出数倍
- 对交通流有缓和作用

- Nichtlineare Relativgeschwindigkeits- und Abstandregelung ist erforderlich, um Komfort und Folgestabilität zu verbinden
 - Ausreichende Stabilität bei Verzögerungssprüngen
 - Gute Glättung der „Vordermann-Unruhe“
 - Im Kleinsignalverhalten immer noch kolonneninstabil
- Reale Verkehrsverhältnisse stören aber den Aufbau einer Schwingung
- In praktischen Versuchen konnte auch bei einer 8-ACC-Fahrzeugkette kein Schwingen beobachtet werden
- Anwachsen der Beschleunigungsfluktuation ist bei „menschlicher“ Längsführung oft mehrfach höher
- Wirkt beruhigend auf Verkehrsfluss

Quelle: Winner, TUD

Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie

Systemgrenzen



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie

Für die Akzeptanz eines ACC-Systems ist es wichtig, dass der Fahrer das Systemverhalten nachvollziehen oder mit ausreichender Erfahrung gar vorhersagen kann. Die Entwickler müssen daher darauf achten, die Regelung so einfach wie möglich zu gestalten. Da der Fahrer im Falle eines aktivierten ACC-Systems einen Teil der Längsführungsaufgabe abgibt, ist es notwendig, dass er sich über die Systemgrenzen im Klaren ist. Nur so kann er auf ein unerwünschtes Systemverhalten schnell reagieren und ggf. übersteuern oder das System deaktivieren. Die beiden Abbildungen zeigen exemplarische, prinzipbedingte Systemgrenzen.

Quelle: Winner, TUD

Nutzungs- und Sicherheitsphilosophie

Sicherheitskonzept:

- Die nur mit Einschränkungen erfüllbare Funktion verleitet nicht zum „blinden“ Verlassen auf die Funktionsfähigkeit
- Die Hauptausfallmodi „falsche Reaktion“ und „zu späte Reaktion“ treten als Funktionsgrenzen nahezu täglich auf
- Auswirkungen auf das Sicherheitskonzept:
 - Eingriffsmöglichkeiten für den Fahrer sind fehlertolerant ausgelegt

- 该功能只能在有限制的情况下实现，不会鼓励对功能的 "盲目 "依赖
- 作为功能限制，"反应错误 "和 "反应过迟 "的主要故障模式几乎每天都在发生
- 对安全概念的影响：
- 为驾驶员设计的干预选项具有容错性

Quelle: Winner, TUD

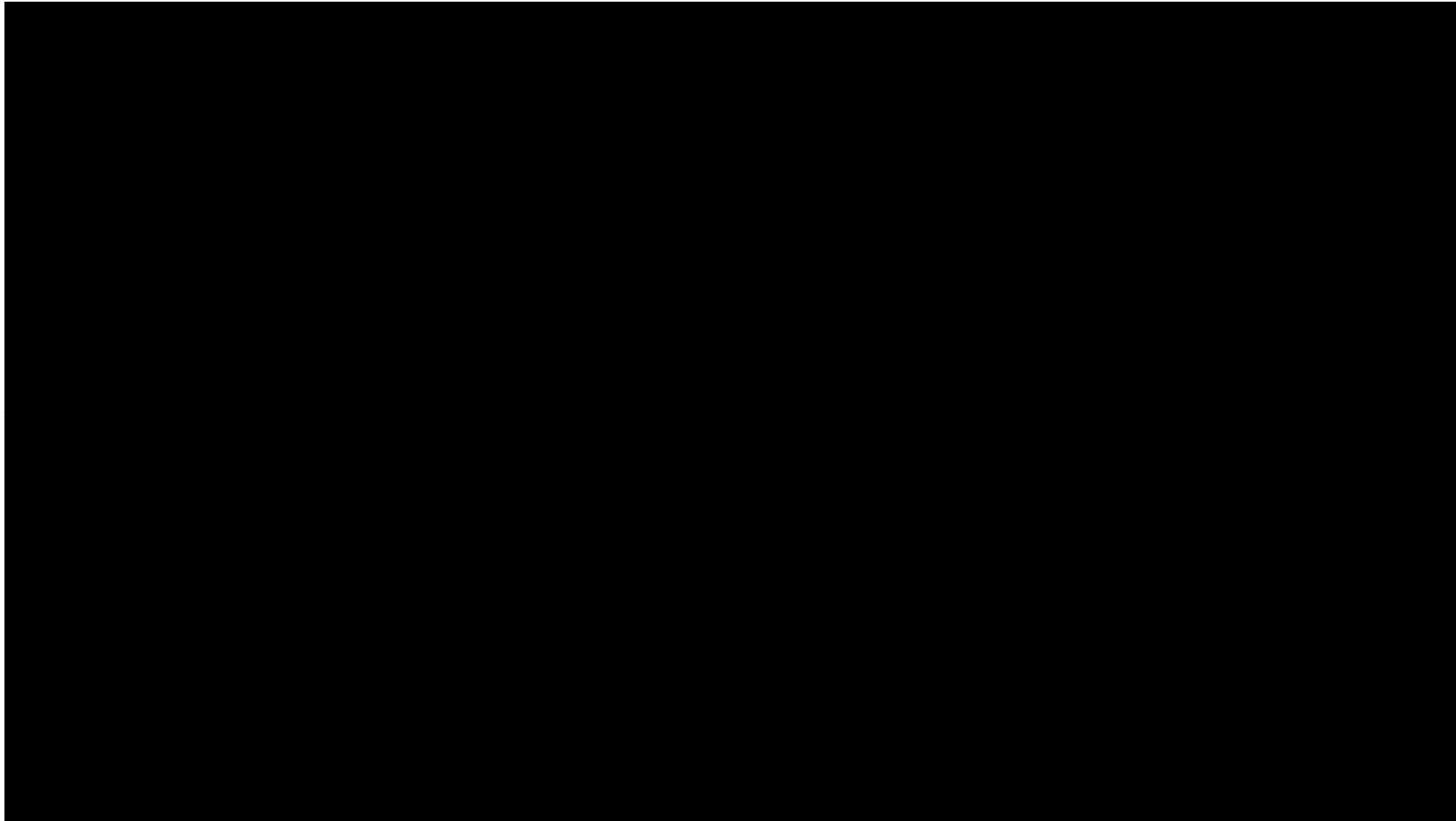
Kommentarfolie

Sicherheitskonzept

Die Sicherheitsphilosophie von ACC basiert auf der Überwachung der Funktion durch den Fahrer, der permanent ACC in seiner Regelfunktion erlebt und darüber auch die Grenzen frühzeitig kennen lernt. Als technische Anforderung an das ACC-System leitet sich die fehlertolerante Auslegung der Abschaltpfade ab.

Quelle: Winner, TUD

Video: ACC



Funktionslogik und Regelung

Dr.-Ing. Franz Winkler

Agenda

1. Einführung Methoden und Anforderungen
2. Längsführung
3. Querführung



Funktionslogik und Regelung

Dr.-Ing. Franz Winkler

Agenda

1. Einführung Methoden und Anforderungen
2. Längsführung
3. Querführung
 - Motivation und Grundlagen
 - Lane Departure Warning
 - Lane Keeping Assist
 - Lane Change Assist



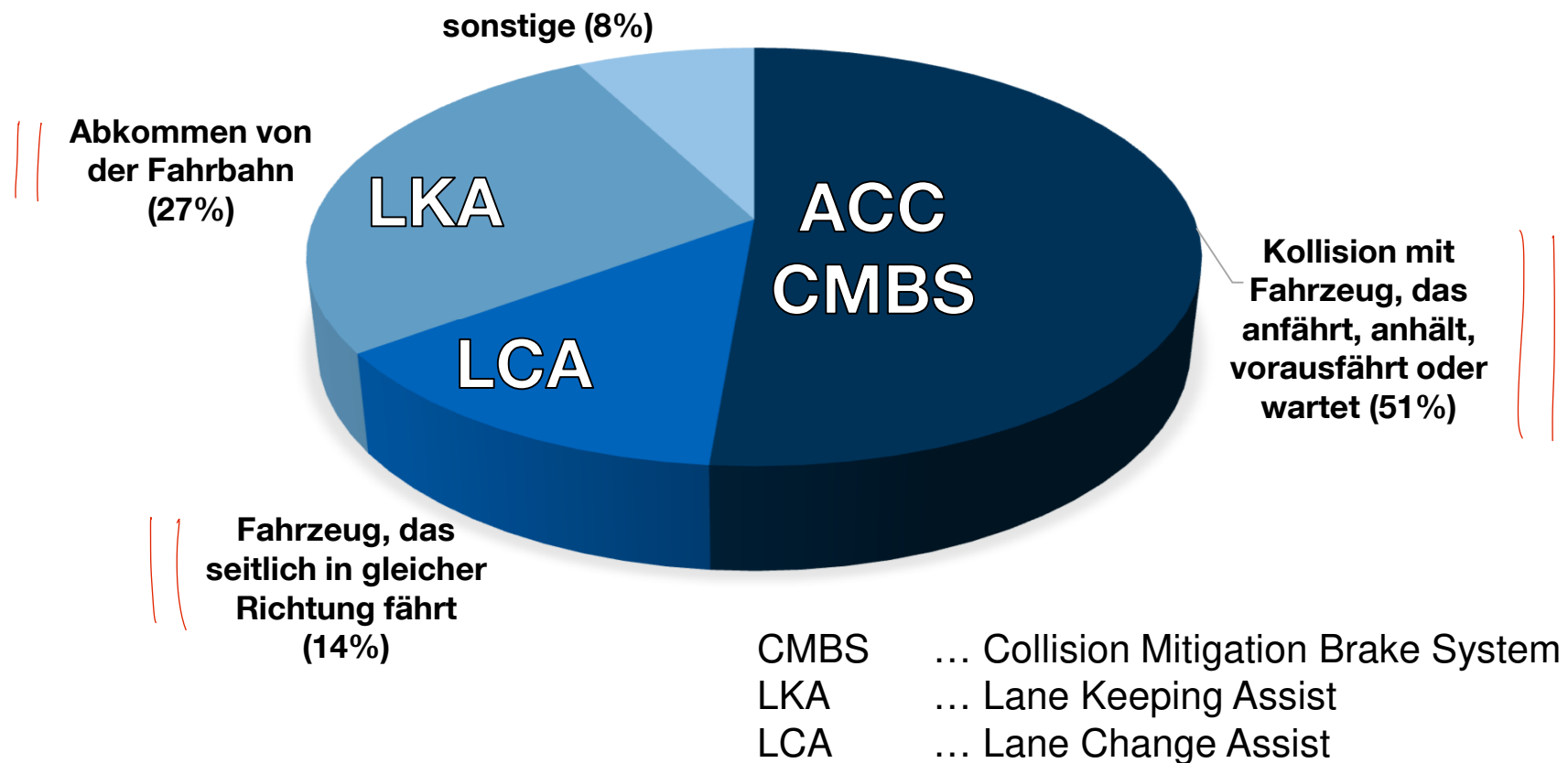
Motivation und Grundlagen

- In Europa ereignen sich jährlich
 - 1,3 Millionen Unfälle
 - mit 40.000 Getöteten
 - und Kosten von ca. 160 Milliarden Euro.
- Die Unfälle ereignen sich fast ausschließlich bei guten Straßen- und Witterungsbedingungen
 - 事故几乎完全发生在良好的道路和天气条件下
- Die maßgebliche Ursache ist das Fehlverhalten des Menschen:
 - 主要原因是人为失误:
 - Überhöhte Geschwindigkeit
 - Übermüdung
 - Unachtsamkeit
 - Alkohol

Quelle: Winner 2009

Motivation und Grundlagen

Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen in Deutschland 2015



Quelle: Destatis 2015

Kommentarfolie

Die Unfallart mit den meisten Unfällen auf Autobahnen in Deutschland 2007 ist die Kollision mit einem Fahrzeug, das anfährt, anhält, steht, vorausfährt oder wartet. Dieser Unfallart wird mit Systemen wie Adaptive Cruise Control (ACC) und Collision Mitigation Brake System (CMBS) begegnet. Die zweitgrößte Unfallart ist das Abkommen von der Fahrbahn. Die Zahl dieser Unfälle wird unter anderem mit Lane Keeping Assist (LKA) reduziert. Die drittgrößte Unfallart ist die Kollision mit einem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt. Diese Unfälle werden durch Lane Change Assist (LCA) reduziert.

Quelle: Winner, TUD

Motivation und Grundlagen

Fahrspur oder Fahrstreifen:



Kommentarfolie

Klärung der Begriffe „Fahrspur“ und „Fahrstreifen“

Oft werden diese beiden Begriffe synonym verwendet. Allerdings unterscheiden sie sich deutlich, weshalb Wert auf die Unterscheidung gelegt wird. Die auf der Fahrbahn sichtbaren Linien sind die Markierungen der Fahrstreifen. So findet sich der Begriff im üblichen Sprachgebrauch des Bereichs des Straßenwesens wieder. Die korrekte englische Übersetzung ist *lane*.

Die Fahrspur beschreibt hingegen den Weg des Fahrzeugs, wobei keine Klarheit herrscht, ob es die Beschreibung der Radspur oder des Schwerpunkts (dieser wird sonst auch Kurs genannt) oder der Mitte zwischen den Rädern (ohne dass die Achse (vorne/hinten) klar definiert ist) beschreibt. Dabei scheint die letztgenannte Bedeutung am sinnvollsten. Spur wird bei Spurrillen oder Idealspur richtig verwendet; und natürlich bei der GeometrieEinstellung des Rades (Vor-/Nachspur). Die Spur beschreibt also die Bewegung des Fahrzeugs (dann synonym zu Trajektorie) und die Spur der Räder, nicht aber die Geometrie der Fahrbahn. Die korrekte englische Übersetzung ist *track* (oder *course/trajectory*).

Wie wenig sinnvoll die mit Fahrstreifen synonyme Verwendung von Fahrspur ist, merkt man bei einem Satz wie „Die Idealspur wäre in der Spurmittle“. Eine Spur kann zumindest nicht bedeutungsvoll in der Mitte von sich selbst liegen. Der korrekte Gebrauch „Die Idealspur wäre in der Fahrstreifenmittele“ ist dagegen klar und unmissverständlich. Auch die Spurrillen liegen nicht innerhalb der Fahrspur, sondern wurden vorher durch die vielen Fahrspuren innerhalb des Fahrstreifens erzeugt.

