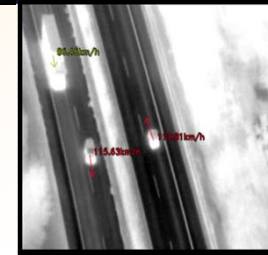
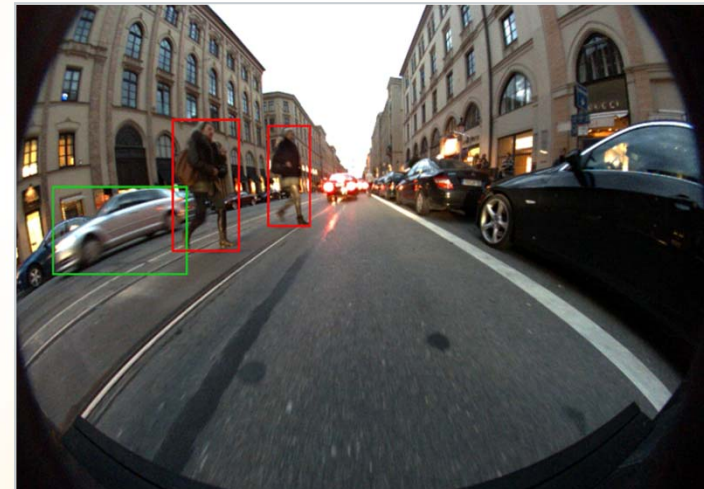


## 14. Zulieferertag Automobil Baden-Württemberg

13. November 2012  
Haus der Wirtschaft, Stuttgart



## Kamerabasierte Überwachung der Fahrzeugumgebung



Dr. Hieronymus Fischer  
ESG Elektroniksystem- und -Logistik GmbH





### 1. Motivation

- Einsatz von kamerabasierten Assistenzsystemen heute
- Assistenz als komfortorientierte Fahrerunterstützung
- Übernahme von Verantwortung: Assistenz als Sicherheitsfunktion

### 2. Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

- Was überhaupt ist das Problem?
- Menschliches Szenenverständnis als Vorbild
- Ganzheitliche Szeneninterpretation

### 3. Kognitive Bilddatenverarbeitung und Informationsfusion

- Lösungsansatz für die E/E-Architektur
- Erzeugen von Kontextinformation durch Informationsfusion
- Herstellung eines Szenenverständnisses

### 4. Zusammenfassung und Ausblick

- Vom Szenenverständnis zum Autonomen Fahren

# Kamerabasierte Überwachung der Fahrzeugumgebung

## Umfeldwahrnehmung in mobilen Systemen



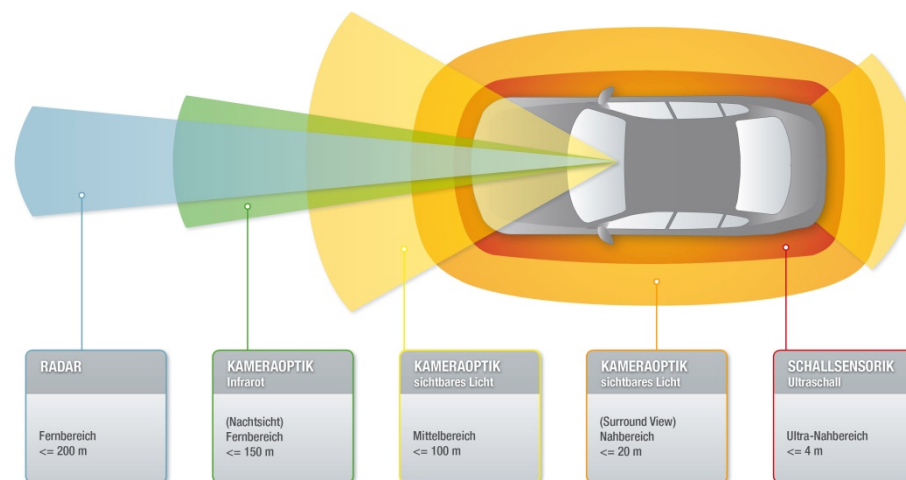
### ► Verfügbare Systeme

- Spurhalteassistent
- Geschwindigkeitszeichen-Erkennung und -anzeige
- Einparkassistent (teilautonom/vollautonom)
- Surround View
- Fussgängererkennung / -warnung
- Nachtsichtfähigkeit (aktiv / passiv)
- Notbremsassistent
- ...
- Personal Recovery

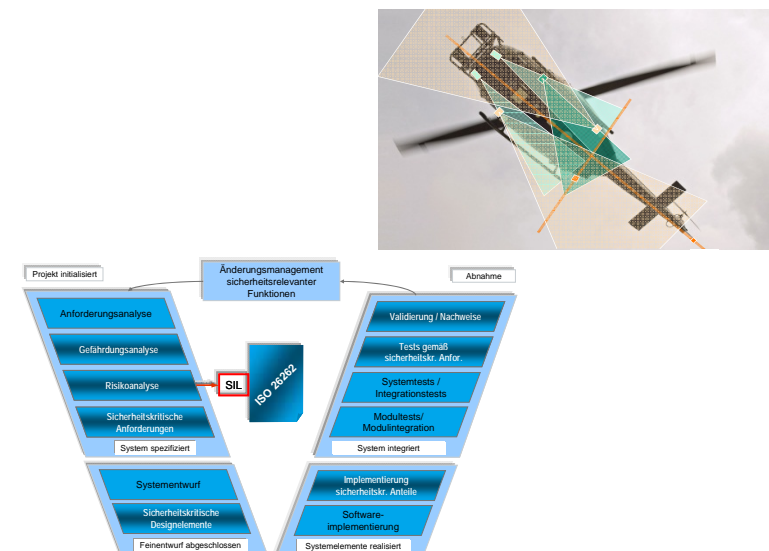
### ► Neuartige Systeme, z. T. geplant:

- Kreuzungsassistent
- Überholassistent
- Ausweichassistent
- Notbremsassistent
- ...
- Autonomes / teilautonomes Fahren (künstlicher Beifahrer)
- ...

