

# Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp



## Vorlesungsübersicht

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

## Leitfragen

### 12 – Aktuelle und zukünftige Systeme

- Welche Fahrerassistenzsysteme sind aktuell in Serienfahrzeugen erhältlich, und wie funktionieren sie?
- Wie können Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen unterteilt werden, und was unterscheidet die einzelnen Stufen?
- Welche Probleme und Herausforderungen existieren bei der Markteinführung des automatisierten Fahrens?
- Welche Entwicklungen sind im Bereich des automatisierten Fahrens vorhanden?

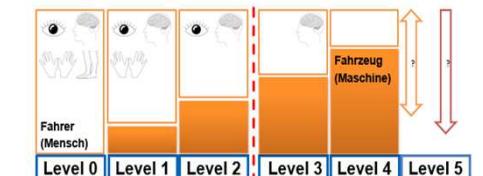
- 目前有哪些驾驶辅助系统可用于量产汽车，它们是如何工作的？

- 具有自动驾驶功能的车辆如何分类，各个级别之间有何区别？

[1] BMW, [2] idrivesafely.com, [3] Waymo

- 自动驾驶在市场推广过程中存在哪些问题和挑战？

- 自动驾驶领域有哪些发展？



# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

### Agenda

---

- 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme
  - 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap
  - 12.2 Automatisches Fahren



# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

#### 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

##### 12.1.1 Licht und Sicht

##### 12.1.2 Längsführung

##### 12.1.3 Querführung

##### 12.1.4 Längs- und Querführung für niedrige Geschwindigkeit (Parken)

##### 12.1.5 Längs- und Querführung für höhere Geschwindigkeit

#### 12.2 Automatisches Fahren



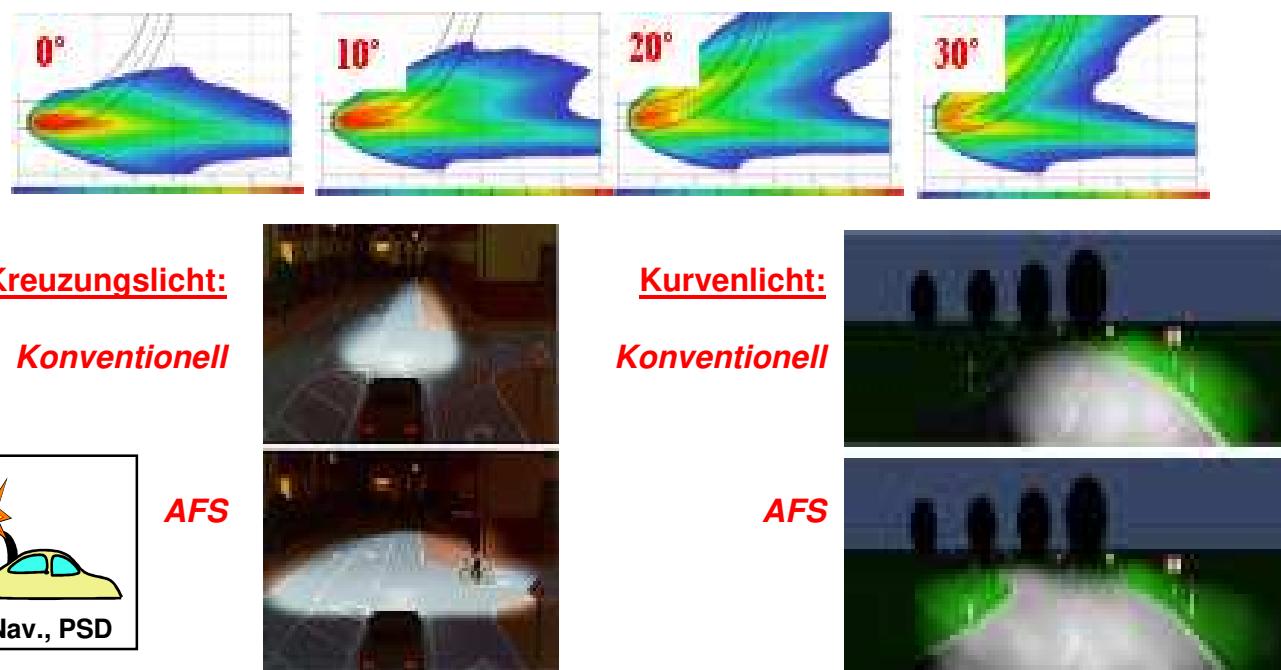
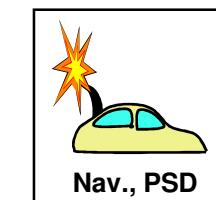
# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

## Systembeschreibung Advanced Frontlighting System (AFS)

Mit Hilfe eines Projektionsmoduls mit Gasentladungslampe oder steuerbaren LED-Clustern wird ein Stadt-, Landstraßen-, Autobahn- und Schlechtwetterlicht sowie ein dynamisches (=kurvenradienabhängiges) Kurvenlicht ermöglicht.

### Verwendete Sensorik:

- Lenkwinkel
- Gierrate
- Leuchtweitensensor (Schlechtwetterlicht)  
*Kreuzungslicht:* **Konventionell**
- Navigation (prädiktive Streckendaten)  
*Kurvenlicht:* **Konventionell**

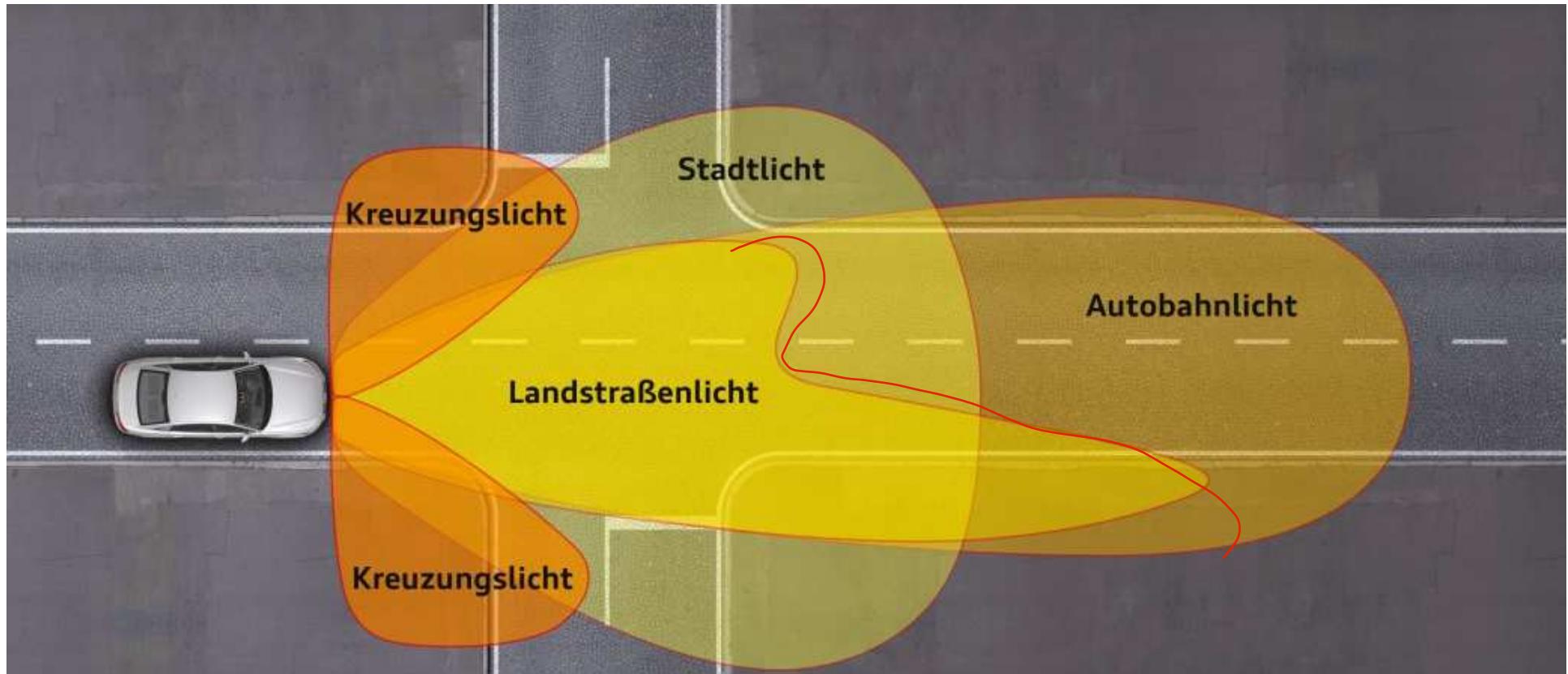


Maurer, TUBS nach AUDI AG

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

AFS: Variables Abblendlicht

- Wegen neuer ECE-Regelung seit 2005 zulässig



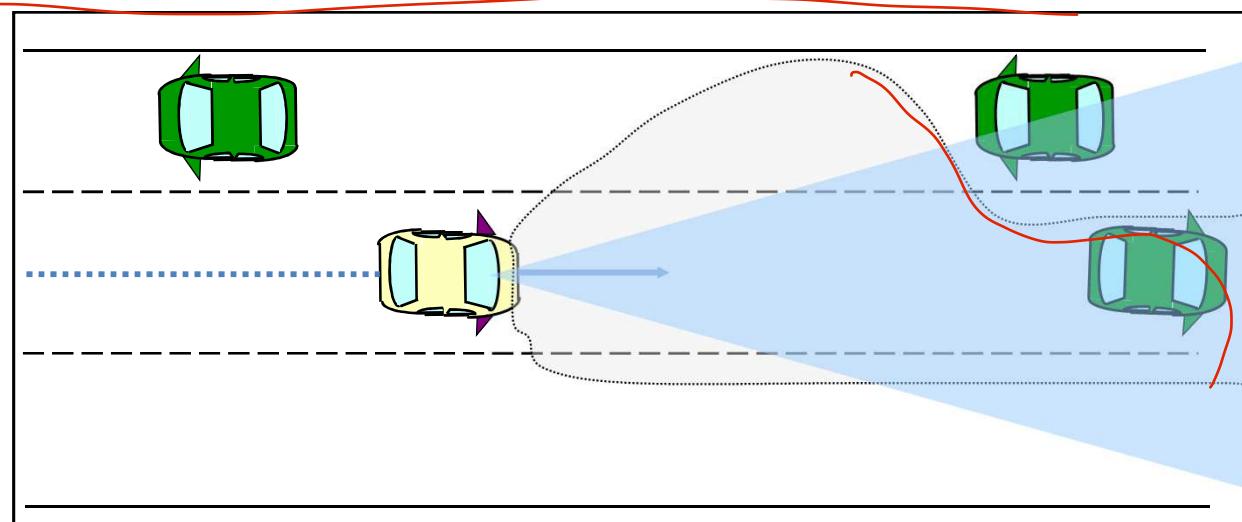
Quelle: AUDI AG

该系统由数字摄像头和微处理器控制，可根据交通状况不断调整前照灯的照射范围，从而确保车辆前方有更大的照明区域，而不会使迎面而来的车辆或前方的道路使用者感到眩目。

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

## Systembeschreibung: Variable Leuchtweitenregelung

Das von einer digitalen Kamera und einem Mikroprozessor gesteuerte System passt die Leuchtweite der Autoscheinwerfer stufenlos an die Verkehrslage an und sorgt damit für einen erheblich größeren ausgeleuchteten Bereich vor dem Fahrzeug, ohne dass Gegenverkehr oder vorausfahrende Verkehrsteilnehmer geblendet werden.



Bildverarbeitung

Maurer, TUBS nach sehendes-Auto.de, supplierpark.eu

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

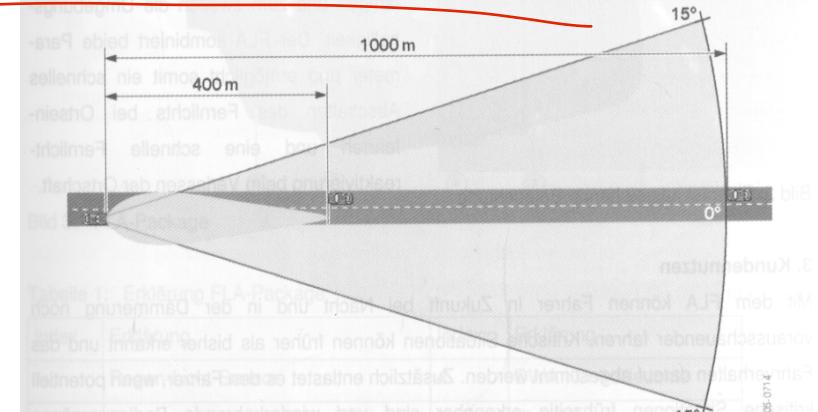
Funktionsdefinition: Variable Leuchtweitenregelung

- **Audi:** Fernlichtassistent (nicht stufenlos)
- **BMW:** Fernlichtassistent (nicht stufenlos)
- **Mercedes-Benz:** Adaptiver Fernlicht-Assistent (stufenlos)
  
- Verwendete Sensorik: Kamerasensor in der Innenspiegelhalterung
- Funktionalität:
  - Fernlichtassistent erkennt andere Verkehrsteilnehmer und/oder ausreichende Beleuchtung der Umgebung und blendet je nach Verkehrssituation automatisch auf bzw. ab
  - Detektionsreichweite bei entgegenkommenden Fahrzeugen bis 1000m, bei vorausfahrenden Fahrzeugen bis 500m

功能性

- 远光灯辅助系统可识别其他道路使用者和/或周围充足的照明，并根据交通状况自动向上或向下调节前大灯的亮度

- 迎面车辆的探测距离可达 1000 米，前方车辆的探测距离可达 500 米



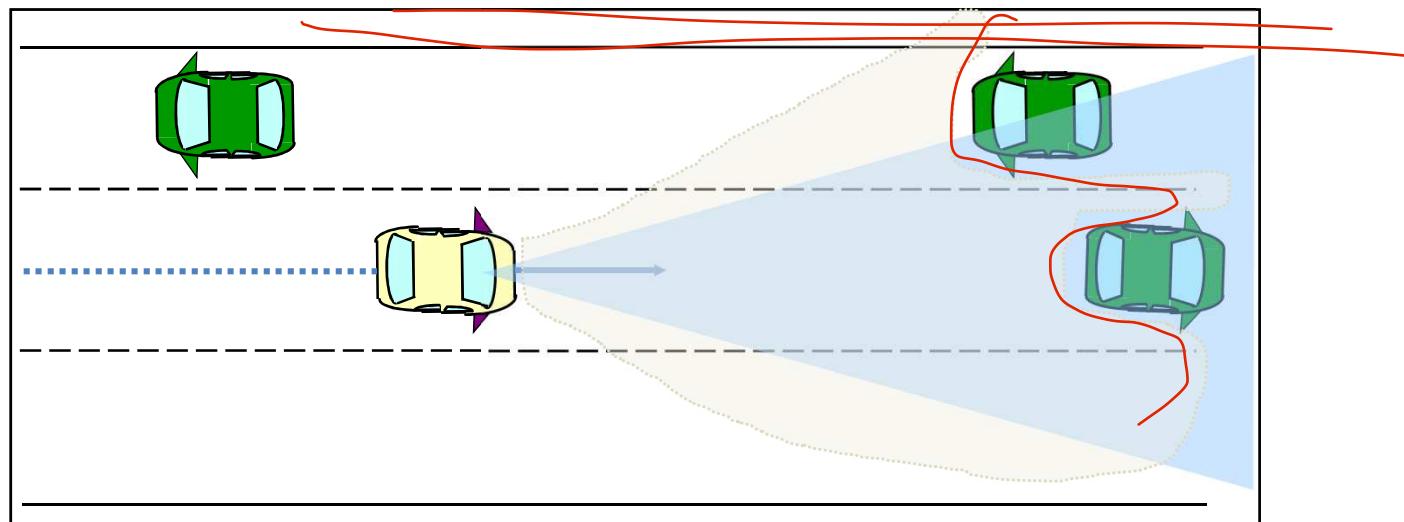
BMW Fernlicht 1 lux Bereich (< 400m) und FLA-Erfassungsdistanz (über 100m)

Quellen: [audi.de](http://audi.de), [bmw.de](http://bmw.de), [mercedes-benz.de](http://mercedes-benz.de)

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

## Systembeschreibung Blendungsfreies Fernlicht

Das Scheinwerfersystem befindet sich im Fernlichtmodus. Ein Kamerasystem erfasst den Verkehrsraum, berechnet die Winkelpositionen und Abstände aller dort befindlichen Fahrzeuge und reduziert ortsgenau die Lichtstärke. Dies sorgt für eine maximale Sichtbarkeitsweite, ohne andere Verkehrsteilnehmer zu blenden.



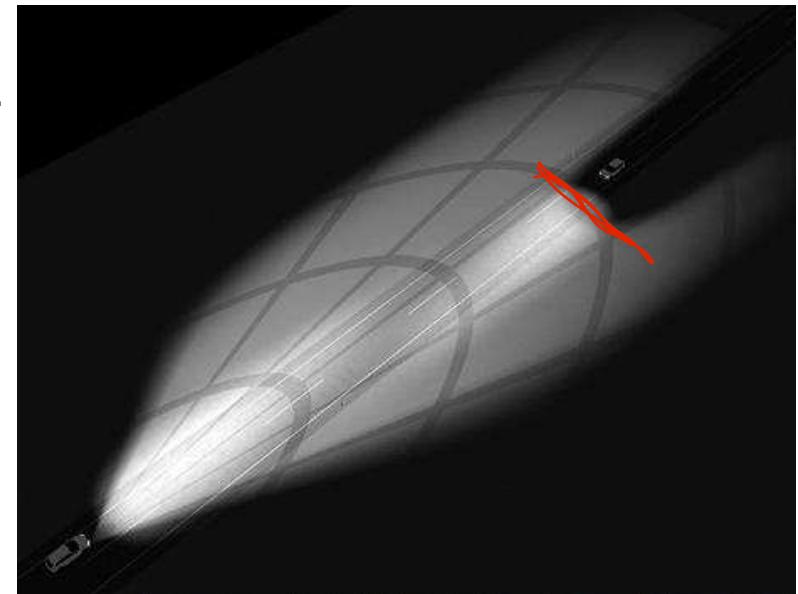
Bildverarbeitung

Quellen: AUDI AG, Winner 2015

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

Funktionsdefinition: Blendungsfreies Fernlicht

- **Audi:** Dynamischer Fernlichtassistent
  - **BMW:** Blendfreier Fernlichtassistent
  - **Mercedes-Benz:** Adaptiver Fernlicht-Assistent Plus
- 
- Verwendete Sensorik: Kamerasensor in der Innenspiegelhalterung
  - Funktionalität:
    - System erkennt andere Verkehrsteilnehmer und reduziert die Lichtstärke in den jeweiligen Bereichen
    - Zusätzliche Funktionalitäten wie Advanced Frontlighting Systems



功能性

- 系统能识别其他道路使用者，并降低相应区域的灯光强度

- 高级前照灯系统等附加功能

Maurer, TUBS nach audi.de, bmw.de, mercedes-benz.de

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

## Systembeschreibung Night Vision

Eine hinter dem Kühlergrill montierte Infrarotkamera nimmt Bilder des vorderen Sichtfeldes des Fahrzeuges auf. Sämtliche Wärmequellen (Temperaturunterschied zur Fahrbahn), wie z.B. Wild auf der Fahrbahn, Fußgänger, Radfahrer ohne Licht/Reflektoren, Automotoren werden somit wahrgenommen.



Konventionell



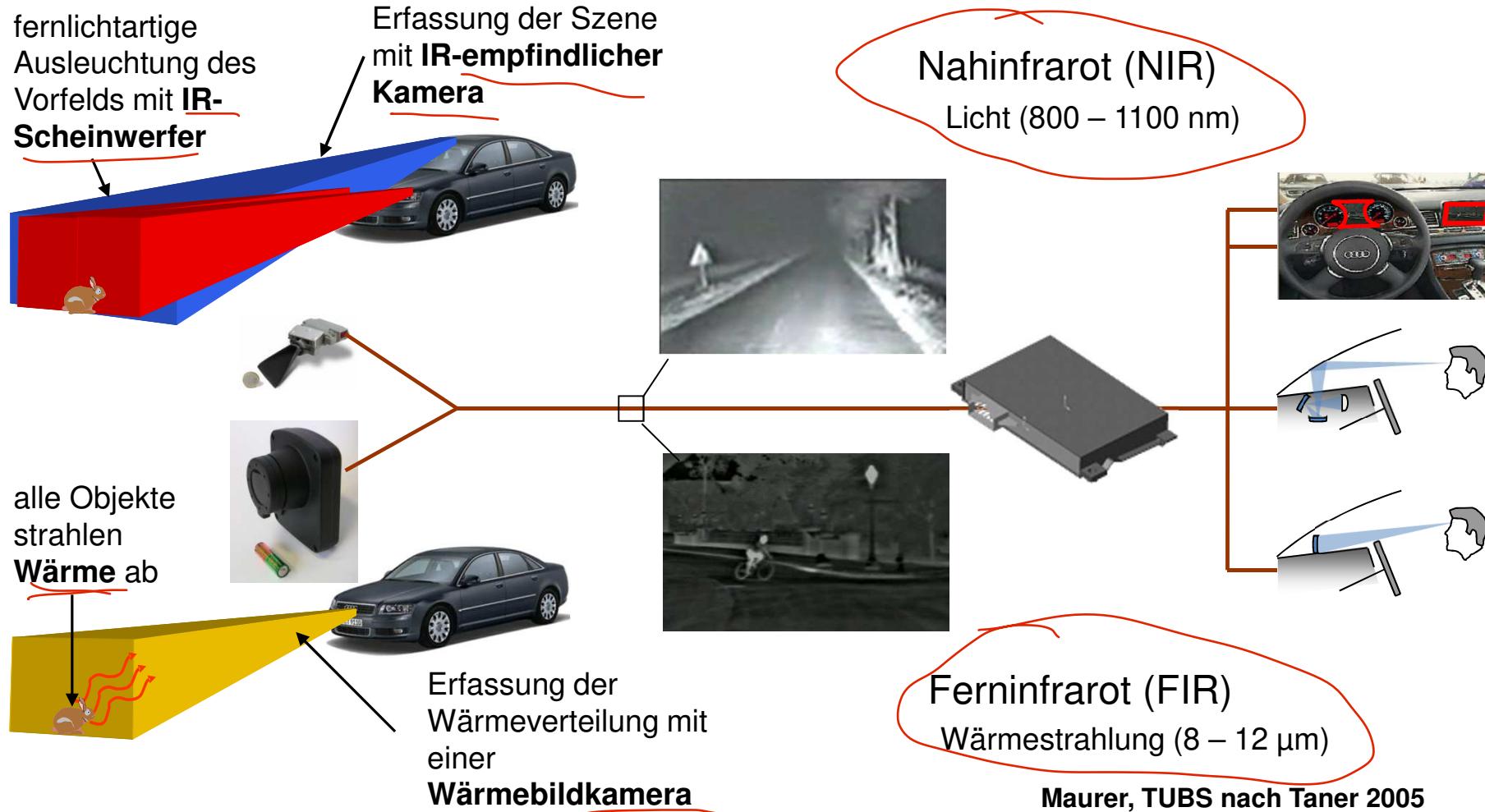
Night Vision

Maurer, TUBS nach cadillac.com

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

近红外 - 远红外

## Grundprinzipien Night Vision: Nahinfrarot - Ferninfrarot



# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

Night Vision: Vergleich der Sensorbilder

## Ferninfrarot



Abstrahierte und ungewohnte Darstellung der Vorausschau erschwert die Orientierung im Bild