Was ist mit dem berühmten Fahrspurwechseltest? Ist ein Zweifelsfall: im Englischen heißt es Lane Change Test, also Fahrstreifenwechseltest. Ganz korrekt wäre ein Fahrgassenwechseltest, da keine Fahrstreifen markiert werden, sondern eher Fahrgassen. Andererseits macht auch die gefahrene Spur einen „Schlenker“, sodass man auch von einem Spurwechsel sprechen könnte, hier eine hohe Bedeutungsähnlichkeit gegeben ist und die Notwendigkeit zur Änderung in einen Fahrgassen- bzw. Fahrstreifenwechseltest nicht offensichtlich ist.

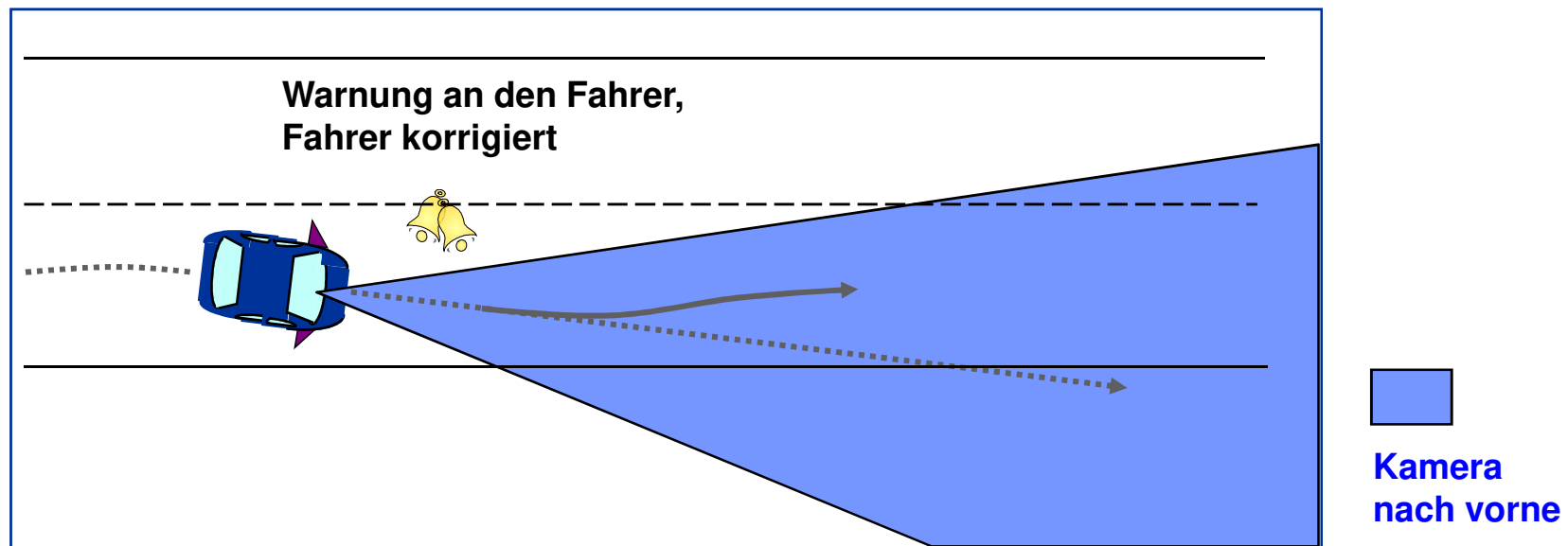
Quelle: Winner, TUD

Lane Departure Warning

Systembeschreibung

如果无意中偏离了车道，驾驶员会收到声音和/或触觉警告。

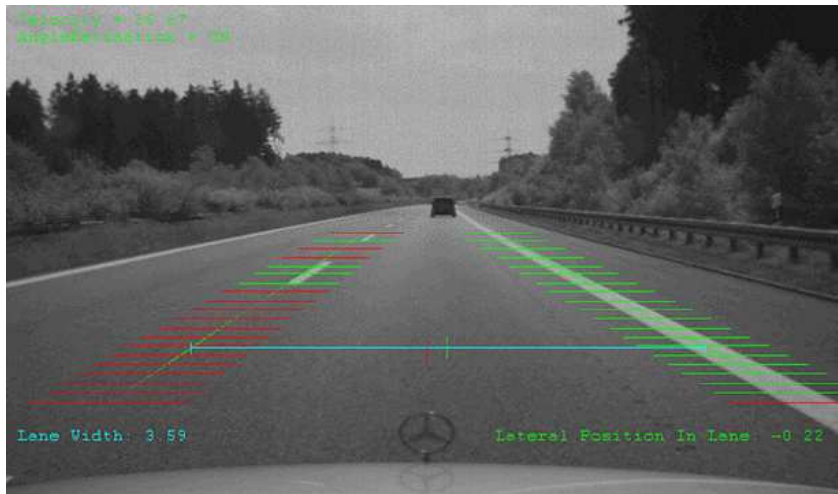
Bei unbeabsichtigtem Verlassen des Fahrstreifens wird der Fahrer akustisch und/oder haptisch gewarnt.



Quelle: Winner, TUD

Lane Departure Warning

Fahrstreifenerkennungssystem



- Bestimmung von 3 Größen aus dem Bild:
 - Lateraler Versatz (Exzentrizität, Fahrstreifenbreite)
 - Fahrstreifenkrümmung
 - Fahrstreifenbezogener Gierwinkel

Quelle: Winner, TUD nach Hella, 2010

Kommentarfolie

Die Fahrstreifenerkennung kann z.B. mittels Bildverarbeitung und CMOS-Kamera erfolgen. Erst durch die im Unterschied zum Infrarot-Sensor mögliche Vorausschau ist Lane Keeping Assist mit haptischer Unterstützung möglich, da schon deutlich vor Überschreiten des Fahrstreifens ein haptisches Signal erzeugt wird.

Neben den bereits vorgestellten Technologien zur Fahrstreifenerfassung gibt es etliche weitere Ansätze.

Zu erwähnen ist vor allem die Methode, bei der Magnetenägel im Fahrbahnbelag versenkt werden. Dies eignet sich vor allem auf lokal begrenzten Strecken für Sondermaschinen wie bspw. Schneepflüge. Von Vorteil ist die Unabhängigkeit von den Sichtverhältnissen und der Fahrbahnverschmutzung. Nachteilig sind die zusätzlichen Infrastrukturkosten sowie die flächendeckende Einführung, wie sie für den Individualverkehr erforderlich wäre.

GPS/Straßenkartenlösungen werden sich in Zukunft zunehmend durchsetzen. Die geforderte Genauigkeit wird sich schon bald erzielen lassen. Zusatzinformationen für Fahrerassistenzsysteme wird es in absehbarer Zeit auf Navigations-CDs geben. Ein großes Problem dabei ist die Onlinefähigkeit. Allein die „statischen“ Veränderungen im deutschen Straßennetz summieren sich jährlich auf ca. 15 % - 20 %. Hinzu kommen die dynamischen Veränderungen wie bspw. Wanderbaustellen, die ungleich schwieriger zu handhaben sind.

Quelle: Winner, TUD

- 环境检测传感器，如摄像头
- 识别车道标记的软件 决策单元
- 用于控制 MMS 或转向干预的执行器

- 车道标记不足
- 道路标线的国别差异（标线的结构和颜色 太阳的影响
- 光线条件变化 沥青接缝
- 雪（也受盐的影响 道路施工

Lane Departure Warning

■ Komponenten

- umgebungserfassender Sensor, z.B. Kamera
- Software zur Erkennung der Fahrbahnmarkierungen
- Entscheidungseinheit
- Aktor zur Ansteuerung von MMS oder Lenkeingriffen

■ Grenzen

- unzureichende Fahrstreifenmarkierung
- länderspezifische Unterschiede bei der Fahrbahnmarkierung (Struktur und Farbe der Linien)
- Sonneneinfluss
- Wechselnde Lichtverhältnisse
- Bitumenfugen
- Schnee (auch Einfluss durch Salz)
- Baustellen

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Ein Lane-Departure-Warning-System verwendet einen umgebungserfassenden Sensor, z.B. eine Kamera, zur Erfassung der Fahrzeuglage auf dem Fahrstreifen und des Verlaufs der Fahrbahn vor dem Fahrzeug. Fahrstreifenerkennungssysteme ermitteln Merkmale mittels eines geometrischen Modells des Fahrbahnverlaufs und eines Fahrzeugdynamikmodells.

Quelle: Winner, TUD

Lane Departure Warning

Kriterien

Distance-to-Line-Crossing (DLC)

Definition:

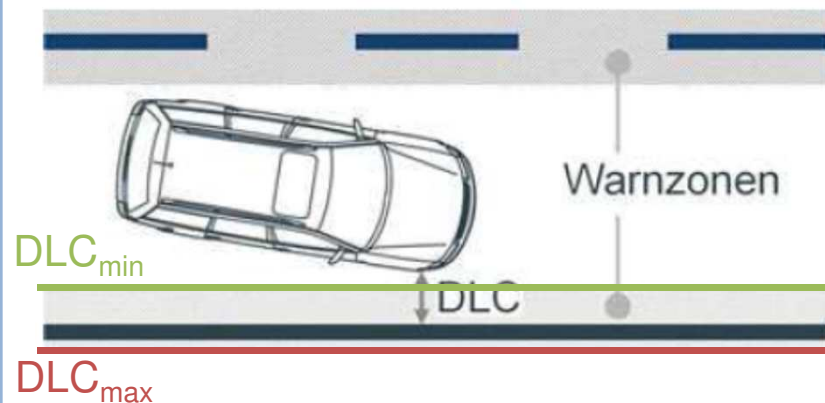
- Lateraler Abstand eines Punktes des Fahrzeugs zur Fahrsteifenbegrenzung

Eigenschaften:

- Keine Vorausschau
- Fahrerinformation nur in der Warnzone

Nachteil:

- Fehlinformation bei dichter Fahrt an der Markierung



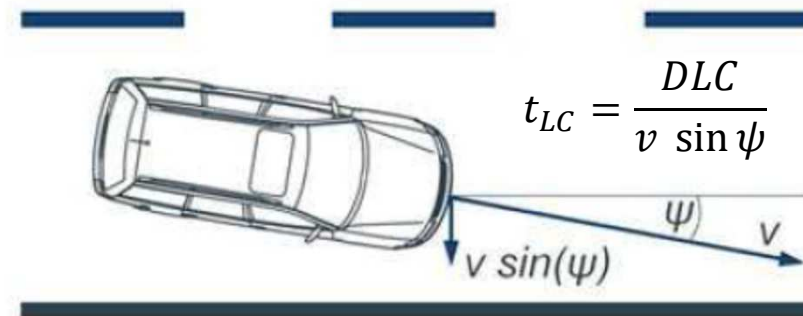
Time-to-Line-Crossing (TLC)

Definition:

- Zeitspanne nach der das Fahrzeug die Fahrsteifenbegrenzung überschreitet

Eigenschaften:

- Prädiktion des Verlassens des Fahrstreifens basierend auf Lage und Bewegung des Fahrzeugs
- Fahrerinformation ab definiertem Schwellwert
- Vermeidung von Fehlinformationen wie bei DLC



Quelle: Winner2015
VL5- 122

Kommentarfolie

Bei Nutzung der Distance-to-Line-Crossing (DLC) als Kriterium für die Lane Departure Warning erfolgt die Fahrerinformation bei Eintritt des definierten Fahrzeugpunktes in die Warnzone und endet bei Verlassen der Warnzone. Durch die alleinige Betrachtung des lateralen Abstands ist dieses Kriterium sehr fehleranfällig und führt leicht zu unberechtigten Warnungen. Beispielsweise die parallele Fahrt dicht an der Fahrstreifenbegrenzung würde zu einer unberechtigten Fahrerinformation führen, da das Fahrzeug in dem Fall nicht beabsichtigt den Fahrstreifen zu verlassen.

Um dies zu Vermeiden ist eine Prädiktion der Fahrzeugbewegung hilfreich. Dies wird mit dem Kriterium Time-to-Line-Crossing (TLC) erreicht. Mit Hilfe der Prädiktion der Fahrzeugbewegung wird der Zeitpunkt des Überfahrens der Fahrstreifenmarkierung vorhergesagt. Dies ist insbesondere für die Lane Keeping Assist erforderlich. Dieser Zeitpunkt berechnet sich im einfachsten Fall durch

$$t_{LC} = \frac{DLC}{v \sin \psi}$$

Wobei DLC den lateralen Abstand zur Fahrstreifenmarkierung, v die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit und ψ die Orientierung der Fahrzeuglängsachse zur Fahrstreifenmarkierung bezeichnet. $v \sin \psi$ beschreibt damit die Annäherungsgeschwindigkeit an die Fahrstreifenmarkierung. Allgemeinere Modelle beziehen die Krümmung der Fahrzeugbewegung und der Fahrstreifenmarkierung mit ein. Im einfachsten Fall erfolgt eine Fahrerinformation bei Unterschreitung eines Schwellwertes der TLC.

