

# VOLKSWAGEN

AKTIENGESELLSCHAFT



## WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

DEUTSCHER MOBILITÄTSKONGRESS

PROF. DR. THOMAS FORM

LEITER ELEKTRONIK UND FAHRZEUGFORSCHUNG – VOLKSWAGEN AG

## AGENDA

### WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

1. Sicher und komfortabel fahren
2. Wie gut fährt der Mensch?
3. Was muss das AF Fahrzeug können?
4. Sehen
5. Verstehen
6. Handeln
7. Wie gut ist gut genug?
8. Was will PEGASUS?

## MOTIVATION AUTOMATISCHES FAHREN

### 1 Erhöhte Sicherheit



### 2 Umweltfreundliches Fahren



Automatisches  
Fahren

### 3 Erhöhter Komfort



### 4 Effiziente Nutzung von Infrastruktur



# AGENDA

## WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

**1. Sicher und komfortabel fahren**

**2. Wie gut fährt der Mensch?**

**3. Was muss das AF Fahrzeug können?**

**4. Sehen**

**5. Verstehen**

**6. Handeln**

**7. Wie gut ist gut genug?**

**8. Was will PEGASUS?**



# KOMFORTABEL FAHREN

## Für den Fahrer

- Komfortabel
- Nachvollziehbar
- Sicher



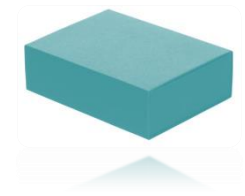
## Für das System

- Echtzeitfähig
- Parametrierbar
- Robust



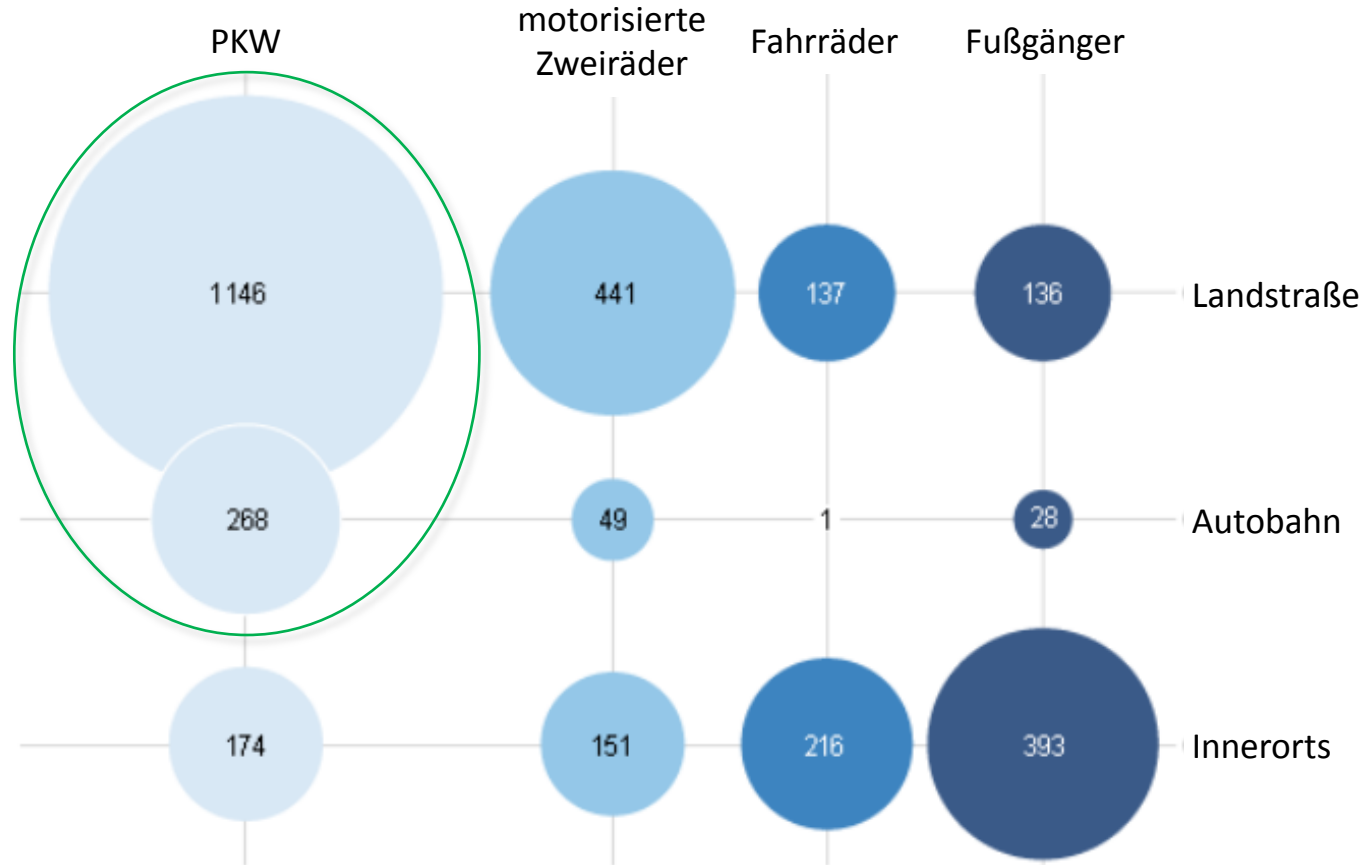
## Für die Entwicklungsarbeit

- Modularisierbarkeit
- Trennung: zeitlich beständige Intelligenz („Wohin/Was will ich?“) vs. Umsetzung („Wie komme ich da kollisionsfrei hin?“)
- Skalierbarkeit & Transparenz für zunehmend komplexere Situationen



## SICHERHEIT

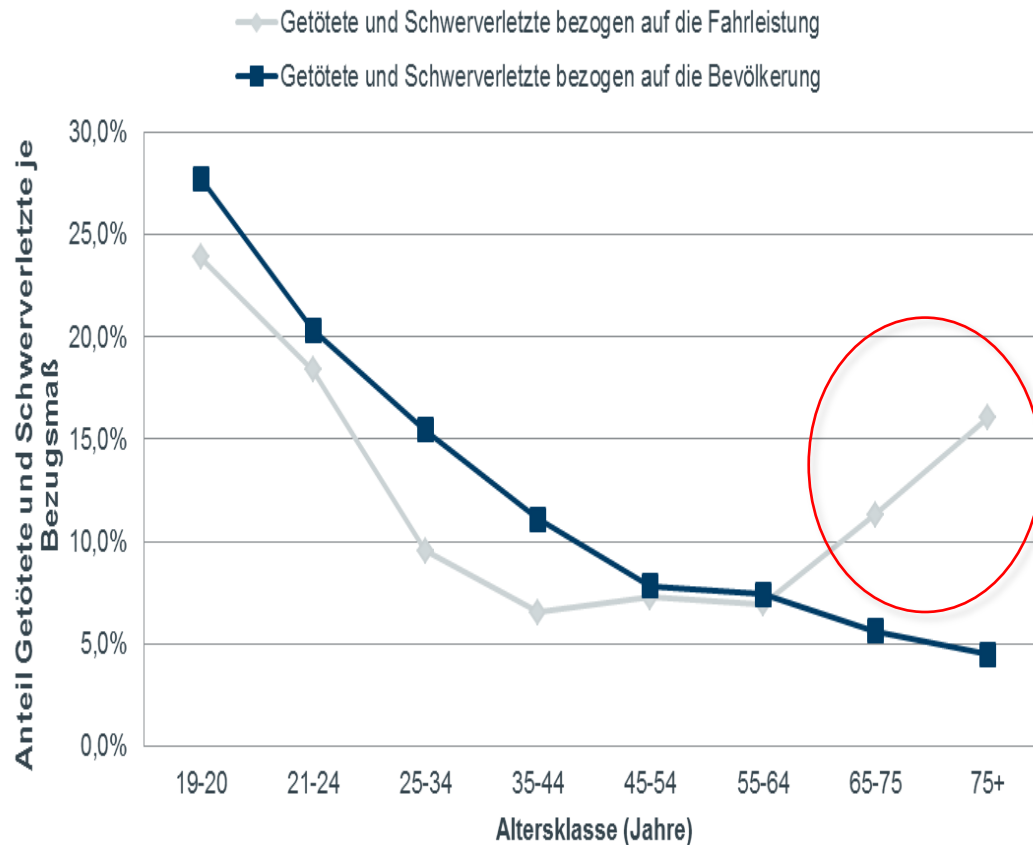
AUTOMATISCHES FAHREN AUF AUTOBAHNEN/LANDSTRASSEN KANN 1/3 ALLER GETÖTETEN VERMEIDEN



**GETÖTETE BEI STRAßENVERKEHRSUNFÄLLEN NACH BETEILIGUNGSART UND UNFALLORT DEUTSCHLAND 2013**  
 QUELLE: STATISTISCHES BUNDESAMT, WIESBADEN 2014



# MOBILITÄT IM ALTER - ÄLTERE MENSCHEN SIND ÜBERPROPORTIONAL AN STRAßENVERKEHRSUNFÄLLEN BETROFFEN



Quellen: BASt, Fahrleistungserhebung (2002), DESTATIS (2010), VW-GIDAS Datenbank ab 1995 mit Status=4

- **Schwere Unfälle pro Fahrzeugführer**
  - ➔ Erhöhung bei jungen Fahrern (aber nicht bei Älteren)
- **Unfälle bezogen auf tatsächliche Fahrleistung (Unfälle/km)**
  - ➔ Das Risiko an einem schweren Unfall beteiligt zu sein, ist bei älteren Fahrern deutlich erhöht.
- **Anteil der älteren Fahrer im Verkehr nimmt kontinuierlich zu**
  - ➔ Gefährdungspotenzial für ältere Fahrer steigt überproportional an

# AGENDA

## WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

**1. Sicher und komfortabel fahren**

**2. Wie gut fährt der Mensch?**

**3. Was muss das AF Fahrzeug können?**

**4. Sehen**

**5. Verstehen**

**6. Handeln**

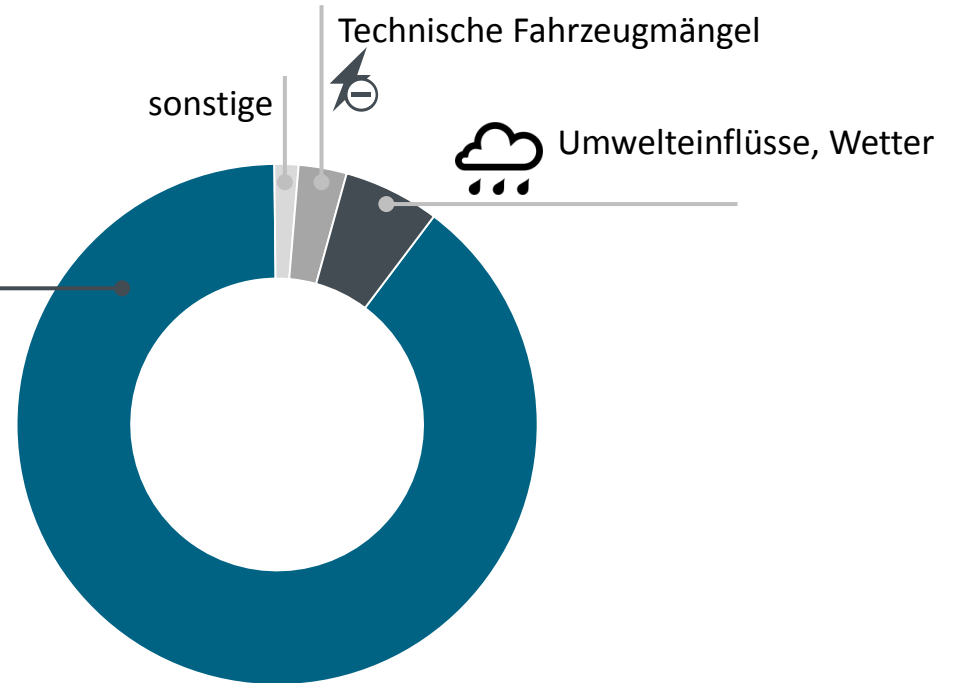
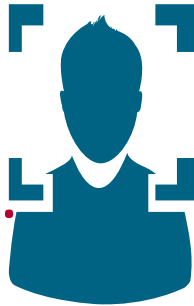
**7. Wie gut ist gut genug?**