预览的表现形式抽象而陌生，很难在图像中确定方向

- Hervorhebung von Lebewesen
- Keine Blendung durch entgegenkommende Fahrzeuge möglich
- Verwechslungsgefahr von Menschen mit Büschen, Straßenpfosten, Biotonnen
- Blendung durch Straßenschilder und Fahrzeuge, besonders bei entgegenkommendem Fernlicht

详细而熟悉的可视化预览便于在图像中定位

Detailgetreue und gewohnte Darstellung der Vorausschau erleichtert die Orientierung im Bild

## Nahinfrarot



Maurer, TUBS nach Taner 2005

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

## BMW Night Vision

- Verwendete Sensorik:
  - Fern-Infrarotkamera mit 36° Öffnungswinkel
  - keine aktive Infrarot-Ausleuchtung
- Funktionalität:
  - System erzeugt Wärmebild der Umgebung
  - Sichtweite bis zu 300m
  - digitaler Zoom, um Objekte bei höherer Geschwindigkeit zu vergrößern
  - Gezieltes Anleuchten von erkannten Personen und Tieren mit blendfreiem Hauptscheinwerfer
  - optische und akustische Personen- und Tierwarnung in kritischen Situationen



Quelle: bimmertoday.de

功能性

- 系统生成周围环境的热图像

- 能见度达 300 米

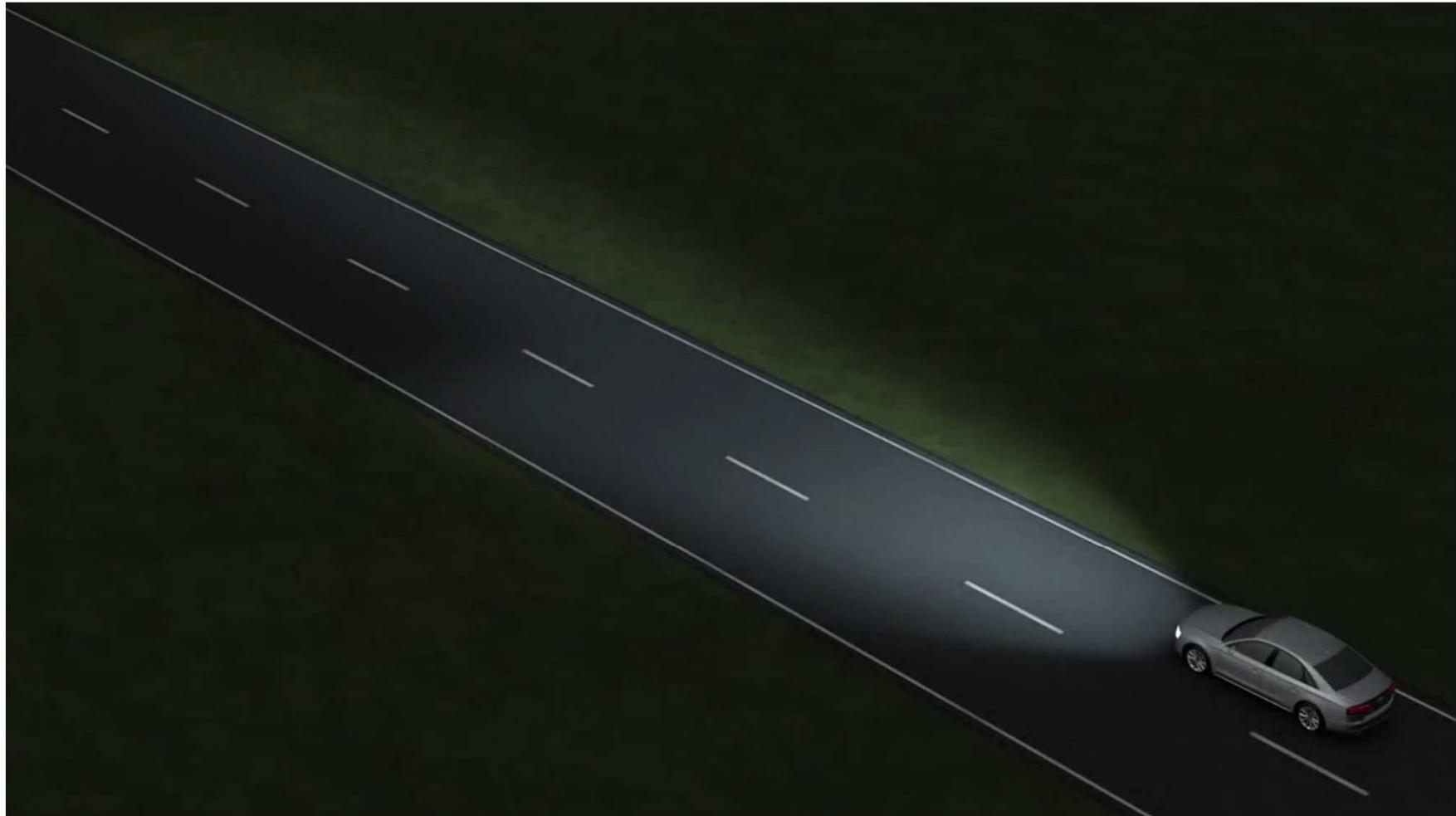
- 数字变焦，可在更高速度下放大物体

- 通过无眩光主车灯为识别到的人和动物提供目标照明

- 在紧急情况下对人和动物发出视觉和听觉警告

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

Audi - Nachtsichtassistent

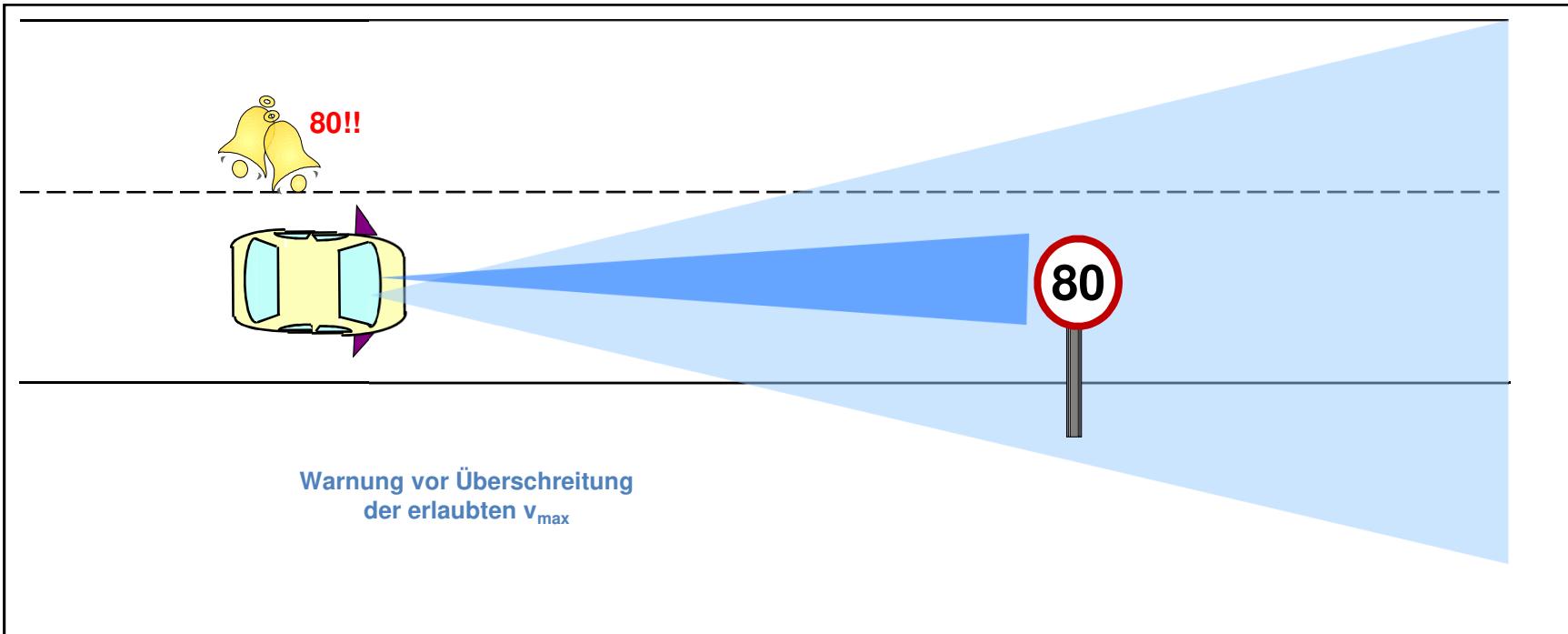


Quelle: [audi-technology-portal.de](http://audi-technology-portal.de)

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

Systembeschreibung: Verkehrszeichenerkennung

Visualisierung von erkannten Verkehrszeichen



Kamera nach vorne

Maurer, TUBS

# Licht und Sicht: aktuelle Systeme

Verkehrszeichenerkennung: BMW

- Verwendete Sensorik:
  - Kamera
  - Navigationsgerät
  - Uhrzeit              功能性
  - Regensensor
    - 驾驶舱内可视化显示限速, 平视显示器也可根据要求显示限速
    - 可检测车行道旁边和上方的速度限制
    - 在显示限速之前, 系统通过时钟和雨量传感器分析限制条件
  
- Funktionalität:
  - 检测禁止超车标志及其取消情况
  - Geschwindigkeitsbeschränkung wird optisch im Cockpit und auf Wunsch im Head-Up-Display angezeigt
  - Tempolimits neben und oberhalb der Fahrbahn werden detektiert
  - System analysiert über Uhr und Regensensor Einschränkungen, bevor Tempolimits angezeigt werden
  - Überholverbotsschilder und deren Aufhebungen werden erfasst



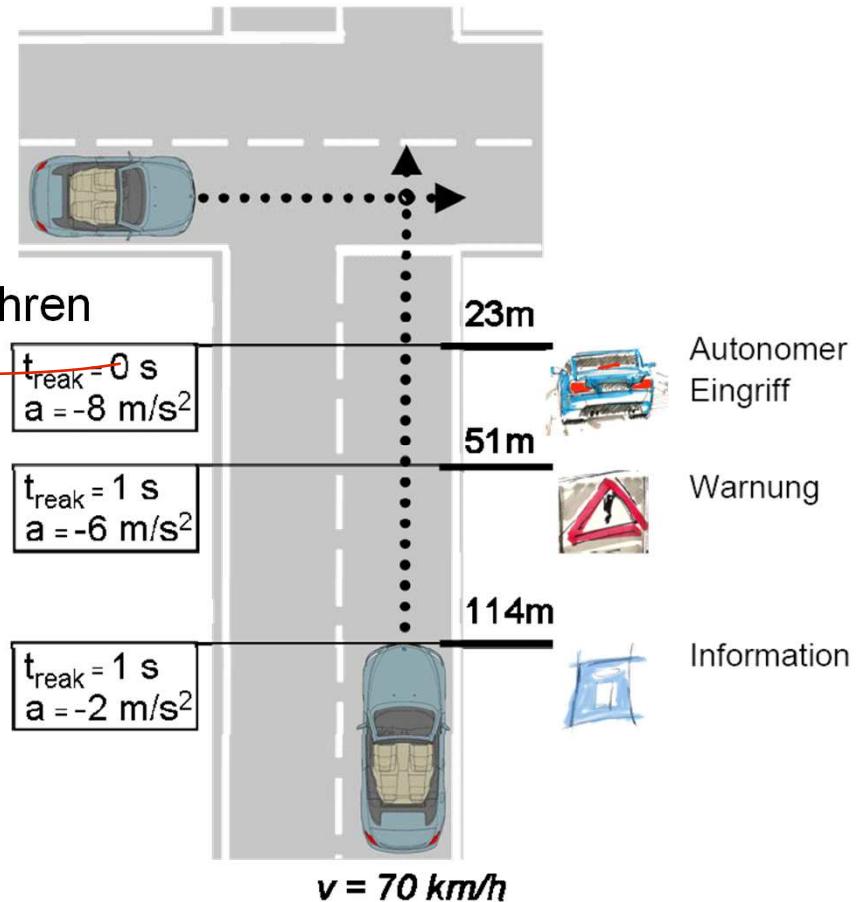
Quelle: bimmertoday.de

# Kreuzungsassistenz

- Vermeidung von Kreuzungsunfällen
  - Beim Kreuzen und Abbiegen
    - Erkennung der Kollisionsgefahr
    - Warnung vor Vorfahrtsverletzung
  - Verhindern von gefährdendem Anfahren

避免横穿马路事故

- 横穿马路和转弯时
- 认识碰撞风险
- 警告侵犯通行权
- 预防危险碰撞



Winner, TUD

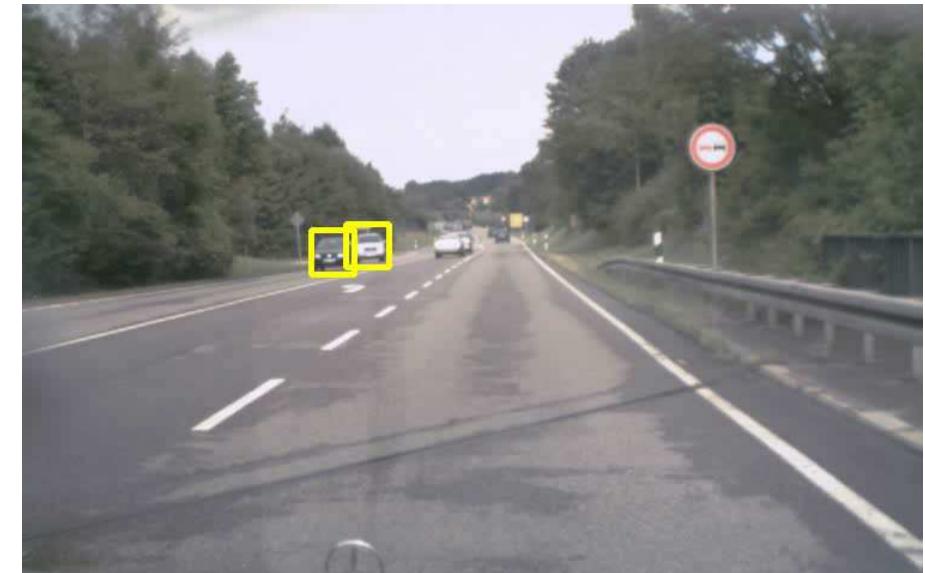
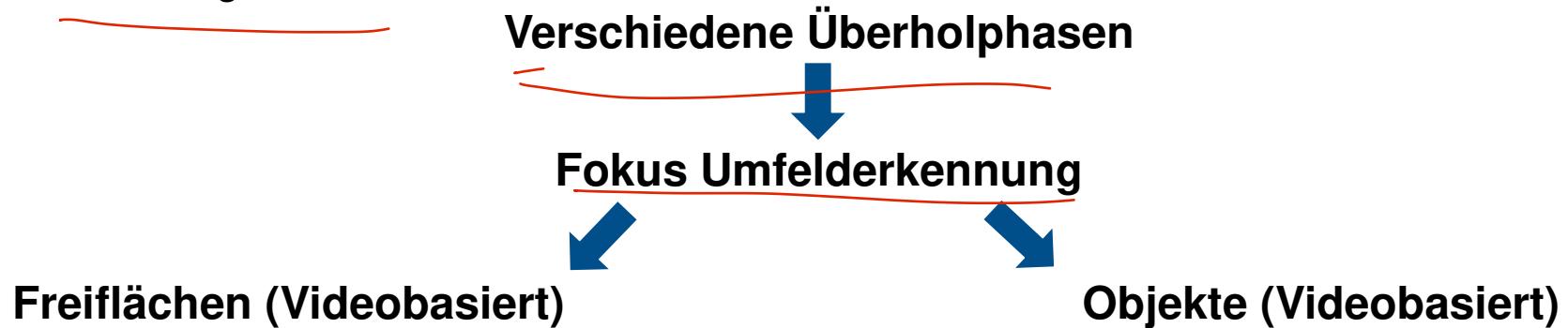
## Kommentarfolie

Das Fehlverhalten von Verkehrsteilnehmern am Kreuzungen ist eine der Hauptunfallursachen insbesondere im innerstädtischen Bereich. So ereigneten sich im Jahr 2006 etwa 23% aller Unfälle mit Personenschäden und 12% aller Unfälle mit Todesfolge beim Einbiegen/Kreuzen. Bisher existieren für diesen Spezialfall noch keine Assistenzsysteme. Gründe hierfür sind die vergleichsweise komplexe Situation im Kreuzungsbereich, für die eine Entscheidung über die Notwendigkeit aktiver Unfallvermeidungsmaßnahmen zu treffen ist, und die besonderen Anforderungen an die zu verwendende Sensorik.

Bei FZD wurde ein Forschungsprojekt zur Bewertung des Potentials eines Assistenzsystems zur Vermeidung von Unfällen beim Kreuzen und Abbiegen durchgeführt. Ausgehend von einer Unfalldatenanalyse und einer Untersuchung des Fahrerverhaltens wurden geeignete Assistenzmaßnahmen ausgewählt und in einem Fahrsimulator validiert. Dies ermöglichte schließlich die Ableitung von Sensoranforderungen, welche teilweise deutlich über den Möglichkeiten heutiger Sensoren liegen. Zudem ist für ein derartiges System eine Erweiterung der Fahrerverhaltensprädiktion notwendig. Diese Untersuchung hat jedoch gezeigt, dass die Realisierung einer Kreuzungsassistenz prinzipiell möglich ist und von den Fahrern akzeptiert wird.

# PRORETA II

Overtaking Assistance



Winner, TUD

## Kommentarfolie

PRORETA ist eine interdisziplinäre Forschungskooperation zwischen der Technischen Universität Darmstadt und der Continental AG. Ziel der Forschungskooperation ist die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, die Verkehrsunfälle vermeiden.

Der Name PRORETA wurde in Anlehnung das gleichnamige Mitglied der Besatzung römischer Kriegsschiffe gewählt. Der Proreta stand im Bug des Schiffs (Prora) und warnte vor Untiefen und anderen Gefahren.

Im Rahmen der erfolgreichen Kooperation forschen Wissenschaftler der TU Darmstadt und Continental gemeinsam bereits seit 2002 an innovativen Fahrerassistenz- und Fahrsicherheitssystemen

Im zweiten PRORETA-Projekt wurde ein Prototyp eines Fahrerassistenzsystems entwickelt, welches dem Fahrer hilft Unfälle bei Überholmanövern auf Landstraßen zu verhindern. Das Projekt wurde erfolgreich abgeschlossen und die mit Hilfe eines Prototypen-Fahrzeugs (BMW 540i) erarbeiteten Ergebnisse wurden im Oktober 2010 präsentiert.

**Quelle:** <http://www.proreta.tu-darmstadt.de/proreta/index.de.jsp>  
<http://www.proreta.tu-darmstadt.de/proreta/proreta2/index.de.jsp>

# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

#### 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.1.1 Licht und Sicht

12.1.2 Längsführung

12.1.3 Querführung

12.1.4 Längs- und Querführung für niedrige Geschwindigkeit (Parken)

12.1.5 Längs- und Querführung für höhere Geschwindigkeit

#### 12.2 Automatisches Fahren



# Längsführung: aktuelle Systeme

## Systembeschreibung: FVCX-Systeme

- 为了车内人员的利益，采取适当措施对即将发生或即将发生的迎面碰撞产生有利影响的系统

- **FVC: Forward Vehicle Collision**
- Systeme, die geeignete Maßnahmen ergreifen, um eine drohende oder bevor-stehende Frontkollision im Sinne der Fahrzeuginsassen günstig zu beeinflussen



Quelle: Winner, Handbuch FAS, 2015  
Bild: caranddriver.com

# Längsführung: aktuelle Systeme

Eskalationsstufe: Konditionierung

为车载子系统做准备的系统，使其在个别情况下更快或更有利/更谨慎地为乘员发挥作用

- **FVCC: Forward Vehicle Collision Conditioning**
- Systeme, die Subsysteme im Fahrzeug so vorbereiten, dass sie im Einzelfall ihre Wirkung schneller oder für die Insassen günstiger/ schonender entfalten
- Mögliche Maßnahmen:
  - Prefill
  - Vorkonditionieren der Airbags
  - Dämpferverstellung



Quelle: Winner, Handbuch FAS, 2015  
Bild: [volkswagen.co.uk](http://volkswagen.co.uk)  
[data.motor-talk.de](http://data.motor-talk.de)

# Längsführung: aktuelle Systeme

Eskalationsstufe: Warnung

- **FVCW: Forward Vehicle Collision Warning**
- Systeme, die den Fahrer vor einer drohenden Frontkollision warnen
- Mögliche Maßnahmen:
  - optische Warnung
  - akustische Warnung
  - Warnbremsruck
  - Warngurtruck
  - Gegendruck am aktiven Gaspedal
- Einteilung nach BASt in Funktionsprinzip A



Quelle: Winner, Handbuch FAS, 2015  
Bild: automobiles.honda.com

# Längsführung: aktuelle Systeme

Eskalationsstufe: Teilbremsung

- **FVCM: Forward Vehicle Collision Mitigation**
- Systeme, die die Unfallschwere durch geeignete Maßnahmen bei einer Frontkollision verringern
- Mögliche Maßnahmen:
  - Automatische kurzzeitige Bremseingriffe
  - Automatische Notbremsung zur Unfallfolgenreduktion
  - Gurtstraffer
  - Schließen von Fenstern und Schiebedach
  - Einstellen der Sitzposition
- Einteilung nach BASt in Funktionsprinzip C / Level  $\beta_{II}$