Quelle: Winner, TUD

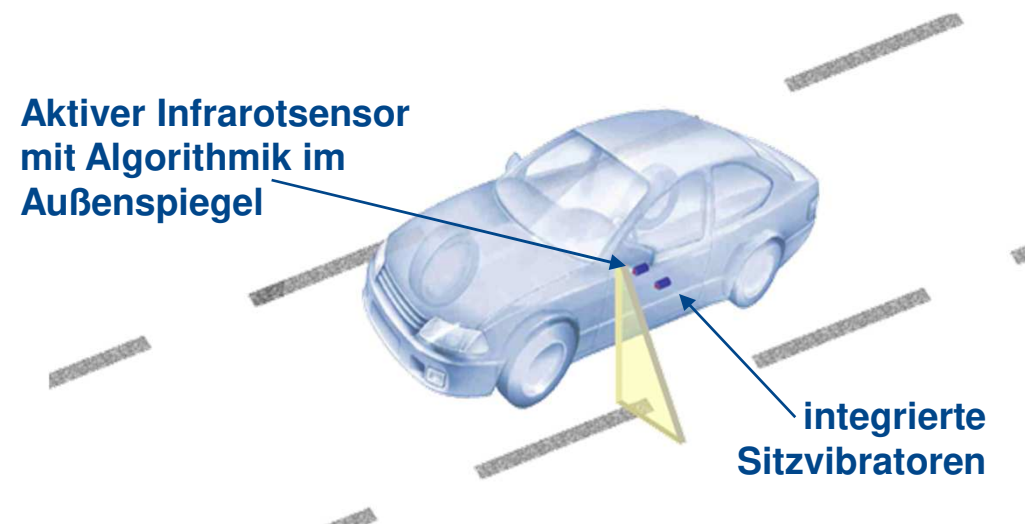
Lane Departure Warning

Warnmodalitäten

- Akustisches Signal, z.B. Nagelbandrattern
- Haptische Warnung mittels Lenkung: Seitenselektive Vibration im Lenkrad
- Haptische Warnung über den Fahrersitz: Seitenselektive Vibration im Oberschenkelbereich
- Visuell

警告方式

- 声音信号，如钉带响声
- 通过方向盘发出触觉警告：方向盘的侧向选择性振动
- 通过驾驶员座椅发出触觉警告：大腿部位的侧向选择性振动 视觉



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Ziel ist die Warnung vor einem unbeabsichtigten Verlassen des Fahrstreifens.

Dabei sind zwei Kriterien zu erfassen:

- Position/Trajektorie des Fahrzeugs im Fahrstreifen (TLC)
- die Absicht des Fahrers, z. B. Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers

Stufen der Warnung

- Stufe I, Information: Information über die aktuelle Fahrzeugposition relativ zur Fahrbahn ggf. inklusive Information über die aktuelle „time to line crossing“ (TLC)
- Stufe II, Warnung:
 - Akustisches Signal
z. B. Nagelbandrattern - derzeit Serieneinsatz im Lkw Actros. Obwohl ein richtungsselektives Nagelbandrattern eine sehr gezielte Wirkung auf die Fahrerreaktion darstellt, wird es vor allem von Pkw- und Busfahrern als unangenehm empfunden.
 - Haptischer Fahrersitz
Seitenselektive Vibration im Oberschenkelbereich
 - Haptische Lenkung
Seitenselektive Vibration im Lenkrad

Quelle: Winner, TUD

Lane Departure Warning

Zusammenfassung

- Assistenzzielerreichung
 - Funktionsziel ausreichend erreicht
 - Kompromiss zwischen Wirksamkeit und Falschalarmrate akzeptabel
 - haptisches Feedback favorisiert für HMI
- Weiterentwicklungen
 - kontinuierliche Funktionsverbesserung und Kostensenkung
 - Lane Departure Warning kann als Einstiegsfunktion für kamerabasierte Fahrerassistenzsysteme angesehen werden

实现援助目标

- 职能目标充分实现
- 有效性和误报率之间的折衷可以接受
- 人机界面采用触觉反馈

进一步发展

5 Funktionslogik und Regelung → 5.3 Querführung

- 不断改进功能和降低成本
- 车道偏离预警可视为基于摄像头的驾驶辅助系统的入门级功能

Quelle: Winner, TUD

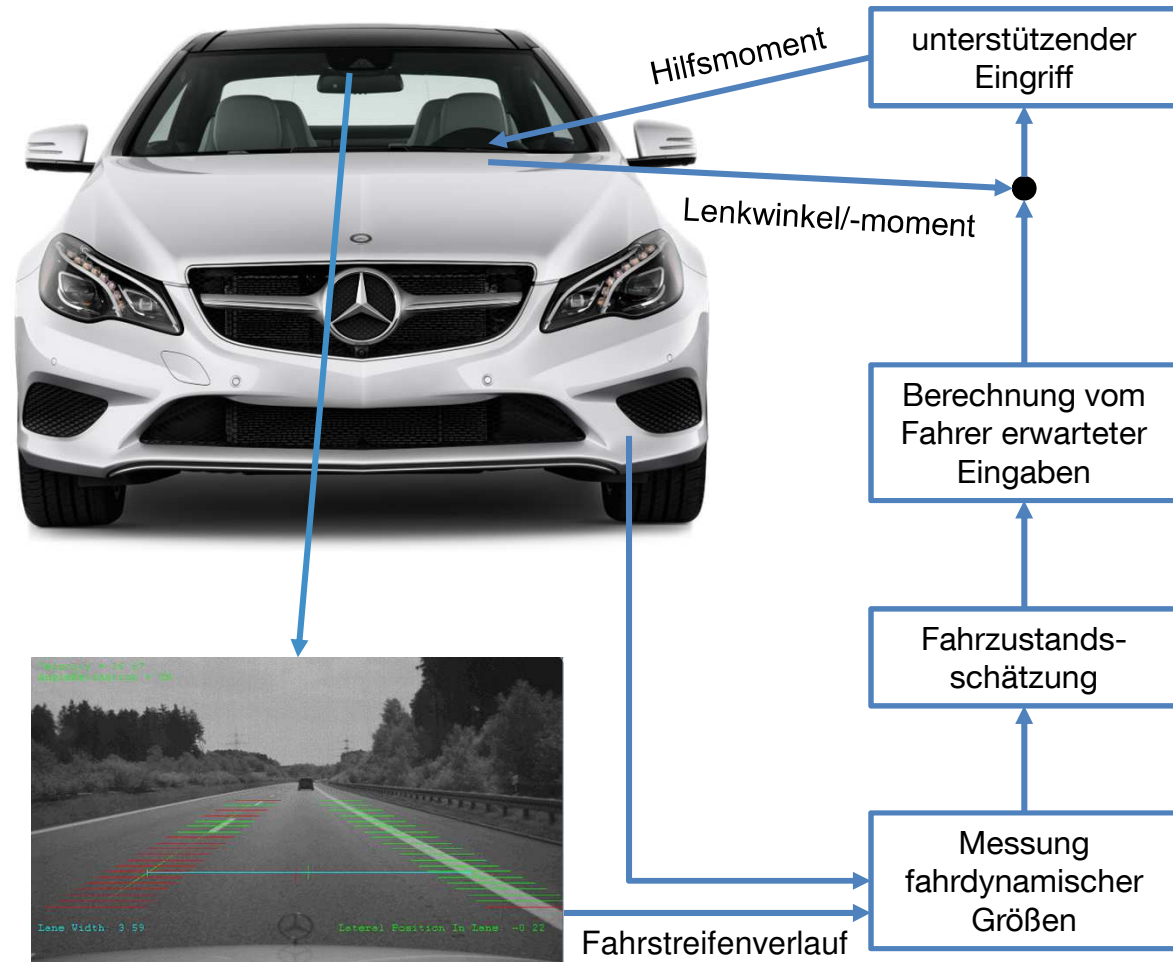
VL5- 126

Lane Keeping Assist

Unterschied zu Lane Departure Warning durch permanenten aktiven Eingriff in die Lenkung

Komponenten:

- Kamera
- Bildverarbeitung
- Querregelung
- Stellglied
- Fahrerschnittstelle



Quelle: Winner, TUD; motortrend.com

Lane Keeping Assist

Funktionsübersicht

- Systemaktivierung durch Knopfdruck des Fahrers
- Unterstützung des Fahrers, wenn
 - Fahrzustand im zulässigen Bereich
 - Fahrstreifenmarkierung erkannt
- Bei Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers wird das System vorübergehend deaktiviert
- Warnung: haptisch, akustisch, optisch

功能概览

- 驾驶员轻触按钮即可启动系统
- 在下列情况下为驾驶员提供支持
- 驾驶状态在允许范围内
- 识别车道标记
- 方向指示灯激活时，系统暂时关闭
- 警告：触觉、声音、视觉

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Funktionsübersicht

Betätigt der Fahrer den Fahrtrichtungsanzeiger, so wird dies als Zeichen eines geplanten Fahrstreifenwechsels interpretiert und die Lane Keeping Assist wird vorübergehend deaktiviert. Droht das Fahrzeug ohne aktivierten Fahrtrichtungsanzeiger den Fahrstreifen zu verlassen, so erfolgt zusätzlich zum haptischen Hinweis eine optische und akustische Warnung.

Quelle: Winner, TUD

Lane Keeping Assist

Ziele

■ Assistenzziele:

- Entlastung des Fahrers bei der Querführung des Fahrzeugs.
- Führung des Fahrzeugs in Mitte der Fahrstreifen.
- Warnung bei zu engen Fahrbahnen, z.B. in Baustellen.

■ Funktionsziele:

- Erkennung des Fahrstreifens und Berechnung der notwendigen Lenkbewegung.
- Einhaltung des Regelungsziels bei externen Störungen wie Seitenwind, Seitenneigung der Fahrbahn,...
- Erkennen von Fahrzeugen im Umfeld und Bestimmung der ausreichenden Fahrbahnbreite.

援助目标:

- 在横向控制车辆时减轻驾驶员的负担。
- 引导车辆在车道中央行驶。
- 当车道过窄时发出警告，例如在道路施工时。

功能目标

- 识别车道并计算必要的转向动作。
- 在横风、行车道横向倾斜等外部干扰情况下遵守控制目标...
- 识别附近的车辆并确定足够的车道宽度。

Quelle: Winner, TUD

- 仅在合适的道路上提供支持
- 曲线半径大 (至少 250 米)
- 低横向加速度 (最大 0.2 g)



Lane Keeping Assist

Grenzen

- Unterstützung nur auf geeigneten Straßen
 - große Kurvenradien (minimal 250 m)
 - geringe Querbeschleunigungen (maximal 0,2 g)
- Geschwindigkeit
 - maximale Geschwindigkeit begrenzt durch ACC bzw. Sensorreichweite (210 km/h)
 - minimale Geschwindigkeit von 60 km/h
- eindeutige Fahrbahnmarkierungen
 - sichere Baustellenerkennung zur Zeit nicht gewährleistet
 - Fahrstreifenbreite innerhalb bestimmter Grenzen
 - Doppelte/zweiseitige Markierungen
- große Helligkeitsdifferenzen bzw. Spiegelung
- maximales Lenkmoment: 3 Nm
- Lenkwinkel und Lenkwinkelgeschwindigkeiten sind beschränkt

速度

- 最高车速受 ACC 或传感器范围限制 (210 km/h)
- 最低车速 60 km/h
- 清晰的车道标记
- 目前无法保证道路工程的安全识别
- 车道宽度在一定范围内
- 双/双面标线
- 亮度或镜像差异较大
- 最大转向扭矩: 3 牛米
- 转向角和转向角速度受限

Quelle: Winner 2009

Lane Keeping Assist

Grenzen



Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Gerade in Baustellen wäre eine Fahrstreifenhaltung mittels Lane Keeping Assist sehr wertvoll und nützlich. Allerdings hätte der Fahrer keine Möglichkeiten mehr, eine potenziell falsche Reaktion zu korrigieren, ohne in erhebliche Gefahr zu kommen. Darüber hinaus sind im Allgemeinen die Fahrstreifen im Baustellenbereichen mehrdeutig, siehe Fahrstreifen der entgegenkommenden Fahrzeuge im Bild, und somit für Rechnersehen nicht geeignet.

Quelle: Winner, TUD

Lane Keeping Assist

Herausforderungen

- Fahrstreifenerkennung
 - fehlende/schlecht erkennbare Markierung
 - Mehrdeutigkeiten, z.B. Abzweigungen, Baustellenmarkierungen...
 - Verdeckungen
 - falsche Kanten, z.B. Schlagschatten
- Mensch-Maschine-Interaktion
 - Hands-on-Zwang
 - Übergabe bei Nichtverfügbarkeit
 - Übersteuerung durch den Fahrer
- Regelung
 - Kurve schneiden
 - breite „Wanne“ oder Mittenführung?
 - Interferenz mit realen Spurrillen

车道检测

- 标识缺失/辨识度低
- 模糊不清, 如路口、道路工程标线.....模糊不清
- 不正确的边缘, 如阴影

人机交互

动手限制

- 无法使用时的移交
- 由驾驶员控制

规定

- 切割曲线
- 宽 "槽" 还是中心导轨?
- 干扰实际车辙

Quelle: Winner, TUD

Lane Keeping Assist

Sensorinformationen

- Fahrstreifeninformation über Kamera
- Bewegung des Vorderfahrzeugs über Kamera/Radar
- Bewegung der Nachbarfahrzeuge über Seitenradare
- Randbebauungsinformation über Kamera/Radar

➤ **Ziel:** Darstellung des Fahrstreifens als Basis für die Querführungsfunktion

- 通过摄像头获取车道信息
- 通过摄像头/雷达显示前方车辆的移动情况
- 通过侧面雷达了解邻近车辆的动向
- 通过摄像头/雷达获取邻近车辆信息
- 目标：车道可视化，作为横向引导功能的基础

Lane Keeping Assist

Hands-Off-Erkennung

Zwei Methoden im Einsatz:

- Kapazitiver Sensor
- Erkennung über Auswertung des Handmoments

免提检测

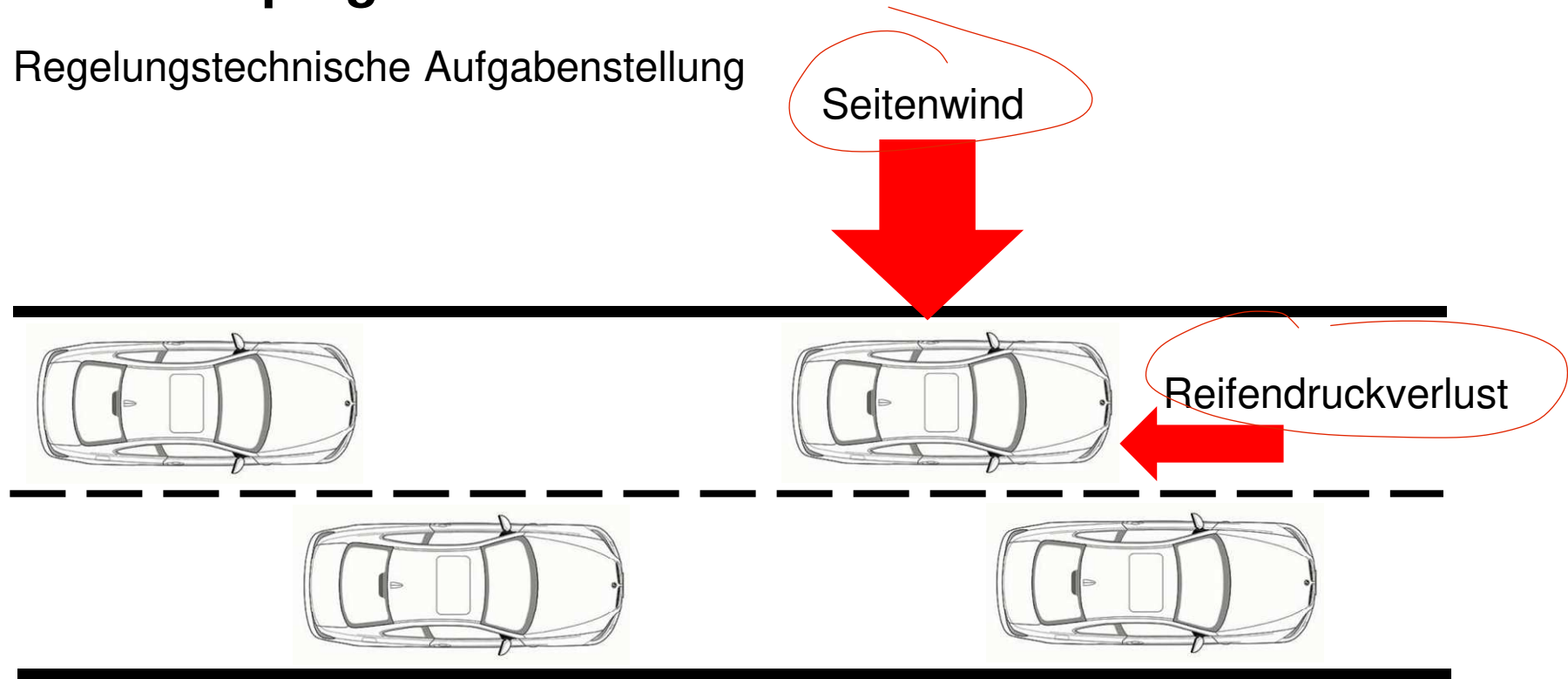
使用两种方法

- 电容式传感器

- 通过评估手部扭矩进行检测

Lane Keeping Assist

Regelungstechnische Aufgabenstellung



Regelungstechnische Realisierung der koordinierten und robusten Bewegung eines Fahrzeugs in komplexen Umgebungen mit unterschiedlichen Sensorinformationen.

Lane Keeping Assist

Regelungstechnische Herausforderungen:

- Erreichen einer Zielvorgabe mit einstellbarer Dynamik
- Sicherstellung der kollisionsfreien Bewegung des Fahrzeugs
- Robustheit gegen externe und interne Störgrößen
- Robustheit gegen Unsicherheiten der Sensorinformationen
- Berücksichtigung von Aktuatorbegrenzungen und fahrdynamische Begrenzungen
- Realisierbarkeit auf einem automotive-tauglichen Steuergerät

- 通过可调整的动力实现目标
- 确保车辆无碰撞运动
- 对外部和内部干扰变量的鲁棒性
- 针对传感器信息不确定性的鲁棒性
- 考虑执行器限制和动态驱动限制
- 可在汽车兼容控制单元上实现

技术要求:

- 根据车道信息和/或车道信息, 在位置水平上引导车辆在走廊中行驶...

- 规范并满足客户对车道引导的动态性、执行的准确性以及与驾驶员的连接等特定功能的要求



Lane Keeping Assist

- 走廊内的轨迹定位 (轨迹偏移)

Anforderungen

.....适用于所有衍生物、负载条件、轮胎、不同路况、摩擦系数、道路倾斜度和坡度、特殊设备/硬件变体、车速和纵向加速度

■ Technische Anforderungen:

- Führung des Fahrzeugs in einem Korridor auf Positionsebene definiert durch Fahrstreifeninformation und/oder Gasseninformation, ...
- Vorgabe und Erfüllung kundenfunktionsspezifischer Anforderungen an die Dynamik der Bahnführung, an die Genauigkeit der Umsetzung und an die Anbindung des Fahrers
- Positionierung der Trajektorie innerhalb des Korridors (Trajektorienverschiebung)
- ... für alle Derivate, Beladungszustände, Bereifung, unterschiedliche Straßenbeschaffenheiten, Reibwerte, Straßenneigungen und -steigungen, Sonderausstattungen/Hardwarevarianten, Fahrzeuggeschwindigkeiten und Längsbeschleunigungen

Lane Keeping Assist

Anforderungen

- Nichttechnische Anforderungen:
 - Geringer Applikations- und Absicherungsaufwand
 - Geringer Ressourcenaufwand (Rechenzeit, Speicherbedarf)
 - Vorwärtskompatibilität / Zukunftsfähigkeit

非技术要求:

- 应用和保护工作量小
- 资源要求低 (计算时间、内存要求)
- 前向兼容性/未来可行性

Lane Keeping Assist

Regelungstechnische Anforderungen

- Führungsübertragungsverhalten:
 - Stationäre Genauigkeit abhängig von der Assistenzfunktion
 - Dämpfung und Bandbreite abhängig von der Assistenzfunktion
- Störübertragungsverhalten:
 - Stationäre Störunterdrückung
 - Assistenzfunktionsunabhängige Dämpfung und Bandbreite
- Robustheit von Führungs- und Störungsübertragungsverhalten

领导力转移行为:

- 取决于援助功能的静态准确性
- 衰减和带宽取决于辅助功能

干扰传输行为:

- 静态干扰抑制
- 与辅助功能无关的衰减和带宽
- 指令和干扰传输行为的鲁棒性

Lane Keeping Assist

Zielkonflikt

Stark differierende Anforderungen an die Dynamik des Führungsübertragungsverhaltens versus

Stabilität des gesamten Regelkreises
(Wechselwirkung im kaskadierten Regelkreis)

kundenfunktionsübergreifend gleiche
Anforderungen an das Störübertragungsverhalten
(Bode-Integraltheorem)

对领导力转移行为的动态要求与对领导力转移行为的动态要求大相径庭。

整个控制回路的稳定性（级联控制回路中的相互作用）

对所有客户功能的干扰传递行为要求相同（博德积分定理）

Lane Keeping Assist

Regelungstechnische Konzepte

- Querführungsregelung
- Zweifreiheitsgradstruktur
- Zweifreiheitsgradstruktur mit intelligenter Vorsteuerung

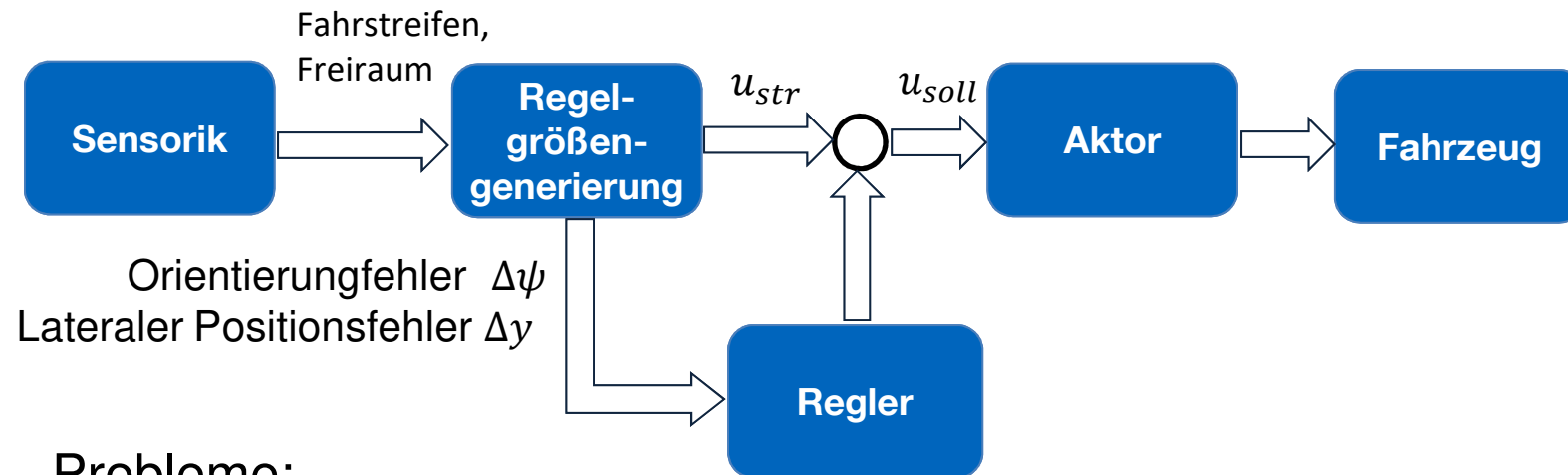
横向制导控制
双自由度结构
带有智能先导控制的双自由度结构

Lane Keeping Assist

Querführungsregelung

问题

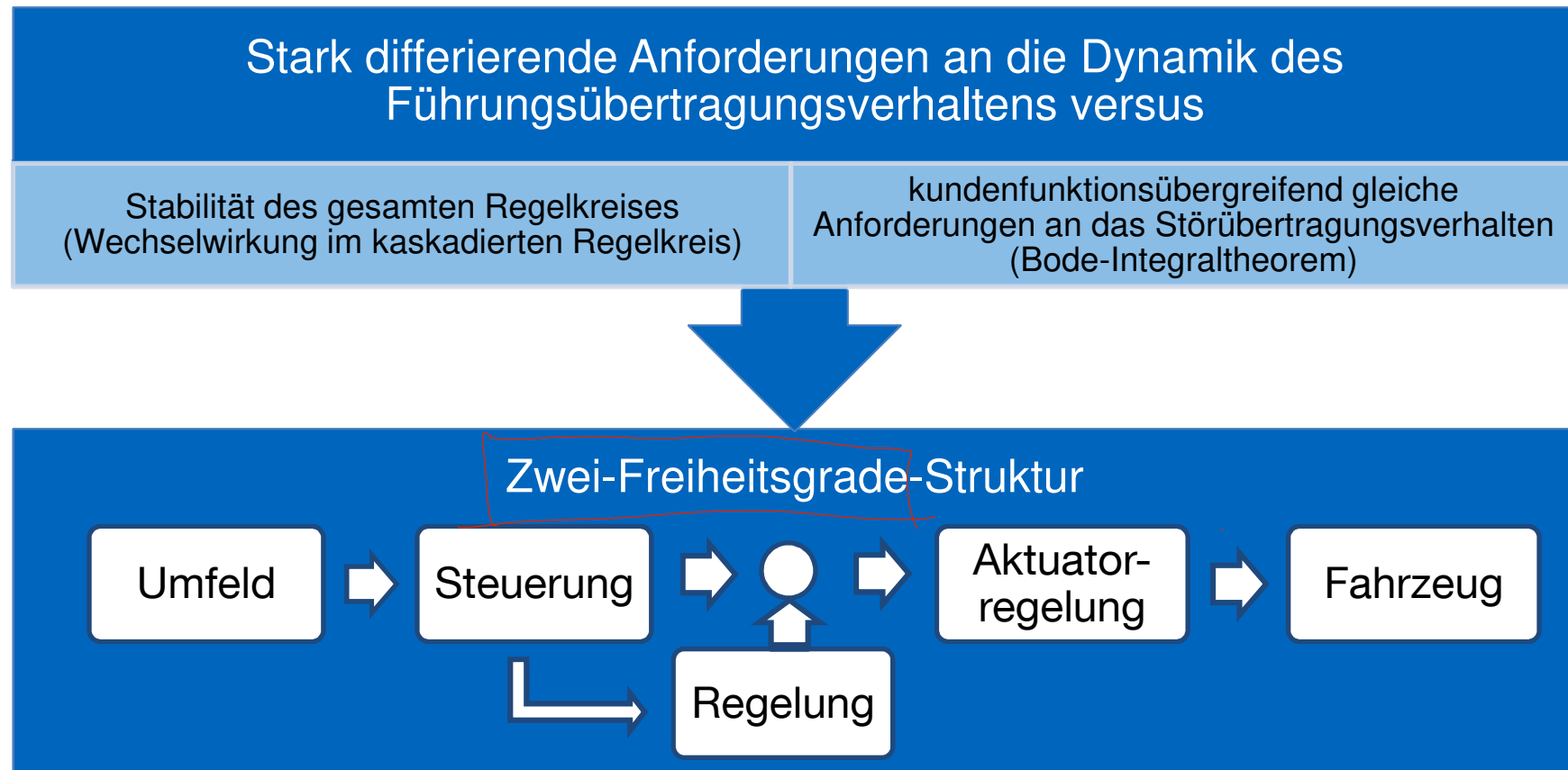
- 应用工作和方法
- 前向兼容性（高度自动驾驶、对障碍物的反应.....）。
- 考虑纵向动力学
- 考虑操纵变量限制和驾驶动态限制
- 目标冲突：动力性与稳定性



- Probleme:
 - Applikationsaufwand und -methodik
 - Vorwärtskompatibilität (Hochautomatisiertes Fahren, Reaktion auf Hindernisse,...)
 - Berücksichtigung Längsdynamik
 - Berücksichtigung Stellgrößenbegrenzungen und fahrdynamische Grenzen
 - Zielkonflikt: Dynamik versus Stabilität