**8. Was will PEGASUS?**

# WIE GUT FÄHRT DER MENSCH?



Mehr als **90%** aller  
**Unfälle**  
entstehen durch  
**menschliches Verhalten.**



## WIE GUT FÄHRT DER MENSCH?

TESTS MIT REINEN REALFAHRTEN REICHEN NICHT MEHR AUS

	Unfälle mit Personenschäden	Fahrleistung	Distanz zw. zwei Unfällen mit Verletzten
Deutschland - alle Fahrzeuge	300.000	7.1 $10^{11}$ km	2.0 Mio. km
Deutschland - Autos	180.000	6.0 $10^{11}$ km	3.3 Mio. km
Autobahnen – alle Straßenfahrzeuge	ca. 18.000	2.2 $10^{11}$ km	12.0 Mio. km

Um eine statistische Relevanz zu erhalten wären ca. 240 Mio. km

Fahrzeugintegrationstest notwendig

240 Mio. km Testkilometer auf Straßen sind notwendig um zu beweisen, das automatisch Fahrende Fahrzeuge so sicher sind wie von Menschen gefahrene Fahrzeuge.

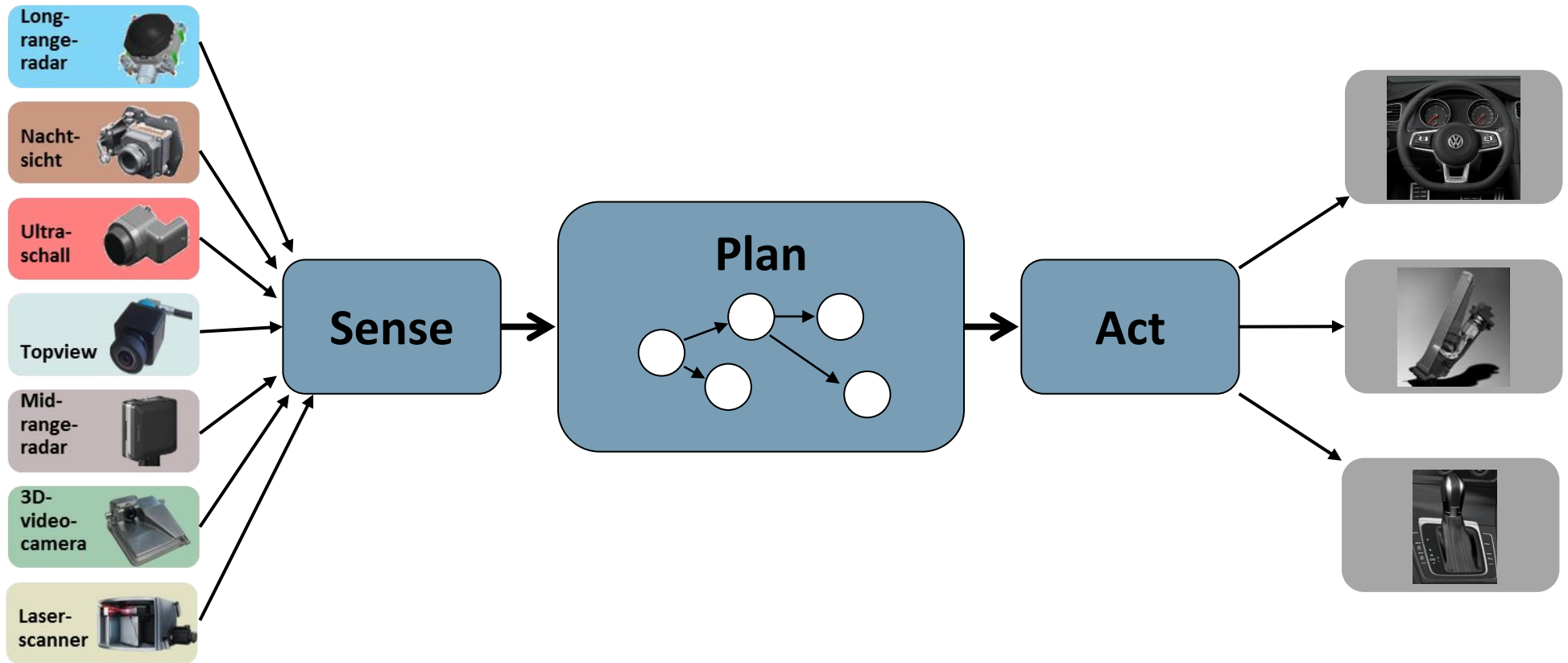
Zum Vergleich: Derzeitig haben wir Integrationstest mit mehreren 100.000 km

## AGENDA

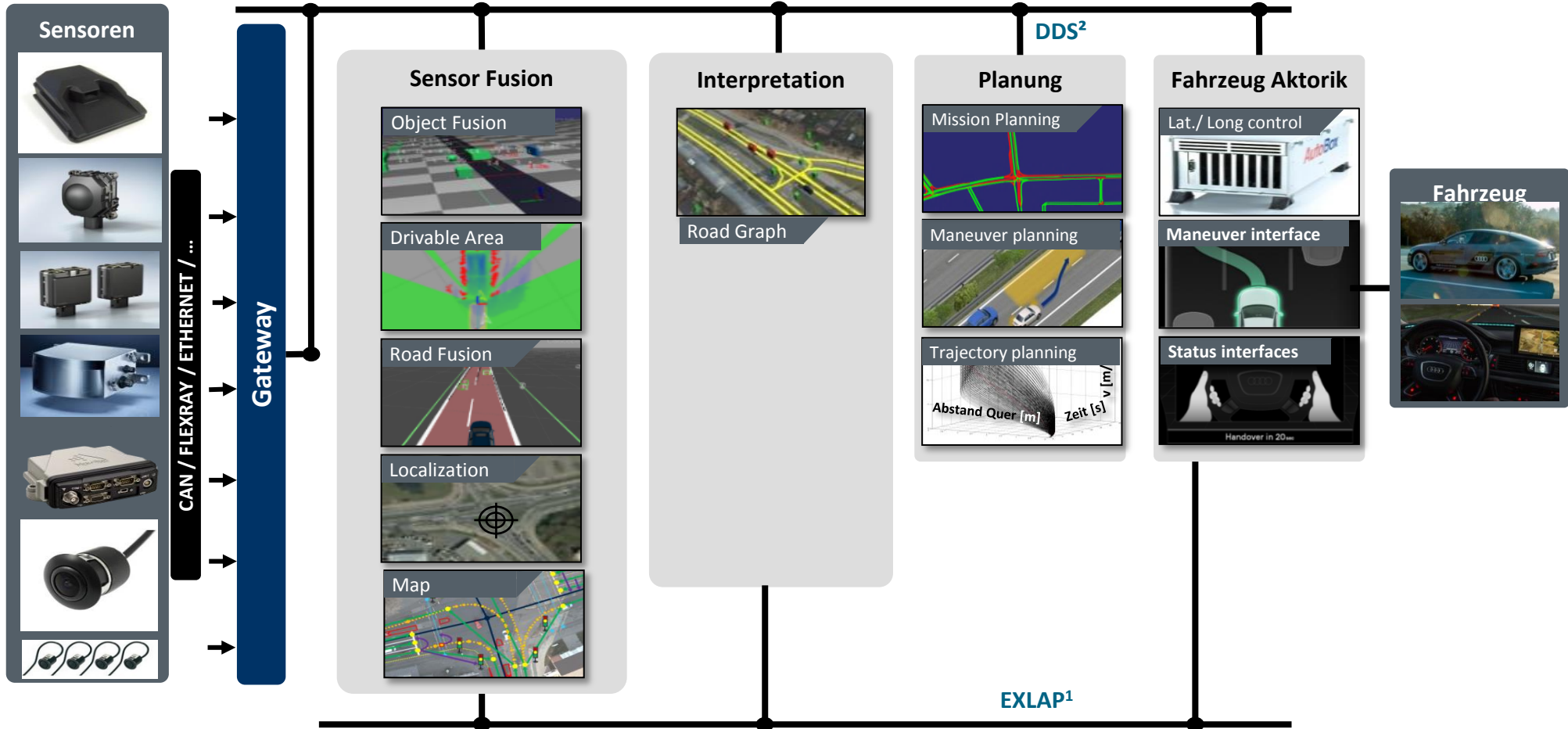
### WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

1. Sicher und komfortabel fahren
2. Wie gut fährt der Mensch?
3. Was muss das AF Fahrzeug können?
4. Sehen
5. Verstehen
6. Handeln
7. Wie gut ist gut genug?
8. Was will PEGASUS?

## SENSE / PLAN / ACT



# AUTO-PILOT - SKALIERBARE UND MODULARE ARCHITEKTUR



<sup>1</sup>EXLAP: Extensible Lightweight Asynchronous Protocol

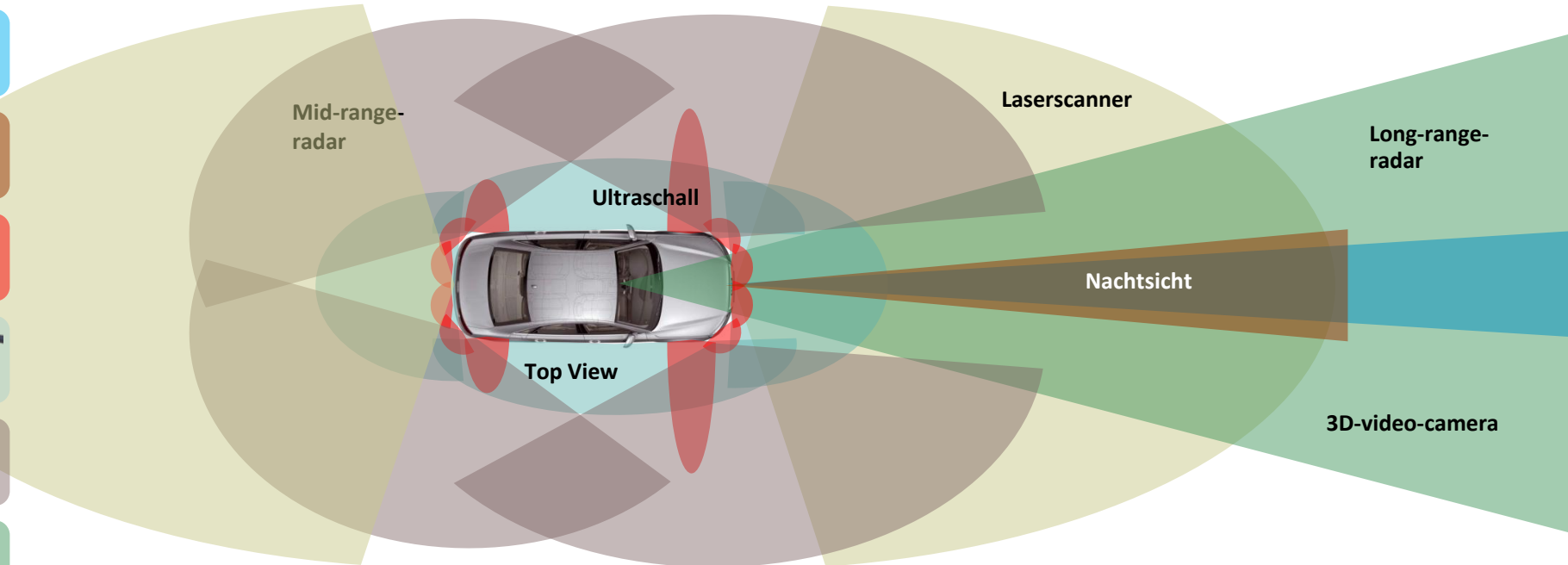
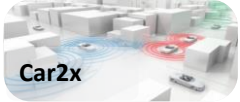
<sup>2</sup>DDS: Data Declaration System