Quelle: Winner, Handbuch FAS, 2015  
Bild: car-it.com

# Längsführung: aktuelle Systeme

Eskalationsstufe: Vollbremsung

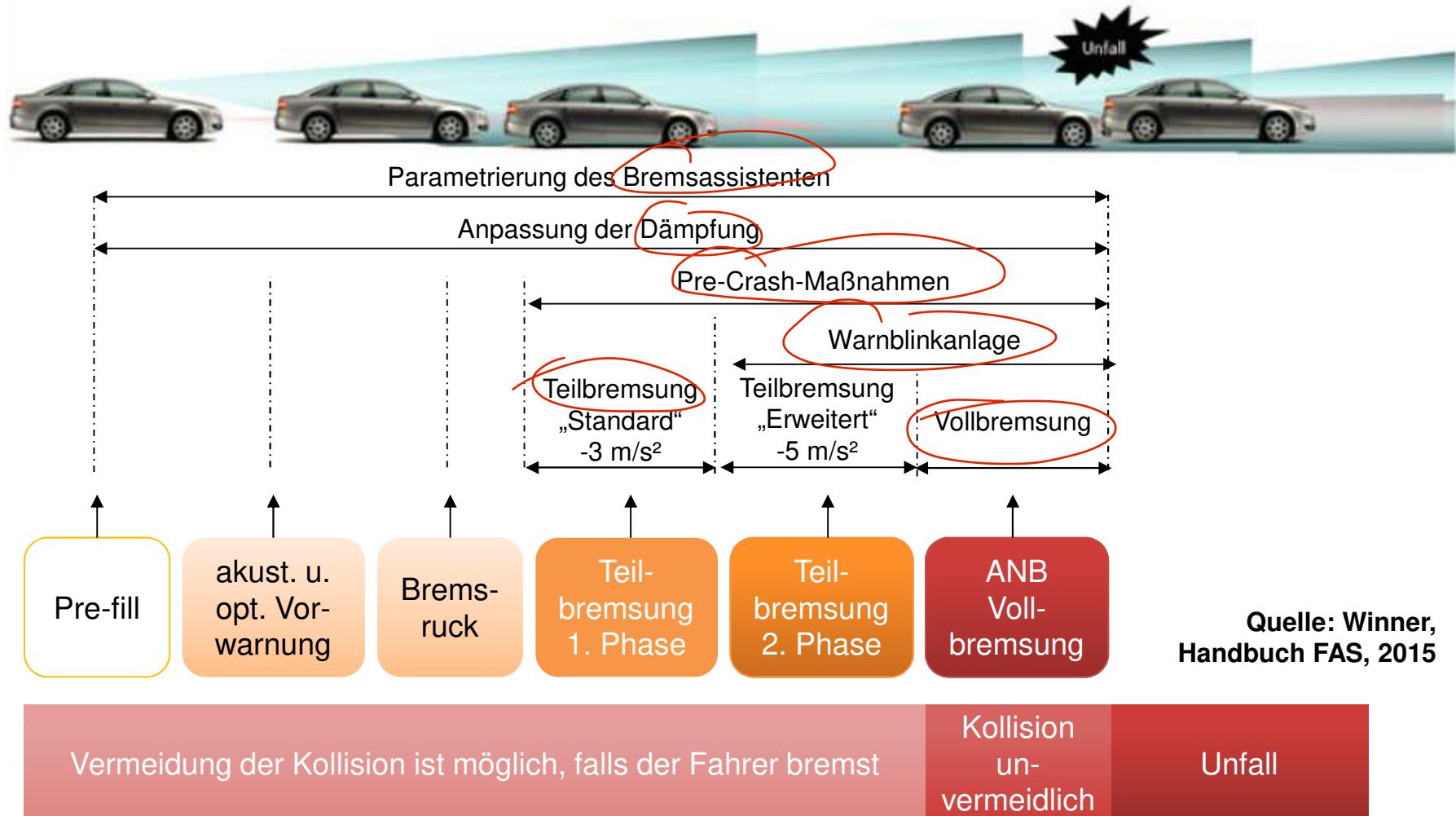
- **FVCA: Forward Vehicle Collision Avoidance**
- Systeme, die eine Frontkollision durch aktiven Eingriff in die Fahrdynamik vermeiden
- Mögliche Maßnahmen:
  - Zielbremsung (Verstärkung des Bremsdrucks)
  - Automatische Notbremsung zur Unfallverhinderung
- Einteilung nach BASt in Funktionsprinzip C / Level  $\beta_{II}$



Quelle: Winner, Handbuch FAS, 2015  
Bild: safety.trw.com

# Längsführung: aktuelle Systeme

Audi A8: Braking Guard und Pre Sense



# Längsführung: aktuelle Systeme

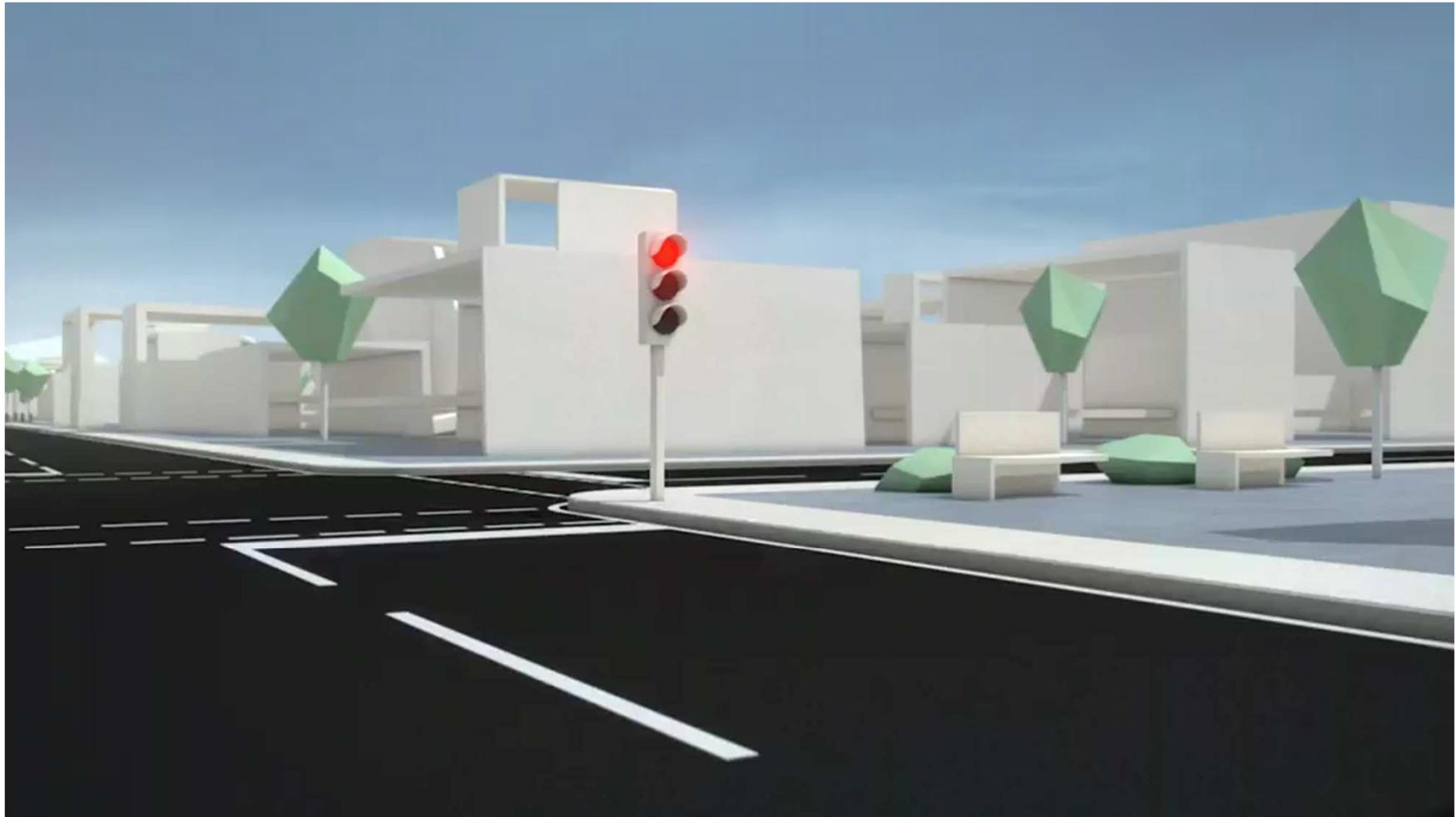
Audi pre sense city



Quelle: [audi-technology-portal.de](http://audi-technology-portal.de)

# Längsführung: aktuelle Systeme

Mercedes-Benz BAS Plus und PRE-SAFE Plus (Stand seit 2013)



Quelle: [techcenter.mercedes-benz.com](http://techcenter.mercedes-benz.com)

# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

#### 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.1.1 Licht und Sicht

12.1.2 Längsführung

12.1.3 Querführung

12.1.4 Längs- und Querführung für niedrige Geschwindigkeit (Parken)

12.1.5 Längs- und Querführung für höhere Geschwindigkeit

#### 12.2 Automatisches Fahren

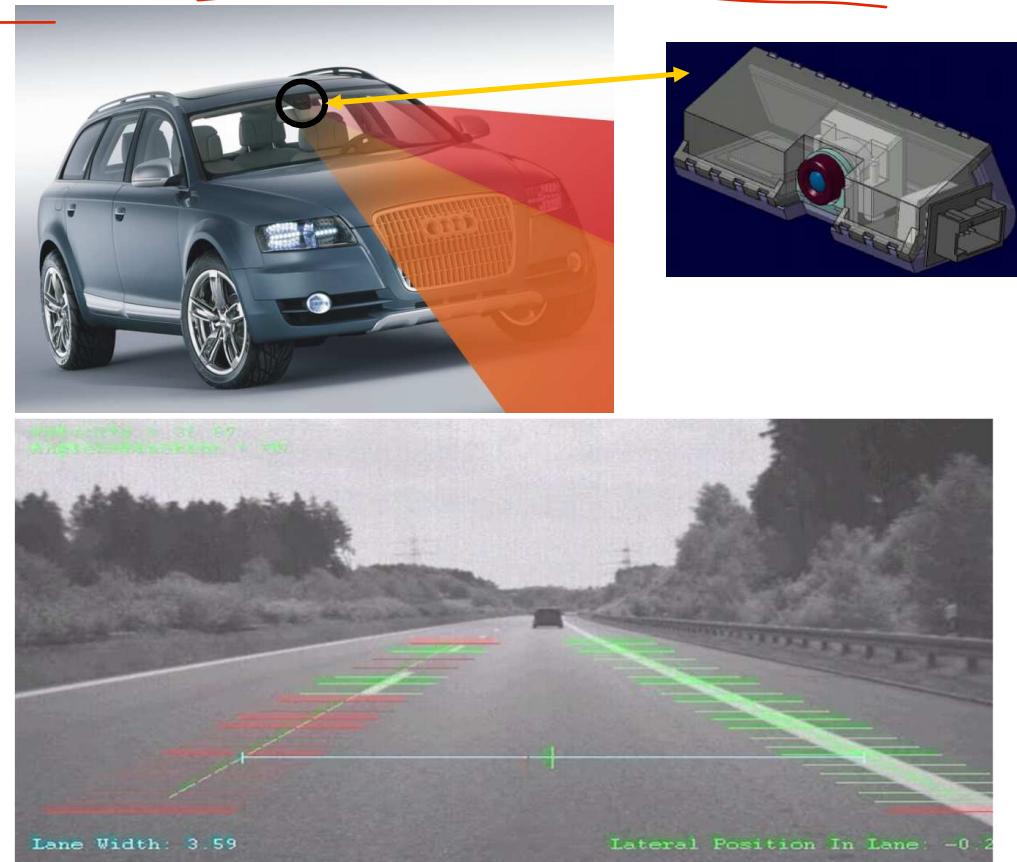


# Querführung: aktuelle Systeme

## Audi lane assist

通过方向盘振动发出无意车道偏离警告

- Warnt durch Lenkradvibration vor unbeabsichtigtem Verlassen des Fahrstreifens
- Berücksichtigte Größen:
  - Spurbreite
  - Krümmung des Fahrstreifens
  - Querabweichung
  - Gierwinkelfehler
  - Güte der Fahrstreifenerkennung



Maurer, TUBS nach Hackenberg et al. 2005

# Querführung: aktuelle Systeme

Mercedes Benz (Lane Keeping Support)

- Verwendete Sensorik:
  - Kamera hinter der Frontscheibe
  - Radarsensoren im vorderen und hinteren Stoßfänger
- Funktionalität:
  - Erkennen der Fahrstreifenmarkierungen anhand von Kontrastunterschieden
  - Erkennen des Gegen- und Parallelverkehrs, sowie von hinten nahender Fahrzeuge und stationärer Hindernisse
  - Bei ungewolltem Verlassen des Fahrstreifens erfolgt ein haptisches Signal am Lenkrad
  - Verhindern von ungewolltem Verlassen des Fahrstreifens bei belegtem Nachbarfahrstreifen oder durchgezogener Linie durch gezielte Bremseingriffe

功能性

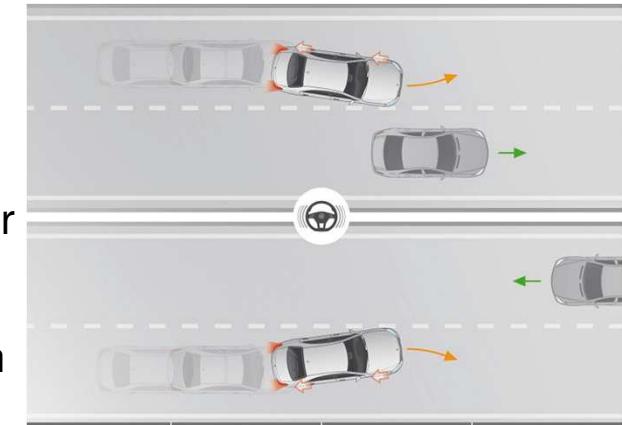
- 根据对比度差异识别车道标记

- 识别来车和并行车辆，以及从后面驶来的车辆和静止障碍物

12 Aktuelle und zukünftige Systeme → 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap → 12.1.3 Querführung

- 如果驾驶员无意中离开车道，方向盘上会发出触觉信号

- 通过有针对性的制动干预措施，防止在相邻车道被占用或划出实线时意外偏离车道



Quelle: daimler.com

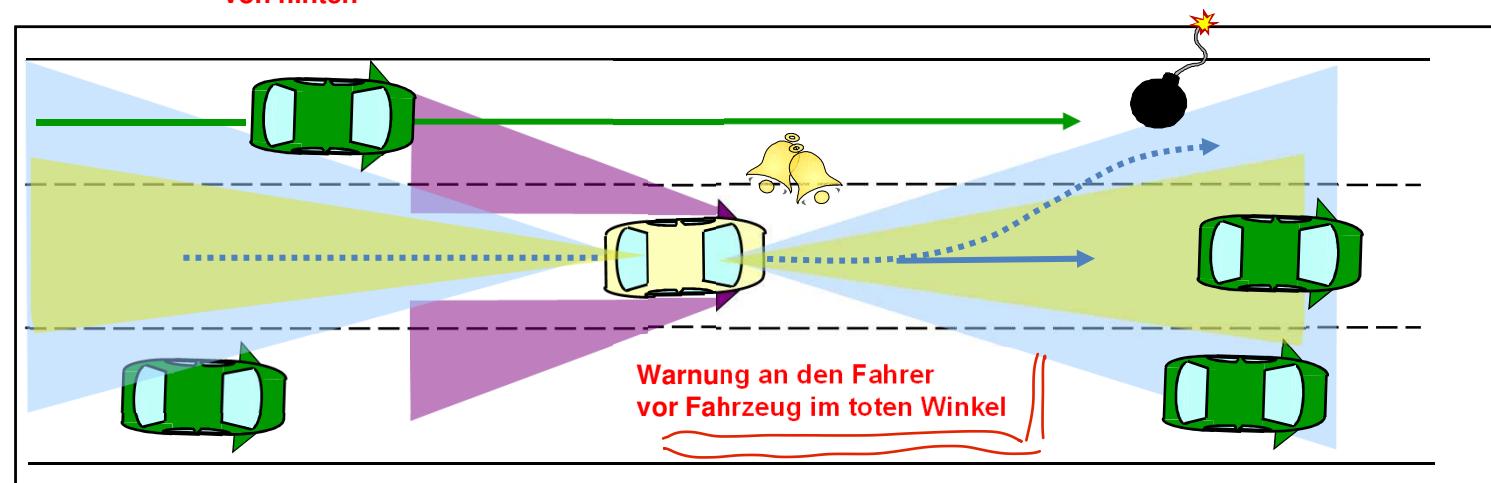
# Querführung: aktuelle Systeme

Funktionsdefinition: Fahrstreifenwechselassistent

传感器可探测盲区内的车辆。驾驶员在变换车道时有可能与之发生碰撞的车辆会发出警告。

Sensoren nehmen Fahrzeuge im toten Winkel wahr. Der Fahrer wird beim Fahrstreifenwechsel vor Fahrzeugen, mit denen Kollisionsgefahr besteht, gewarnt.

**z.B. schnelles Fahrzeug  
von hinten**



Bildverarbeitung



Abstandssensor, Toter Winkel



Abstandssensor, Fernbereich

Maurer, TUBS

# Querführung: aktuelle Systeme

## Funktionsdefinition: Fahrstreifenwechselassistent

功能性

- Audi: **side assist**
- BMW: **Spurwechselwarnung**
- Mercedes-Benz: **Totwinkel-Assistent**
- VW: **Side Assist**
- Verwendete Sensorik: Radarsensoren im Bereich des hinteren Stoßfängers
- Funktionalität:
  - System ab definierter Geschwindigkeit aktiv (Audi/VW 60 km/h, BMW 30 km/h)
  - Überwachung des Bereichs unmittelbar neben und bis zu 50m hinter dem eigenen Fahrzeug
  - optisches Signal im/am Außenspiegel zeigt an, ob sich ein Fahrzeug im Überwachungsbereich befindet
  - Setzt der Fahrer den Blinker und signalisiert dadurch einen beabsichtigten Fahrstreifenwechsel in den belegten Fahrstreifen, warnt das System durch ein intensiveres optisches Signal:
    - bei BMW zusätzliche Warnung durch Lenkradvibration
    - bei Mercedes zusätzliches optisches Signal

Maurer, TUBS nach audi.de, bmw.de,  
mercedes-benz.de, volkswagen.de

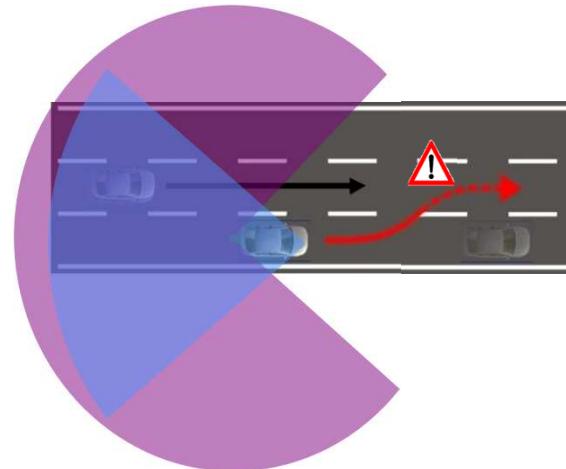
奥迪侧向辅助系统：当车辆侧面和后方近距离区域出现危险情况时，通过可视化显示屏通知和警告驾驶员变更车道的意图。

- 探测范围：最远 50 米

## Querführung: aktuelle Systeme

Funktionsdefinition: Fahrstreifenwechselassistent

- Audi side assist: informiert und warnt über optische Anzeige bei Fahrstreifenwechselabsicht, wenn durch Objekte im Nahbereichsraum seitlich und hinter dem Fahrzeug eine Gefahrensituation entsteht
- Erfassungsbereich: bis 50m



**Zustand:**  
ASA aktiv,  
kein Fahrzeug im  
Warnbereich



**Information**  
Nebenfahrbahn  
besetzt



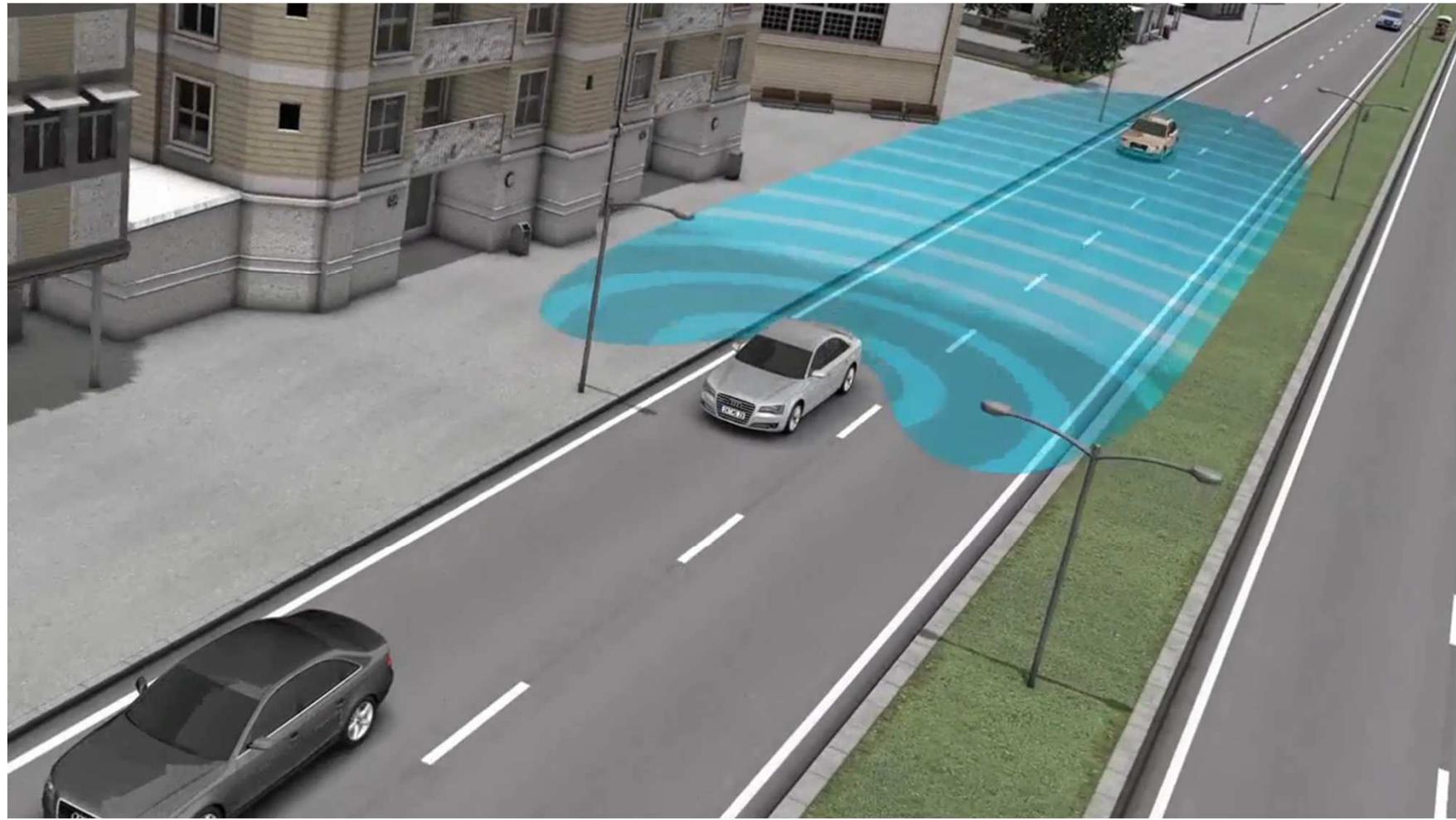
**Warnung**  
Gefahr: Fahr-  
streifenwechsel  
beabsichtigt



Maurer, TUBS nach Hackenberg et al. 2005

# Querföhrung: aktuelle Systeme

Beispiel: Audi side assist



Quelle: audi-technology-portal.de

# Querführung: aktuelle Systeme

Funktionsdefinition: Totwinkelerkennung

- Volvo Blind Spot Information System
- Verwendete Sensorik:  
Digitalkameras in den Außenspiegeln
- Funktionalität:
  - Überwachung des Bereichs bis zu 9,5m hinter und 3m neben dem Fahrzeug
  - optisches Signal (rote Anzeige) im Spiegeldreieck hinter der A-Säule



功能性

- 监控车辆后方 9.5 米和旁边 3 米范围内的区域
- A 柱后三角镜中的视觉信号（红色指示灯）

Maurer, TUBS nach volvocars.de, volvo4ever.com

# Querführung: aktuelle Systeme

## Mercedes-Benz Aktiver Totwinkel-Assistent

- Verwendete Sensorik: Nahbereichs Radarsensoren auf beiden Seiten des hinteren Stoßfängers
- Funktionalität:
  - Überwachung des Bereichs bis zu 3m hinter und 3,5m neben dem Fahrzeug
  - optisches Signal (rote Anzeige) im Außenspiegel
  - bei Fahrstreifenwechselabsicht (gesetzter Blinker) zusätzlich akustisches Warnsignal
  - bei Gefährdung steuert das System durch gezielte Bremseingriffe gegen