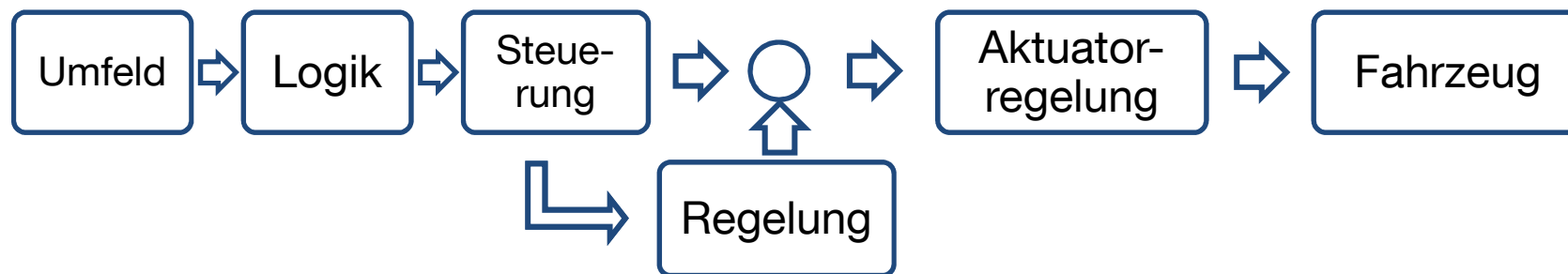
Lane Keeping Assist

Zielkonflikt



Lane Keeping Assist

Zweifreiheitsgradestruktur



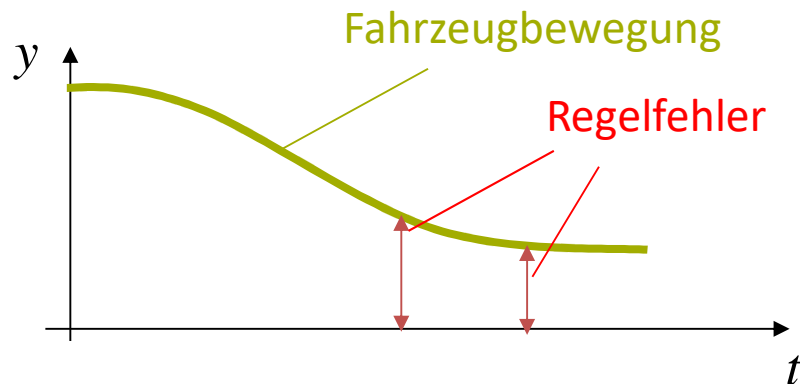
- Probleme:
 - Applikationsaufwand und -methodik ✓
 - Vorwärtskompatibilität (Hochautomatisiertes Fahren, Reaktion auf Hindernisse,...) ✗
 - Berücksichtigung Längsdynamik ✗
 - Berücksichtigung Stellgrößenbegrenzungen und fahrdynamische Grenzen ✗
 - Zielkonflikt Dynamik versus Stabilität ✓

Lane Keeping Assist

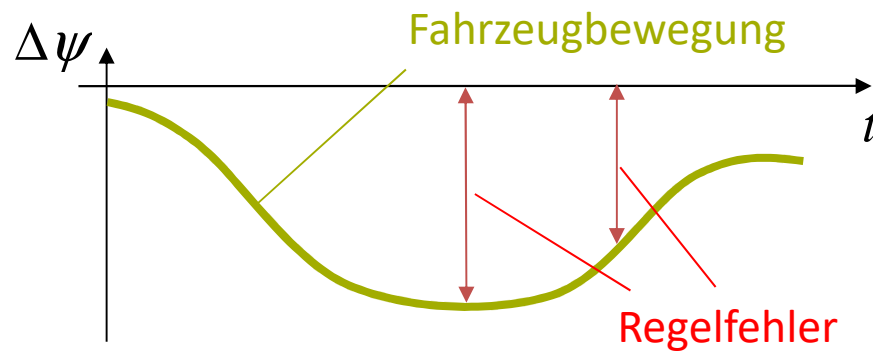
Unterschied

„reine“ Regelung:

Querversatz:

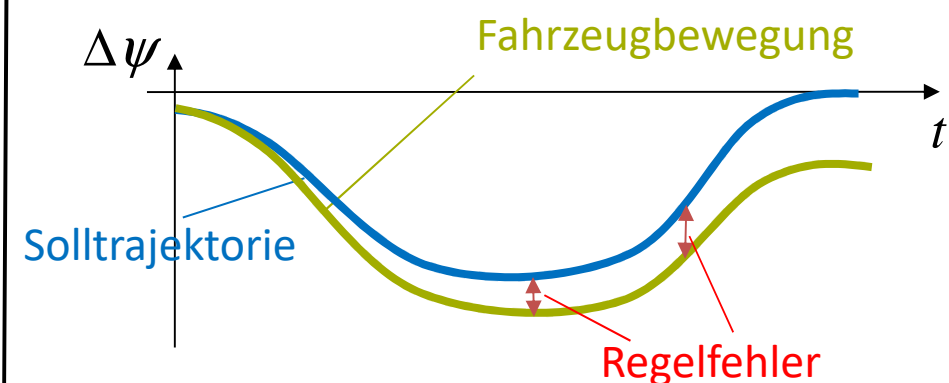
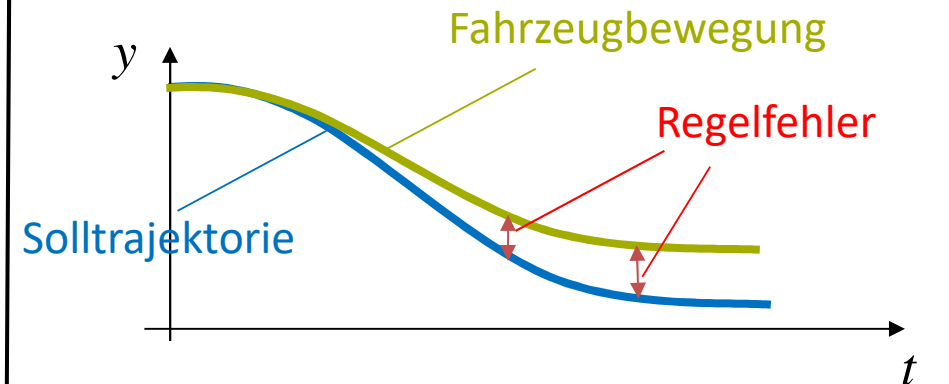


Headingwinkel:



5 Funktionslogik und Regelung → 5.3 Querführung

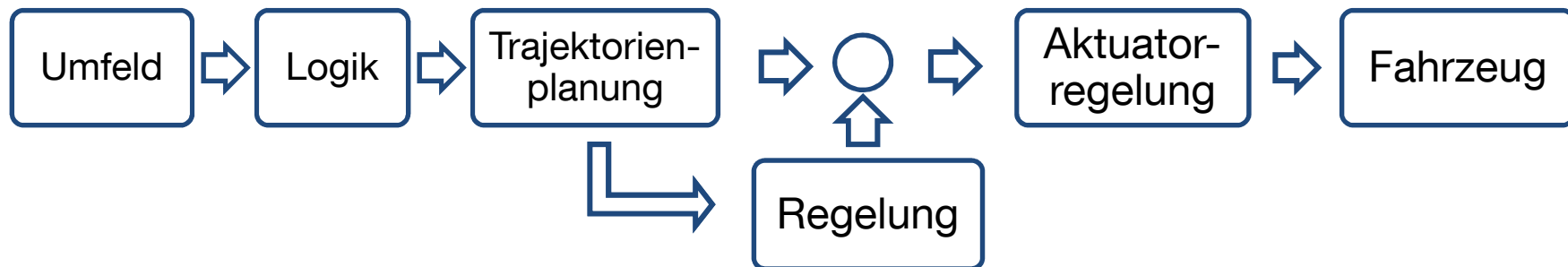
Zweifreiheitsgrade-Struktur:



VL5- 147

Lane Keeping Assist

Zweifreiheitsgradestruktur mit intelligenter Vorsteuerung



- Probleme:
 - Applikationsaufwand und -methodik ✓
 - Vorwärtskompatibilität (Hochautomatisiertes Fahren, Reaktion auf Hindernisse,...) ✓
 - Berücksichtigung Längsdynamik ✓
 - Berücksichtigung Stellgrößenbegrenzungen und fahrdynamische Grenzen ✓
 - Zielkonflikt Dynamik versus Stabilität ✓

Lane Keeping Assist

Regelungsprinzip

轨迹规划:

- 将车辆视为无动力的点质量
- 通过动态前馈控制（单轨模型的反演），在下游考虑车辆动态

控制设计:

- 控制设计基于近似的

车辆行为，包括单轨模型和执行器控制动态

- 通过应用扰动前馈控制，根据纵向控制来抵消扰动变量。(例如，通过扰动观测器)。

Trajektorienplanung:

- Das Fahrzeug wird als Punktmasse ohne Dynamik betrachtet
- Die Fahrzeugdynamik wird nachgeschaltet über eine dynamische Vorsteuerung (Inversion des Einspurmodells) berücksichtigt

Regelungsentwurf:

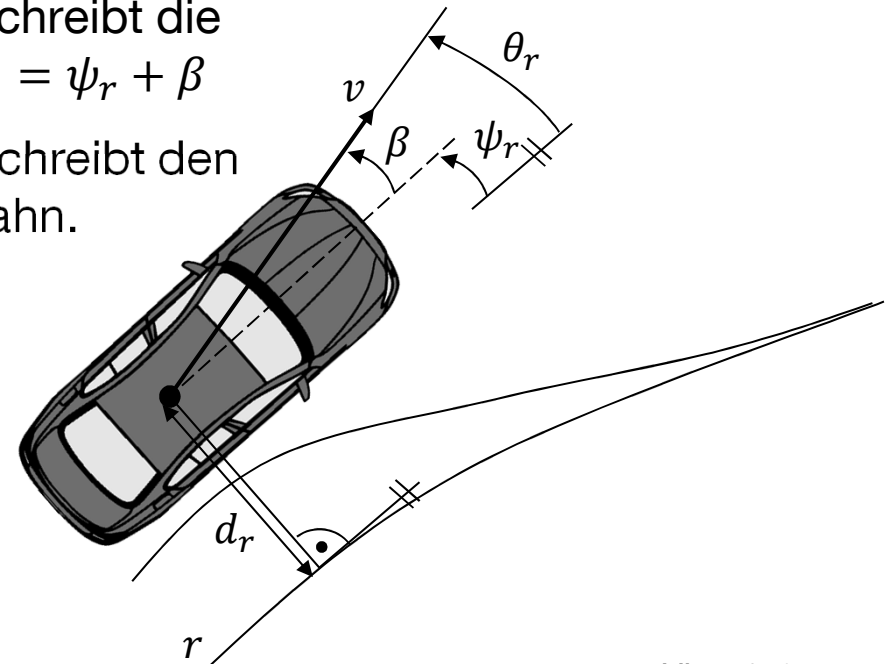
- Regelungsentwurf basiert auf einem approximierten Fahrzeugverhalten, bestehend aus dem Einspurmodell und der Dynamik der Aktorregelung
- Störgrößen wird entsprechend der Längsführung durch Anwendung einer Störgrößenaufschaltung entgegengewirkt. (z.B. mittels Störgrößenbeobachter)

Lane Keeping Assist

Koordinatensysteme

Die Fahrzeugbewegung wird im Folgenden bezogen auf den Fahrbahnverlauf beschrieben.

- ψ_r bezeichnet den Headingwinkel, welcher beispielsweise durch die Kamera ausgegeben wird.
- θ_r bezeichnet den Kurswinkel und beschreibt die Bewegungsrichtung des Fahrzeugs: $\theta_r = \psi_r + \beta$
- d_r bezeichnet die Querablage und beschreibt den kürzesten lateralen Abstand zur Fahrbahn.
- Regelgrößen:
 - Kurswinkel θ_r
 - Querablage d_r



轨迹的一般条件

- 必须满足初始条件
- 轨迹末端状态变量的条件
- 轨迹必须满足系统微分方程的要求 (轨迹的平稳性要求)
- 符合操纵变量和系统状态约束条件 (最大横向加速度和纵向加速度)

Lane Keeping Assist

Trajektorienplanung

Allgemeine Bedingungen an eine Trajektorie:

- Die Anfangsbedingungen müssen erfüllt werden
- Bedingungen für die Zustandsgrößen am Trajektorienende
- Die Trajektorie muss die Systemdifferentialgleichungen erfüllen (Glattheitsanforderungen an die Trajektorie)
- Einhaltung von Stellgrößen- und Systemzustandsbeschränkungen (maximale Querschleunigung, Längsbeschleunigung)

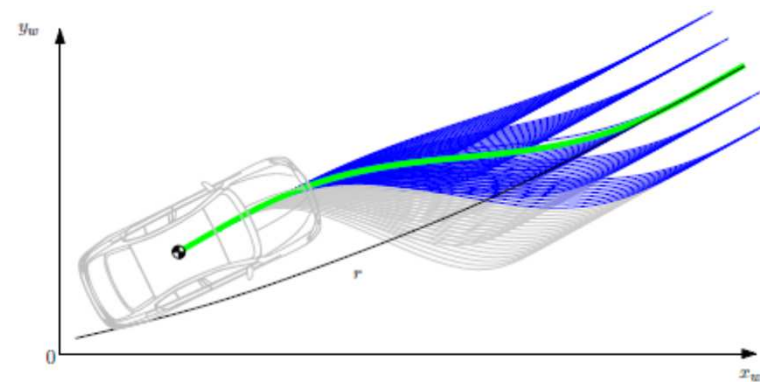
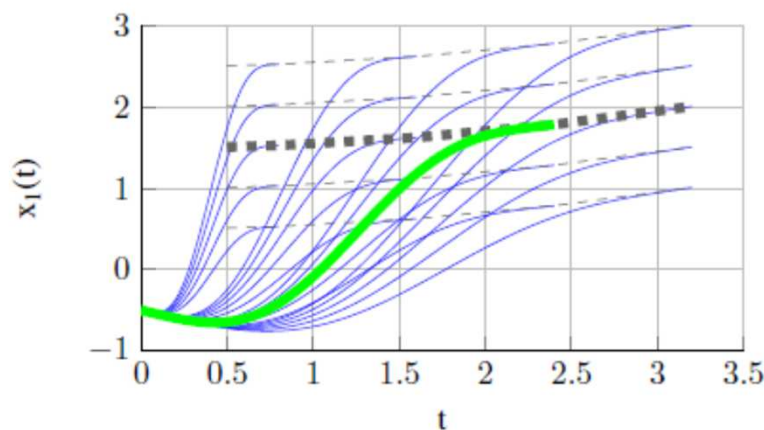
➤ Erforderliche Anzahl an Freiheitsgraden der Trajektorie

Lane Keeping Assist

Trajektorienplanung – Maßnahmen zur Reduktion des Rechenaufwands

- 选择固定的轨迹基本形式
- 设置固定的边界条件
- 确定由固定边界条件产生的参数
- 剩余参数的简化优化问题
- 通过以下方法确定其余参数
- 优化或
- 通过质量函数和定义的边界条件（横向加速度.....）确定一组轨迹 + 选择

- Wahl einer festen Grundform der Trajektorie
- Aufstellen von festen Randbedingungen
- Bestimmung der aus den festen Randbedingungen resultierenden Parameter
- Reduziertes Optimierungsproblem für die restlichen Parameter
- Bestimmung der verbleibenden Parameter durch:
 - Optimierung oder
 - Bestimmung einer Schar von Trajektorien + Auswahl über Gütefunktion und definierte Randbedingungen (Querbesehleunigung,...)