### → Vorwiegend realisiert als Komfortfunktionen zur Unterstützung



### → Umsetzung der Systeme mit sicherheitsrelevanten Funktionen und Merkmalen



# Motivation

## FAS – Doppelbedeutung des Komfortbegriffs



### ► Komfort im engeren Sinne

- Systeme, die nicht unbedingt zum Fahren, Lenken, Bremsen erforderlich sind. (Mehrausstattung)

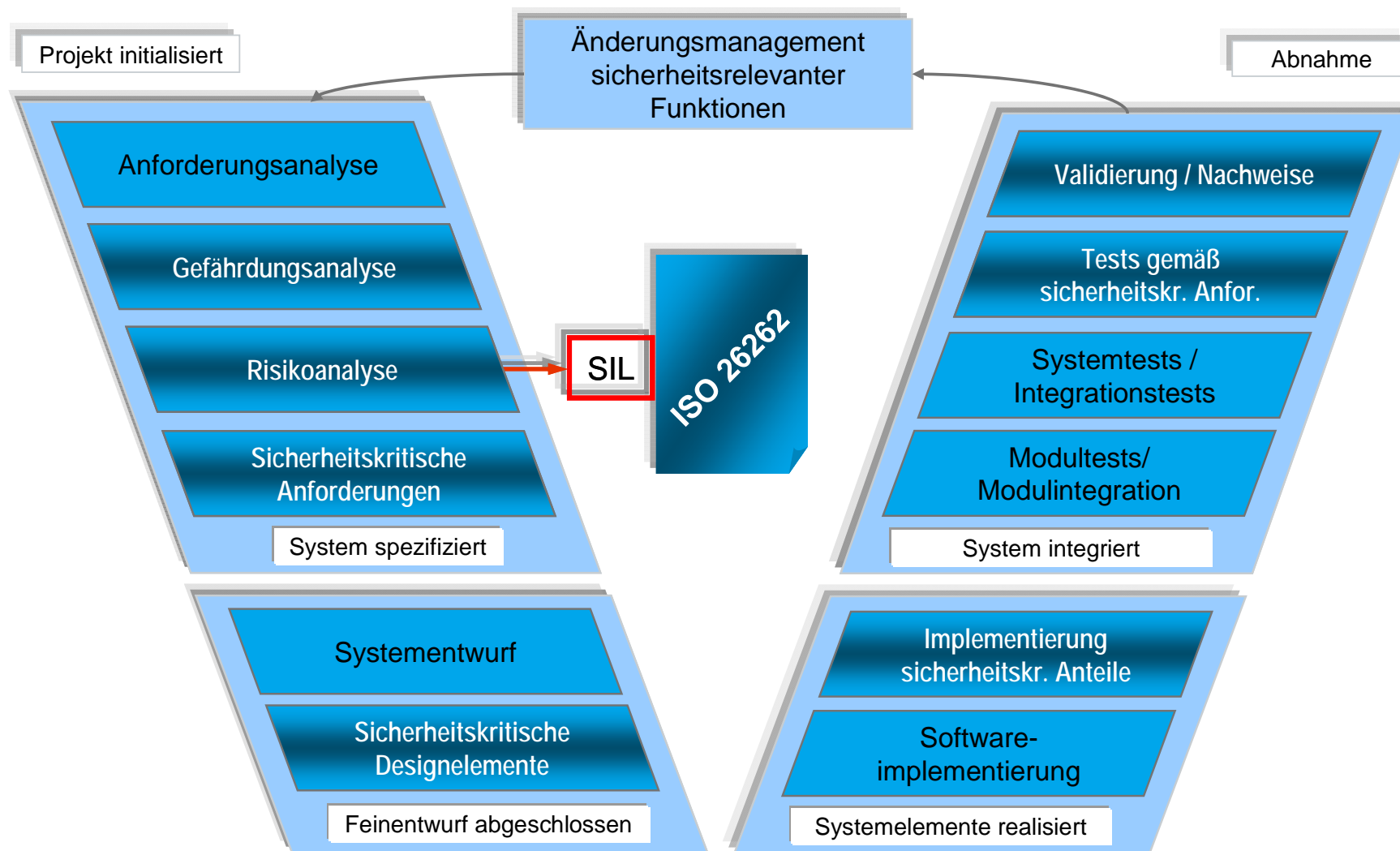
### ► Komfort im Sinne von „nicht sicher“

- Qualitätsmerkmal, das die nichtsicherheitsrelevante Funktionsauslegung beschreibt. (Juristische Sichtweise)
- Um Haftungsrisiken vorzubeugen, werden heute quasi alle FAS als Komfortfunktion im juristischen Sinne ausgelegt.
- Als problematisch wird auch die Gefahr einer drohenden „Entmündigung des Fahrers“ gesehen, die dann eintreten könnte, wenn in einer Gefahrensituation die Kontrolle des Fahrverhaltens von einer Systemfunktion übernommen wird (Driver out of the loop).

- Wenn man mit FAS dauerhaft erfolgreich sein möchte, dann müssen wichtige Assistenzfunktionen sicher ausgelegt werden!
- Umfeldwahrnehmung ist entweder verlässlich – oder niemand wird sie wirklich nutzen und dafür bezahlen

# Motivation

## Entwicklungsprozess für sichere Funktionen





### 1. Motivation

- Einsatz von kamerabasierten Assistenzsystemen heute
- Assistenz als komfortorientierte Fahrerunterstützung
- Übernahme von Verantwortung: Assistenz als Sicherheitsfunktion

### 2. Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

- Was überhaupt ist das Problem?
- Menschliches Szenenverständnis als Vorbild
- Ganzheitliche Szeneninterpretation

### 3. Kognitive Bilddatenverarbeitung und Informationsfusion

- Lösungsansatz für die E/E-Architektur
- Erzeugen von Kontextinformation durch Informationsfusion
- Herstellung eines Szenenverständnisses