功能性

- 监控车辆后方 3 米和旁边 3.5 米范围内的区域

- 后视镜上的视觉信号（红色指示灯）

12 Aktuelle und zukünftige Systeme → 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap → 12.1.3 Querführung

- 如果驾驶员打算变更车道，会发出额外的声音警告信号（设置指示灯）

- 发生危险时，系统通过有针对性的制动干预进行反制



Maurer, TUBS nach daimler.com

# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

#### 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.1.1 Licht und Sicht

12.1.2 Längsführung

12.1.3 Querführung

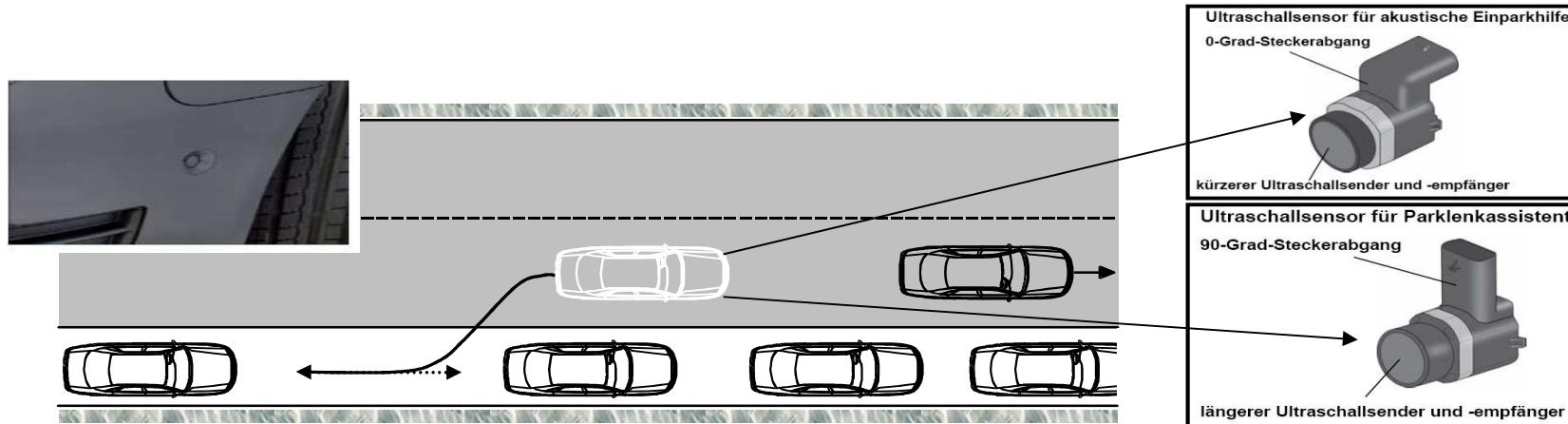
12.1.4 Längs- und Querführung für niedrige Geschwindigkeit (Parken)

12.1.5 Längs- und Querführung für höhere Geschwindigkeit

#### 12.2 Automatisches Fahren



# Einparkassistentz



Informierende Einparkassistentz	Geführte Einparkassistentz	Semiautomatisches Einparken	Vollautomatische Einparksysteme
Akustische und/oder optische <b>Information</b> des Fahrers über die Abstände hinter und vor dem Fahrzeug	Bewerten der <b>Umfeldinformationen</b> und Aussprechen von <b>Handlungsempfehlungen</b>	Übernahme einer <b>Fahrzeugführungs-komponente</b> (meist Querführung) durch Assistenzsystem	Übernahme der <b>gesamten Fahrzeug-führung</b> durch Assistenzsystem

heute

辅助系统接管整个车辆控制

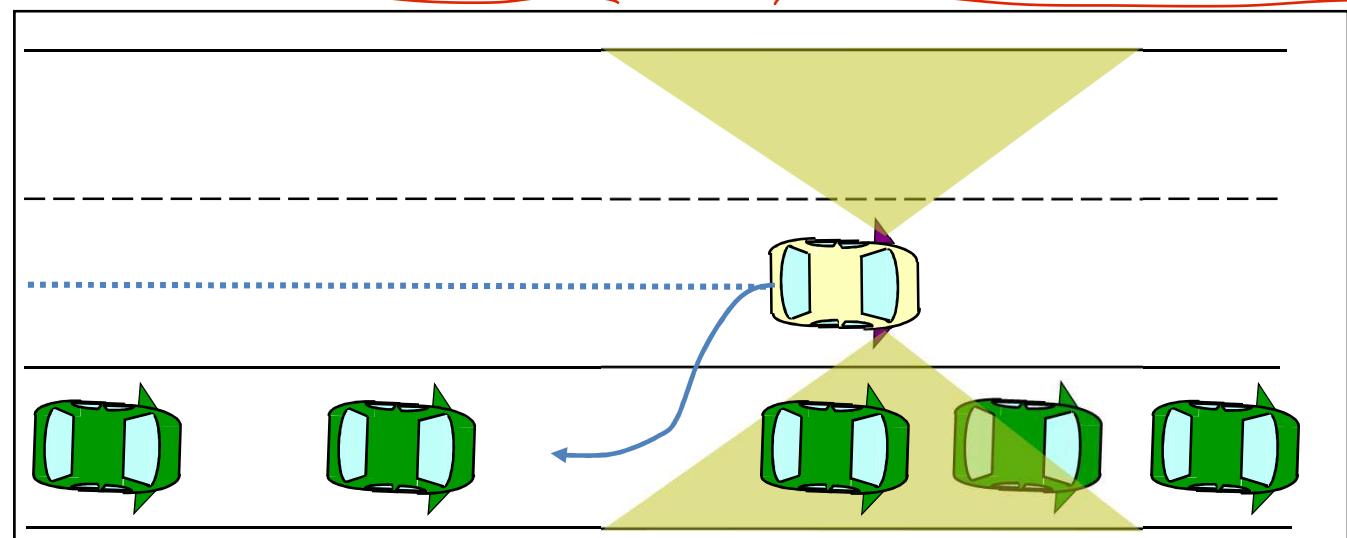
Quelle: Winner 2015 nach AUDI AG, Entwicklung Elektronik

# Einparkassistentz

传感器会检测车辆一侧的区域，并告知驾驶员有合适的停车位。然后，车辆以半自动方式驶入车位。系统接管横向引导，而驾驶员则继续负责纵向引导。

## Systembeschreibung semiautomatisches Einparken

Sensoren erfassen den seitlichen Bereich neben dem Fahrzeug und informieren den Fahrer über eine geeignete Parklücke. Anschließend wird das Fahrzeug semiautomatisch in die Lücke gelenkt. Die Querführung übernimmt das System, die Längsführung verbleibt beim Fahrer.



Abstandssensor, lateral

Maurer, TUBS

# Einparkassistentz

Funktionsdefinition semiautomatisches Einparken



- **Lexus:** Intelligent Park Assist
- **VW:** Park Assist
- **Mercedes-Benz:** Aktiver Parkassistent
- Verwendete Sensorik: Ultraschall-Sensoren
- Funktionalität:
  - Unterstützung beim Einparken in Längs- und Querparklücken
  - Sensoren erkennen bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit beim Vorbeifahren geeignete Parkflächen
  - Nachdem der Fahrer die Parkposition bestätigt und die Bremse löst, lenkt das System selbstständig in den Freiraum
  - Fahrer bestimmt durch Gas-/Bremsenbetätigung Beginn, Geschwindigkeit und Ende des Parkvorgangs

功能性

- 在平行和垂直停车位停车时提供支持
- 当车辆以一定速度驶过时，传感器可识别合适的停车位
- 驾驶员确认停车位置并松开制动器后，系统自动转向空闲车位
- 驾驶员通过踩下油门/刹车来决定停车过程的开始、速度和结束

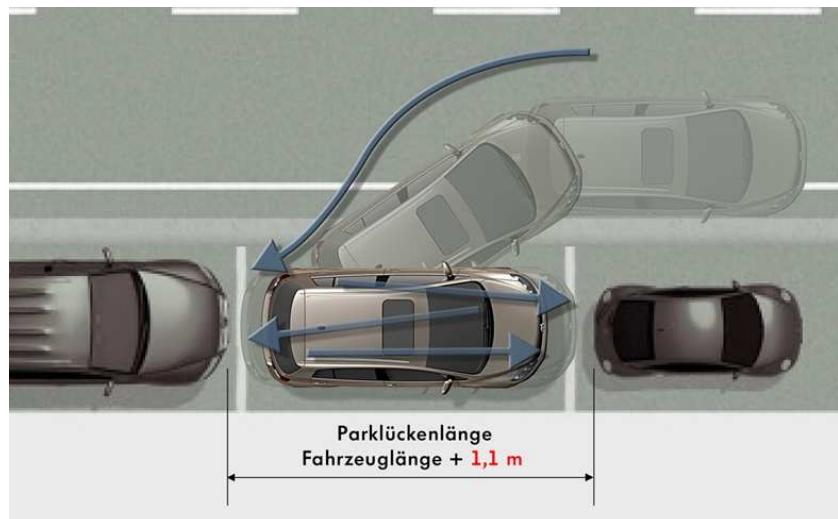
Maurer, TUBS nach [lexus.de](http://lexus.de),  
[mercedes-benz.de](http://mercedes-benz.de), [volkswagen.de](http://volkswagen.de)

# Einparkassistenz

## VW Park Assist

- 以低于 40 km/h 的速度通过时，在车辆两侧 0.5-1.5 米处检测到合适的平行和垂直停车位
- 停车位必须比车辆至少长 1.1 米
- 驾驶员必须按指示正确挂挡、踩油门和刹车。转向动作是自动的
- 可辅助驾驶员驶出平行停车位

- Erkennung geeigneter Längs- und Querparklücken von 0,5-1,5m zu beiden Fahrzeugseiten bei Vorbeifahrt unter 40km/h
- Parklücke muss mindestens 1,1m länger sein als das Fahrzeug
- Fahrer muss auf Anweisung korrekten Gang einlegen, Gas und Bremse bedienen. Lenkbewegungen erfolgen automatisch
- Assistiertes Ausparken aus Längsparklücken möglich



Quelle: [volkswagen.de](http://volkswagen.de)

# Einparkassistent

## BMW Parkassistent

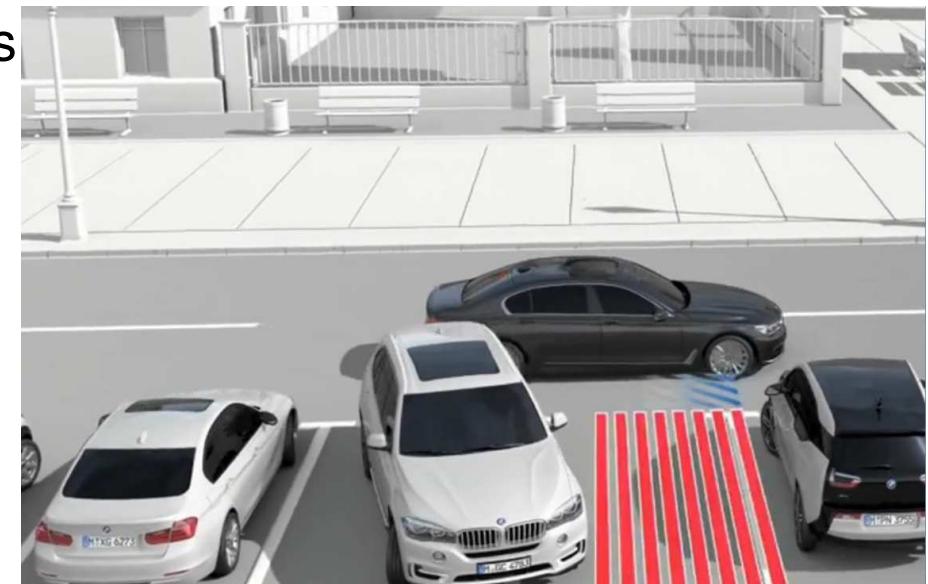
- 以低于 35 km/h 的速度驶过时，检测车辆两侧长达 1.5 米的合适平行和垂直停车位

- 超声波和摄像头传感器

- 系统接管转向、油门、制动和变速箱控制，可随时解除控制

- 可使用车钥匙遥控前进和后退泊车，在狭窄的车库中识别为停车位，驾驶员不在车内

- Erkennung geeigneter Längs- und Querparklücken bis zu 1,5m auf beiden Fahrzeugseiten bei Vorbeifahrt unter 35km/h
- Ultraschall- und Kamerasonorik
- System übernimmt Lenkung, Gas, Bremse und Getriebesteuerung, kann dabei jederzeit übersteuert werden
- Mit Autoschlüssel ferngesteuertes vorwärts Ein- und rückwärts Ausparken bei als Parkplatz erkannten engen Garagen ohne Fahrer im Fahrzeug möglich



Quelle: [bmw.de](http://bmw.de)

# Einparkassistenz



Quelle: [audi-technology-portal.de](http://audi-technology-portal.de)

- 传感器: 超声波、360° 摄像头
- 驾驶员还可在车外通过智能手机应用程序控制泊车过程, 前提是他与车辆的距离小于 3 米
- 即使没有公认的停车位, 也能以低速 (2 公里/小时) 前后行驶, 但无法转向 (例如狭窄的车库入口)

# Einparkassistentz

## Mercedes-Benz Remote Park Pilot

- Sensorik: Ultraschall, 360°-Kamera
- Fahrer kann Parkvorgang, sofern er weniger als 3m vom Fahrzeug entfernt ist, per Smartphone-App auch von außerhalb kontrollieren
- Auch ohne erkannte Parklücke Vor- und Rückwärtsfahren mit geringer Geschwindigkeit (2 km/h), aber kein Lenken möglich (z.B. enge Garageneinfahrt)

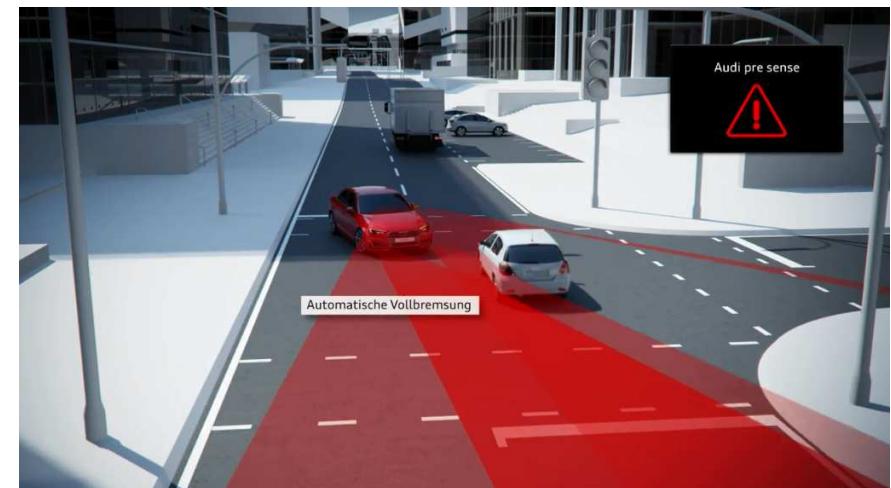


Quelle: [techcenter.mercedes-benz.com](http://techcenter.mercedes-benz.com)

# Längsführung und Querführung: Abbiegeassistent

- Überwacht beim Linksabbiegen im Geschwindigkeitsbereich zwischen 2 und 10 km/h den Gegenverkehr
- Sensorik: Frontradar und Frontkamera
- In einer gefährlichen Situation bremst das System das Fahrzeug zum Stillstand.
- Das System wird im Hintergrund aktiv, sobald der Fahrer den Blinker zum Linksabbiegen setzt.

- 在 2 至 10 km/h 的速度范围内左转时，监控迎面而来的车辆  
- 传感器：前雷达和前摄像头  
- 在危险情况下，系统会将车辆制动至静止。  
- 只要驾驶员设置左转指示灯，系统就会在后台启动。



Quelle: audi-technology-portal.de

# Längsführung und Querführung: Abbiegeassistent



**Quelle:** [audi-technology-portal.de](http://audi-technology-portal.de)

12 Aktuelle und zukünftige Systeme → 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap → 12.1.4 Längs- und Querführung für niedrige Geschwindigkeit (Parken)

VL12- 50

# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

#### 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.1.1 Licht und Sicht

12.1.2 Längsführung

12.1.3 Querführung

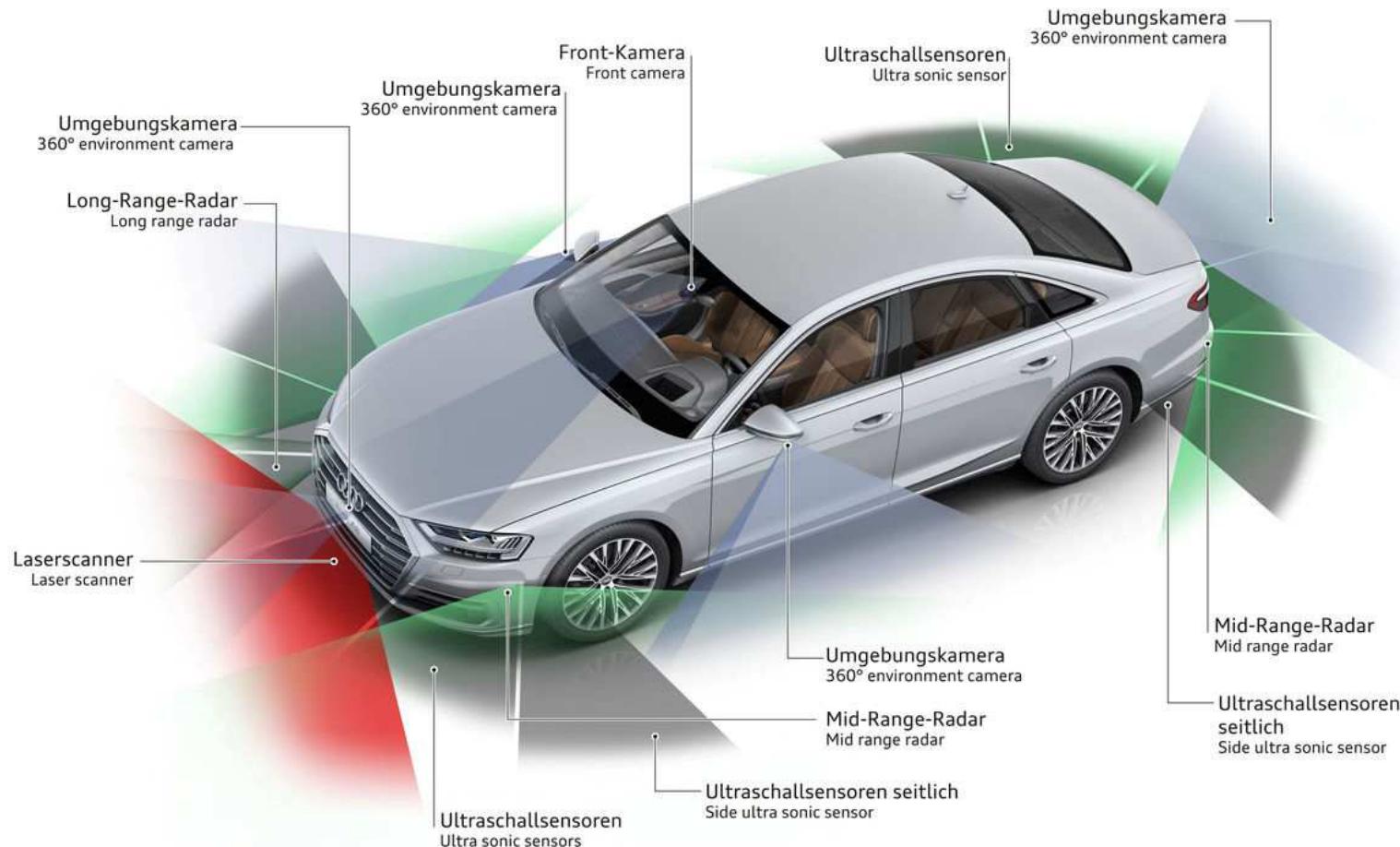
12.1.4 Längs- und Querführung für niedrige Geschwindigkeit (Parken)

12.1.5 Längs- und Querführung für höhere Geschwindigkeit

#### 12.2 Automatisches Fahren



# Audi A8: Sensoren für ACC und Sicherheitsfunktionen

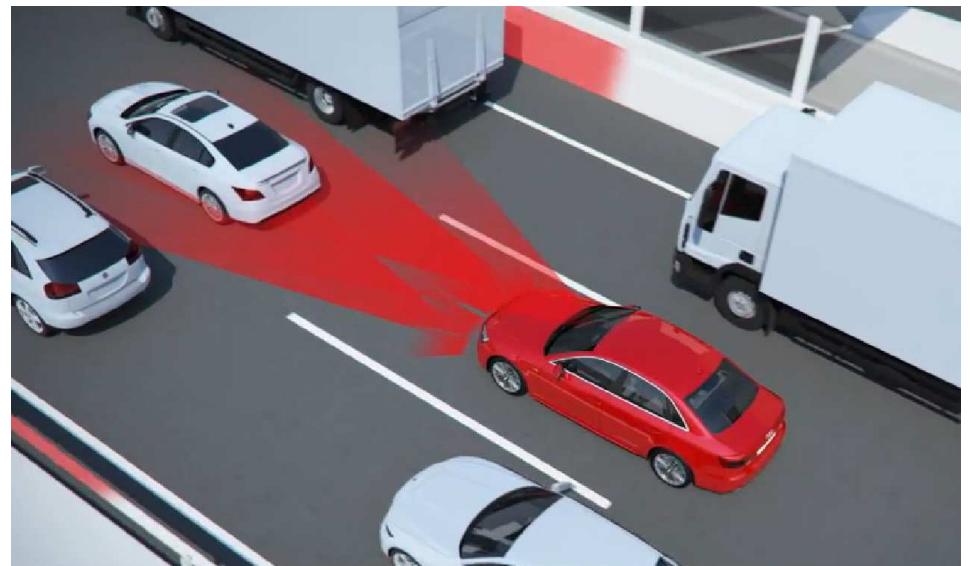


Quelle: audi.de

# Längs- und Querführung bei höherer Geschwindigkeit

## Audi Stauassistent

- Kombination von ACC und LKA
- Sensorik: Frontradar, Ultraschall, Frontkamera
- Bei Geschwindigkeiten unter 65 km/h folgt das Fahrzeug den Fahrbahnmarkierungen und vorausfahrenden Fahrzeugen
- Bei Erreichen der Systemgrenze (höhere Geschwindigkeiten, enge Kurven) Abgabe der Fahraufgabe an den Fahrer
- Falls dieser nicht reagiert, Abbremsen bis zum Stillstand
- Fahrer „in the Loop“ – Hand am Lenkrad



- ACC 和 LKA 的组合

- 传感器: 前雷达、超声波、前摄像头

- 车速低于 65 公里/小时, 车辆会跟随车道标记和前方车辆行驶

Quelle: audi-technology-portal.de

- 当达到系统极限时 (高速、急弯), 驾驶任务将移交给驾驶员

12 Aktuelle und zukünftige Systeme → 12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap → 12.1.5 Längs- und Querführung für höhere