Quelle: Werling 2010

Lane Keeping Assist

Trajektorienplanung – Polynom 5. Grades

Bestimmung der Polynomparameter:

Grundgleichungen:

$$d_r(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5$$

$$\dot{d}_r(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 + 4a_4 t^3 + 5a_5 t^4$$

$$\ddot{d}_r(t) = 2a_2 + 6a_3 t + 12a_4 t^2 + 20a_5 t^3$$

Randbedingungen:

$$d_r(0) = y_0$$

$$\dot{d}_r(0) = \dot{y}_0$$

$$\ddot{d}_r(0) = \ddot{y}_0$$



$$a_0 = d_{r,0}$$

$$a_1 = \dot{d}_{r,0}$$

$$a_2 = \frac{\ddot{d}_{r,0}}{2}$$

$$d_r(t_e) = d_{r,e}$$

$$\dot{d}_r(t_e) = \dot{d}_{r,e}$$

$$\ddot{d}_r(t_e) = \ddot{d}_{r,e}$$



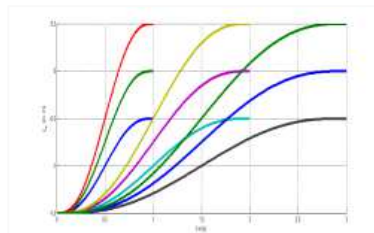
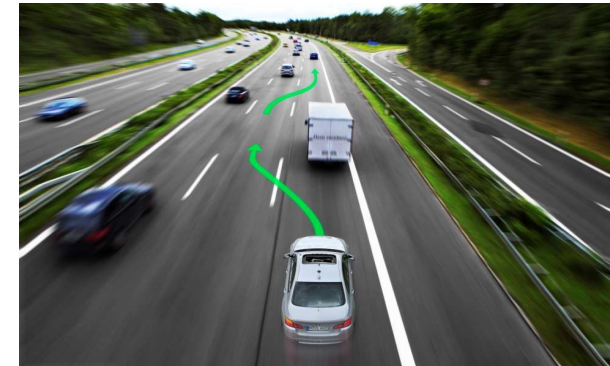
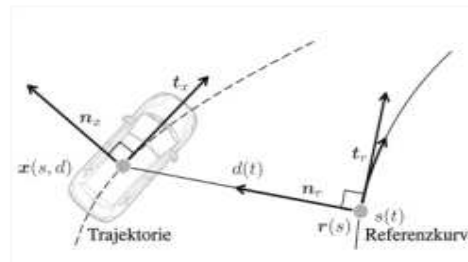
$$\begin{pmatrix} t_e^3 & t_e^4 & t_e^5 \\ 3t_e^2 & 4t_e^3 & 5t_e^4 \\ 6t_e & 12t_e^2 & 20t_e^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{r,e} - a_0 - a_1 t_e - a_2 t_e^2 \\ \dot{d}_{r,e} - a_1 - 2a_2 t_e \\ \ddot{d}_{r,e} - 2a_2 \end{pmatrix}$$

Lane Keeping Assist

Mögliche Lösungsvariante: Trajektorienplanung auf Basis von Polynomen

Koordinatentransformation

Transformation in krümmungsbereinigte (Frenet-)Koordinaten



Berechnung Trajektorienschar

Berechnung einer Schar von möglichen Trajektorien mit unterschiedlichen Endpunkten

Bewertung der Optimalität der Trajektorien mittels Kostenfunktional

Gewichtung des Rucks, der Querabweichung am Endpunkt und der benötigten Zeit

$$I = \int_{t_0}^{t_s} \ddot{y}(\tau) d\tau + k_y (y_{soll} - y(t_s))^2 + k_t t_s$$

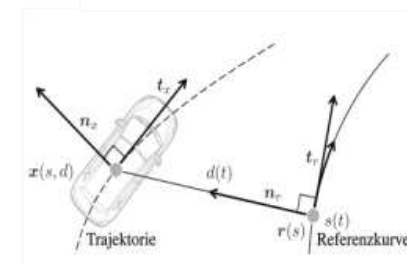


Überprüfung auf Einhaltung der Nebenbedingungen

Einhaltung des fahrdynamischen Potenzials (Kammerscher Kreis) sowie Kollisionsfreiheit

Rücktransformation

Transformation in Fahrzeugkoordinaten



监管目标:

- 实现规划轨迹

- 补偿干扰

位置水平横向制导的静态精度: - 横撑上的整体组件



Lane Keeping Assist

Regelung

- 操纵变量限值的问题 (上发条)

- 干扰变量观测器 (SGB)

- 考虑不可测量干扰的可能性

- 可直接考虑限制因素

- 干扰补偿程度可调

Regelungsziele:

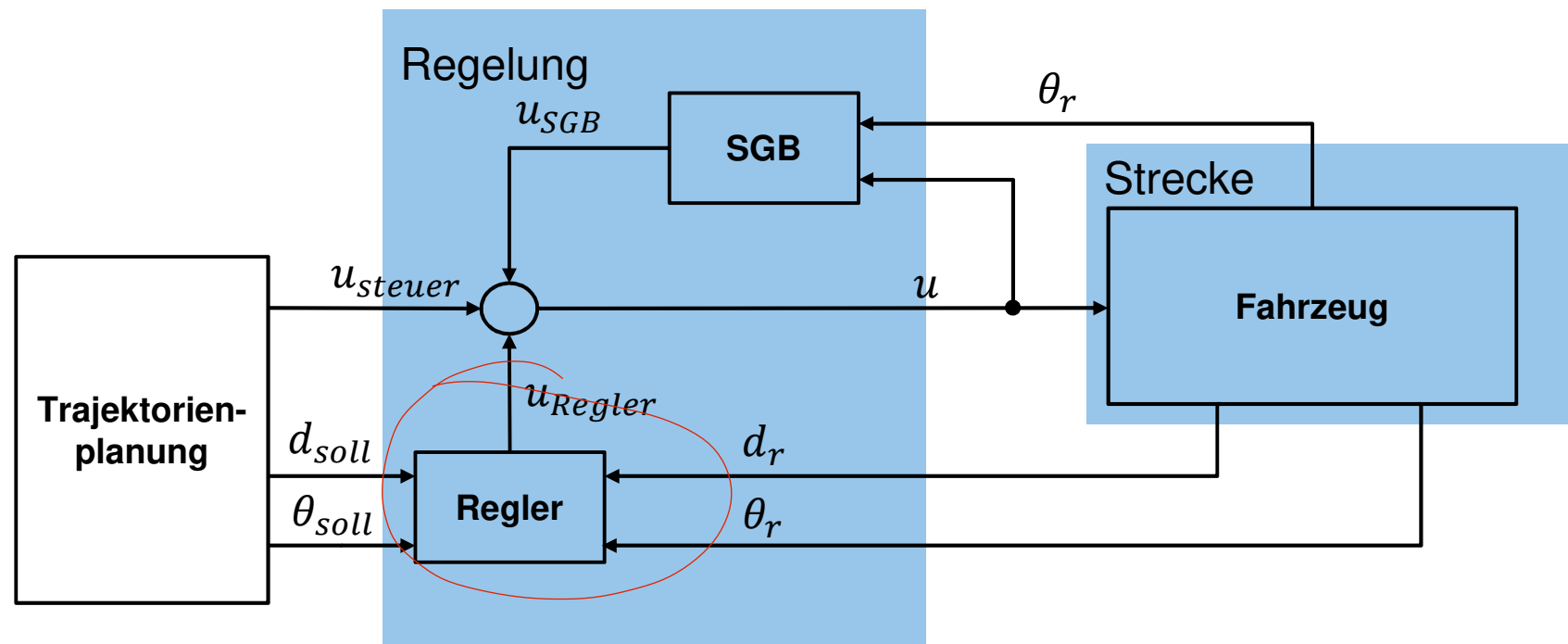
- Umsetzung der geplanten Trajektorie
- Ausgleichen von Störungen

Stationäre Genauigkeit der Querführung auf Positionsebene:

- Integralanteil auf die Querablage
 - Problem mit Stellgrößenbegrenzungen (Wind-up)
- Störgrößenbeobachter (SGB)
 - Möglichkeit nicht messbare Störungen zu berücksichtigen
 - Möglichkeit, Begrenzungen direkt zu berücksichtigen
 - Einstellbarer Grad der Störkompensation

Lane Keeping Assist

Regelungsstruktur



Lane Keeping Assist

Störgrößenaufschaltung mittels Störgrößenbeobachter

Wesentliche Störungen resultieren von

- Seitenkraftstörung
- Drehmomentstörungen

Diese Störungen resultieren hauptsächlich von der lateralen Seitenkraftstörung, welche beispielsweise von Seitenwind oder einer hängenden Fahrbahn verursacht werden kann. Beide Störungen führen zu

- Gierratenstörung
- Schwimmwinkelstörung

横向力扰动造成的重大干扰

扭矩干扰

这些干扰主要来自横向力扰动，例如，横风或倾斜路面可能造成横向力扰动。这两种干扰都会导致

偏航率
干扰

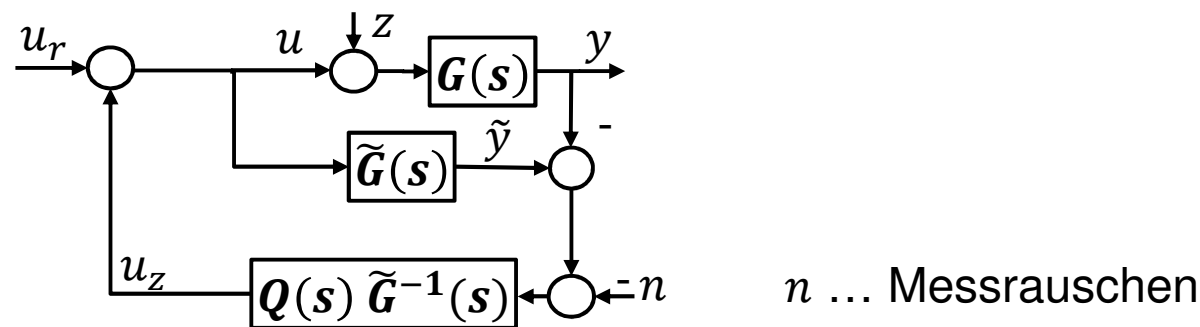
Lane Keeping Assist

Schätzung von extern auf die Strecke einwirkende Größen

Entwurfsidee:

- Modellierung der Strecke durch $\tilde{G}(s)$
- Vergleich des Ausgang der Strecke mit dem erwarteten Ausgang \tilde{y} auf Basis des Modells der Strecke
- Ermittlung der notwendigen Stellgröße zur Kompensation der Störung durch Inversion der modellierten Strecke
- Realisierung der Inversion mit Hilfe eines Filters $Q(s)$

Struktur der Realisierung:



Kommentarfolie

Nachbildung der Wirkung Störgröße z auf den Eingang der Strecke:

$$\begin{aligned}\Delta y &= \tilde{y} - y \\ \Delta y &= \tilde{G}(s) u - G(s) u - G(s) z \\ \Delta y &= G(s) z + (\tilde{G}(s) - G(s)) u\end{aligned}$$

$$\Downarrow \quad \tilde{G}(s) \cong G(s)$$

$$\Delta y \cong G(s) z$$

$$z \cong \tilde{G}^{-1}(s) \Delta y$$

$$\Downarrow \quad \text{Erreichung der Realisierbarkeit}$$

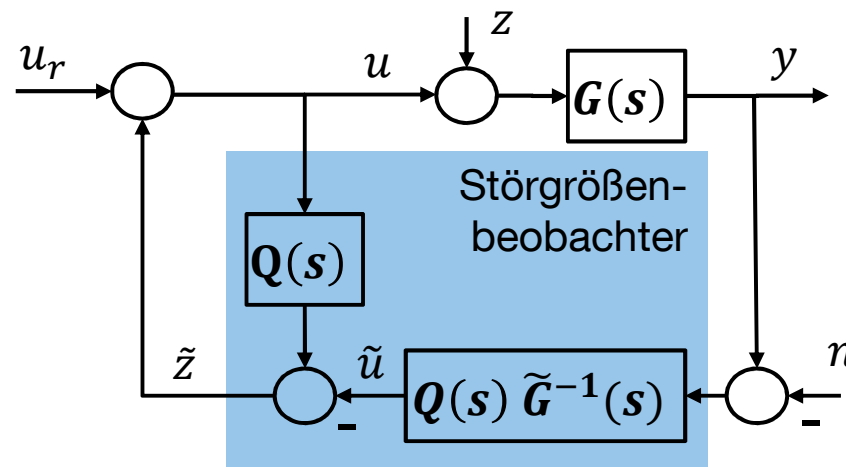
$$u_z \cong Q(s) \tilde{G}^{-1}(s) \Delta y$$

Lane Keeping Assist

Störgrößenbeobachter

Grundprinzip:

- Schätzung der vorliegenden Störung durch Vergleich des Eingangs mit dem Ausgang der Strecke durch Inversion der Streckenübertragungsverhaltens $G(s)$.
- Realisierung der Inversion mit Hilfe eines Filters $Q(s)$.
- Übliche Struktur des Störgrößenbeobachters:



n ... Messrauschen

Lane Keeping Assist

Störgrößenbeobachter

Übertragungsfunktionen:

$$G_{u_{ry}}(s) = \frac{Y(s)}{U_r(s)} = \frac{G(s)\tilde{G}(s)}{\tilde{G}(s) + (G(s) - \tilde{G}(s))Q(s)}$$

$$G_{zy}(s) = \frac{Y(s)}{Z(s)} = \frac{G(s)\tilde{G}(s)(1 - Q(s))}{\tilde{G}(s) + (G(s) - \tilde{G}(s))Q(s)}$$

$$G_{ny}(s) = \frac{Y(s)}{N(s)} = \frac{G(s)Q(s)}{\tilde{G}(s) + (G(s) - \tilde{G}(s))Q(s)}$$

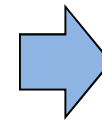
Lane Keeping Assist

Störgrößenbeobachter

Eigenschaften:

- Niedrige Frequenzen ($Q(s) \approx 1$):

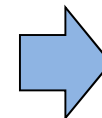
$$\underline{G_{ury}(s) \approx \tilde{G}(s), G_{zy}(s) \approx 0, G_{ny}(s) \approx 1}$$



Verhalten des geschlossenen Kreises entspricht dem Verhalten $\tilde{G}(s)$.