## AGENDA

### WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

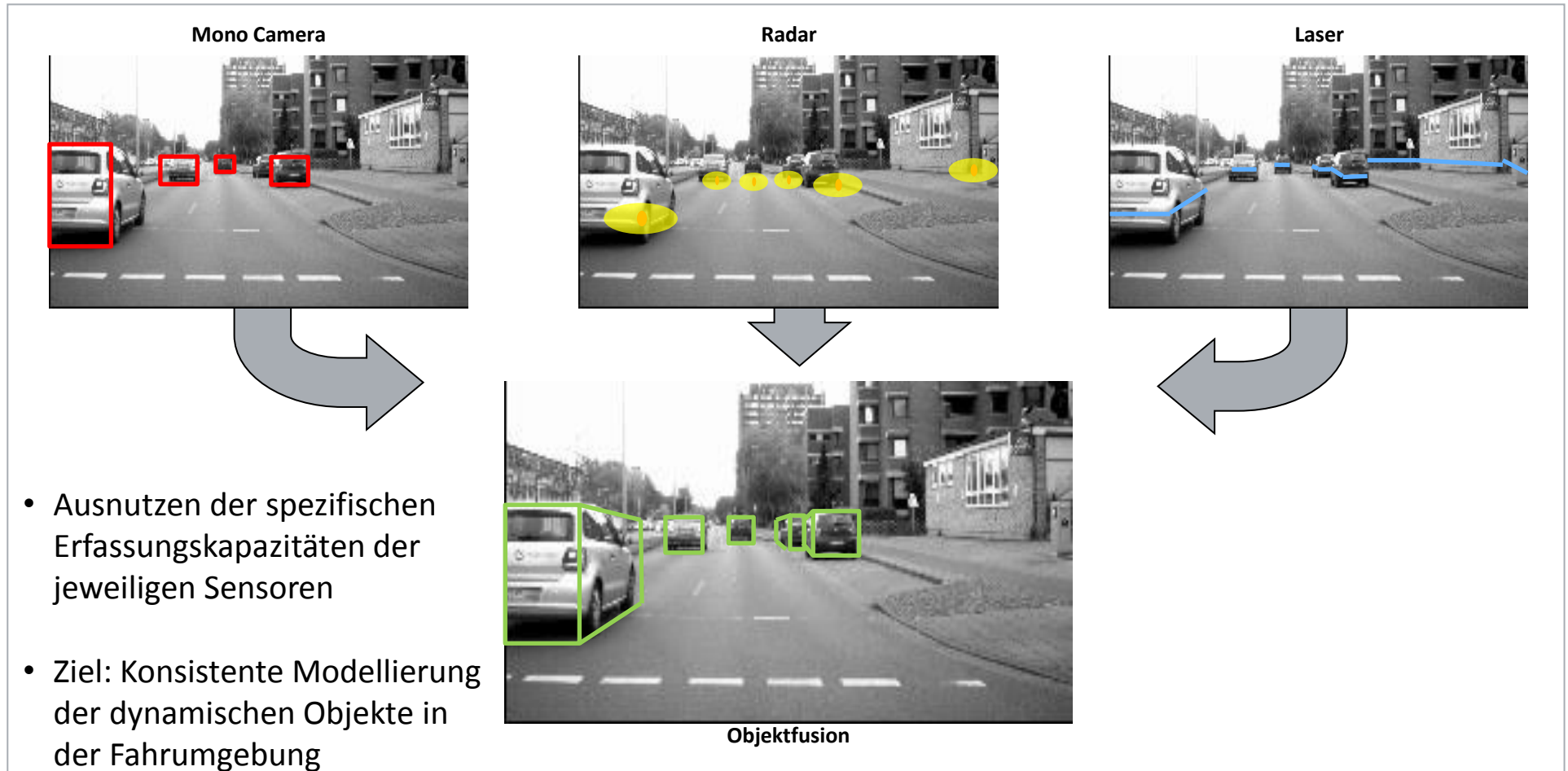
1. Sicher und komfortabel fahren
2. Wie gut fährt der Mensch?
3. Was muss das AF Fahrzeug können?
4. Sehen
5. Verstehen
6. Handeln
7. Wie gut ist gut genug?
8. Was will PEGASUS?

# TECHNOLOGIEZIEL – SEHEN WIE EIN (AUFMERKSAMER) MENSCH

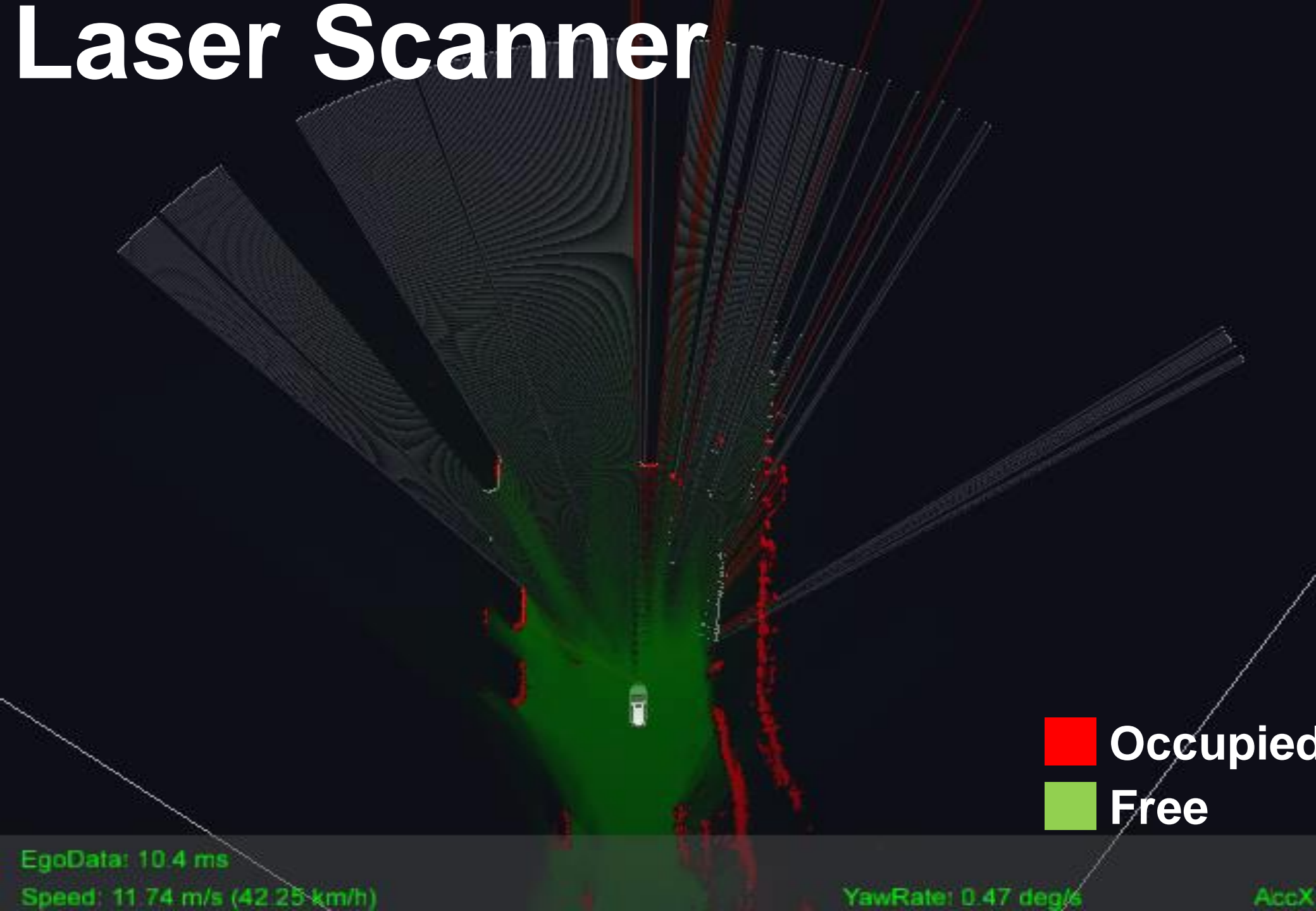


Die Weiterentwicklung von automotive kompatiblen Sensoren (Funktion, Performance) ermöglicht eine dreidimensionale 360° Wahrnehmung des Umfelds.

## PROBLEM DER OBJEKTFUSION



# Laser Scanner



■ Occupied  
■ Free

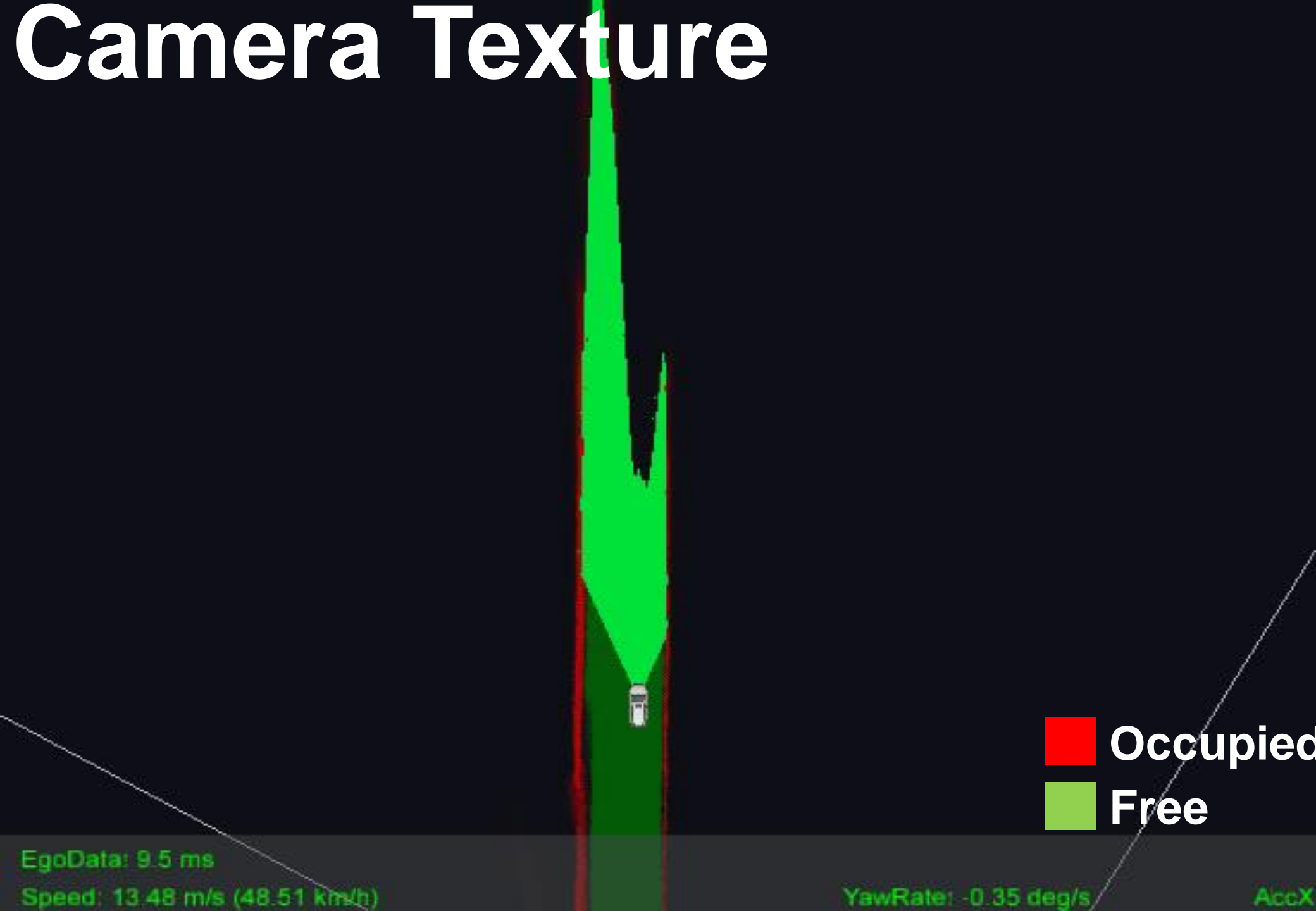
EgoData: 10.4 ms

Speed: 11.74 m/s (42.25 km/h)