- 如果驾驶员没有做出反应, 车辆会制动或停车

- 驾驶员 "在回路中"--手握方向盘

# Längs- und Querführung bei höherer Geschwindigkeit

Audi Stauassistent



Quelle: audi-technology-portal.de

## Tesla Autopilot: Systemgrenzen



Quelle: youtube.com

# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.2 Automatisches Fahren

    12.2.1 Historie

    12.2.2 Aktuelle Forschungsprojekte

    12.2.3 Probleme

    12.2.4 Vision / Realistische Funktionen



# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.2 Automatisches Fahren

    12.2.1 Historie

    12.2.2 Aktuelle Forschungsprojekte

    12.2.3 Probleme

    12.2.4 Vision / Realistische Funktionen



# Autonomes Fahren

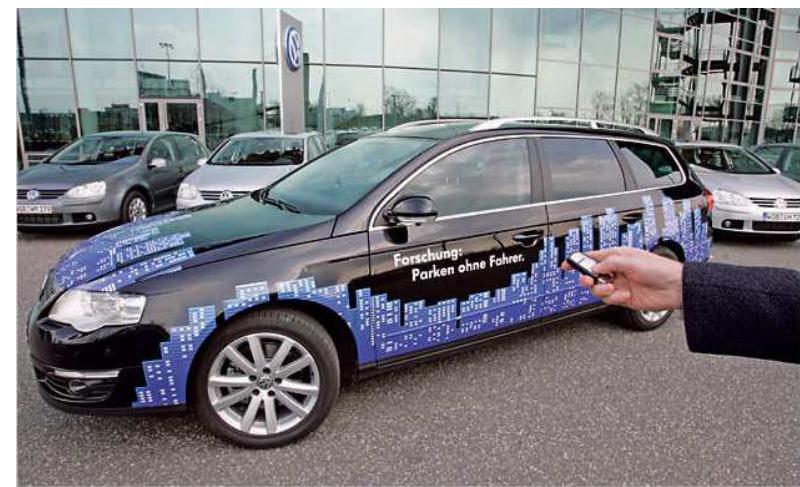


*Überblick über ausgewählte Projekte:*

1. PROMETHEUS (1987-1995)
2. DARPA Challenges (2004, 2005, 2007)
3. VW GTI 53+1 und Intelligent Car  
(2006-2008)
4. Daimler Bertha Benz Fahrt (2013)
5. Google (2014)
6. Audi RS7 (2014)
7. Waymo One (2018+)
8. Motional (2019+)
9. Indy Autonomous Challenge (2021-2022)



# Ein Missverständnis



## GTI 53+1



## Team Cornell & MIT Collision (DARPA Challenge)



# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.2 Automatisches Fahren

12.2.1 Historie

12.2.2 Aktuelle Forschungsprojekte

12.2.3 Probleme

12.2.4 Vision / Realistische Funktionen



## Daimler: Bertha Benz Fahrt



# Audi Piloted Driving

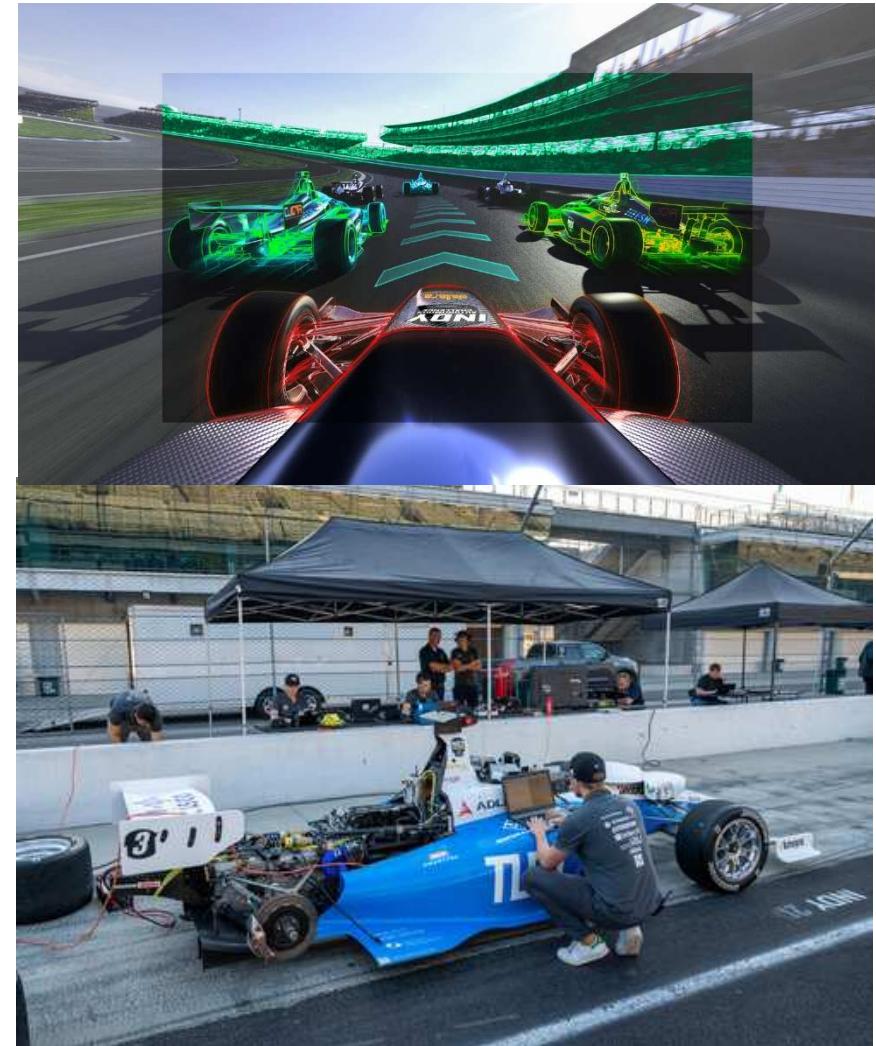


# Indy Autonomous Challenge



# Indy Autonomous Challenge

- Wettbewerb zwischen Universitäten
  - 1 Mio. Dollar Preisgeld
  - Ziel: Entwicklung von Software für autonomes Rennfahrzeug
  - Fahrdynamischer Grenzbereich ( $v_{\max} = 300 \text{ km/h}$ )
- 23.10.2021: TUM gewinnt Rennen am Indianapolis Motor Speedway vor Team „Euro Racing“
- 08.01.2022: TUM belegt Platz 2 bei Autonomous Challenge @CES (Las Vegas) – erstes Rennen mit zwei Fahrzeugen gleichzeitig auf der Strecke



Bildquellen: TUM, [indyautonomouschallenge.com](http://indyautonomouschallenge.com)

# UNICARagil



- Entwicklung vollständig fahrerloser elektrischer Fahrzeuge
  - Konsortium aus mehreren Universitäten und Unternehmen
  - Grundlage: modulares, skalierbares Fahrzeugkonzept
- Anpassung an Anwendungsfälle in Logistik und Personentransport

Quelle: [unicaragil.de](http://unicaragil.de)



Shuttle

Lieferfahrzeug

Taxi  
(TUM)

Privatfahrzeug

# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

### Agenda

---

#### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.2 Automatisches Fahren

12.2.1 Historie

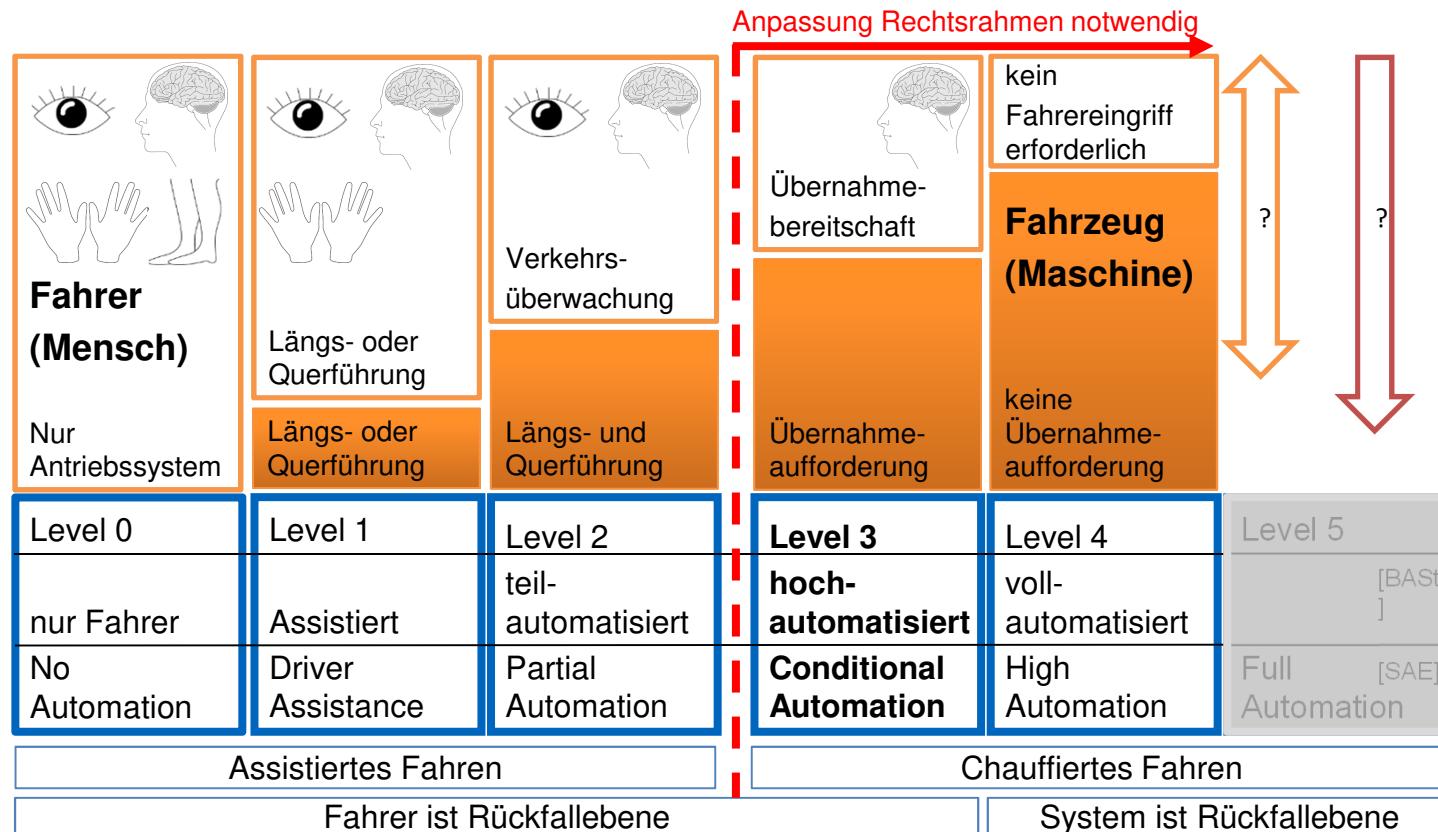
12.2.2 Aktuelle Forschungsprojekte

12.2.3 Probleme

12.2.4 Vision / Realistische Funktionen



# Automatisierte Systeme



# Ausblick: Autonomes Fahren

## Aktueller Stand – Autonome Fahrzeuge

	Beschreibung	Stand der Technik	Testbetrieb	Gesetzliche Rahmenbedingungen	Versicherer/ Autohersteller
Ebene 0	Fahrer hat komplette Fahrzeugkontrolle	Status quo	Status quo	Status quo	Status quo
Ebene 1	Automatische Einzelfunktionen	Weit verbreitet, bereits im Markt	Optionen bzw. Pflicht bei Neufahrzeugen	Keine Änderungen erforderlich	Abgedeckt
Ebene 2	Mindestens zwei zusammenhängende Bereiche sind automatisiert	Wird von Premiumherstellern angeboten ( Automatische Einparkfunktion, Stauassistent, Tesla Full Self Driving, ...)	Optionen bei Neufahrzeugen, Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr	Keine Änderungen erforderlich	Abgedeckt. Möglicherweise geringere Prämien, da höhere Sicherheit

# Ausblick: Autonomes Fahren

	Beschreibung	Stand der Technik	Testbetrieb	Gesetzliche Rahmenbedingungen	Versicherer/Autohersteller
Ebene 3	Alle Steuerungen können an Automatik übergeben werden. Fahrzeug oder Fahrer entscheiden, wann Fahrer wieder Kontrolle übernimmt.	Ab 2021: Honda SENSING Elite (Japan) Ab 2022: Mercedes Drive Pilot (Deutschland)	Seit Mitte 2021 Serien-zulassung in Deutschland möglich.	Gesetzlicher Rahmen für den Betrieb auf öffentlichen Straßen in Deutschland, Japan, Teile der USA	Haftung noch nicht abschließend geklärt → Haftet Fahrzeugführer oder – hersteller?
Ebene 4	Fahrzeug übernimmt alle Funktionen. Eingreifen des Fahrers ist nicht vorgesehen.	Waymo One (Taxi-Betrieb in Phoenix, USA). Ausrüstung extrem teuer, deshalb (noch) nicht massenmarkttauglich	In Deutschland und einigen anderen Ländern Zulassung in eingeschränktem Gebiet möglich	Gesetzlicher Rahmen für Testbetrieb auf öffentlichen Straßen in Deutschland und Teilen der USA	Nicht abgedeckt. Hersteller haben Verantwortung, befürchten volle Haftung bei Unfällen.

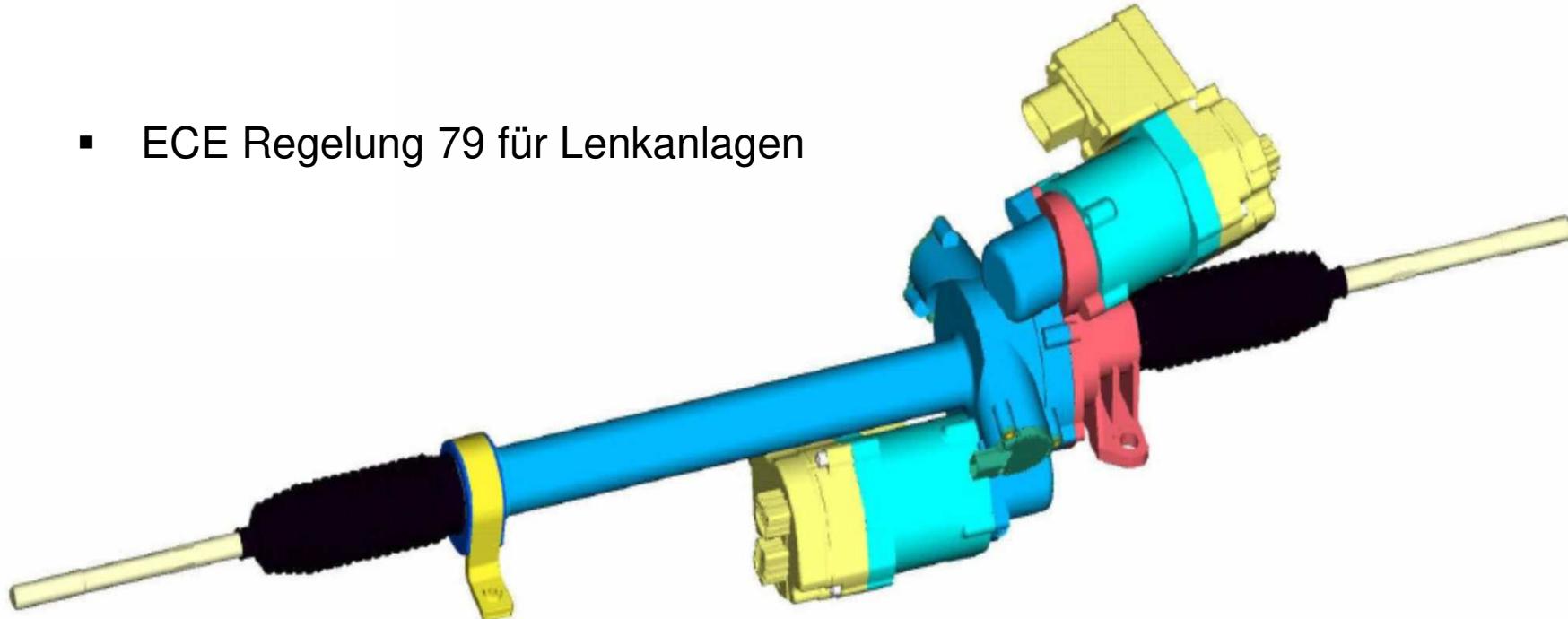
# Komplizierte Rechts- und Haftungsfragen



- Zulassungsrecht
- Verhaltensrecht
- Haftungsrecht
- Strafrecht

# Zulassungsrecht

- ECE Regelung 79 für Lenkanlagen



执行机构和布线系统需要冗余--额外成本高, 安全风险更大

Redundanz bei Aktorik und Bordnetz erforderlich – hohe Mehrkosten, weiteres Sicherheitsrisiko

# Verhaltensrecht: Wiener Übereinkommen/StVO, StVG

- Wiener Weltabkommen
- Artikel 8
  - Abs. 1: Jedes Fahrzeug muss (...) einen Führer haben
  - Abs. 5: Jeder Führer muss dauernd sein Fahrzeug beherrschen
  - Abs. 6: Führer eines Fahrzeugs muss alle anderen Tätigkeiten als das Führen eines Fahrzeugs vermeiden
- Artikel 13
  - Abs. 1: Jeder Fahrzeugführer muss unter allen Umständen sein Fahrzeug beherrschen (...)
- Änderungen in Diskussion, die HAF ermöglichen

⇒ Maschine muss Fahrer ersetzen können



# Verhaltensrecht: StVO und StVG

- StVO
  - § 2 und § 3: Führer, Kfz, Fahrzeug
  - Vorgabe für Fahrzeugbewegung  
→ könnte nach Klarstellung (Entsprechungsklausel) vereinbar sein (Hilgendorf, Lutz, FAS Tagung 25.11.2015 München)
- 2017: Änderung StVG
  - § 1a: Betrieb eines Kfz mit hoch- und vollautomatisierter Fahrfunktion ist mit Einschränkungen zulässig
  - § 1b: Rechte und Pflichten des Fahrzeugführers:
    - Darf sich vom Verkehrsgeschehen abwenden, muss allerdings wahrnehmungsbereit bleiben, um Fahrzeugsteuerung jederzeit wieder übernehmen zu können
  - Halterhaftung bleibt bestehen



# Verhaltensrecht: StVO und StVG

- Juli 2021: Änderung StVG
  - § 1d: Zulassung von Kfz mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen, aber im öffentlichen Straßenverkehr  
→ SAE Level 4
  - Einsatz als Shuttle-Fahrzeuge, Hub2Hub-Verkehr, nachfrageorientierte Angebote in Randzeiten, ...
  - Halter bzw. technische Aufsicht haftet



# Haftungsrecht

- §823 BGB, §§7, 12, 18 StVG
- Das Haftungsrecht steht der Einführung automatisierter Fahrzeuge nicht entgegen.  
(Hilgendorf, Lutz, FAS Tagung 25.11.2015 München)

责任法并不妨碍自动驾驶汽车的引入。

# Strafrecht

Nach heutigem Recht haftet der Entwickler für Unfälle, die ein autonomes Auto verursacht – im Extremfall bis hin zu Gefängnisstrafen. Einem einheitlichen Rechtsrahmen stehen Regelungen von 50 US-Bundesstaaten und knapp 30 EU-Ländern im Wege.

根据现行法律，开发商应对自动驾驶汽车造成的事故负责--在极端情况下，最高可判处监禁。美国 50 个州和欧盟近 30 个国家的法规阻碍了标准化法律框架的建立。

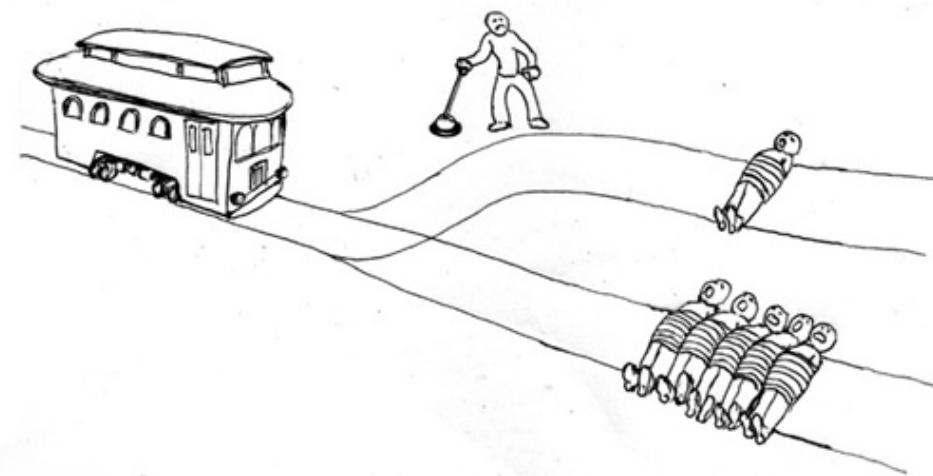
# Strafrecht: Ethische Konflikte

- Kein schreckhaftes / irrationales Handeln von Robotern in Konfliktsituation
- Bewertung von Menschenleben mit Kostenfunktionen ist moralisch heikel, aber unumgänglich, wenn Entscheidungen durch Algorithmen getroffen werden sollen
- Zufallsentscheidungen, wer zum Unfallopfer wird, ist problematisch  
→ Gebot der Schadensminimierung

- 机器人在冲突情况下不会出现惊恐/非理性行为
- 用成本函数评估人的生命在道德上是敏感的，但如果由算法做出决策，则不可避免
- 随机决定谁是事故受害者是有问题的 → 要求尽量减少伤害

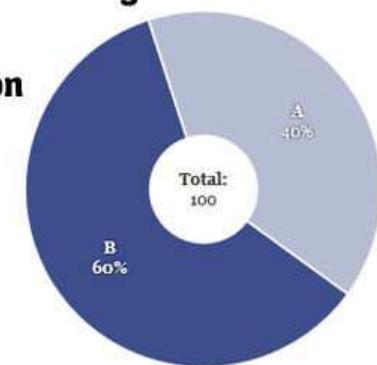
nach Spiegel 4/2016

# Strafrecht: Ethische Konflikte



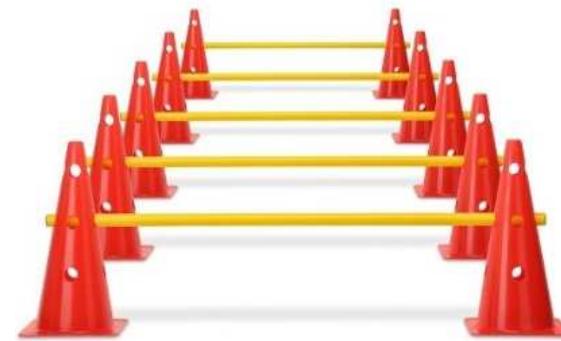
**Eine Straßenbahn droht fünf Personen zu überrollen. Durch Herabstossen eines unbeteiligten, fetten Mannes von einer Brücke, kann die Bahn zum Stehen gebracht werden. Welches Verhalten halten Sie für moralisch angemessen?**

- A: Ich stösse den Mann von der Brücke und rette fünf.**
- B: Ich mache nichts. Fünf sterben.**



# Autonomes Fahren: Warum wir wahrscheinlich 2030 noch nicht auf allen Straßen, in allen Situationen und bei jedem Wetter Zeitung lesend automatisch fahren werden?