### 4. Zusammenfassung und Ausblick

- Vom Szenenverständnis zum Autonomen Fahren



- ▶ Ein Objekt wird entdeckt  
→ **Objektdetektion**
- ▶ Um was für eine Art von Objekt handelt es sich?  
→ **Objektklassifizierung**
- ▶ Wie steht dieses Objekt in Beziehung zu anderen Objekten der Szene?  
→ **Objektrelation**
- ▶ Wie ist die Beziehung des Objekts zur Objektumgebung?  
→ **räumlicher Kontext**
- ▶ Welche zeitlichen Abhängigkeiten in Bezug auf die Umgebung gibt es?  
→ **zeitlicher Kontext**
- ▶ Und wie wirken alle Objekte zusammen?  
→ **Szenenverständnis**

# Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

## Leistungsvergleich Assistenzsystem vs. Mensch



Leistungsmerkmal	Mensch und Auge	Assistenzsystem und Kamera(s)
Frequenzspektrum	O	++
Erfassung von Farbinformationen	O	++
Fähigkeit zur Objekterkennung (Kategorisierungsleistung)	++	-
Nachtsichtfähigkeit	-	++
Fusionsfähigkeit	+	-
Schnelligkeit der Objekterkennung	++	-
Bestimmung der Objektposition	+	O
Bestimmung der Objektgeschwindigkeit	+	O
Objektklassifizierung	++	--
Erkennung der Eigenbewegung	++	O
Multi Objekt-Verfolgung	+	+
Herstellen von Objektrelationen	++	--
Ableitung der räumlichen Kontextinformation	++	-
Ableitung der zeitlichen Kontextinformation	++	-
Herstellen eines Szenenverständnisses	++	--



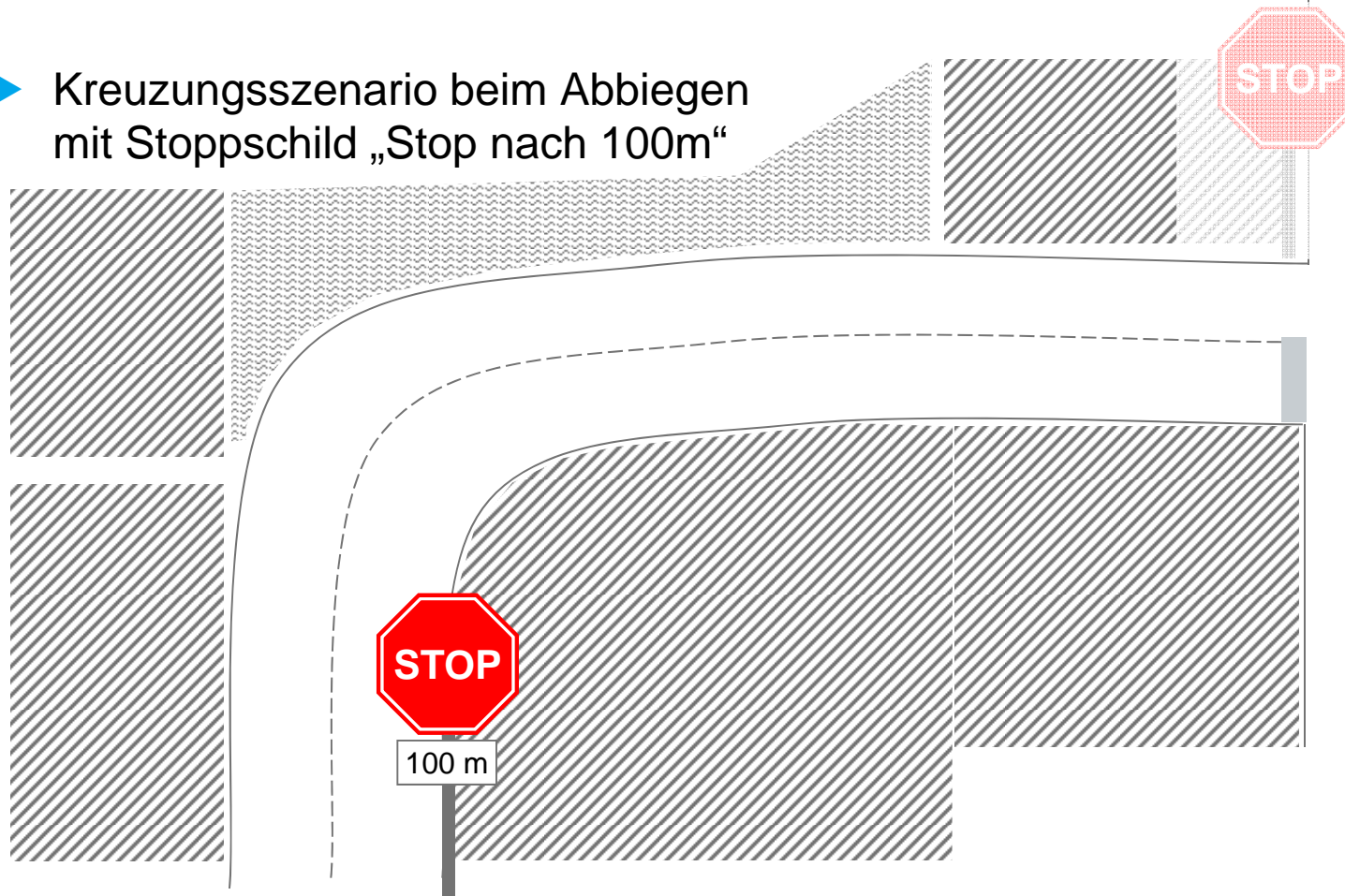
- ▶ Wann z.B. ist ein Szenenverständnis unbedingt erforderlich?
- ▶ Kreuzungsszenario beim Abbiegen mit Stoppschild „Stop nach 100m“
- ▶ Beispiel LKW mit Schild 80 auf der Rückfront wird durch Speed Limit Info fälschlicherweise als relevante Begrenzung erkannt
- ▶ Vorfahrtstraße mit Kurven und mehrfachen Einmündungen

# Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

Was ist das Problem?

- ▶ Wann z.B. ist ein Szenenverständnis unbedingt erforderlich?

- ▶ Kreuzungsszenario beim Abbiegen mit Stoppschild „Stop nach 100m“



# Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

Was ist das Problem?