YawRate: 0.47 deg/s

AccX

# Camera Texture



Occupied  
Free

EgoData: 9.5 ms  
Speed: 13.48 m/s (48.51 km/h)

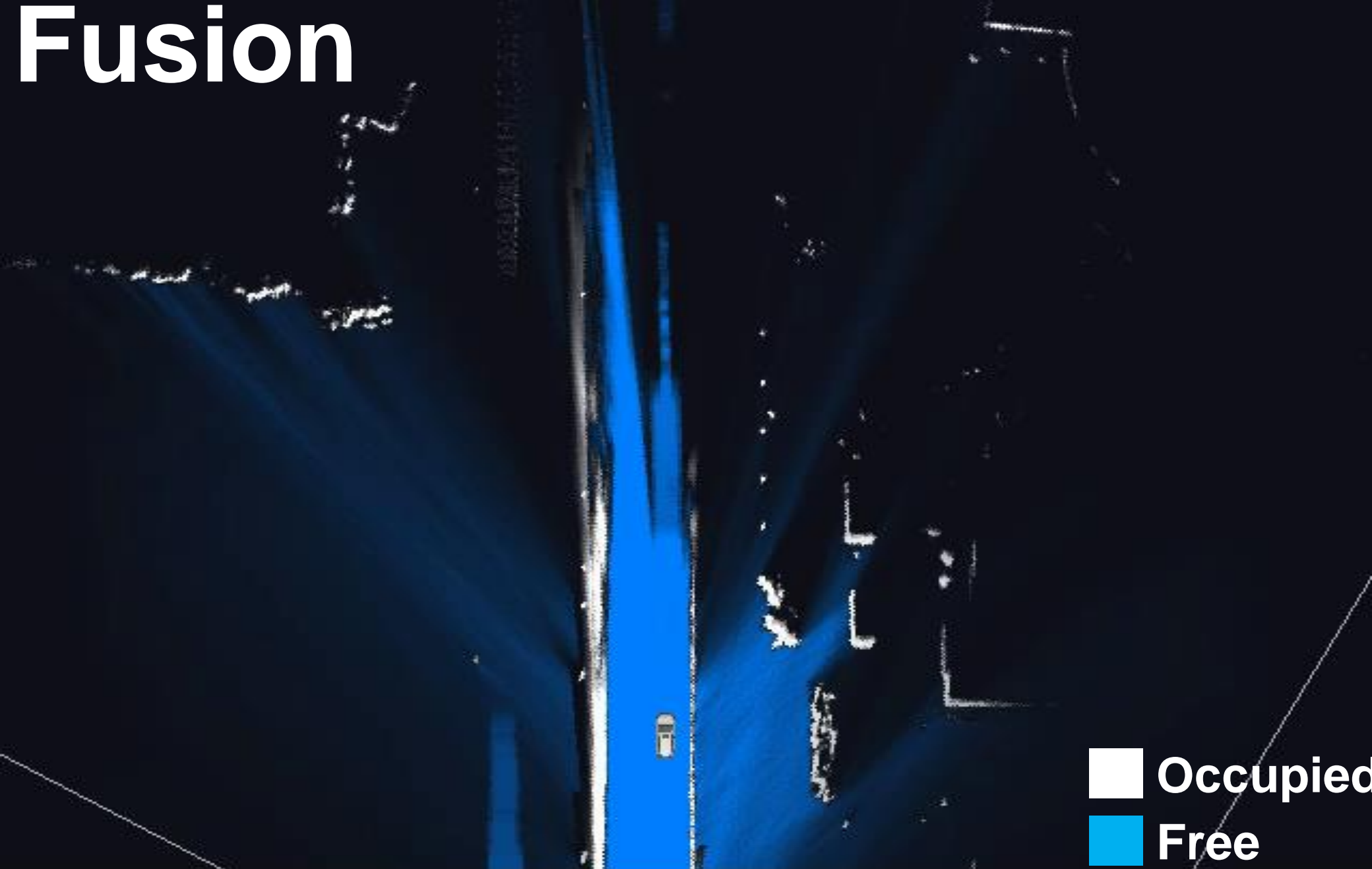
YawRate: -0.35 deg/s

AccX

# Tracked Objects



# Fusion



EgoData: 9.7 ms  
Speed: 11.42 m/s (41.11 km/h)

YawRate: -0.43 deg/s

AccX

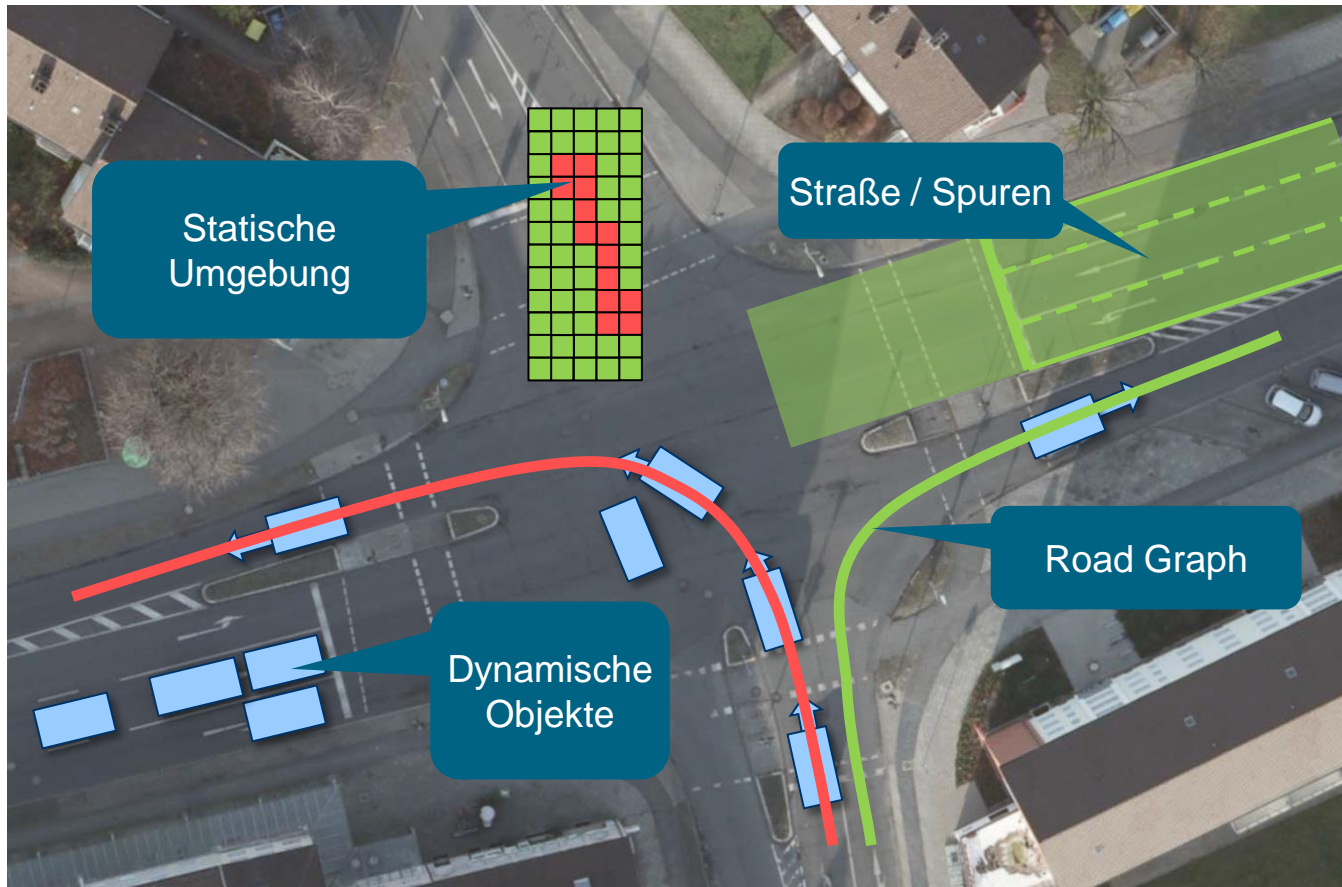
## AGENDA

### WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

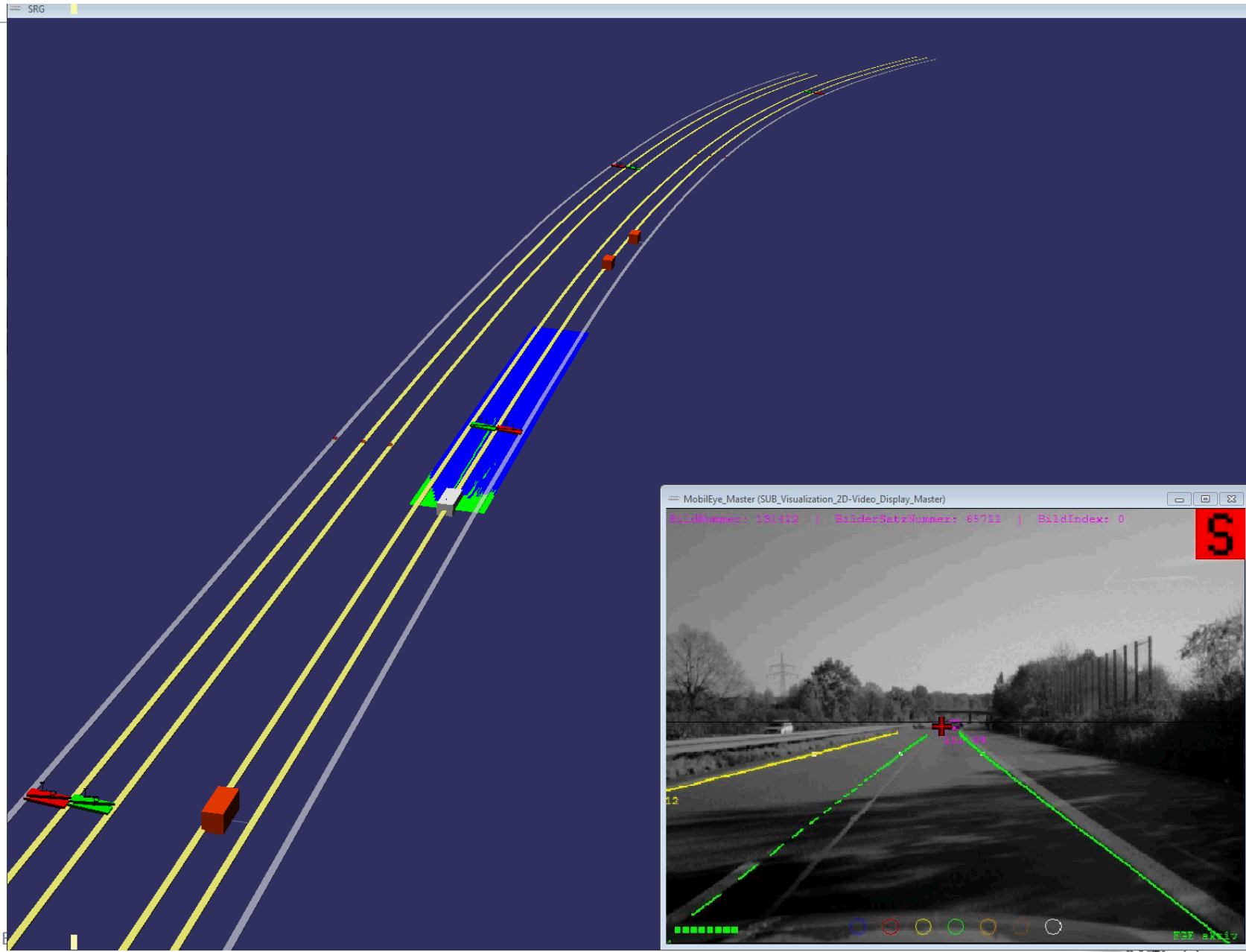
1. Sicher und komfortabel fahren
2. Wie gut fährt der Mensch?
3. Was muss das AF Fahrzeug können?
4. Sehen
5. Verstehen
6. Handeln
7. Wie gut ist gut genug?
8. Was will PEGASUS?