- Hohe Frequenzen ($Q(s) \approx 0$):

$$G_{ury}(s) \approx G(s), G_{zy}(s) \approx G(s), G_{ny}(s) \approx 0$$



Verhalten des geschlossenen Kreises entspricht dem Verhalten der realen Strecke $G(s)$.

Der Störgrößenbeobachter zwingt im Bereich niedriger Frequenzen dem geschlossenen Kreis das angesetzte nominelle Streckenverhalten $\tilde{G}(s)$ auf, und zwar auch bei Vorliegen von Störungen und Modellunsicherheiten.

[Rathgeber2015]

Lane Keeping Assist

Störgrößenbeobachter

Das dynamische Verhalten wird durch die Wahl der Übertragungsfunktionen $\tilde{G}(s)$ und $Q(s)$ bestimmt.

Entwurf:

- Bedingungen für $\tilde{G}(s)$:
 - Relativer Grad von $G(s)$ und $\tilde{G}(s)$ muss gleich sein.
- Bedingungen für $Q(s)$:
 - Filter $Q(s)$ muss schnell genug sein.
 - Der relative Grad von $Q(s)$ muss größer als oder gleich sein wie der von $\tilde{G}(s)$.
 - Störunterdrückung bei niedrigen Frequenzen muss gewährleistet sein.
 - Unterdrückung von Messrauschen bei hohen Frequenzen.

➤ Beispielsweise ein Tiefpassfilter mit passendem relativen Grad erfüllt diese Bedingungen.

Lane Keeping Assist

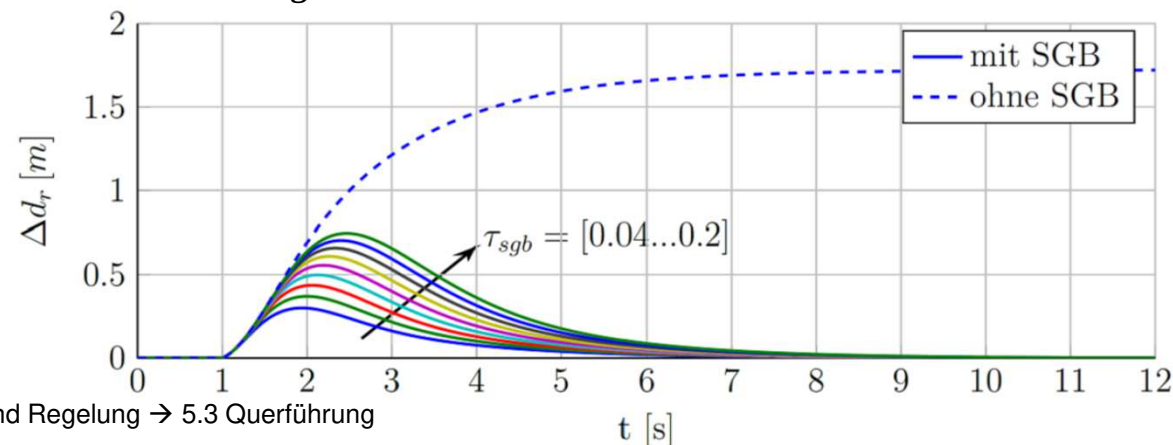
Störgrößenbeobachter – Anwendung Lane Keeping Assist

Situation:

- Seitenwindstörung von 500 N
- Fahrzeuggeschwindigkeit von 100 km/h

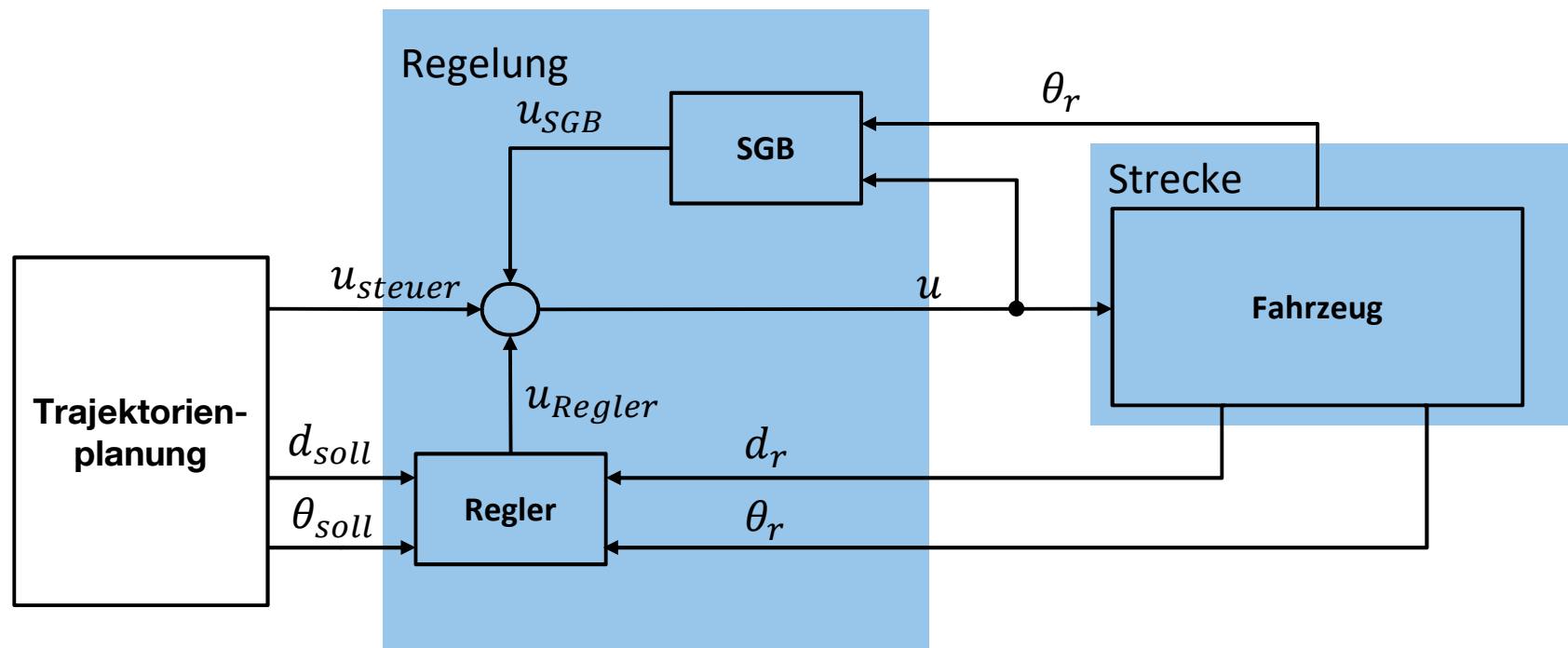
Ergebnis:

- Ohne Störgrößenaufschaltung führt Seitenwindstörung zu mehr als 1,5 m Querversatz
- Dynamik der Störunterdrückung wird maßgeblich durch die Filterzeitkonstante τ_{sgb} beeinflusst



Lane Keeping Assist

Regelung



Regelgesetz:

$$u_{Regler} = k_1 \Delta d + k_2 \Delta \theta$$

$$\Delta d = d_{soll} - d_r$$

$$\Delta \theta = \theta_{soll} - \theta_r$$

$$k_1 = f(v)$$

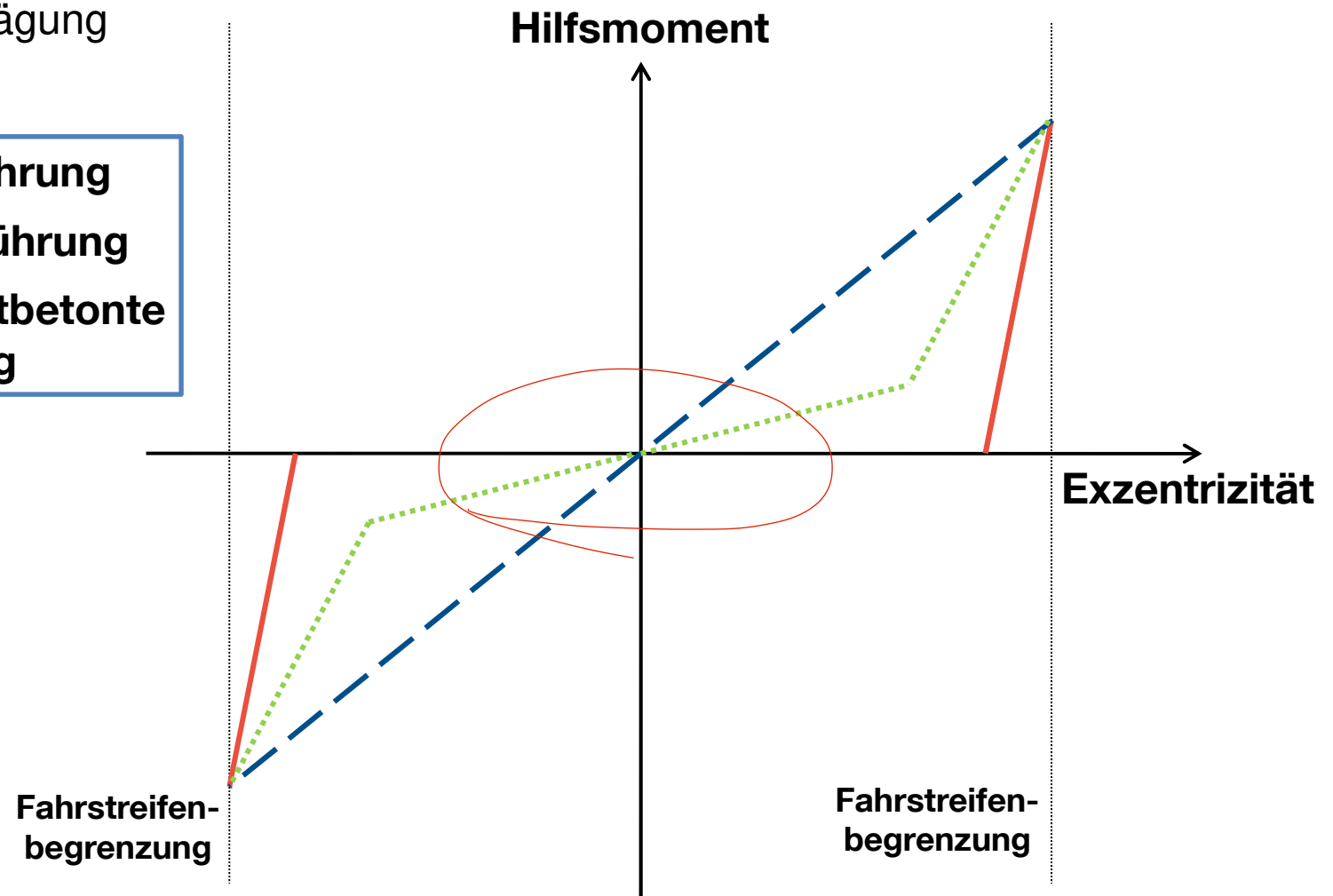
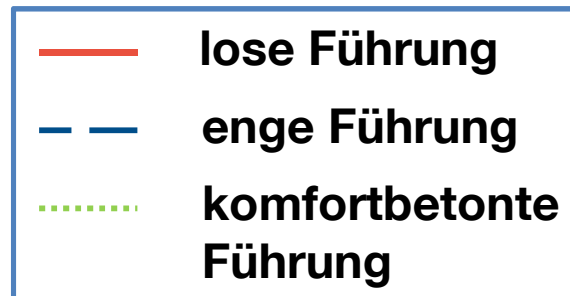
$$k_2 = g(v)$$



Gain scheduling

Lane Keeping Assist

Reglerausprägung



Quelle: Winner 2009

Kommentarfolie

Die Charakteristik einer Lane Keeping Assist lässt sich anhand des Unterstützungsmoments in Abhängigkeit von der lateralen Position auf dem Fahrstreifen beschreiben. Dieses wird durch die Trajektorienplanung sowie die Ausprägung der Regelung vorgegeben. In der Regel bildet sich die Abhängigkeit von der lateralen Position in den Verstärkungsfaktoren des Regler aus.

Bei dem roten Verlauf (lose Führung) wird der Fahrer nur bei drohendem Verlassen des Fahrstreifens unterstützt. Bei dieser Strategie steht die Sicherheit im Vordergrund, da das System beim Vermeiden des unbeabsichtigten Fahrstreifenverlassen unterstützt. Der blaue Verlauf zeigt die Unterstützung bei der engen Führung. Bereits bei geringen Abweichungen der Fahrzeugposition von der Mitte des Fahrstreifens wird ein wahrnehmbares Moment beaufschlagt. Der grüne Verlauf (komfortbetonte Führung) zeigt einen Kompromiss. Bereits bei geringen Abweichungen wird der Fahrer sanft unterstützt.