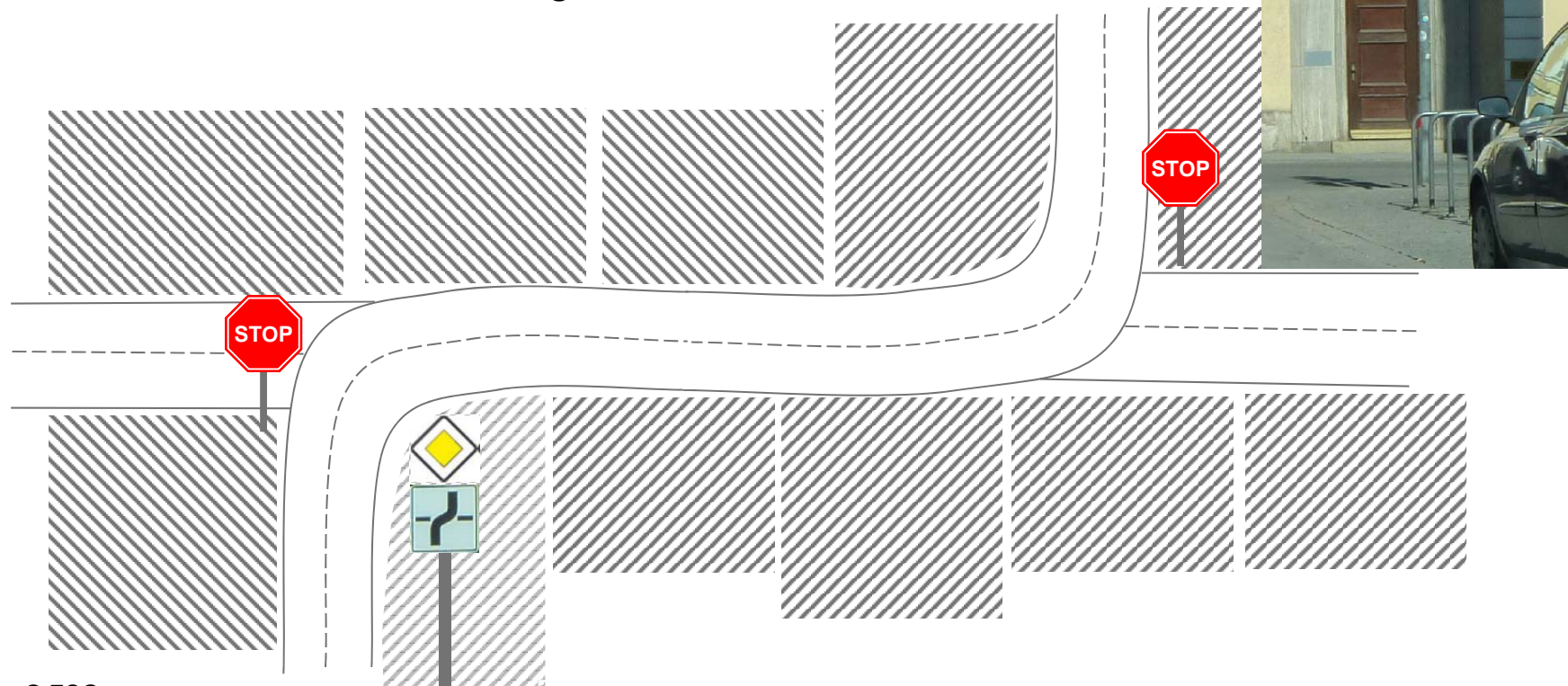
- ▶ Wann z.B. ist ein Szenenverständnis unbedingt erforderlich?
- ▶ Beispiel LKW mit Schild 80 auf der Rückfront wird durch Speed Limit Info fälschlicherweise als relevante Begrenzung erkannt



# Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

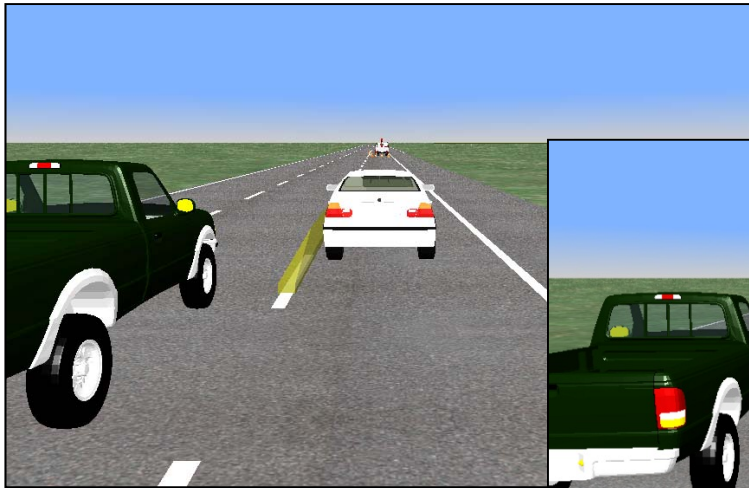
Was ist das Problem?

- ▶ Wann z.B. ist ein Szenenverständnis unbedingt erforderlich?
- ▶ Vorfahrtstraße mit Kurven und mehrfachen Einmündungen