# WELTMODELL

## Darstellung der Welt um das Fahrzeug herum



## BEISPIEL AUF EINER AUTOBAHN



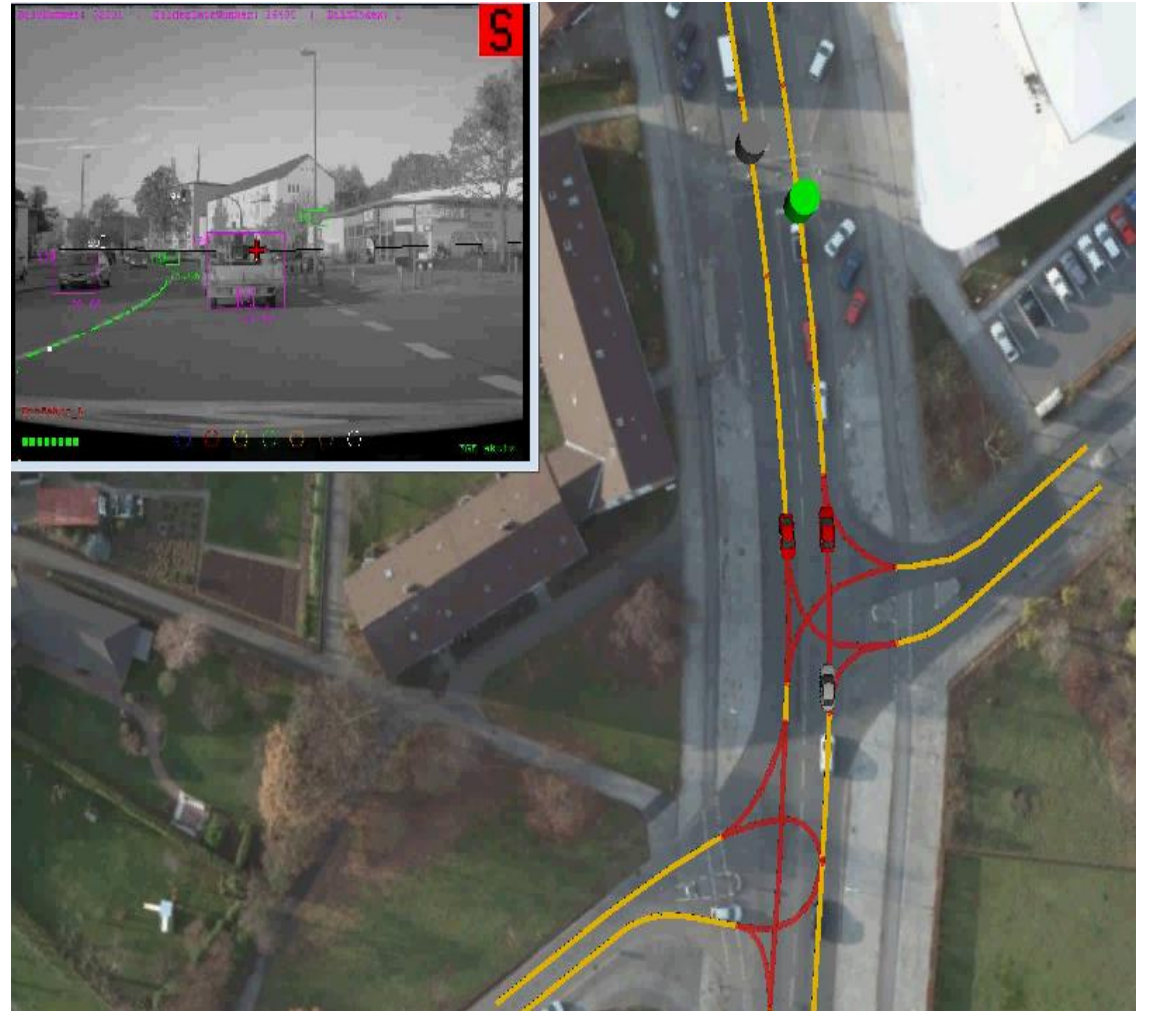
# ROADGRAPH UND SZENENINTERPRETATION

## RoadGraph

- Roadgraph stellt Kontextwissen (Fahrstreifen-netz) bereit
- Ausgangsdaten der übrigen Umfeldwahrnehmung werden integriert und in Bezug zum Kontext gesetzt
- Roadgraph ist die Haupt-Schnittstelle zwischen Umfeldwahrnehmung und Funktion

## Herausforderungen

- Fusion von Fahrbahnfusionsdaten mit Kontextwissen in eine einheitliche, konsistente und vollständige Sicht
- Szeneninterpretation im innerstädtischen Bereich, insb. in komplexen Kreuzungen (Modellerweiterungen, Algorithmen)
- Umgang mit Verkehrsteilnehmern, die sich nicht „kontextkonform“ verhalten

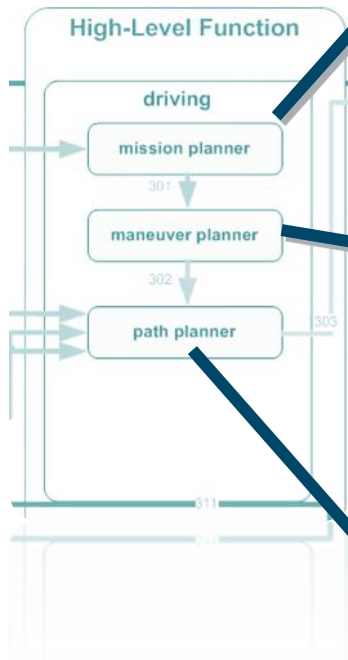


## AGENDA

### WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

1. Sicher und komfortabel fahren
2. Wie gut fährt der Mensch?
3. Was muss das AF Fahrzeug können?
4. Sehen
5. Verstehen
6. Handeln
7. Wie gut ist gut genug?
8. Was will PEGASUS?

## HANDLUNGSEBENEN



strategisch

taktisch

operativ

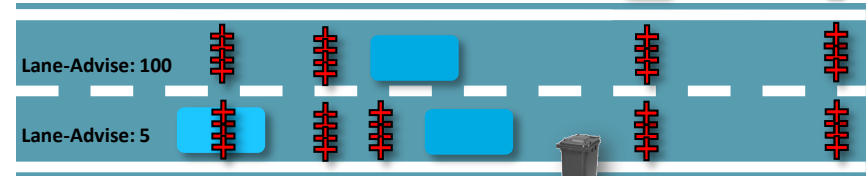
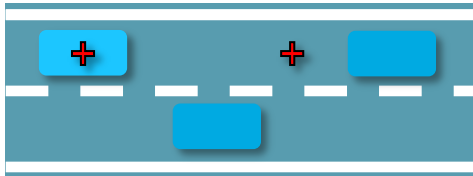
### Mission (1-10Hz)

- Fahrstreifengenaue Navigation
- Bewertung der „Vorteilhaftigkeit“ eines Fahrstreifens



### Manöver (10-20Hz)

- Reaktion auf dynamisches Umfeld (ACC, FSW, Kooperatives Fahren, ...)
- Einhalten von Verkehrsregeln (Schilder, Geschwindigkeit, ...)
- Wichtig: Konsistenz, Beständigkeit, Transparenz & Skalierbarkeit



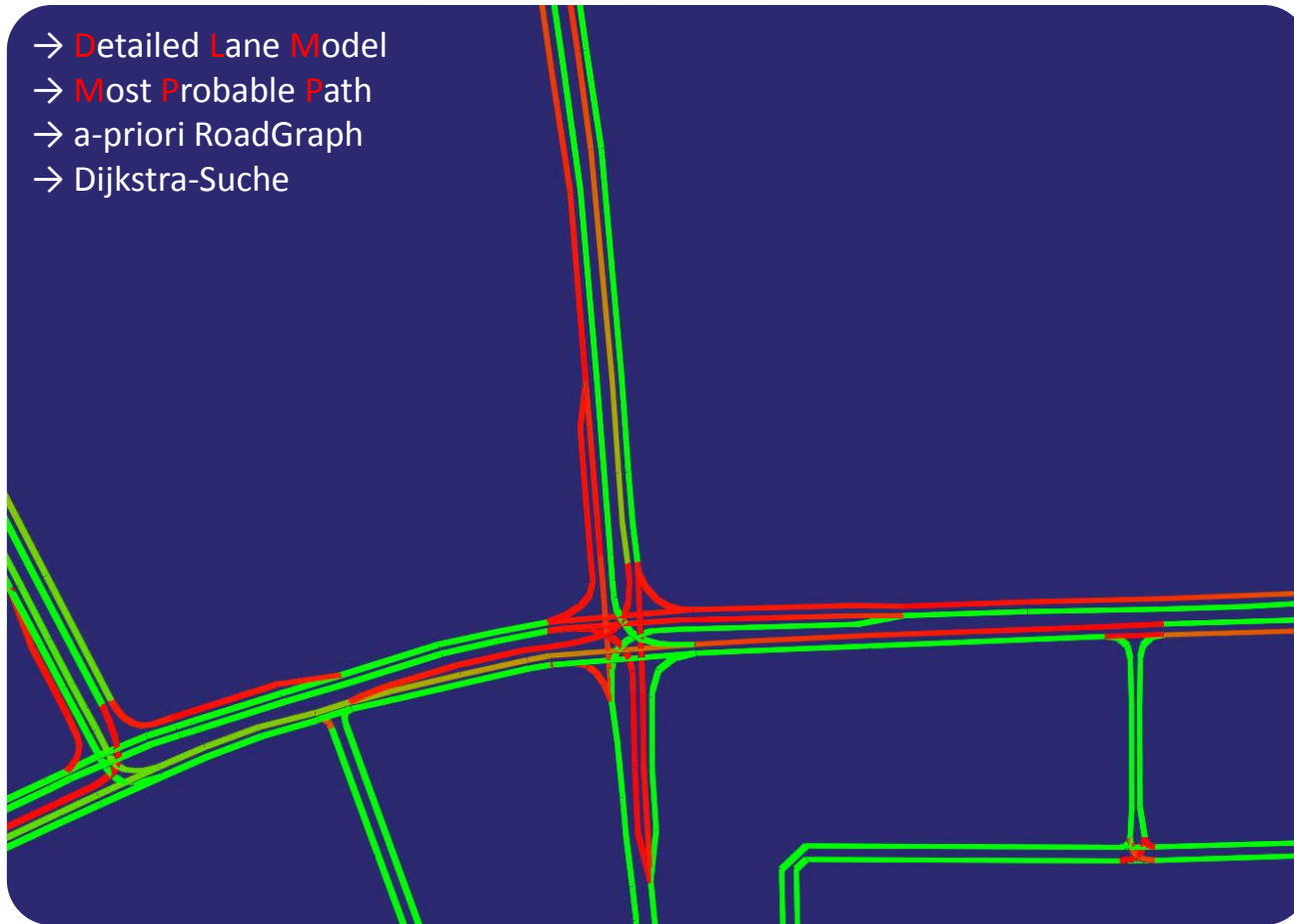
### Bahnplanung (20-50Hz)