自动驾驶：为什么到 2030 年，我们可能不会在所有道路、所有情况和所有天气下自动驾驶？



# Unkalkulierbarer Grip



Der Reibwert bestimmt, wie lang Bremswege ausfallen und wie schnell durch Kurven gefahren werden kann. Derzeit existieren jedoch keine Sensoren, die den Reibwert verlässlich vorhersagen können.

## Grenzen der Sensorik



Die Reichweite von Radarsensoren ist viel zu gering. Zudem können schon Regentropfen genügen, um sie blind zu machen. Hinzu kommt, dass Kameras bei tief stehender Sonne und Nebel keine Fahrbahnmarkierungen erkennen.

→ Redundanz bei Sensorik erforderlich

# Grenzen der Algorithmik



## Grenzen der Algorithmik



## Aber: Riesige Fortschritte der Bildverarbeitung durch KI



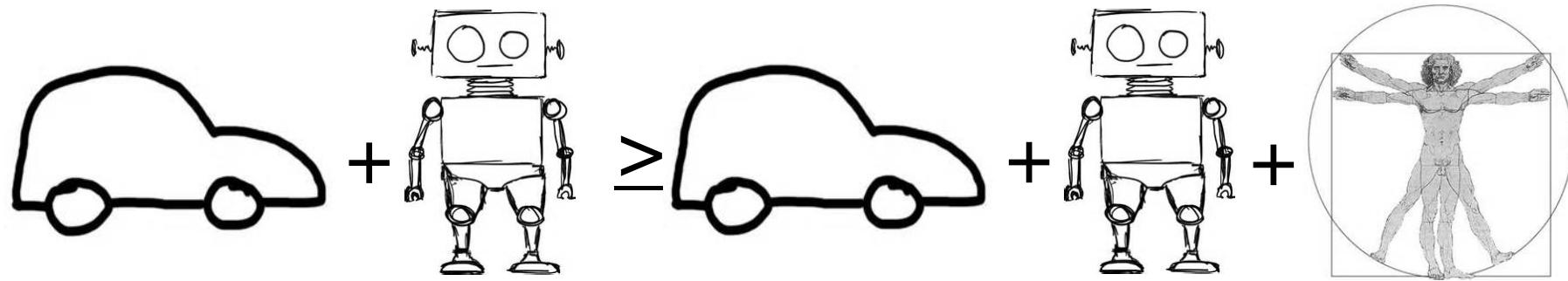
## NVIDIA Aktienkurs (2012 – 2021)

NVIDIA Corporation - 278.01 -5.86 (-2.06%)



Quelle: <https://www.investing.com>

# Roboter sicherer als Mensch + Roboter?



Damit der Gesetzgeber autonome Autos erlaubt, müssen sie weniger Unfälle bauen als ihre konventionellen Kollegen. Allerdings werden auch die immer sicherer, weil die Sensoren der automatischen Fahrzeuge bereits in Assistenzsystemen eingesetzt werden.

[roadmovie.exe](#)

# Sicherheit ist nicht überprüfbar (Prof. Winner)

V-Modell  
(UseCases →  
TestCases)

Dauerlauf

X-in-the-Loop

„Trojanisches Pferd“

Open-Loop Offline  
Perzeptionstest

Reifegrad-Modelle

Gestufte Einführung

Komplexe Tests

## Konsequenz für die Testmethodik - Dauerlauf

- Idealer Fall (nur statistisch unabhängige Unfallereignisse):
  - Strecke ca. 100 Mio. km → Kosten mehrere 100 Mio. €
  - Bei jeder Veränderung erneute Dauerlaufprüfung notwendig
- Realität ist aber noch schlimmer
  - Testabdeckung immer noch gering (etwas mehr als 1% der jährlichen Fahrleistung in D), potentielle „pathologische“ Fälle bleiben verborgen
  - Große Länderunterschiede
  - USA ca. 127 Mio. km/fatal crash (nach Shaldover 2009)
  - Komponentenkombinationen (Grenzmusterverhalten)
- Referenz ISO 26262
  - Erlaubte Rate nicht entdeckter Ausfälle mit potentiellem Schaden für Gesundheit und Leben:  $10^{-8}/h \rightarrow$  ca. 5 Mrd. km

# Übernahmezeit des Fahrers



4-6 s: 10 s vereinbarter Rahmen  
144 km/h = 40 m/s  
→ 400 m



必须无视交通规则

逃避交通罚单

# Notwendige Missachtung der Verkehrsregeln

Strafzettelhinterziehung



# Security

- 能够纵向和横向制导的主动系统的组合可能会导致安全问题
- 车辆电子设备往往仍未得到充分保护，无法防止未经授权的访问
- 第三方未经授权控制车辆或个别部件的风险
- 例如：配备 "Uconnect" 的 2014 年克莱斯勒汽车 黑客可以完全远程控制发动机、变速箱、刹车、信息娱乐系统...

- Die Kombination von aktiven, zu Längs- und Querführung fähigen Systemen kann zu Sicherheitsproblemen führen
- Oft noch unzureichende Absicherung der Fahrzeugelektronik gegen unerlaubten Zugriff
  - Gefahr der unbefugten Kontrolle über das Fahrzeug oder einzelne Komponenten durch Dritte
- Beispiel: 2014er Chrysler-Fahrzeuge mit „Uconnect“ – Hacker hatten aus der Ferne vollständige Kontrolle über Motor, Getriebe, Bremse, Infotainment...



Quelle: [wired.com](#)

- 对许多人来说，在旅途中逆向阅读或坐着会引起不适（晕车）

- 自动驾驶可能带来的问题：

- 乘员无法影响汽车的行驶方向

- 车身无法为改变方向、加速和制动做好准备

## Kundennutzen

~~Autonomes Fahren könnte zu Reiseübelkeit führen~~

- Bei vielen Menschen führt Lesen oder Sitzen entgegen der Fahrtrichtung während der Fahrt zu Unwohlsein (Reisekrankheit)
  
- Mögliches Problem bei autonomem Fahren:
  - Insassen haben keinen Einfluss auf die Bewegungsrichtung des Autos
  - Körper kann sich nicht auf Richtungswechsel, Beschleunigung und Bremsen vorbereiten
  - Dadurch, dass der Körper Bewegung meldet, die Augen aber Stillstand, entsteht ein Konflikt im Gehirn, der dazu führen kann, dass Passagieren deutlich schneller schlecht wird



Bild: auto-service.de

# Kundennutzen kurz auf WhatsApp erklärt

去他妈的自驾车

自清洁公寓，这才是人类需要的！

Scheiß auf  
selbstfahrende Autos.

Selbstputzende Wohnungen,  
das braucht die Menschheit!

# Verkehrliche Wirkung

- Potenziell mehr Pkw-Verkehr, gerade in dicht besiedelten Gegenden, weil Fahren attraktiver wird (Stau ist im autonomen Auto keine „verschwendete“ Zeit)  
→ Parksuchverkehr steigt
- Autonome Fahrzeuge brechen nicht die Verkehrsregeln  
→ Verkehrsdichte wird durch Beachtung der Abstandsregeln herabgesetzt

- 汽车流量可能会增加，尤其是在人口密集地区，因为驾驶变得更具吸引力（自动驾驶汽车不会 "浪费" 堵车时间 停车位搜索流量增加）

- 自动驾驶汽车不会违反交通规则 遵守车距规则可降低交通密度



Bild: merkur.de

# Aktuelle und zukünftige Systeme

## Prof. Dr.-Ing Markus Lienkamp

### (Lasse Schölkopf, M.Sc.)

## Agenda

---

### 12 Aktuelle Systeme und zukünftige Systeme

12.1 Aktuelle Systeme und Roadmap

12.2 Automatisches Fahren

    12.2.1 Historie

    12.2.2 Aktuelle Forschungsprojekte

    12.2.3 Probleme

    12.2.4 Vision / Realistische Funktionen



# Automatisierte Systeme



Daimler



Baidu Apollo



Zoox (Amazon)

Level 0	Level 1	Level 2
nur Fahrer	Assistiert	teil-automatisiert
No Automation	Driver Assistance	Partial Automation

Level 3	Level 4	Level 5
hoch-automatisiert	voll-automatisiert	[BAST]
Conditional Automation	High Automation	[SAE] Full Automation



Honda



Argo AI



Cruise

## Autobahnpilot (SAE Level 3) für Stausituationen

### **Mercedes Drive Pilot**

- ab Q1 2022
- Zulassung auf dt. Autobahnen
- Betriebsbereich 0 - 60 km/h

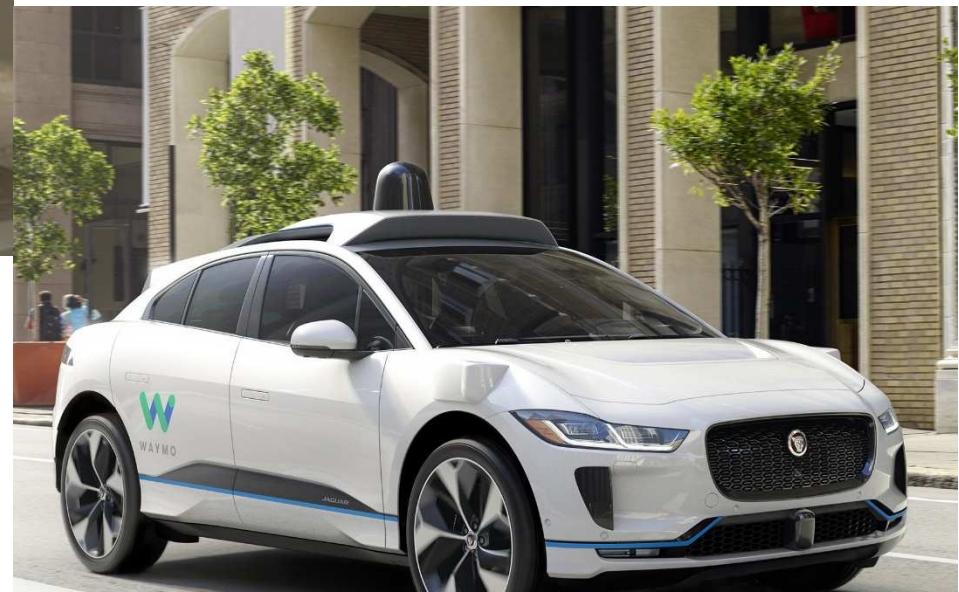


### **Honda Sensing Elite**

- ab Q2 2021
- Zulassung auf Autobahnen in Japan
- Betriebsbereich 0 - 50 km/h

Bilder: [blog.mercedes-benz-passion.com](http://blog.mercedes-benz-passion.com)  
[autoweek.com](http://autoweek.com)

## Waymo bis 65 mph (seit 2018)



Bilder: [auto-motor-und-sport.de](http://auto-motor-und-sport.de)  
[gq-magazine.co.uk](http://gq-magazine.co.uk)

# Waymo Self Driving Taxi

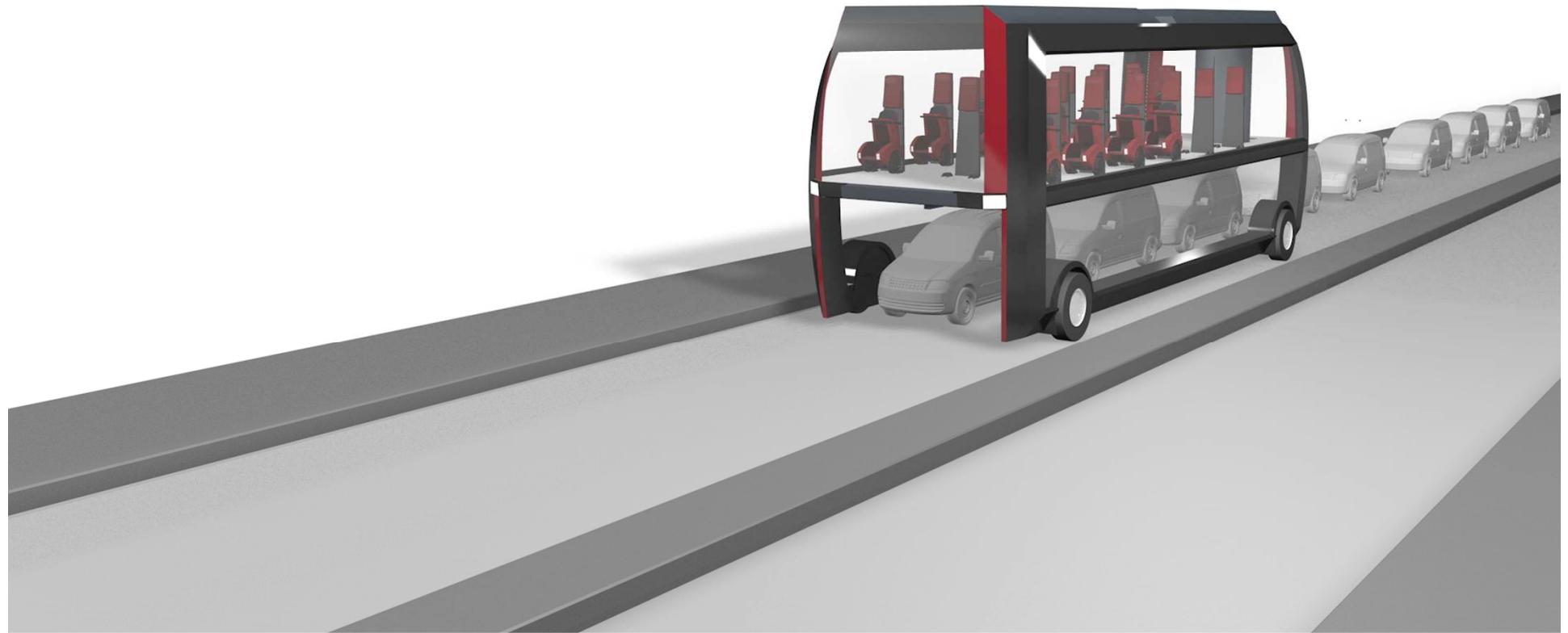


Quelle: youtube.com

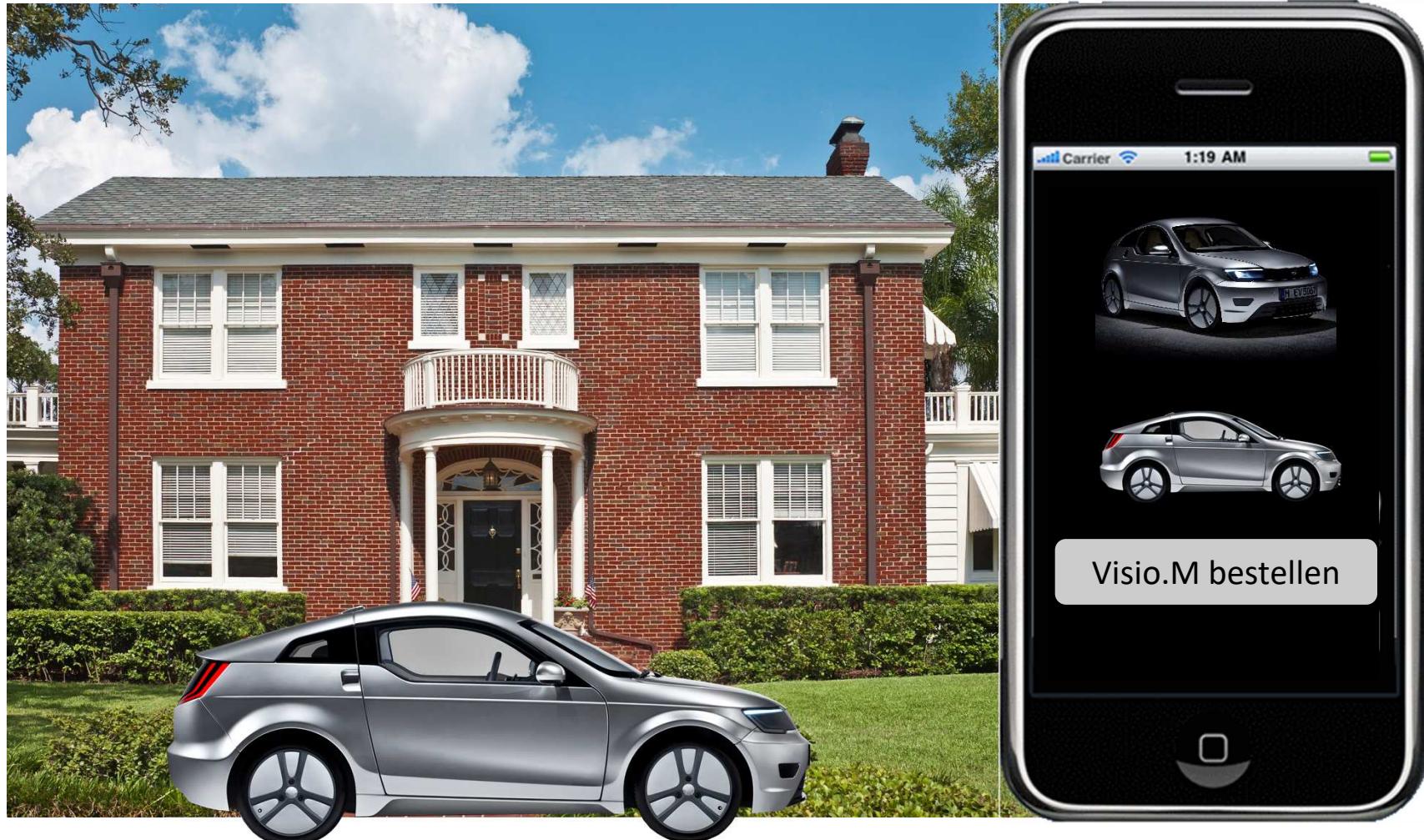
# Cruise Origin (Serienproduktion ab 2023 geplant)



Bilder: [insideevs.com](https://insideevs.com)

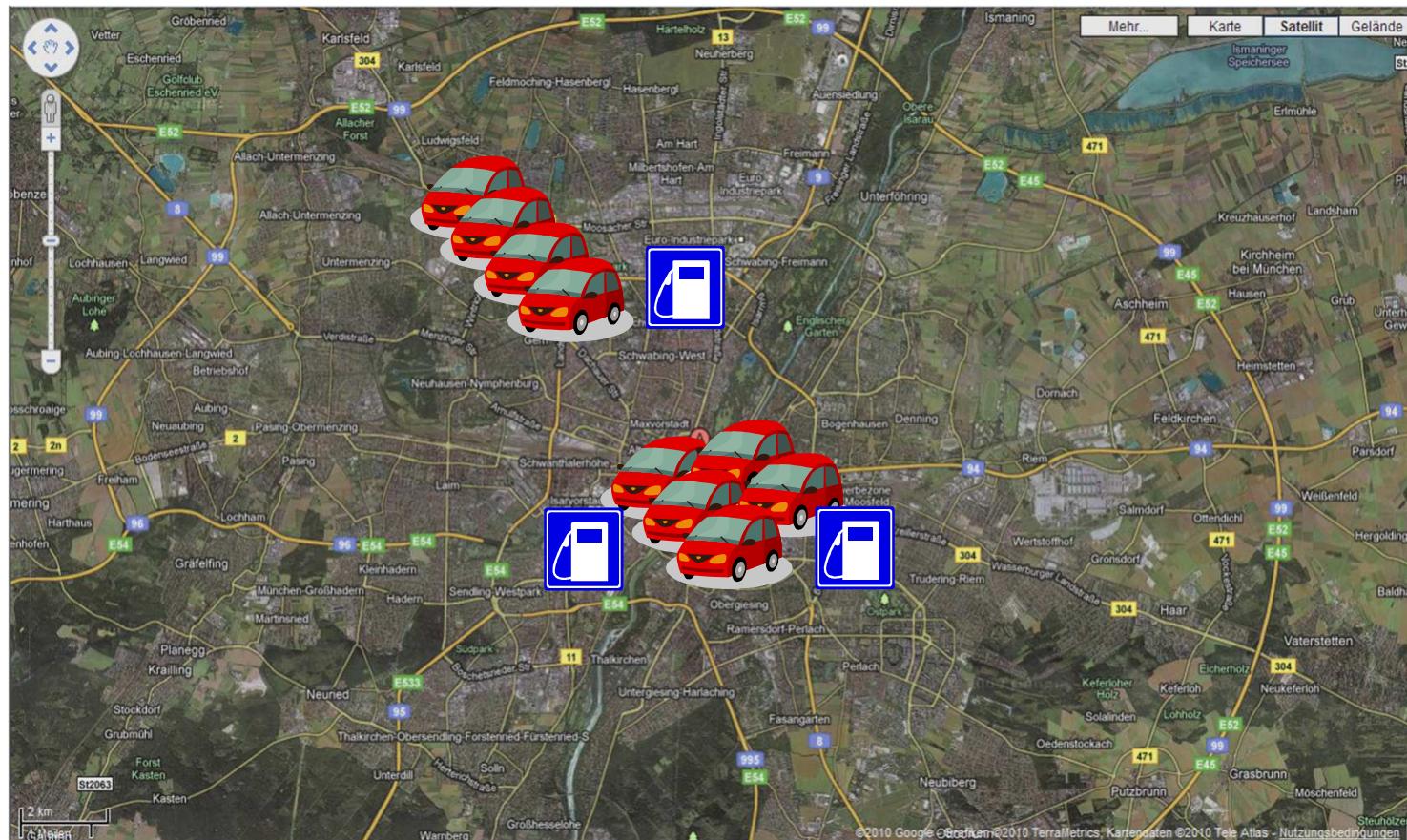


# Wie eine Vision der Mobilität aussehen könnte



# Car-Sharing

Entfernen von „Ballungszentren“ und „Betanken“ der E-Fahrzeuge in einem Car-Sharing-Konzept