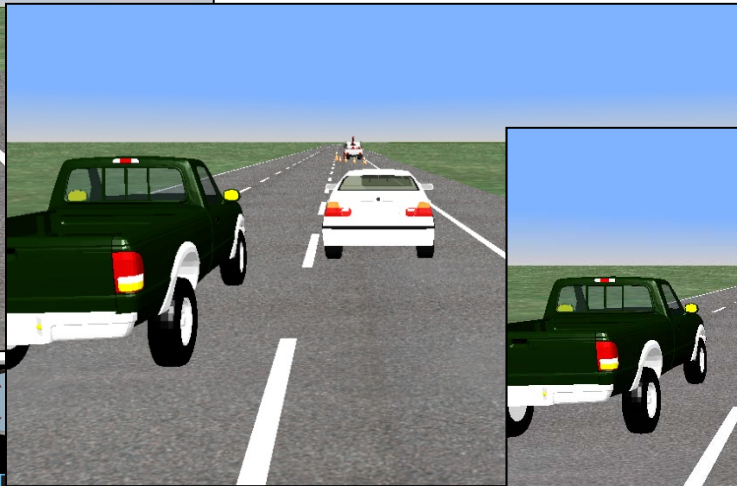


# Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

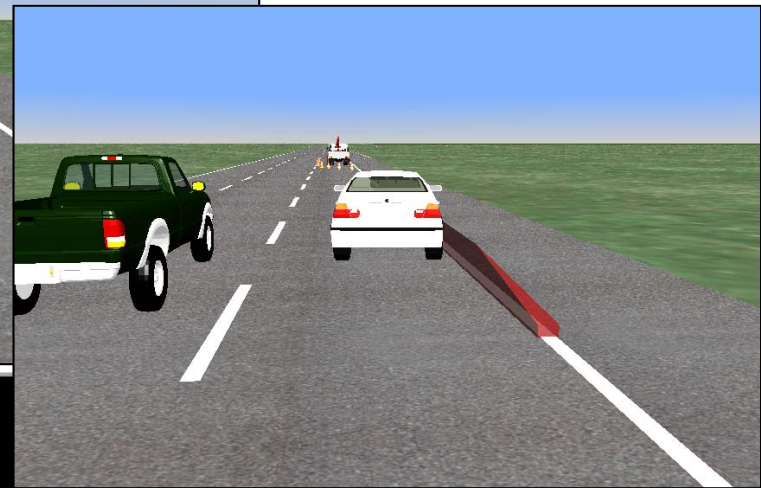
## Beispielszenario



Lane change  
warning



Collision  
warning



Lane departure  
warning

- ▶ Zentrales Problem ist die Feststellung der Relevanz:

In der Komplexität der Szene mit unterschiedlichen Elementen und Kontextbeziehungen, aus einer Vielzahl von Merkmalen bei begrenzten Ressourcen diejenigen Objekte bzw. Relationen herauszufinden, die relevant sind, → **das ist die Herausforderung** ←

- ▶ Was braucht man dafür?



# Kamerabasierte Umfelderfassung und Interpretation



## Brute-Force-Methode

- ▶ Vollständige Erfassung und Verarbeitung der physikalisch-geometrischen Umwelt- und Objektparameter (Objektdaten mit x-y-Koordinaten und Bewegungsvektoren, Zeitstempel) im Sinne einer Objektliste und die permanente Umweltbeschreibung.





# Sehen und Verstehen

## Der Laplacesche Dämon

- ▶ Der Anspruch auf vollständige, Erfassung und Verarbeitung der objektiven, physikalisch-geometrischen Umwelt- und Objektparameter erinnert an das philosophische Konzept des französischen Mathematikers und Physikers Pierre Simon de Laplace (1749 – 1827). Er konstruierte einen die Welt vollständig rational erfassenden universellen Geist, den sogenannten *Laplaceschen Dämon*, der aufgrund seiner erschöpfenden Kenntnis der Gegenwart in allen physikalischen Fakten die Zukunft vorherzusehen in der Lage sei. Dahinter steckt letztlich die Annahme eines totalen Determinismus. Angewandt auf unser Problem sollten wir also nach der kompletten Erfassung der Umwelt- und Objektparameter und unserer Vertrautheit mit den Naturgesetzen in der Lage sein, die Fahrzeugumgebung detailliert zu beschreiben und die Entwicklung der Szene in allen Einzelheiten genau und zuverlässig zu prognostizieren.



- ▶ Allerdings:

Wir erfahren auf diesem Wege wenig über den Charakter der Objekte als systemische Entitäten und absolut nichts über deren Absichten.

# Sehen und Verstehen

Brute-Force-Methode: Beispiel Schach



- ▶ Erfassung der Figurenpositionen und Vorausberechnen aller möglichen Zugfolgen für  $n$  Züge und Gegenzüge.



# Sehen und Verstehen

## Herstellung eines Szenenverständnisses



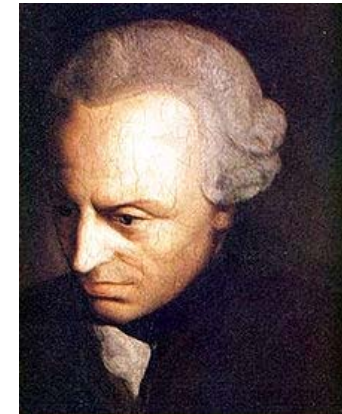
- ▶ Die vollständige Objektliste im o. g. Sinne ist noch nicht hinreichend für ein umfassendes Szenenverständnis
- ▶ Der *Laplacesche Dämon* ist tot.  
Nicht totaler Determinismus, sondern stochastische Interpretation der Wirklichkeit bringt uns der Lösung näher
- ▶ Über die analytische Aufnahme der physikalischen Daten hinaus brauchen wir insbesondere die
  - Ableitung der räumlichen Kontextinformation
  - Ableitung der zeitlichen Kontextinformation
  - Die Herstellung von Objektrelationen
- ▶ Diese Informationen bekommen wir aber nicht als objektive Größen von der Kameraoptik. Wir brauchen also mehr, als nur eine reine Statusaufnahme

# Sehen und Verstehen

## Wahrnehmung als Hypothese über die Realität



- ▶ Es geht um die Wahrnehmung der Fahrzeugumgebung in Raum und Zeit und die Spiegelung dieser Eindrücke an unserem eigenen Verstand, unserer Erfahrung, unserem Vorwissen.
- ▶ Immanuel Kant (1724 – 1804) hat die diesem Erkenntnisprozess zugrundeliegenden Voraussetzungen in aller Breite und Tiefe beleuchtet und diskutiert.
- ▶ Nach Kant erkennen wir die Dinge in Bezug auf die in uns angelegten raum-zeitlichen Vorstellungen. In gewissem Sinne ist also unsere Wahrnehmung nicht objektiv, sondern subjektiv.