- Transparente Auswahl aus Manöverzielpunkten
- Gewährleistung „Kollisionsfreiheit“
- Gewährleistung „Physikalische Erreichbarkeit“
- „Wie komme ich zum Zielpunkt?“ = Fahrerpräferenzen



## FAHRSTREIFENWECHSEL

- Detailed Lane Model
- Most Probable Path
- a-priori RoadGraph
- Dijkstra-Suche



grün: vorteilhaft

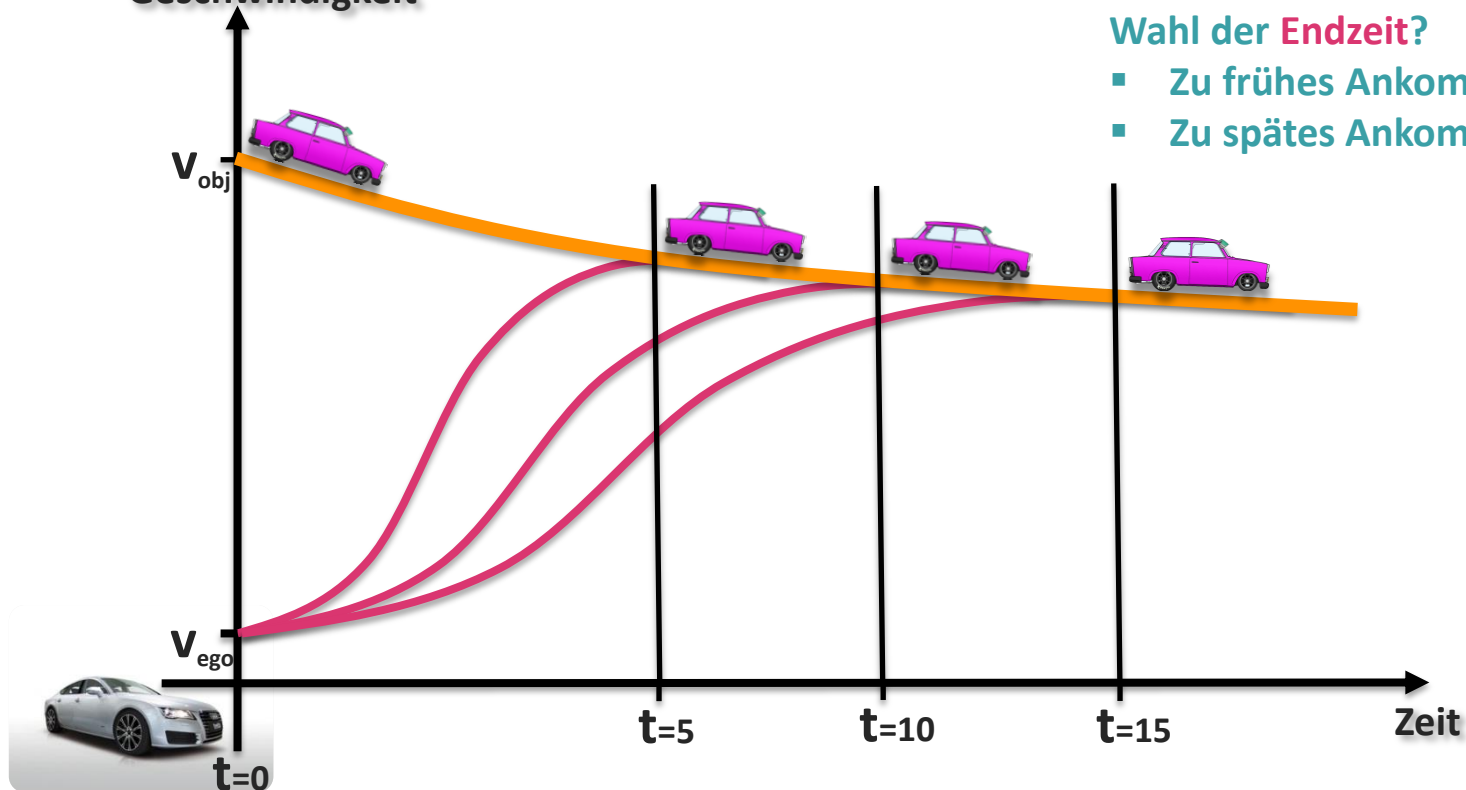
rot: meiden

# WAHL DES ENZZUSTANDES & DER ENDZEIT IN DER BAHNPLANUNG

Wahl des **Endzustandes** eindeutig:

- Wunschgeschwindigkeit  $(?, v_{\text{wunsch}}, 0), (0, 0, 0)$
- FSW mit Wunschgeschwindigkeit  $(?, v_{\text{wunsch}}, 0), (3.6, 0, 0)$
- Folgefahrt hinter Auto  $(s_{\text{obj}}(t), v_{\text{obj}}(t), a_{\text{obj}}(t)), (0, 0, 0)$

Geschwindigkeit



Wahl der **Endzeit?**

- Zu frühes Ankommen = unkomfortabel
- Zu spätes Ankommen = träge, störend

## AGENDA

### WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

1. Sicher und komfortabel fahren
2. Wie gut fährt der Mensch?
3. Was muss das AF Fahrzeug können?
4. Sehen
5. Verstehen
6. Handeln
7. Wie gut ist gut genug?
8. Was will PEGASUS?

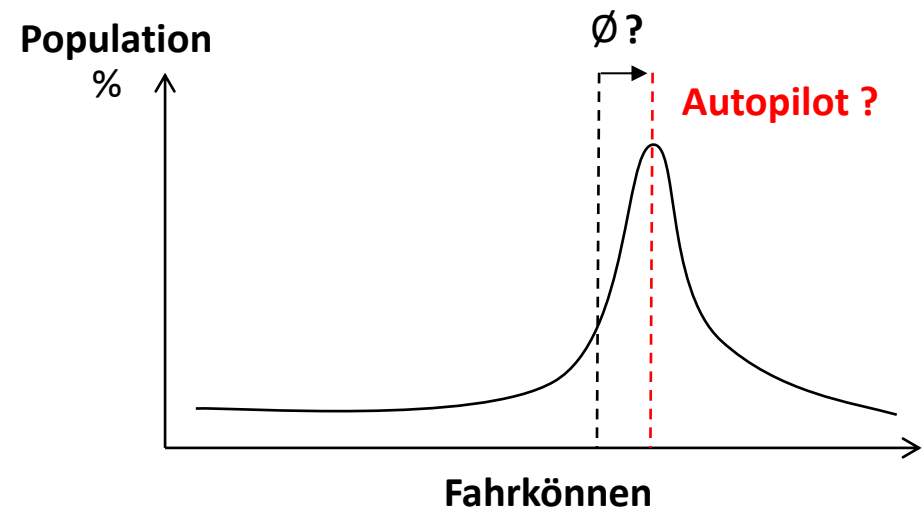
# TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN – WIE GUT IST GUT GENUG?

FÖRDERPROJEKT PEGASUS UNTER DER SCHIRMHERRSCHAFT DES VDA

## Kernfragen:

- Welche funktionale Leistungsfähigkeit müssen automatische Fahrfunktionen aufweisen?
- Wie kann die Vollständigkeit der relevanten Testfälle sichergestellt werden?
- Welche Testfälle können in der Simulation geprüft werden, welcher auf der Straße?
- Welche Gütekriterien, Werkzeuge, Methoden u. Prozesse sind erforderlich?

## Wie gut muss ein automatisches Fahrzeug fahren?



## AGENDA

### WAS MÜSSEN AUTOMATISCH FAHRENDE FAHRZEUGE IM STRAßENVERKEHR LEISTEN?

1. Sicher und komfortabel fahren
2. Wie gut fährt der Mensch?
3. Was muss das AF Fahrzeug können?
4. Sehen
5. Verstehen
6. Handeln
7. Wie gut ist gut genug?
8. Was will PEGASUS?

## AKTUELLER ENTWICKLUNGSSTAND BEIM HOCHAUTOMATISCHEN FAHREN

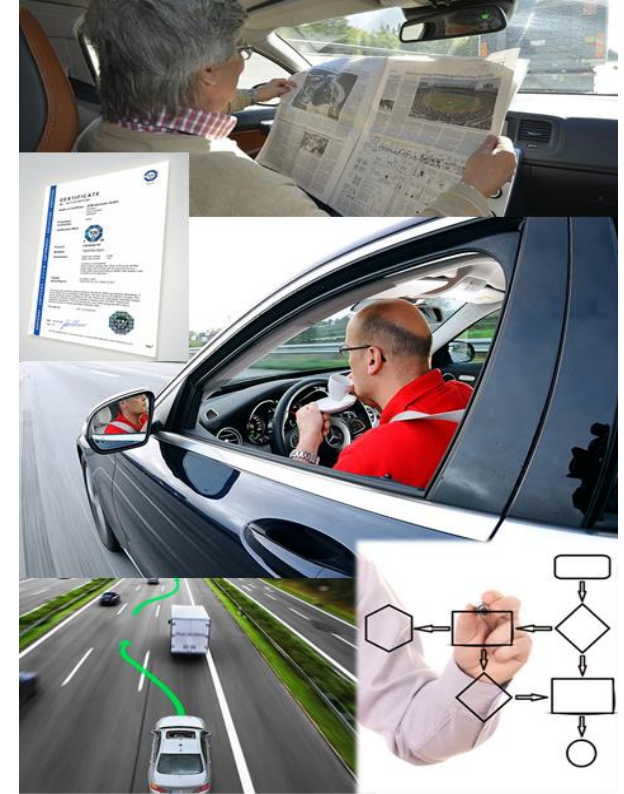
### Prototypen



### Labor / Testgelände



### Produkte



### Stand heute

# AKTUELLER ENTWICKLUNGSSTAND BEIM HOCHAUTOMATISCHEN FAHREN

## Prototypen

- Vielzahl von Prototypen durch OEM mit HAF-Funktionalität aufgebaut
- Beweis, dass HAF technologisch möglich ist
- Ausschnittsweise im Realverkehr erprobt
- Fahrten erfolgen stets mit einem Sicherheitsfahrer
- Erste Einzelbetrachtung von Labortests

## Labor / Testgelände

- Bestehende Methoden für Test und Freigabe von FAS sind für hochautomatische Fahrfunktionen der zweiten Generation (z.B. Autobahn-Chauffeur) zu aufwändig (Prof. Winner: > 200 Mio. Testkilometer notwendig)
- Gütekriterien (welche Leistungsfähigkeit muss eine Hochautom. Fahr-funktion aufweise) fehlen.