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Funktionsweise I

„Die kombinierte Längs- und Querführung steht im Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 200 km/h zur Verfügung und ist über den Lenkstockhebel mit und ohne Vorauszfahrer aktivierbar. Der Abstandsregeltempomat DISTRONIC PLUS unterstützt im Stop-and-go-Verkehr ebenso wie bei höheren Geschwindigkeiten. Er regelt das eigene Fahrzeug im gewünschten Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug ein, falls dieses langsamer als die gewählte Wunschgeschwindigkeit fährt. Der Lenk-Assistent mit Stop&Go Pilot ist mittels Taste optional zur Längsunterstützung beziehungsweise abschaltbar und unterstützt mit Lenkmomenten den Fahrer beim halten des Fahrstreifens auf Basis der von der Stereo-Multi-Purpose-Kamera erkannten Fahrbahnmarkierungen, Um den Fahrer nicht zu bevormunden, sind die gestellten Lenkmomente klein. Wichtig für einen gültigen Fahrstreifen ist, dass die Fahrbahnmarkierungen auf beiden Seiten gut sichtbar sind. Aus diesem Grund kann die Querunterstützung bei Gegenlicht, im Dunkeln beziehungsweise bei Regen oder Schnee beeinträchtigt werden.

Im unteren Geschwindigkeitsbereich zwischen 0 und 60 km/h orientiert sich die Querführung zusätzlich zu den Fahrbahnmarkierungen auch am vorausfahrenden Fahrzeug. Damit bietet das System selbst dann eine Unterstützung, wenn keine beziehungsweise nicht eindeutige Fahrbahnmarkierungen erkannt werden.“

Quelle: Winner, TUD nach ATZextra 05/2013

Hinweis: In den Zitaten wurde Fahrspur durch Fahrstreifen ersetzt, um den gültigen Definitionen zu entsprechen.

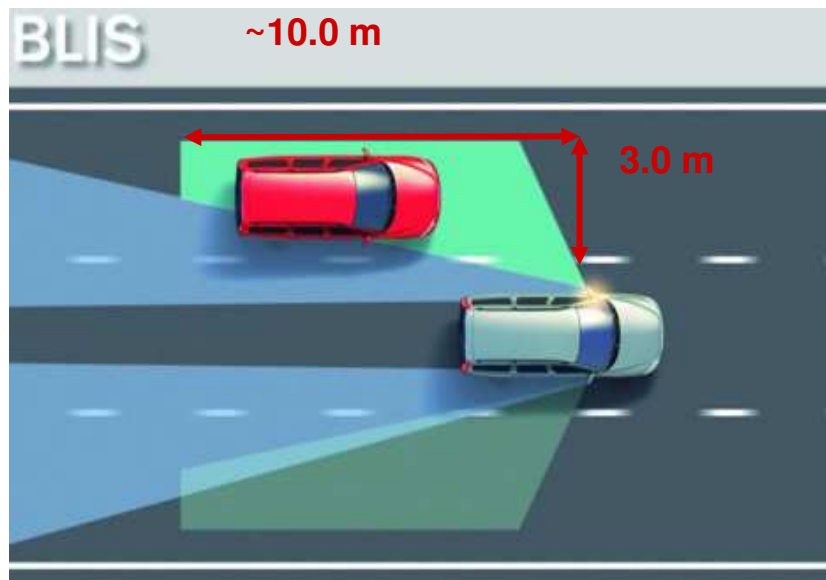
Kommentarfolie

Funktionsweise II

„Im Fahrerassistenzmenü des Kombiinstrumentes wird der Status des Systems dargestellt. Die Aktivität des Lenk-Assistenten mit Stop&Go Pilot wird über ein grünes Lenkrad-Symbol signalisiert. Selbstverständlich ist der Fahrer jederzeit in der Lage, die Querführung zu überstimmen. Die Betätigung des Blinkers passiviert das System für die Dauer des Fahrstreifenwechsels. Erkennt der Lenk-Assistent mit Stop&Go Pilot, dass der Fahrer während der Fahrt die Hände vom Lenkrad nimmt, wird der Fahrer intelligent in Abhängigkeit von der Fahrsituation, des Handmomentensensors, der erfassten Umgebung und der Geschwindigkeit optisch im Kombiinstrument gewarnt. Reagiert der Fahrer nicht, ertönt ein Warnton und die Querführung wird deaktiviert. Die Längsführung bleibt davon unberührt und ist weiter verfügbar.“

Quelle: Winner, TUD

Lane Change Assist



Lane Change Assist

■ Kollisionsursachen

- der hintere und seitliche Fahrzeugbereich wird nicht kontrolliert: Innenspiegel, Außenspiegel, Schulterblick
- Unaufmerksamkeit
- Unterschätzung der Annäherungsgeschwindigkeit

■ Funktionelle Anforderungen

- Alarmierung in Gefahrensituation
- Wahrnehmung:
 - Fahrzeuge im toten Winkel
 - schnell herannahende Fahrzeuge
- Überwachung des linken und rechten Nebenfahstreifens
- Funktion bei allen Witterungs-, Straßen- und Verkehrsbedingungen

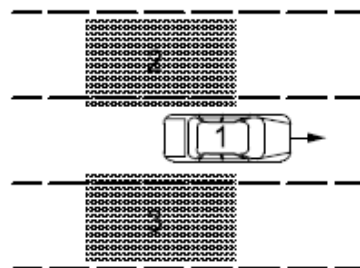
Quelle: Winner, TUD

Lane Change Assist

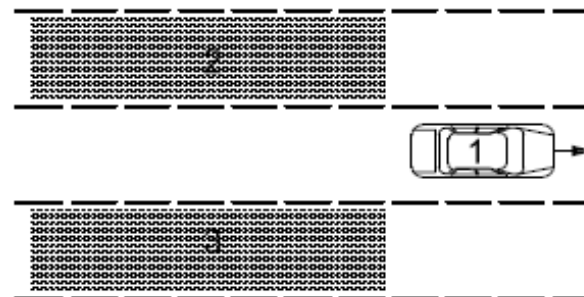
Klassifikation ISO 17387 LCDAS (Lane Change Decision Aid System)

#	Anwendungsfall	Absicherung	Anforderung an Warnung
1	Toter Winkel	Benachbarte Zone	Räumlich
2	Annähernde Fahrzeuge	Hintere Zone	Räumlich und Zeitlich (TTC)
3	Lane Change	Benachbarte & hintere Zone	Räumlich und Zeitlich (TTC)

Benachbarte Zonen
(Warnung vor nahen Fahrzeugen)



Hintere Zonen
(Warnung vor nahenden Fahrzeugen)



Die Zonen sind durch Linien, die sich auf das Fahrzeug beziehen, definiert.

Quelle: Winner, TUD nach ISO 17387

Lane Change Assist

HMI

- optisch, akustisch oder haptisch
- Spiegel- und Schulterblick muss nach wie vor erfolgen
→ HMI im Spiegel
- 1 oder 2 Eskalationsstufen
 - 2. Stufe bei Erkennung der Fahrstreifenwechselabsicht des Fahrers



Audi



BMW



GM



Mazda



VW



Jaguar



Ford



Mercedes



Mazda



Volvo
Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Sensor:

Abhängig vom eingesetzten System können je nach spezifischem Erfassungsbereich verschiedene Sensoren zum Einsatz kommen.

Im Bereich „Toter Winkel“ muss im Bereich von ca. 15 m² ein Objekt/Fahrzeug detektiert werden können. Mögliche Sensoren sind PMD, Video, 24 GHz-Radar und IR-Laser. Wichtig dabei ist, dass zwischen relevanten und nicht relevanten Objekten auf dem Nachbarfahrstreifen unterschieden werden kann. Idealerweise sollte der Sensor aber auch den Fernbereich abdecken können, um eine Gesamtfunktion darstellen zu können.

Ähnliches gilt auch für den „Annäherungsbereich“. Der Unterschied liegt dabei nicht nur im Erfassungsbereich selbst – bis ca. 30 m hinter dem Fahrzeug – sondern vor allem in der geforderten Fähigkeit, aus Relativgeschwindigkeit und Position ein Gefahrenpotential zu ermitteln. Als Sensoren kommen Video (Mono mit optischen Fluss oder Stereo), 24/77 GHz-Radar und IR-Laser in Frage.

- Radar (Nah- und Fernbereich) 77 GHz – Vorteil: Reichweite, Nachteil: Kosten/Integration
- Radar (Nahbereich) 24 GHz – Vorteil: gute Integrationsfähigkeit, Nachteil: in EU begrenzte Funkgenehmigung, Kosten, Lateralauflösung
- Infrarot (Nah- und Fernbereich) – Vorteil: Kosten, Nachteil: Integration
- Bildverarbeitung – Vorteil: Integration, Nachteil: Aufwendige Algorithmen
- Fernes Infrarot (FIR) – Wärmedetektoren (Reifen), Vorteil: einfache Auswertung, Nachteil: Störbarkeit
- Photonic Mixing Devices (PMD) – Vorteil: gute räumliche Auflösung im Nahbereich, Nachteil: Technologie noch exotisch

Quelle: Winner, TUD

Kommentarfolie

Überblick – Verschiedene Level 2 Systeme

System	Funktionen	Grenzen	Fahrerüberwachung
Cadillac Super Cruise	<ul style="list-style-type: none">• ACC mit Geschwindigkeits-Limits• Lenk- und Spurführung• Spurwechsel nach Aufforderung• Bremsen bei engen Kurven	Von 25 bis 137 km/h Bei getrennten Fahrstreifen	<ul style="list-style-type: none">• Aufmerksamkeits- kamera → Hands-off möglich• Bremsst in Stillstand bei Missachtung
Tesla Autopilot	<ul style="list-style-type: none">• ACC mit Geschwindigkeits-Limits• Lenk- und Spurführung (Autosteer)• Bremsen auf Kurven, Kreisverkehr, Kreuzungen• Spurwechsel nach Aufforderung• Mit Autopilot navigieren – selbstständig durch Autobahnkreuze und –ausfahrten lenken und Spur wechseln	Von 0 bis 145 km/h Bis 72 bzw. 145 km/h (Landstraße/Autobahn)	<ul style="list-style-type: none">• Hands-off-Erkennung – Lenkmoment

Kommentarfolie

Überblick – Verschiedene Level 2 Systeme

System	Funktionen	Grenzen	Fahrerüberwachung
BMW Driving Assistant Professional	<ul style="list-style-type: none"> • ACC mit Geschwindigkeits-Limits • Lenk- und Spurführung (+Engstellenassistent) • Stauassistent - selbstständig im Stau wieder anfahren • Bremsen auf Kurven und Kreisverkehr • Kreuzungswarnung mit Bremsfunktion • Ausweichhilfe • Lokale Gefahrenwarnung 	<p>Von 30 bis 210 km/h Bis 210 km/h Fahreraufmerksamkeit</p> <p>Bis 85 km/h Von 30 bis 60 km/h Datenverfügbarkeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aufmerksamkeitskamera (für Wiederanfahrt im Stau) • Hands-off-Erkennung – kapazitiv • Bremst in Stillstand bei Missachtung
Audi Assistenzpaket Tour	<ul style="list-style-type: none"> • ACC mit Geschwindigkeits-Limits • Lenk- und Spurführung (+Baustellenerkennung) • Stauassistent – selbstständig je nach Standzeit wieder anfahren • Bremsen auf Kurven (prädiktive Regelung) • Ausweichhilfe • Abbiegehilfe mit Bremseingriff 	<p>Bis 250 km/h Ab 65 km/h Bis 65 km/h</p> <p>Von 30 bis 150 km/h Von 30 bis 150 km/h Bis 10 km/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hands-off-Erkennung – kapazitiv • Bremst in Stillstand bei Missachtung
Daimler High-End- Assistenzpaket	<ul style="list-style-type: none"> • ACC mit Geschwindigkeits-Limits • Lenk- und Spurführung mit Rettungsgassenfunktion • Stauassistent– selbstständig bis 30s Standzeit wieder anfahren • Bremsen auf Kurven, Kreisverkehr, Kreuzungen • Spurwechsel nach Aufforderung • Ausweichhilfe 	<p>Von 30 bis 200 km/h Ab 60 km/h</p> <p>Bis 60 km/h</p> <p>Von 80 bis 180 km/h Von 20 bis 70 km/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hands-off-Erkennung – kapazitiv • Bremst in Stillstand bei Missachtung

Zusammenfassung der Leitfragen

- Wie funktionieren verschiedene Ausprägungen der Quer- und Längsführung?
 - Dynamic/Adaptive Cruise Control (DCC/ACC)
 - Lane Departure Warning (LDW)
 - Lane Keeping Assist (LKA)
 - Lane Change Assist (LCA)
- Wie sind verschiedene Maßnahmen zur Zielobjektauswahl bei der Längsführung umgesetzt?
 1. Erkennung Zielfahrzeug
 2. Bestimmung Krümmung eigene Fahrtrajektorie
 3. Kursprädiktion mit Arbeitshypothesen
 4. Optimierung Kursprädiktion
 5. Zuordnung zum prädizierten Kurs

Zusammenfassung der Leitfragen

- Welche Ansätze bei der Folgeregelung und Querverführung gibt es, wie funktionieren sie und wie können sie bewertet werden?
 - Folgeregelung:
 - Beschleunigungsgeführter Regler (mit PT1-Verhalten)
 - Relativgeschwindigkeitsgeführter Regler
 - Kaskadenregelung
 - Querverführung: Lane Keeping Assist
 - Querverführungsregelung
 - Zweifreiheitsgradstruktur
 - Zweifreiheitsgradstruktur mit intelligenter Vorsteuerung
- Wie kann mit Störungen und Messrauschen im System umgegangen werden?
 - I-Anteil im Regler
 - Störgrößenbeobachter

Referenzen

- [Destatis 2015] Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 7, 2015.
- [Maurer,TUBS] Vorlesung Prof. Maurer, TU Braunschweig.
- [Rathgeber2005] Ch. Rathgeber, F. Winkler, D. Odenthal and S. Müller, „Disturbance Observer for Lateral Trajectory Tracking Control for autonomous and cooperative Driving“, ICCAR 2015 : 18th International Conference on Control, Automation and Robotics, June 11-12, 2015.
- [Werling2010] M. Werling, „Ein neues Konzept für die Trajektoriengenerierung und -stabilisierung in zeitkritischen Verkehrsszenarien“, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2010.
- [Winner2015] H. Winner, S. Hakuli und G. Wolf, „Handbuch Fahrerassistenzsysteme“, Vieweg+Treibner Verlag, 2015.
- [Winner, TUD] Vorlesung Prof. Winner, TU Darmstadt.
- [Witte1996] S. Witte, „Simulationsverhalten zum Einfluss von Fahrerverhalten und technischen Abstandsregelsystemen auf den Kolonnenverkehr“, Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), 1996.