- ▶ In der Subjektivität steckt Vorwissen über die Welt.
- ▶ Dieses Vorwissen kann dazu benutzt werden, den Prozess der „Welterkenntnis“ extrem schnell und effektiv zu machen.
- ▶ Interessanterweise werden z.B. nur etwa 10% der Nervenfasern aus dem Auge ins Sehzentrum geleitet. Nichtsdestotrotz bekommen wir auf dieser Basis bekanntermaßen ein stimmiges Bild der Welt. Es gelingt, weil das gewissermaßen fragmentarisch Gesehene im Zuge der Verarbeitung in Bezug gesetzt wird zum Erfahrungsschatz des Individuums und der Spezies und auf diesem Wege die fehlenden Informationen, ohne dass dies bewusst wird, ergänzt werden.

# Sehen und Verstehen

Wahrnehmung als Hypothese über die Realität



- ▶ Verstehen und Wahrnehmen sind keine absoluten Kategorien, sie beziehen sich stets auf das eigene Denken und die eigenen Ziele
- ▶ Das von der Evolution gefundene Konzept zur Sinneswahrnehmung und zur Verarbeitung der Signale ist extrem komplex und sehr leistungsfähig, es ist aber nicht perfekt, wie die Beispiele von optischen Täuschungen zeigen.
- ▶ Dennoch ist der Ansatz in fast allen praktisch relevanten Fällen der oben skizzierten Brute-Force-Methode weit überlegen.

# Kamerabasierte Umfelderfassung und Interpretation



Herstellung eines ganzheitlichen Szenenverständnisses

- ▶ Das Szenenverständnis kann hergestellt werden durch permanentes Erzeugen, Überprüfen, Verwerfen und Bestätigen von Hypothesen zur Objektklassifizierung, zu den räumlichen und zeitlichen Kontextinformationen, zu den Objektrelationen und zum Objektverhalten:
    - Konsequente Informationsfusion in einer frühen Verarbeitungsphase
    - Objektklassifizierung unter Einbeziehung von Erfahrungswissen
    - Bestimmung von räumlichen und zeitlichen Kontextinformationen
    - Dauerndes Herstellen der Objektrelationen
    - Permanente Antizipation des Verhaltens der Objekte
- 
- ▶ Vorbild hierfür sind die Verarbeitungsabläufe im menschlichen Wahrnehmungsprozess und die Bezugnahme auf Vorwissen.



### 1. Motivation

- Einsatz von kamerabasierten Assistenzsystemen heute
- Assistenz als komfortorientierte Fahrerunterstützung
- Übernahme von Verantwortung: Assistenz als Sicherheitsfunktion

### 2. Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

- Was überhaupt ist das Problem?
- Menschliches Szenenverständnis als Vorbild
- Ganzheitliche Szeneninterpretation

### 3. Kognitive Bilddatenverarbeitung und Informationsfusion

- Lösungsansatz für die E/E-Architektur
- Erzeugen von Kontextinformation durch Informationsfusion
- Herstellung eines Szenenverständnisses