## Produkte

- Ohne hinreichende Absicherung, keine Freigabe bzw. Einführung hochautomatischer Fahrfunktionen der zweiten Generation

Stand heute

Weiterentwicklung durch PEGASUS

## PEGASUS – FORSCHUNGSFRAGEN

- *Wie gut muß ein automatisch fahrendes Fahrzeug eigentlich fahren: Wie ein normaler, guter oder sehr guter Fahrer?*
- *Wie weisen wir nach, das es das auch tut ?*
- *Diese Fragen will das Projekt zuerst am Beispiel AutobahnpiLOT klären und nach erfolgreicher Erarbeitung der Kriterien und Methoden zum Abschluß an einer komplexeren Funktion validieren.*

### TP 0 Projektmanagement

#### TP 1

- *Wie ist die menschliche Leistungsfähigkeit im Anwendungsfall?*
- *Wie die maschinelle?*
- *Ist diese ausreichend? (gesellschaftliche Akzeptanz)*
- *Welche Gütekriterien lassen sich hieraus ableiten?*

#### TP 2

- *Welche Werkzeuge, Methoden und Prozesse sind erforderlich?*
- Prozessmethodik
- Prozessspezifikation

Adam Opel AG

#### TP 3

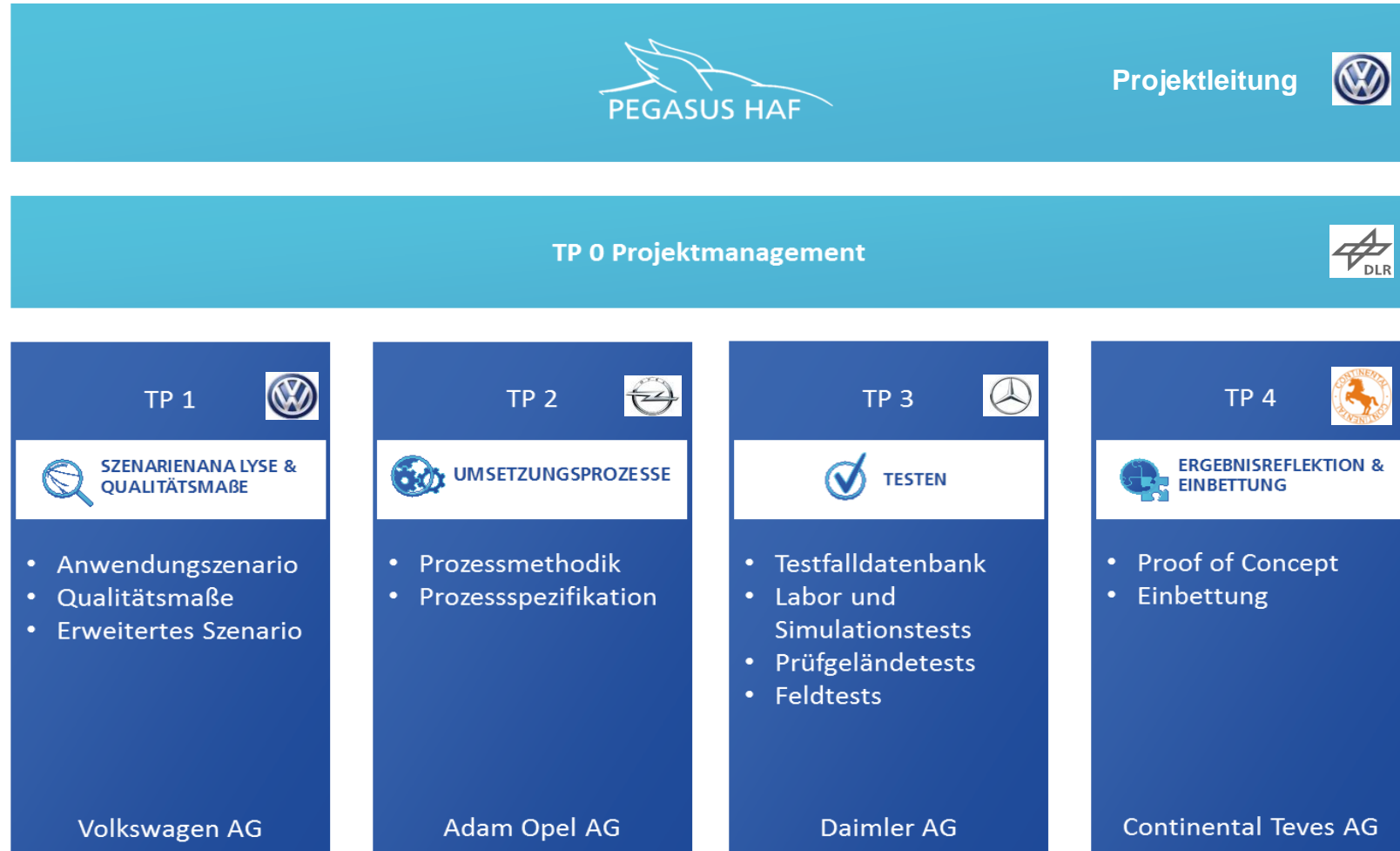
- *Wie kann die Vollständigkeit der relevanten Testfälle sichergestellt werden?*
- *Gut/Schlecht Kriterien für diese Testfälle? (aus Gütekriterien)*
- *Welcher Teil dieser Testfälle kann in der Simulation geprüft werden, welcher auf der Straße?*

#### TP 4

- *Trägt das Konzept?*
- Proof of Concept
- Einbettung

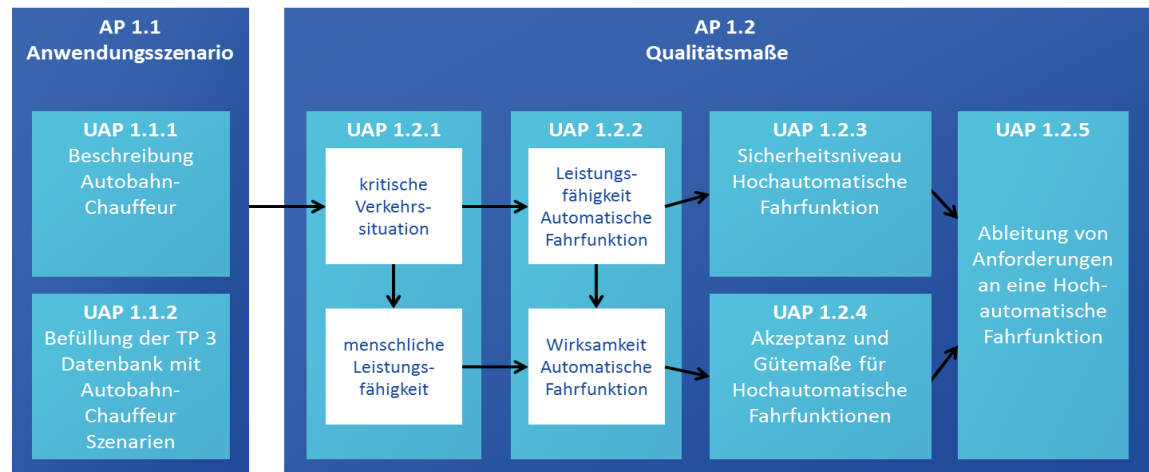
Continental Teves AG

## PEGASUS – PROJEKTSTRUKTUR



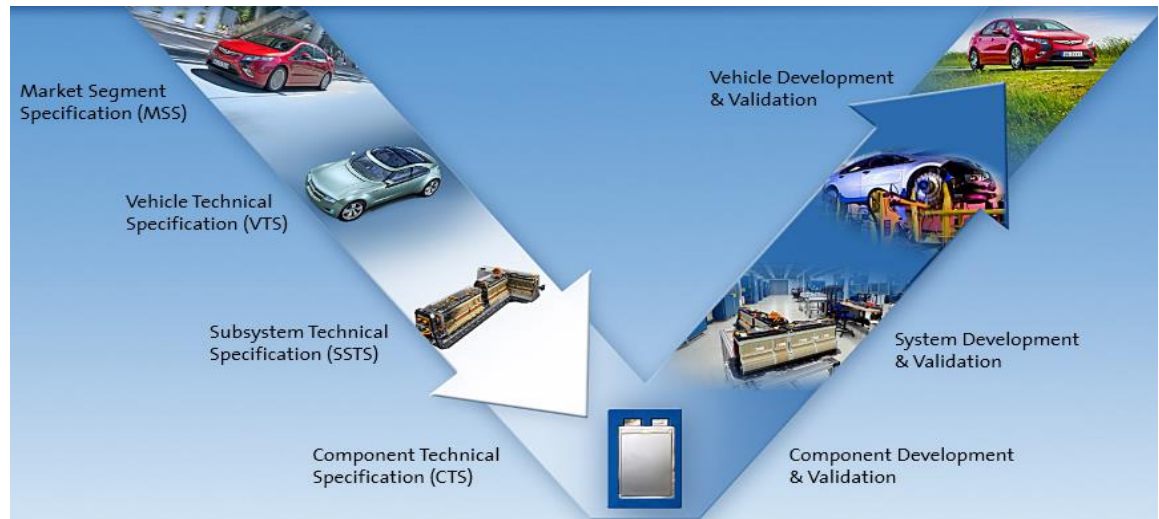
## TP 1 SZENARIENANALYSE UND QUALITÄTSMASSE

- Beschreibung des Anwendungs- und Einföhrungsszenarios Autobahn-Chauffeur in seiner Grundfunktion
- Ermittlung kritischer Verkehrssituationen, menschlicher Leistungsfähigkeit sowie Wirksamkeit (Unfallvermeidungspotential)
- Ermittlung des Sicherheitsniveaus des Autobahn-Chauffeur durch eine Bewertung von Auftretenswahrscheinlichkeit und maschineller Beherrschbarkeit der kritischen Situationen
- Herleiten eines gesellschaftlich akzeptierten Gütemasses für automatische Fahrfunktionen
- Ableiten von Anforderungen an den Autobahn-Chauffeur aus dem gesellschaftlich akzeptierten Gütemass
- AP 1.3 und AP 1.4 gleiches Vorgehen zur Erweiterung des Fahrsituationskatalogs und der entsprechenden Qualitätsmass