- 低复杂度的高速公路场景

- 远程驾驶

- 城市场景

- 狹窄街道

- 没有车道标记 交叉路口

- 停放的车辆

- 行人、人行横道 交通信号灯

# Ausblick: Teleoperiertes Fahren

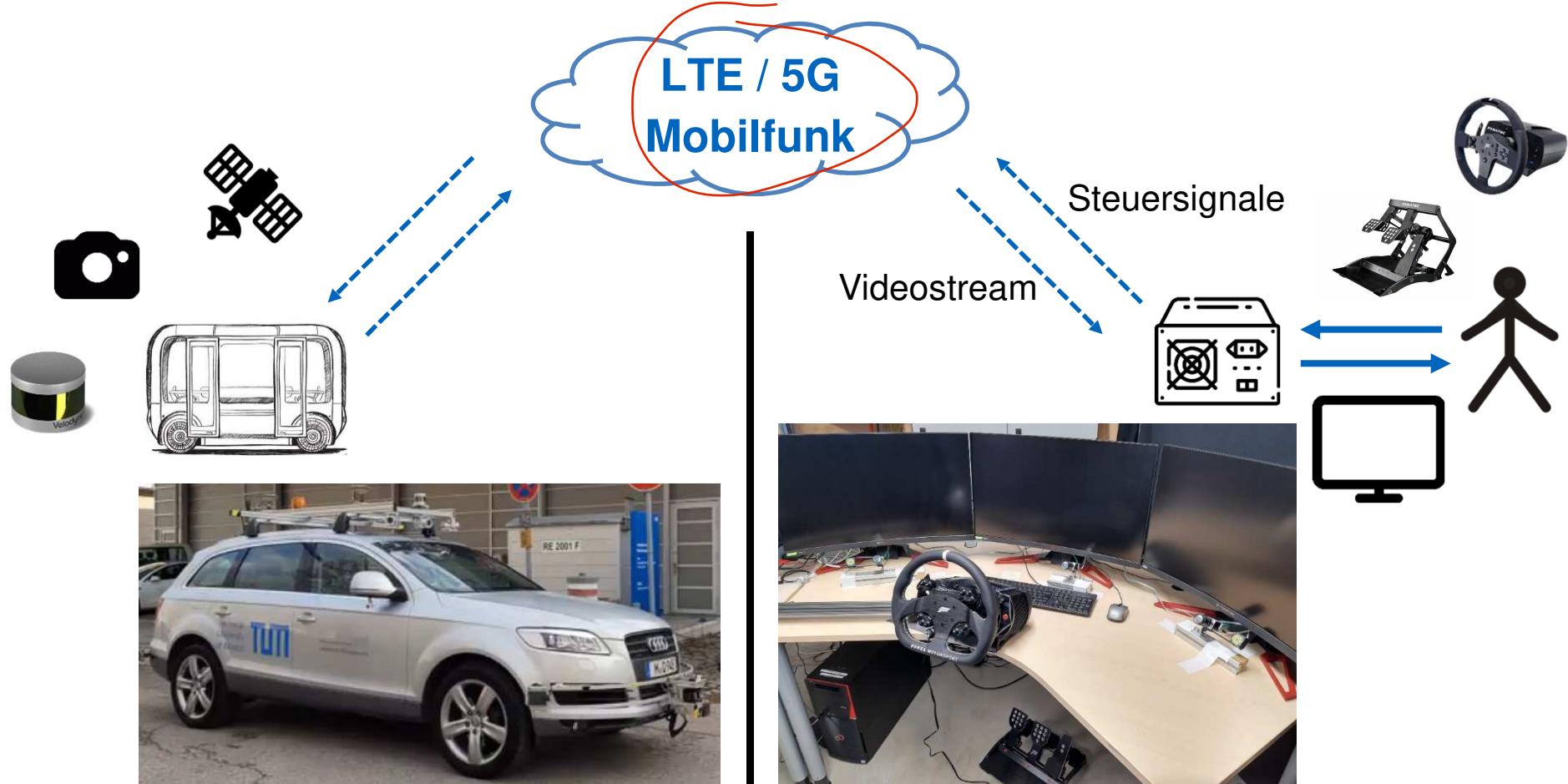
## Autonomes vs. Teleoperiertes Fahren

- Autonomes Fahren:
  - Geringe Komplexität des Szenarios
  - Autobahn
  
- Teleoperiertes Fahren
  - Urbanes Szenario
  - Enge Straßen
  - Keine Fahrstreifenmarkierungen
  - Kreuzungen
  - Parkende Autos
  - Fußgänger, -überwege
  - Ampeln



# Ausblick: Teleoperiertes Fahren

System bestehend aus Operator, Fahrzeug und Netzwerk:



## Kommentarfolie

### Teleoperiertes Fahren

Ein System zum Teleoperierten Fahren besteht aus Fahrzeug, Operator und Netzwerk. Folgende Elemente sind notwendig:

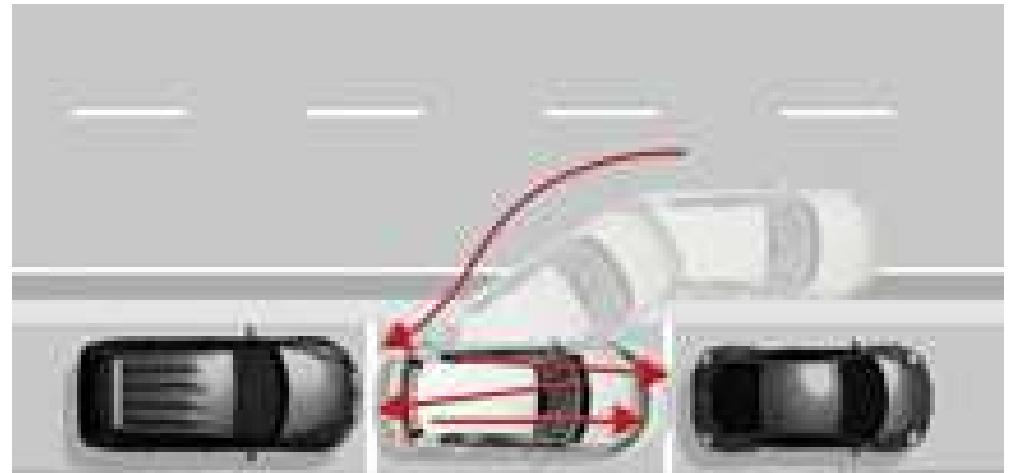
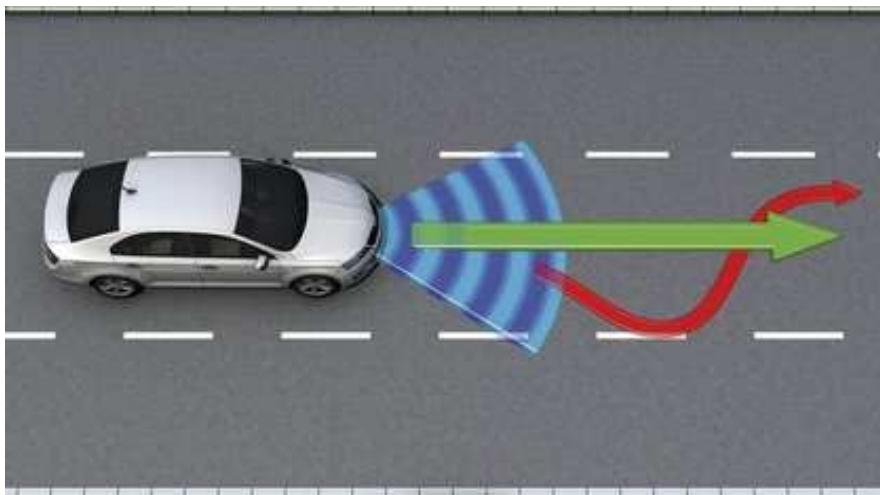
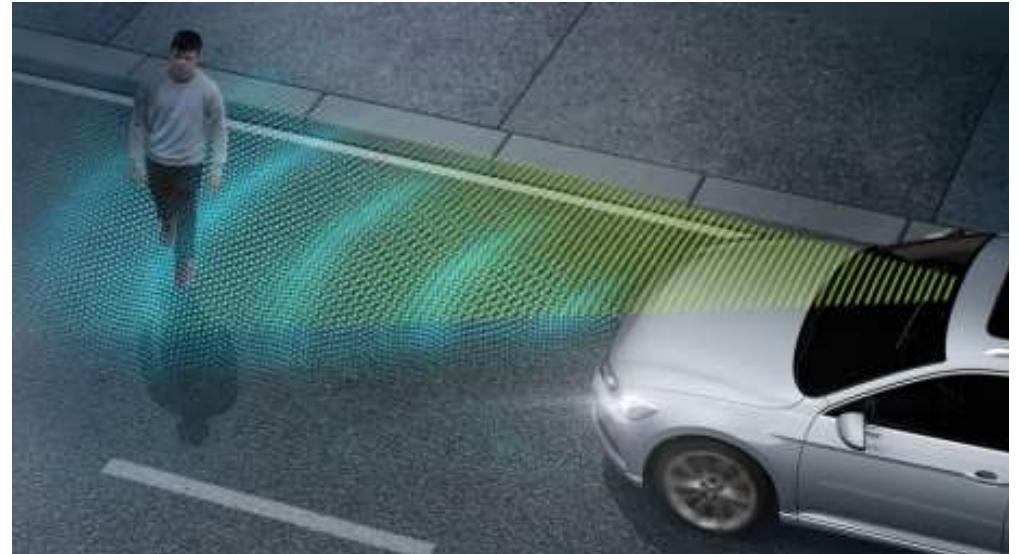
**Fahrzeug:** Das Fahrzeug muss mindestens (eine) Frontkamera(s) besitzen, deren Bilder von einer fahrzeuginternen Recheneinheit verarbeitet und über das Netzwerk dem Operator zur Verfügung gestellt werden. In der Praxis haben sich Systeme bestehend aus drei Kameras mit unterschiedlichen Blickwinkeln etabliert. Eine Schnittstelle (z.B. CAN) zu Lenkung, Gaspedal, Bremse und sekundären Fahraufgaben ermöglicht dem Operator die Steuerung des Fahrzeugs. Über ein LTE- oder 5G-Modem kann das Fahrzeug Daten senden und empfangen. Optional liefern weitere Sensoren wie Lidar-, GPS- oder Fahrdynamiksensoren zusätzliche Informationen.

**Operator:** Der Operator benötigt einen Bildschirm für die Visualisierung der Kamerabilder aus dem Fahrzeug. Ein Computer verarbeitet die ein- und ausgehenden Signale. Über z.B. ein Lenkrad, Gas- und Bremspedal gibt der Operator Eingabesignale vor, die vom Computer verarbeitet und wiederum über einen Netzwerkzugang an das Fahrzeug übertragen werden. Weiter nützliche Elemente auf Operator-Seite sind beispielsweise ein Sitz und eine Kommunikationseinheit (VoIP/Kamera), über die der Operator mit im Fahrzeug befindlichen Personen kommunizieren kann.

# Ausblick: Teleoperiertes Fahren



# Fahrerassistenzsysteme

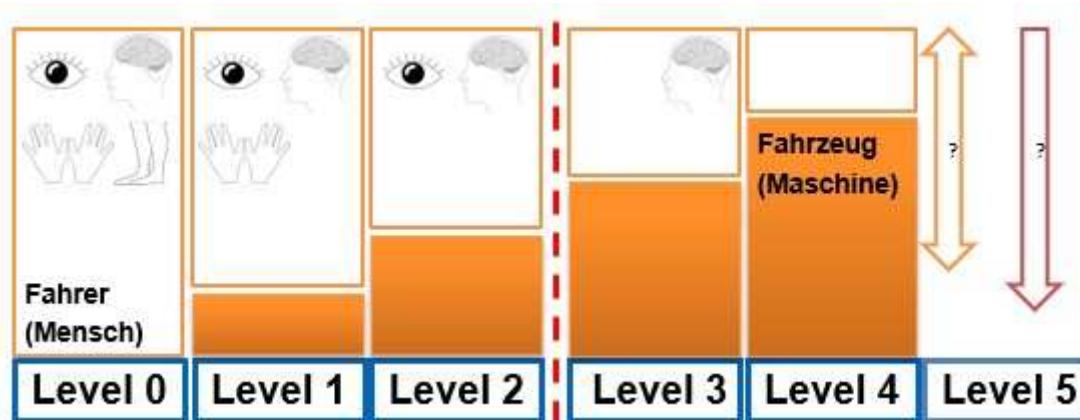


## Zusammenfassung der Leitfragen

- Welche Fahrerassistenzsysteme sind aktuell in Serienfahrzeugen erhältlich, und wie funktionieren sie?
  - Variable + Blendfreie Lichtsysteme
  - Nachsichtassistent
  - Verkehrszeichenerkennung
  - Kreuzungsassistent
  - Notbremsassistent
  - Abbiegeassistent
  - Spurhalte-/Wechselassistent
  - Parkassistent
  - Stauassistent
  - ...

# Zusammenfassung der Leitfragen

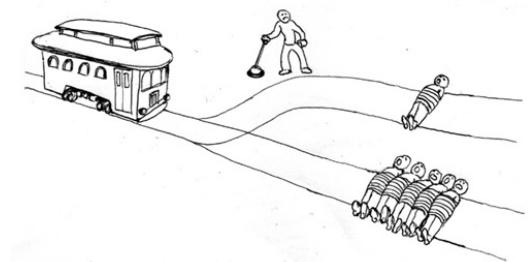
- Wie können Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen unterteilt werden, und was unterscheidet die einzelnen Stufen?  
→ SAE J3016



- Level 0-2: Fahrer muss jederzeit Fahraufgabe überwachen
- Level 3: System übernimmt in stark eingeschränktem Betriebsbereich die komplette Fahraufgabe → Fahrer kann sich kurzzeitig vom Fahrgeschehen abwenden
- Level 4: Vollautomatisiertes Fahren in definiertem Betriebsbereich
- Level 5: Vollautomatisiertes Fahren in allen Situationen unter allen Bedingungen

# Zusammenfassung der Leitfragen

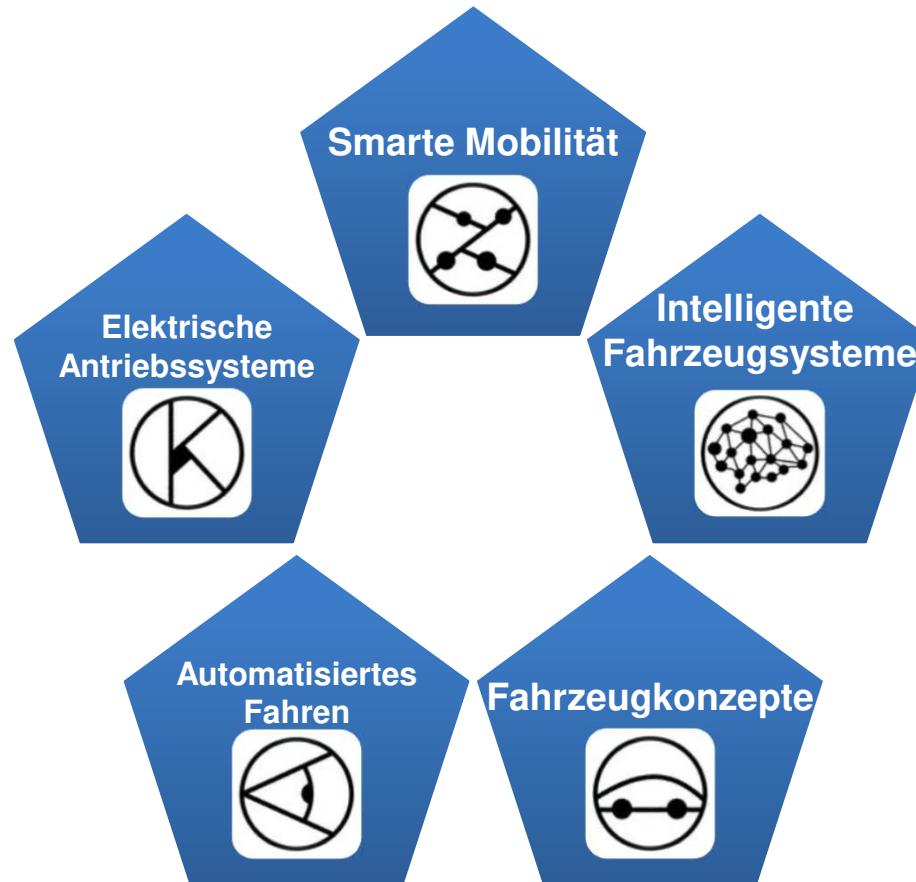
- Welche Probleme und Herausforderungen existieren bei der Markteinführung des automatisierten Fahrens?



## Zusammenfassung der Leitfragen

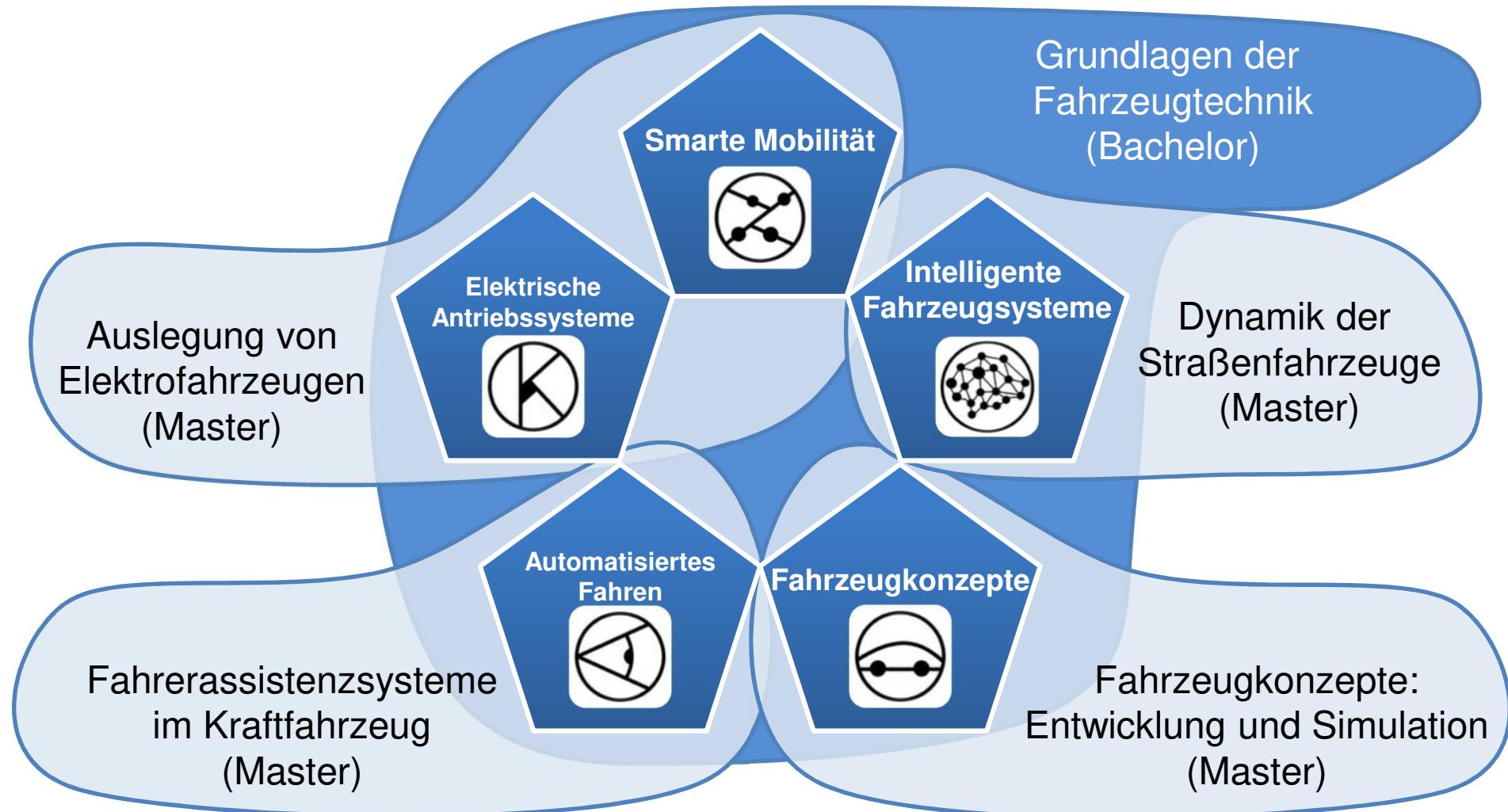
- Welche Entwicklungen sind im Bereich des automatisierten Fahrens vorhanden?
  - Verschiedene Forschungsprojekte und –wettbewerbe
  - Testbetriebe mit vollautomatisierten Taxi-Fahrzeugen (SAE Level 4)
  - Serienzulassung von ersten SAE Level-3 Systemen
  - Teleoperiertes Fahren
  - Car-Sharing
  - ...