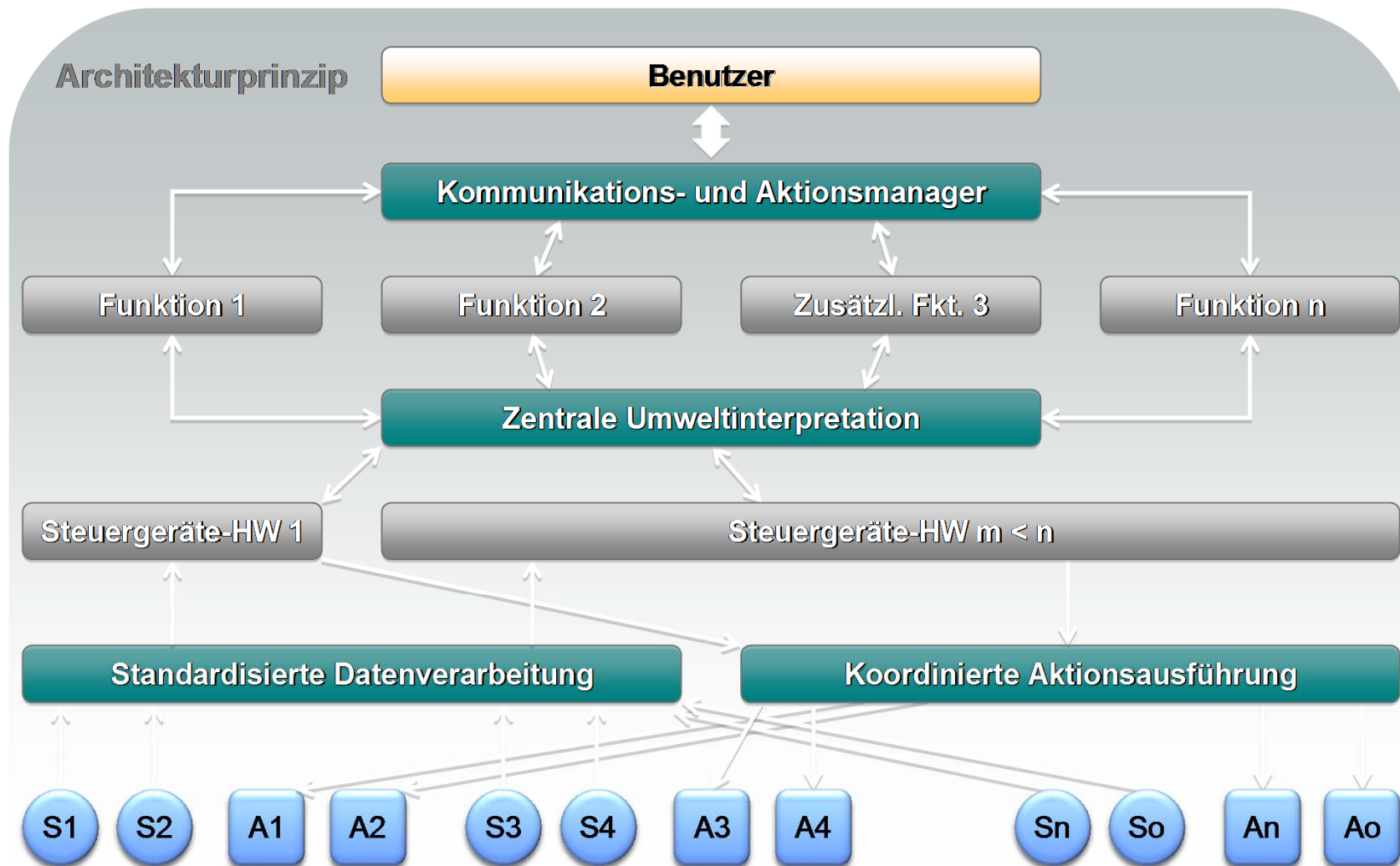
### 4. Zusammenfassung und Ausblick

- Vom Szenenverständnis zum Autonomen Fahren

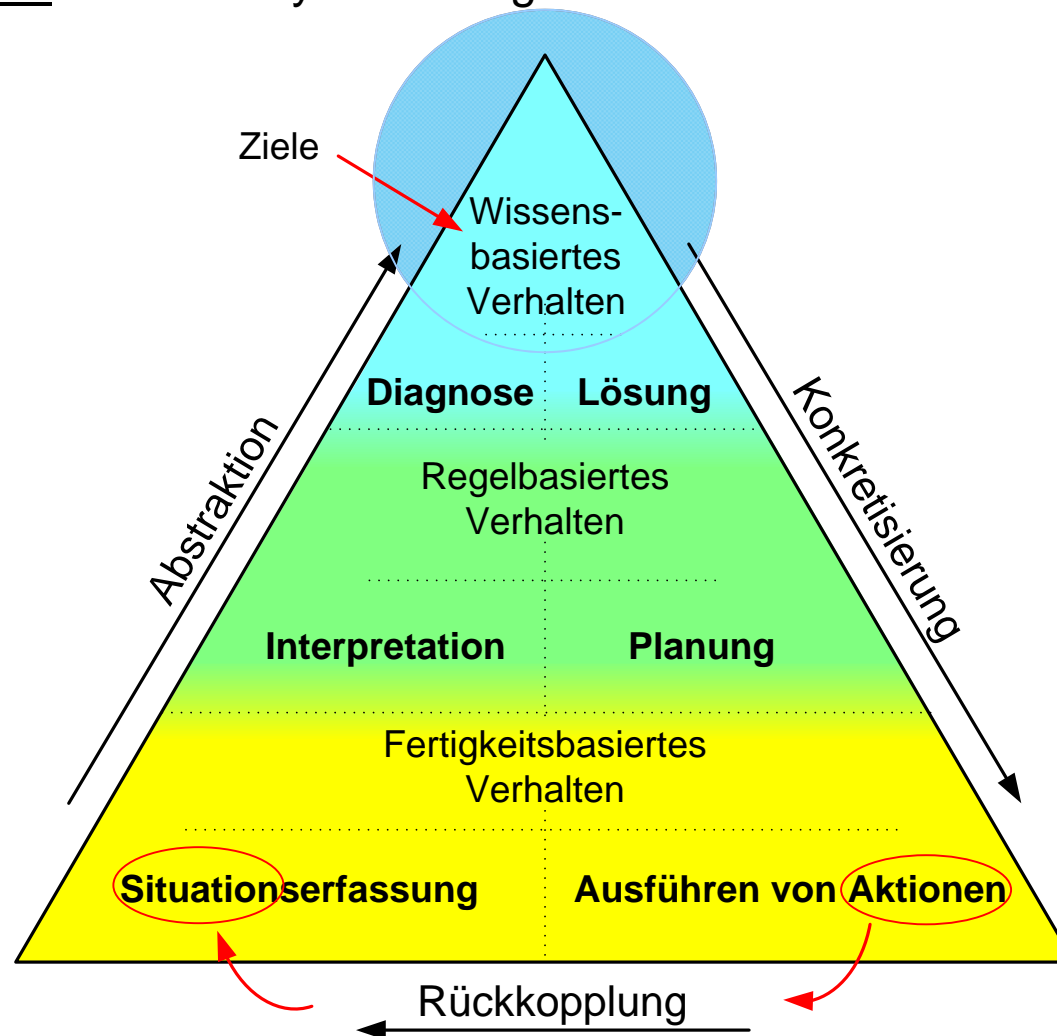


# Kognitive Bilddatenverarbeitung

Zentrale Umweltinterpretation als Basis für das Verstehen



- ▶ Assistenzfunktionen werden über Vernetzung und zentrale Koordination zu einem einzigen Assistenzsystem integriert





### 1. Motivation

- Einsatz von kamerabasierten Assistenzsystemen heute
- Assistenz als komfortorientierte Fahrerunterstützung
- Übernahme von Verantwortung: Assistenz als Sicherheitsfunktion

### 2. Kamerabasierte Umfelderkennung und Interpretation

- Was überhaupt ist das Problem?
- Menschliches Szenenverständnis als Vorbild
- Ganzheitliche Szeneninterpretation

### 3. Kognitive Bilddatenverarbeitung und Informationsfusion

- Lösungsansatz für die E/E-Architektur
- Erzeugen von Kontextinformation durch Informationsfusion
- Herstellung eines Szenenverständnisses