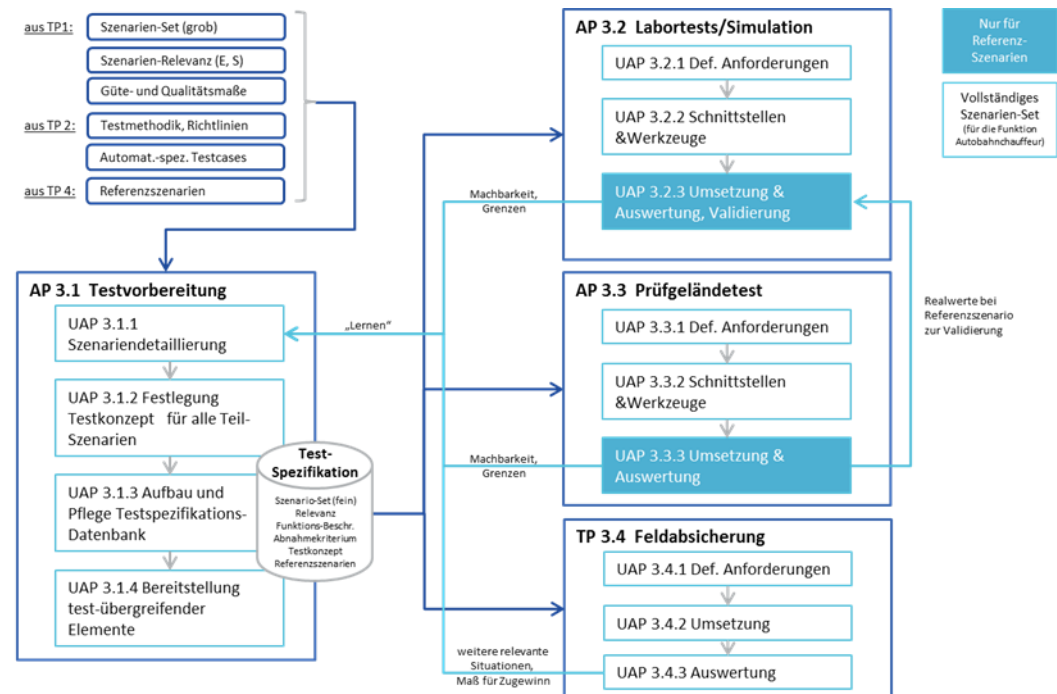
## TP 2 UMSETZUNGSPROZESSE

- Analyse des Modifikationsbedarfs vorhandener Metriken und Prozesse bei der Automobil-Serienentwicklung, besonders während der frühen Phase des V-Modells.
- Überführung der systematischen Szenario-Leitlinien in Prozessschritte unter Berücksichtigung von System-Klassifikation und Fahrzeugnutzungsstufen bei HAF-Funktionen.
- Überführung der Rahmenbedingungen zur Referenzwertdefinition in Prozessschritte
- Vorbereitung der Anforderungsdefinition für Fahrer, Labortests, Prüfgelände und Feldabsicherung
- Verfeinerung der Guidelines für notwendige Dokumentationen der Prozessschritte
- Richtlinien und Vorlagen zur Dokumentation der Einhaltung des technischen State-of-the-Art beim Entwicklungsprozess von hochautomatisierten Fahrfunktion



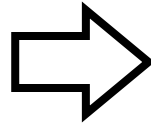
## TP 3 TESTEN

- Detaillierung und Vervollständigung der Testszenarien aus TP 1, inklusive technischer Güte- und Qualitätsmaße sowie Abnahmekriterien
- Aufbau und Füllung der Testspezifikations-Datenbank mit Testspezifikationen für den Nachweis der hinreichend sicheren Realisierung hochautomatisierter Fahrfunktionen
- Festlegung und Überprüfung von Testmethoden, Schnittstellen, Werkzeugen im Labor, auf dem Prüfgelände und im Realverkehr
- Erstellung und Abstimmung industrieweit etablierter Modelle, Werkzeuge und Schnittstellen für die Simulation
- Zusammenstellung des Testkatalogs und Anforderungen für Labor, Prüfgelände und Feldabsicherung
- Aufbau von Referenzelementen zur praktischen Erprobung und Funktionsdemonstration
- Erprobung im Labor, Prüfgelände und auf der Straße



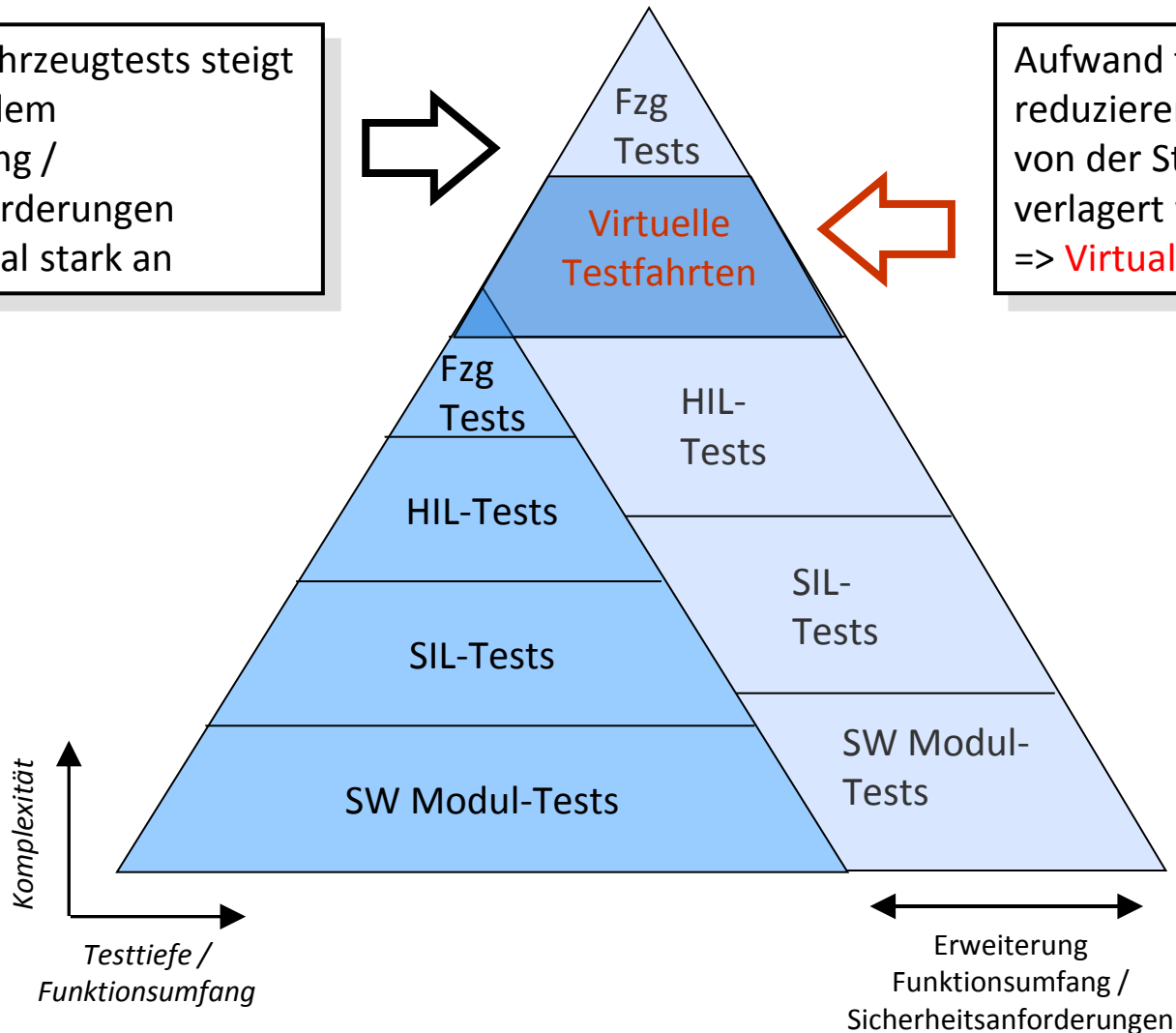
# TESTTIEFE UND KOMPLEXITÄT

Aufwand für Fahrzeugtests steigt mit zunehmendem Funktionsumfang / Sicherheitsanforderungen überproportional stark an

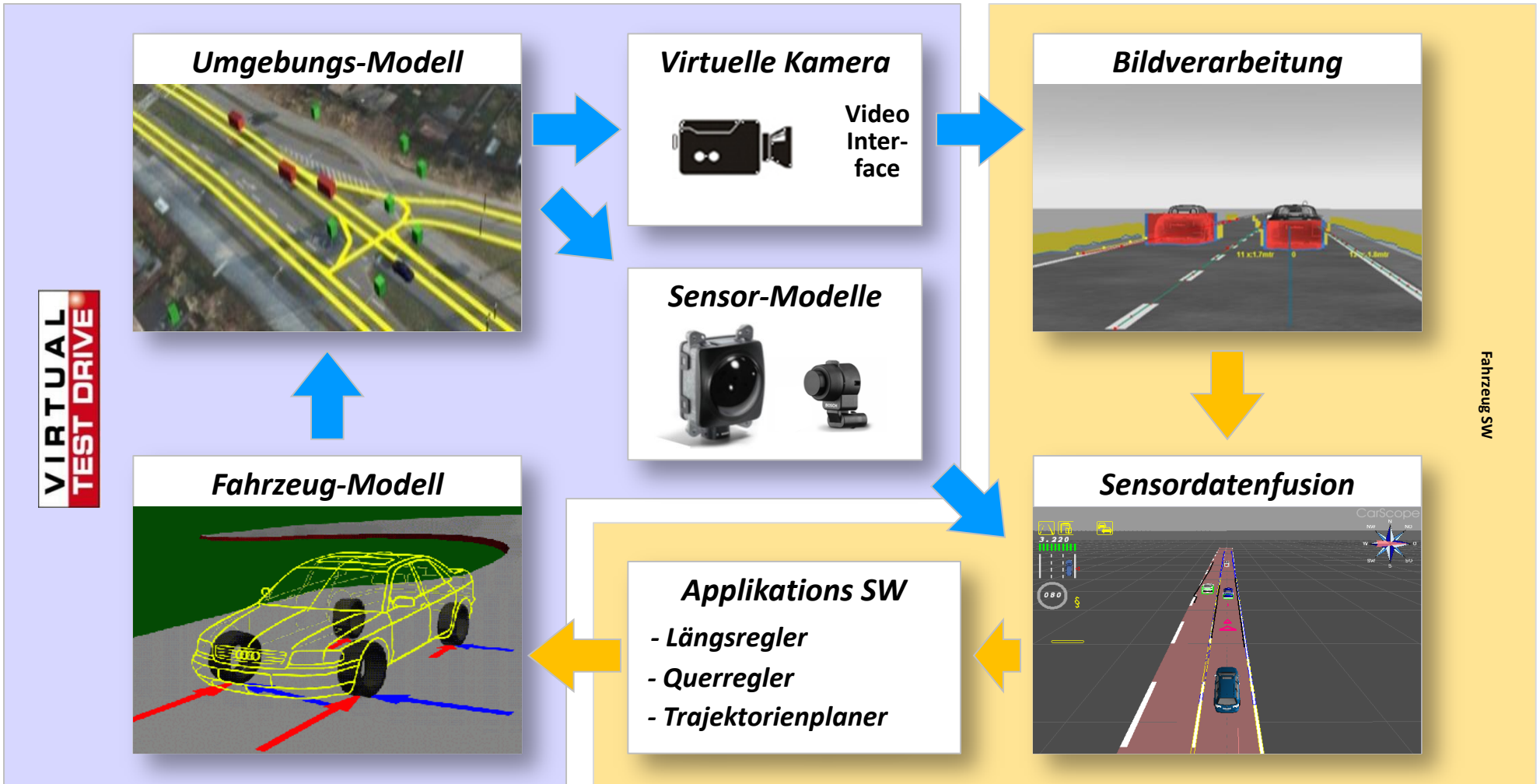


Aufwand für Fahrzeugtests reduzieren, indem Tests teilweise von der Straße in die Simulation verlagert werden.

=> **Virtual Test Drive**



# SIMULATION VIA VIRTUAL TEST DRIVE



## TP 4 ERGEBNISREFLEKTION UND EINBETTUNG

- Verifikation der Methodik zur Identifizierung von relevanten Situationen, Güte- und Kritikalitätsmaßen für die Absicherung von HAF-Funktionalitäten
- Bewertung, ob das Testziel mit den in PEGASUS angewendeten Prozessen und Methoden erreicht werden kann
- Aussage über das in PEGASUS erarbeitete Aufteilungsverhältnis zwischen den angewendeten Testmethodiken (Simulation zu Prüfgelände zu Feldtests)
- Proof of Concept
- Begleitung der Einbettung der erarbeiteten Ergebnisse bei den Projektpartnern
- Lessons learned zur Einführung der entstanden Ergebnisse in die bestehenden Unternehmensstrukturen



# VOLKSWAGEN

AKTIENGESELLSCHAFT

TO BE CONTINUED.

PROF. DR. THOMAS FORM

LEITER ELEKTRONIK UND FAHRZEUGFORSCHUNG – VOLKSWAGEN AG