# Forschung am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

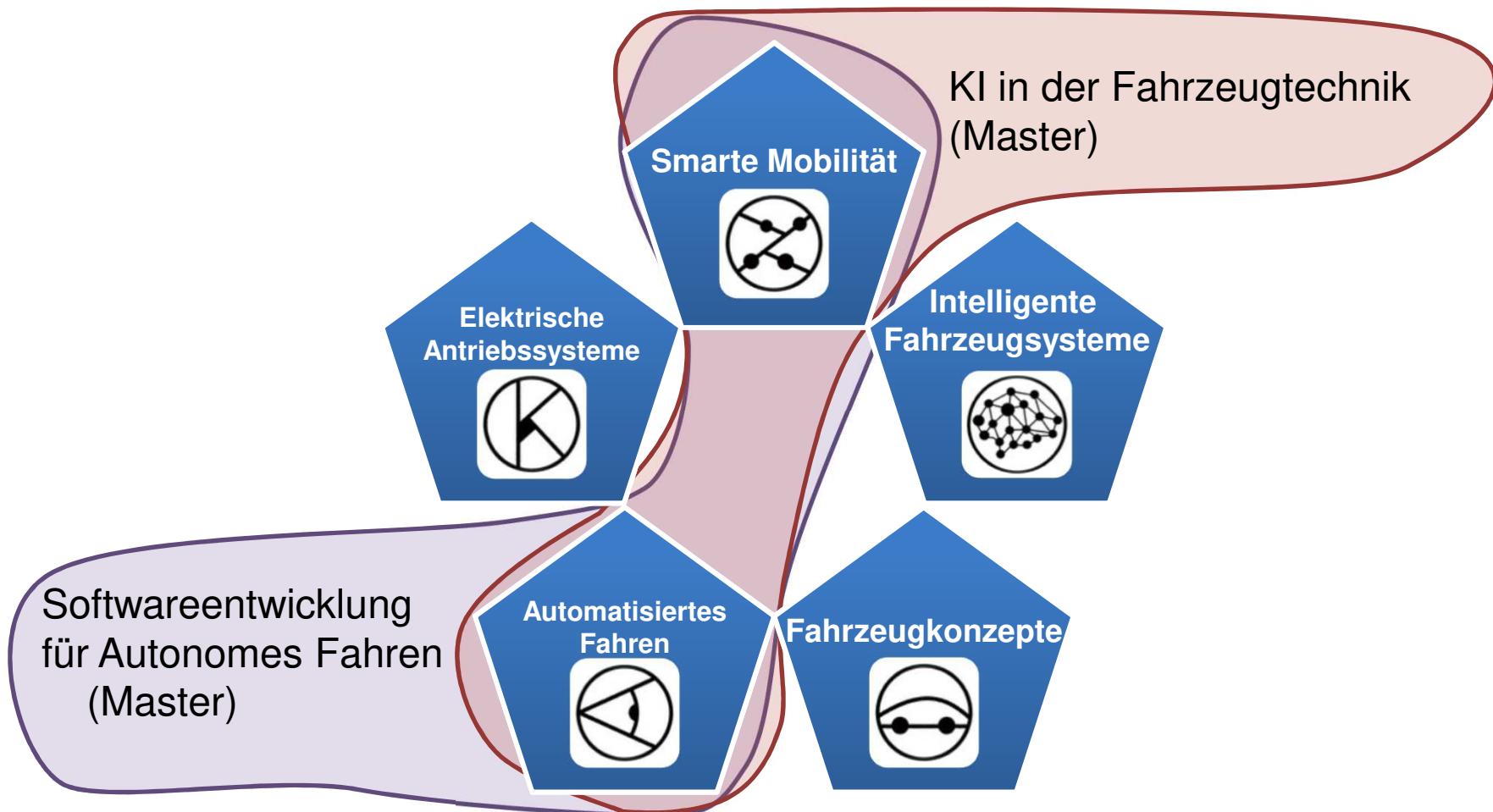




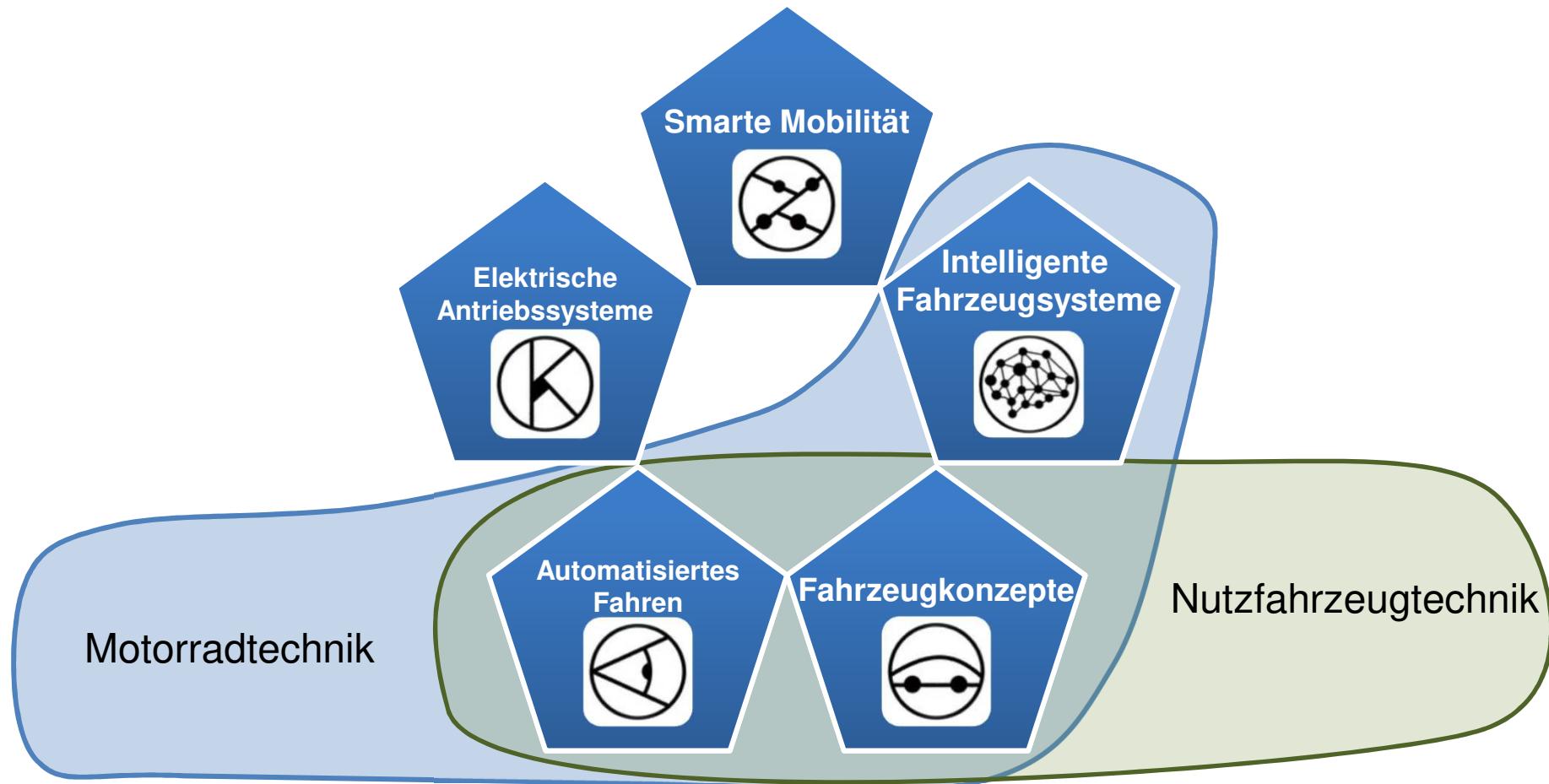
# Vertiefungsfächer am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik



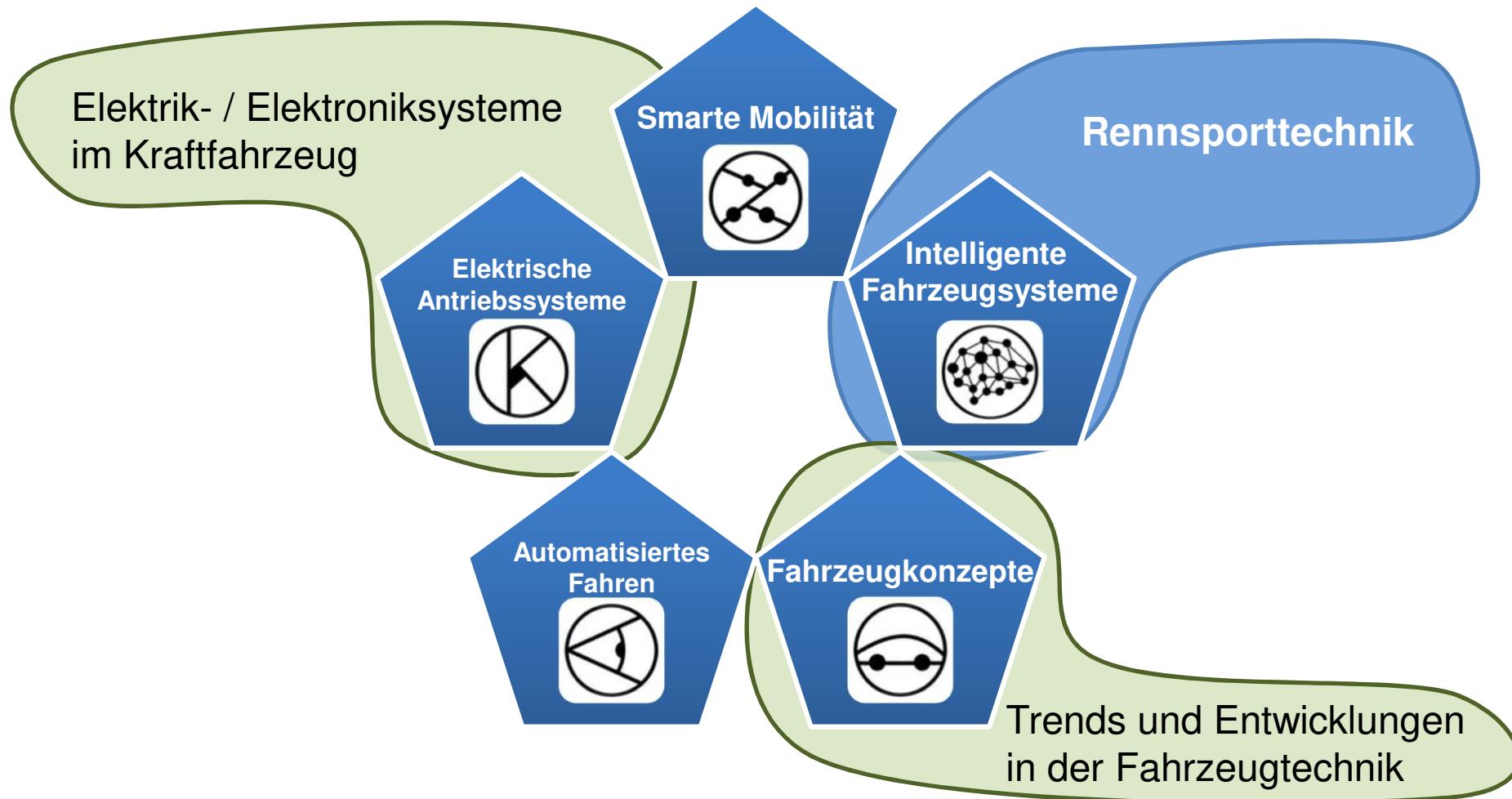
# Vertiefungsfächer am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik



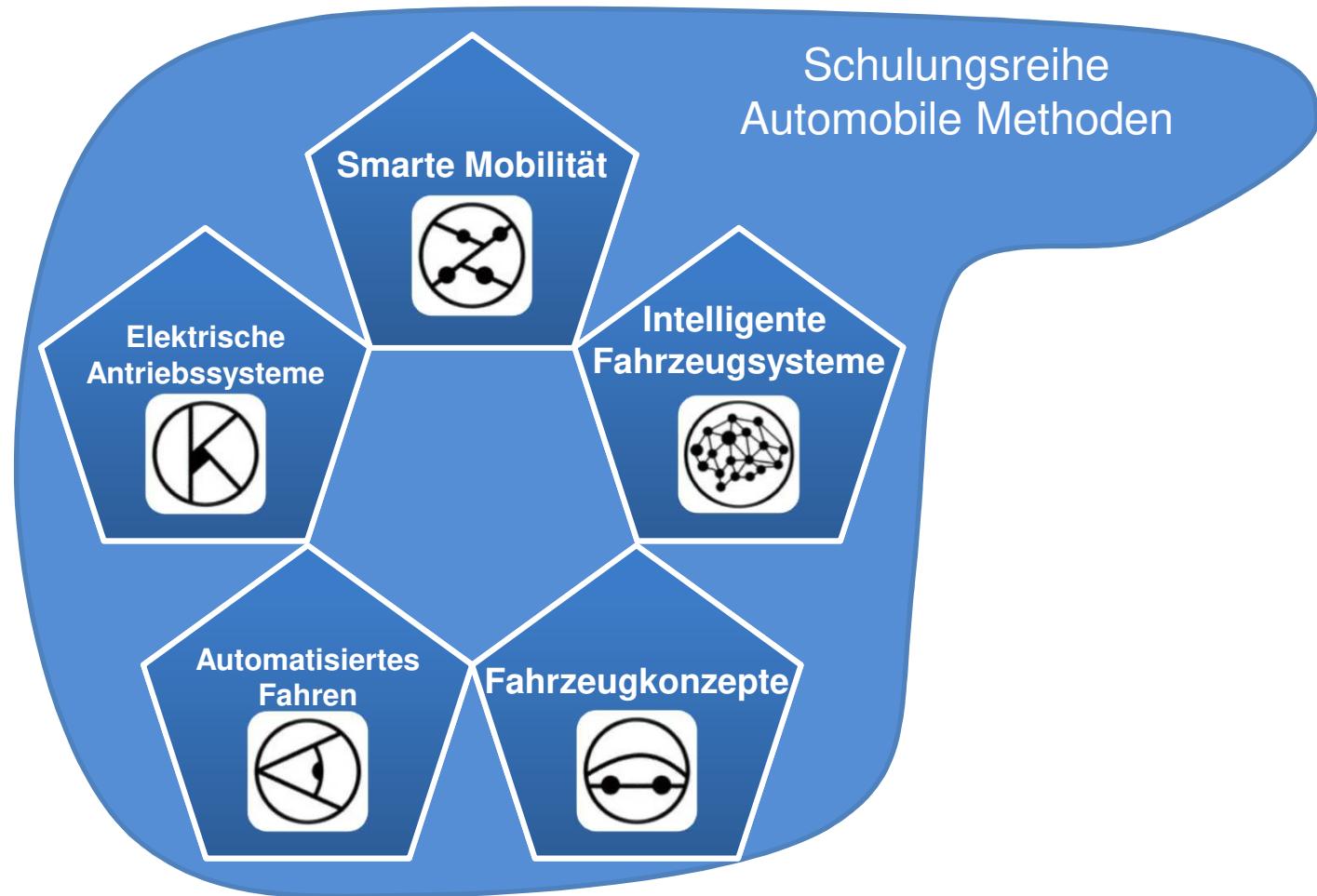
# Ergänzungsfächer am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik



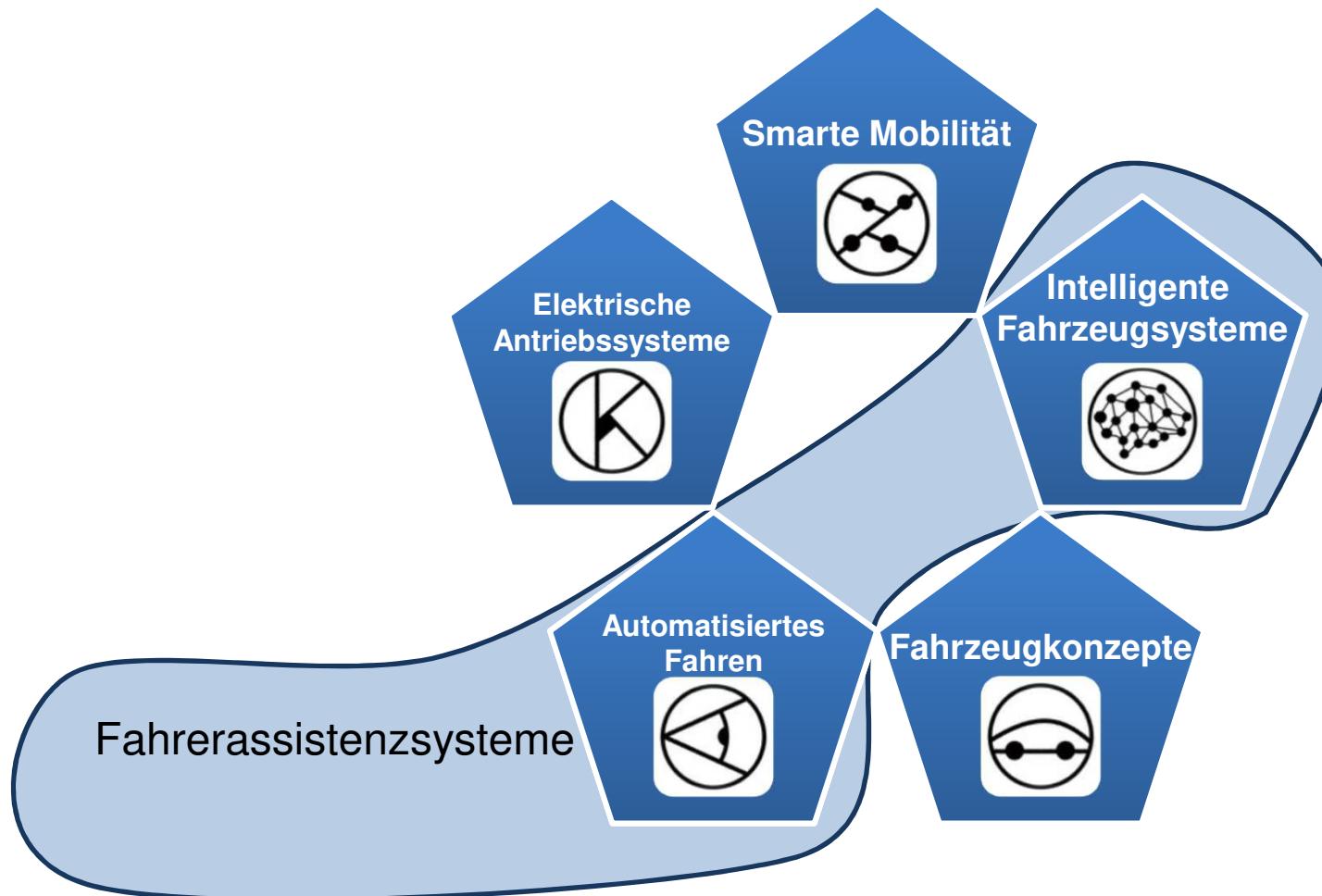
# Ergänzungsfächer am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik mit Fokus auf ein Forschungsgebiet



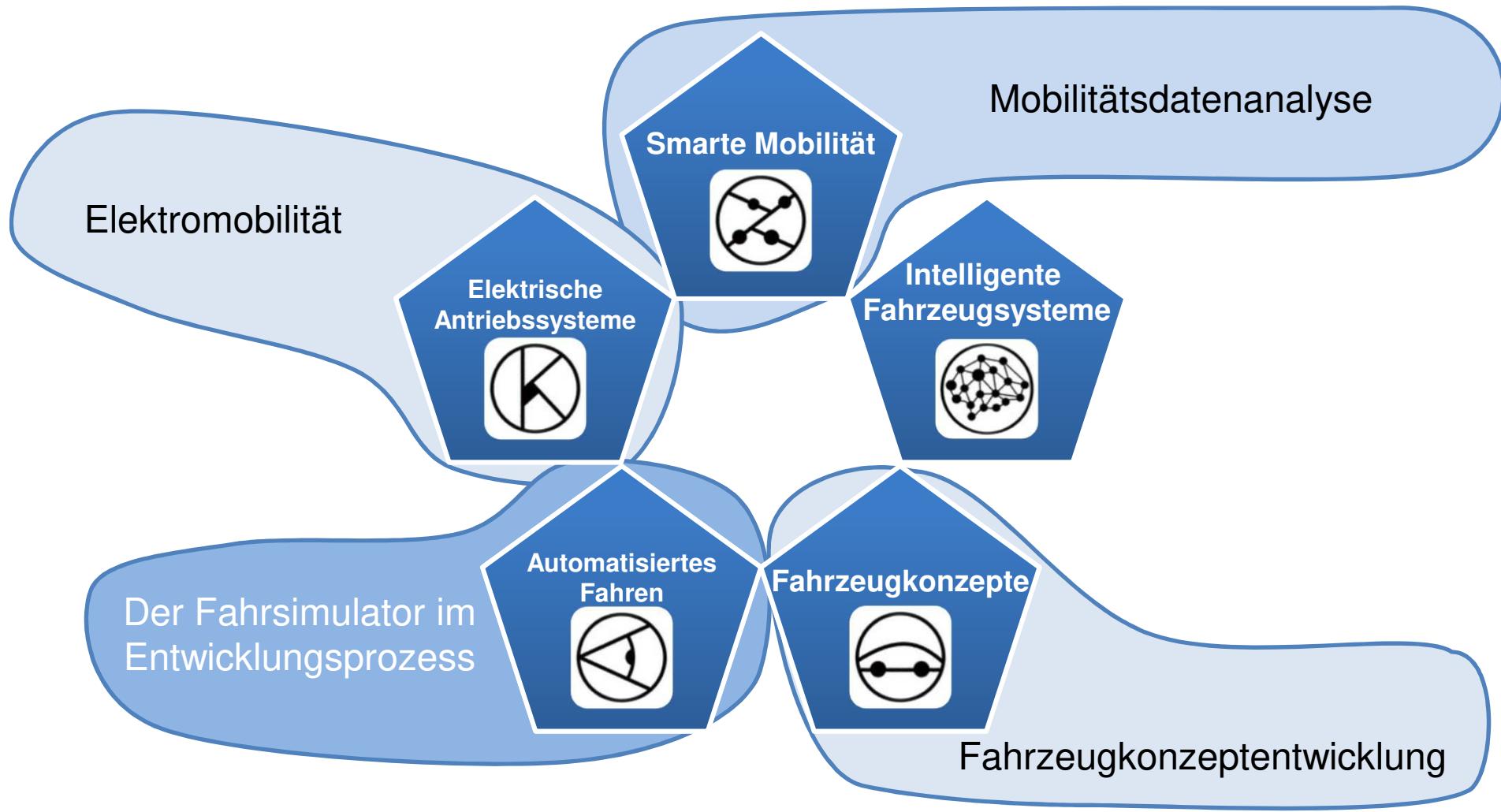
# Seminare am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik



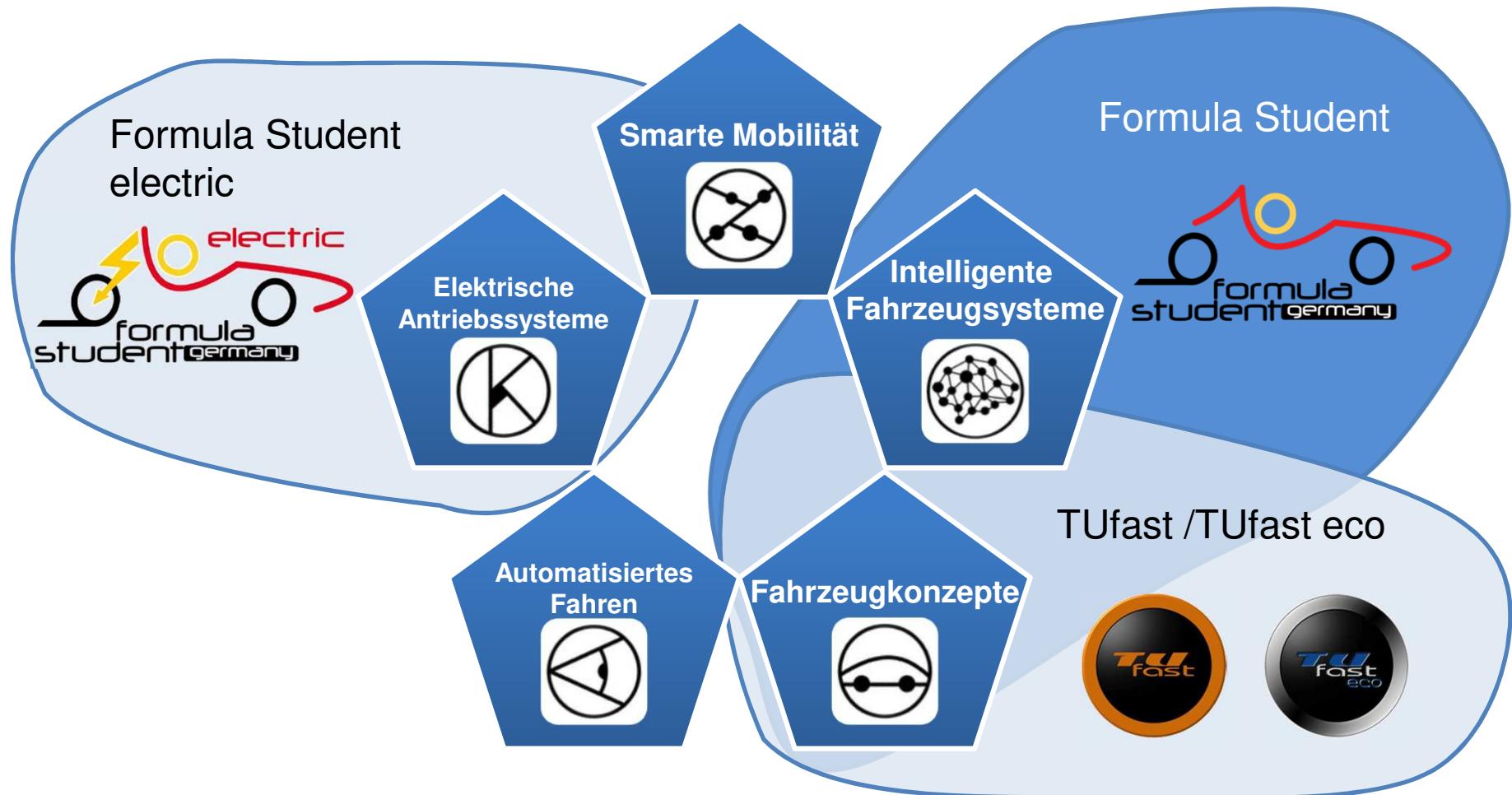
# Praktika am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik



# Praktika am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik



# Aktivitäten außerhalb des Lehrstuhls



# Prüfung

- Datum und Uhrzeit der schriftlichen Prüfung werden per TUMonline und Moodle bekanntgegeben.
  - Dauer: 90 min
  - Hilfsmittel:
    - Keine Unterlagen
    - Nur ein einfacher, nichtprogrammierbarer Taschenrechner
    - nicht-elektronisches Wörterbuch
  - Sitzplatzverteilung wird vor der Prüfung bei Moodle hochgeladen
- Termin zur Prüfungseinsicht wird in Moodle bekannt gegeben.