### 4. Zusammenfassung und Ausblick

- Vom Szenenverständnis zum Autonomen Fahren

# Zusammenfassung und Ausblick

## Autonomes Fahren: Assistenzsysteme als Wegbereiter



### ► Autonom Fahren heißt:

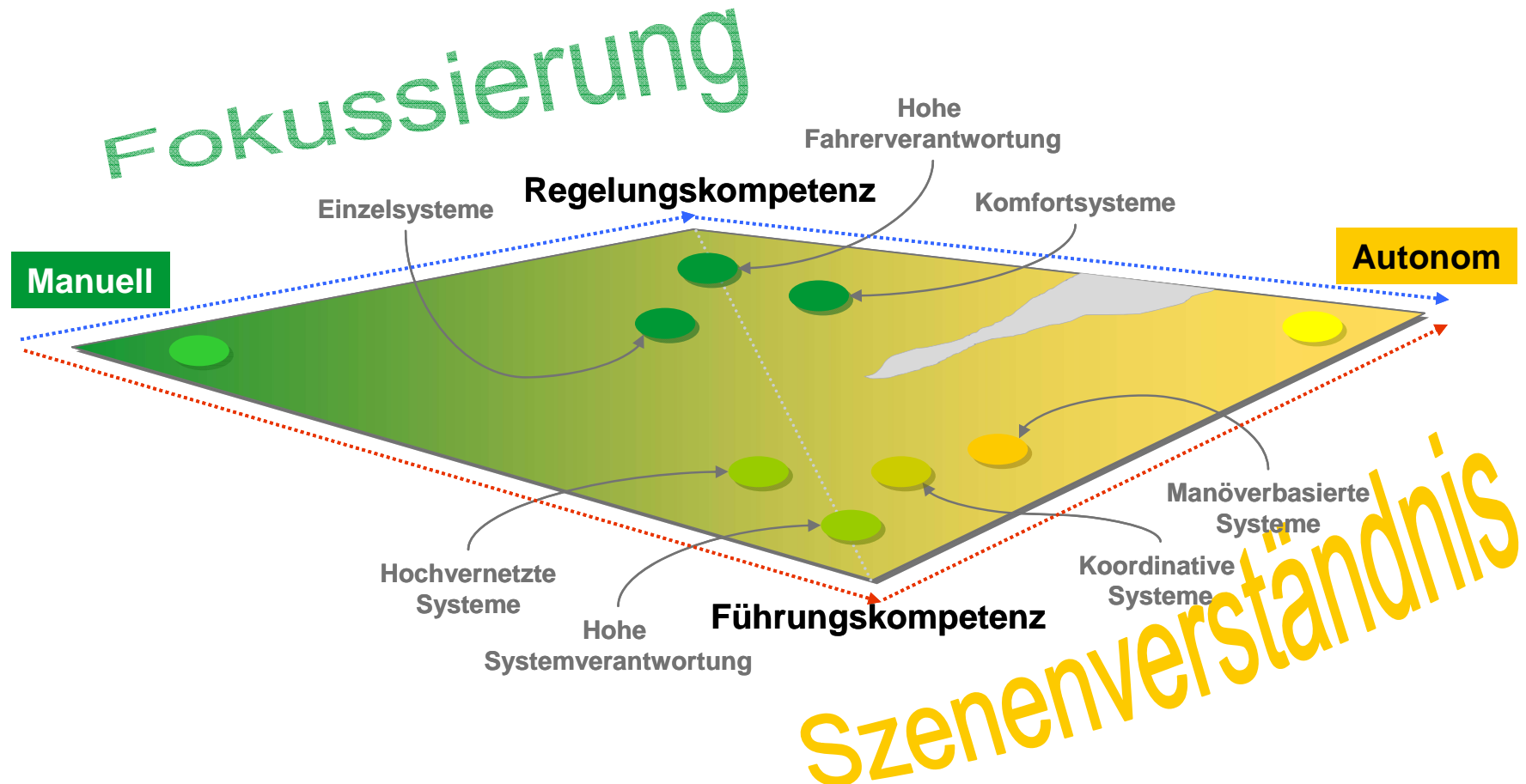
Fahrzeug fährt *ohne Fahrereingriff* und *ohne direkte Steuerungsbefehle* von außen zu einem vorher definierten Ziel. Dabei kann das Fahrzeug selbst über Route und Geschwindigkeiten innerhalb vorgegebener Rahmenbedingungen entscheiden und ist im Stande, mit allen unvorhergesehenen Ereignissen ähnlich umzugehen, wie dies ein Mensch tun könnte.



# Zusammenfassung und Ausblick

Autonomes Fahren: Assistenzsysteme sind (nur) Wegbereiter

- ▶ Assistenzebene im Spannungsfeld zwischen Fokussierung und ganzheitlichem Szenenverständnis



# Zusammenfassung und Ausblick

## Resümee



- ▶ Kamerabasierte Assistenzfunktionen bergen in sich ein hohes Potential zur Überwachung der Fahrzeugumgebung.
- ▶ Kamerasysteme sind dem menschlichen Gesichtssinn mit seinen natürlichen Grenzen und Einschränkungen grundsätzlich gleichrangig, in manchen Teilbereichen gar überlegen.
- ▶ Eine echte Szeneninterpretation, wie sie der Fahrer ohne größere Mühen jederzeit bereit hält und permanent aktualisiert, liegt weit jenseits der Möglichkeiten aktueller Systeme und Systemarchitekturen.
- ▶ Ein ganzheitliches Szenenverständnis ist aber erforderlich für die Realisierung von komplexeren Komfort- und Sicherheitsfunktionen und ist eine unbedingte Notwendigkeit für die Umsetzung des Fernziels *Autonomes Fahren*.

# Zusammenfassung und Ausblick

## Resümee



- ▶ Das Szenenverständnis kann hergestellt werden durch permanentes Erzeugen, Überprüfen, Verwerfen und Bestätigen von Hypothesen zur Objektklassifizierung, zu den räumlichen und zeitlichen Kontextinformationen, zu den Objektrelationen und zum Objektverhalten:
  - Konsequente Informationsfusion in einer frühen Verarbeitungsphase
  - Objektklassifizierung unter Einbeziehung von Erfahrungswissen
  - Bestimmung von räumlichen und zeitlichen Kontextinformationen
  - Dauerndes Herstellen der Objektrelationen
  - Permanente Antizipation des Verhaltens der Objekte
- ▶ Vorbild hierfür sind die Verarbeitungsabläufe im menschlichen Wahrnehmungsprozess und die Bezugnahme auf Vorwissen.
- ▶ Das höhere Maß an Sicherheit erfordert u. a. die Anpassung der Entwicklungsprozesse im Hinblick auf ISO 26262.



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



**CAR 2 CAR**  
COMMUNICATION CONSORTIUM

**AUTOSAR**

*Dr. Hieronymus Fischer*  
Head of Center of Competence  
System Concepts Automotive



Phone +49 89 92 16-2332

Fax +49 89 92 16-16-2332

E-Mail [hieronimus.fischer@esg.de](mailto:hieronimus.fischer@esg.de)

Web <http://www.esg.de>

Business Area Automotive  
ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH  
Livry-Gargan-Straße 6  
D-82256 Fürstenfeldbruck