

Vorlesungsreihe 2017: Künstliche Intelligenz für den Menschen: Digitalisierung mit Verstand

Mainz, 16. Mai 2017



Autonome Systeme: Grundlagen für das selbstfahrende Auto

Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult.

Wolfgang Wahlster



Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH

Saarbrücken/Kaiserslautern/Bremen/Berlin/Osnabrück

Tel.: (0681) 85775-5252

E-mail: wahlster@dfki.de

www.dfki.de/~wahlster

Fahrerassistenzsysteme bieten immer mehr Funktionen an

1983

7

Funktionen

2010

38

Funktionen

2015

61

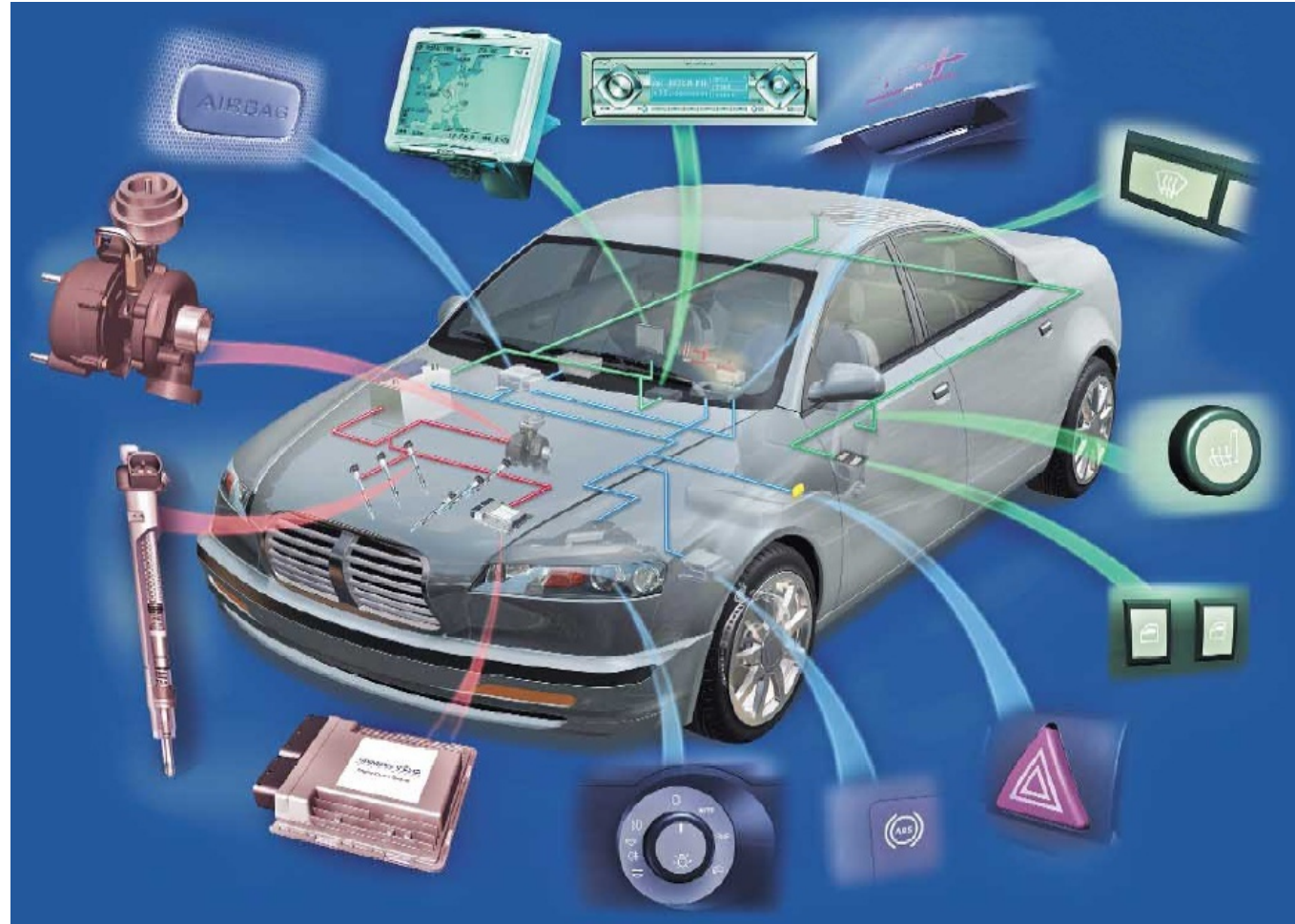
Funktionen



Beispiele für Fahrerassistenzfunktionen

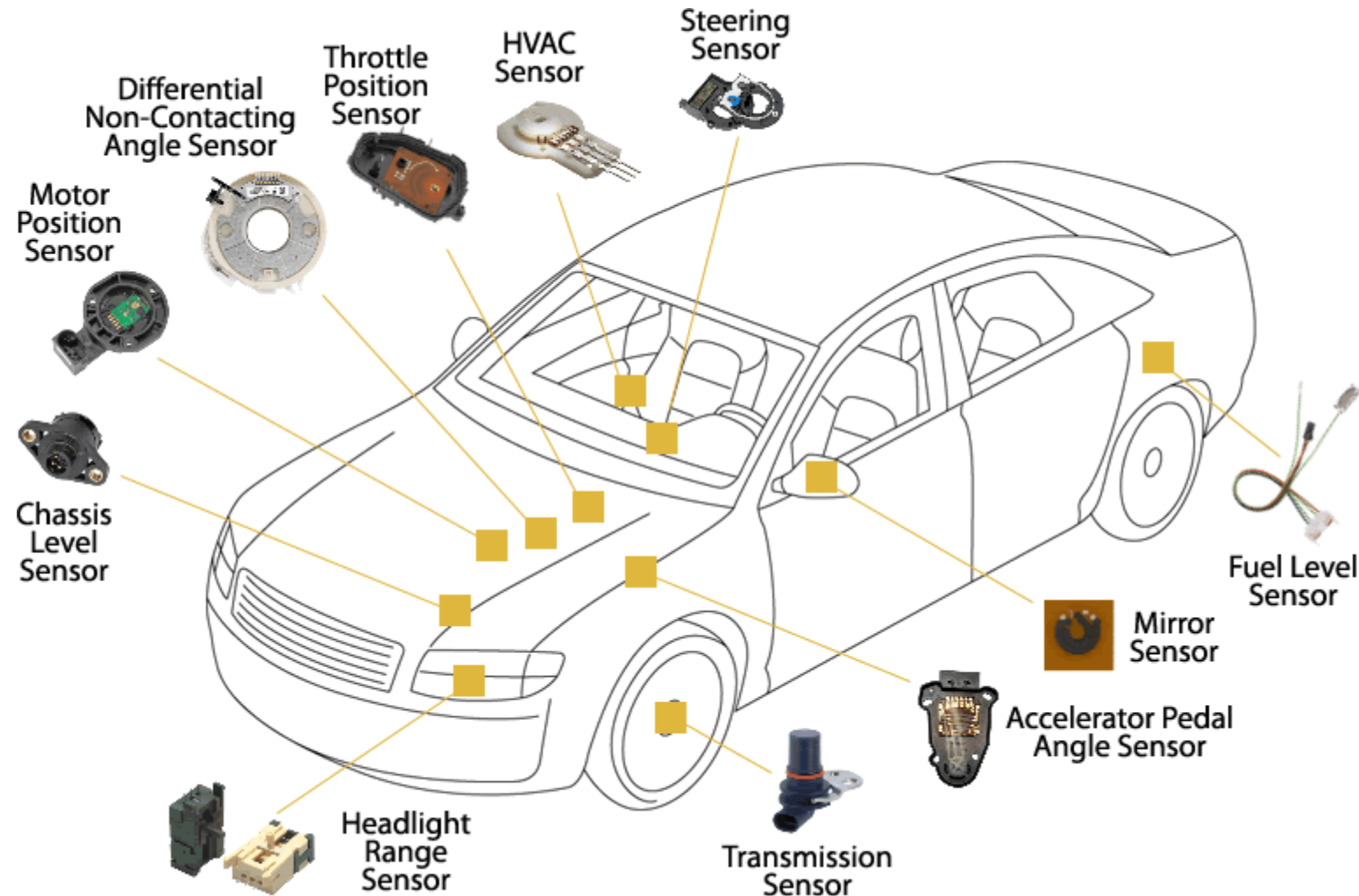


Das Auto als fahrender Computer

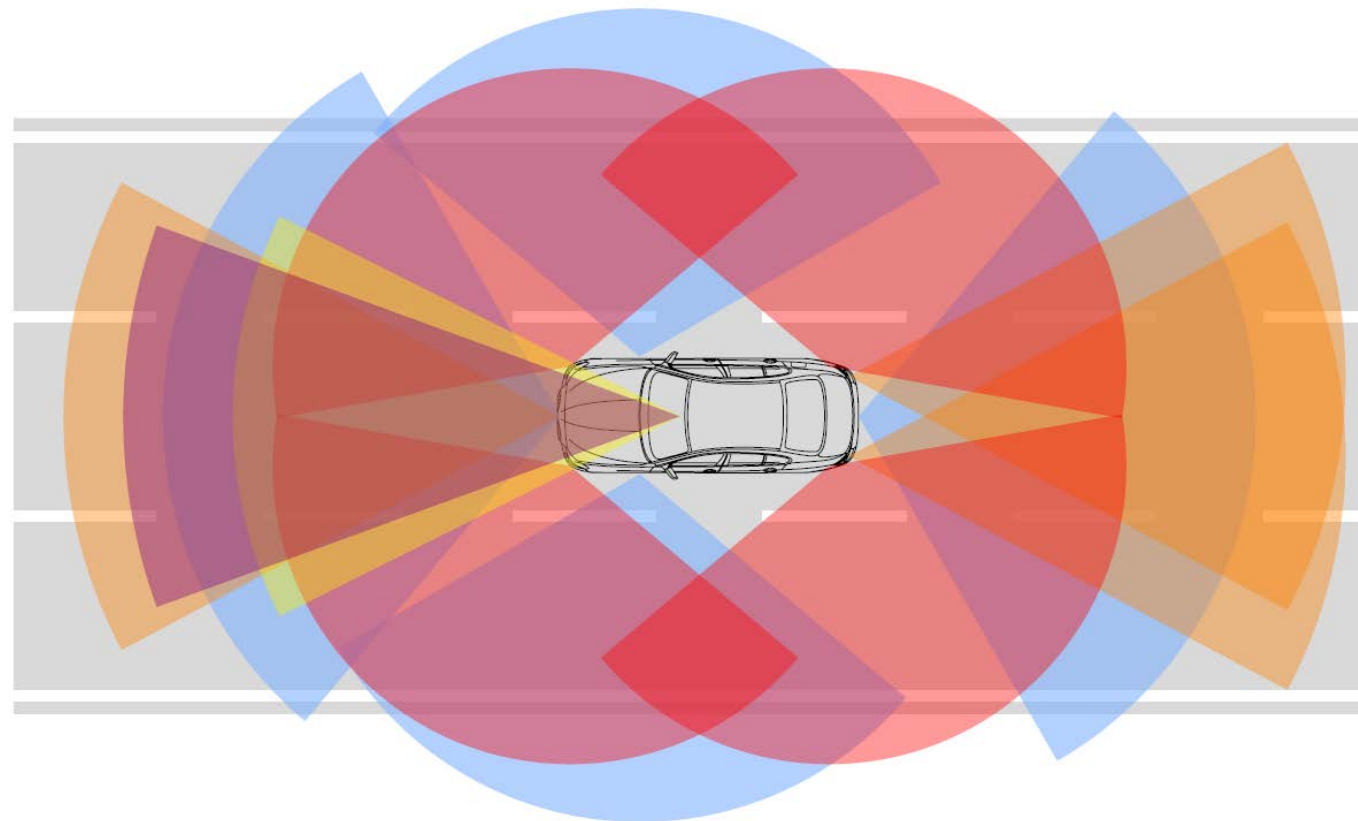


Software steuert immer mehr Funktionen im Auto. Mehr als 100 Kleincomputer in einem Fahrzeug. Ein Software-Update wird zukünftig öfters vorkommen als ein Ölwechsel

Das Auto als intelligente Umgebung: Mehr als 200 Sensoren und Aktuatoren in modernen Fahrzeugen



Autos werden immer stärker mit Umgebungs- sensoren aufgerüstet



 Radar
mit großer Reichweite

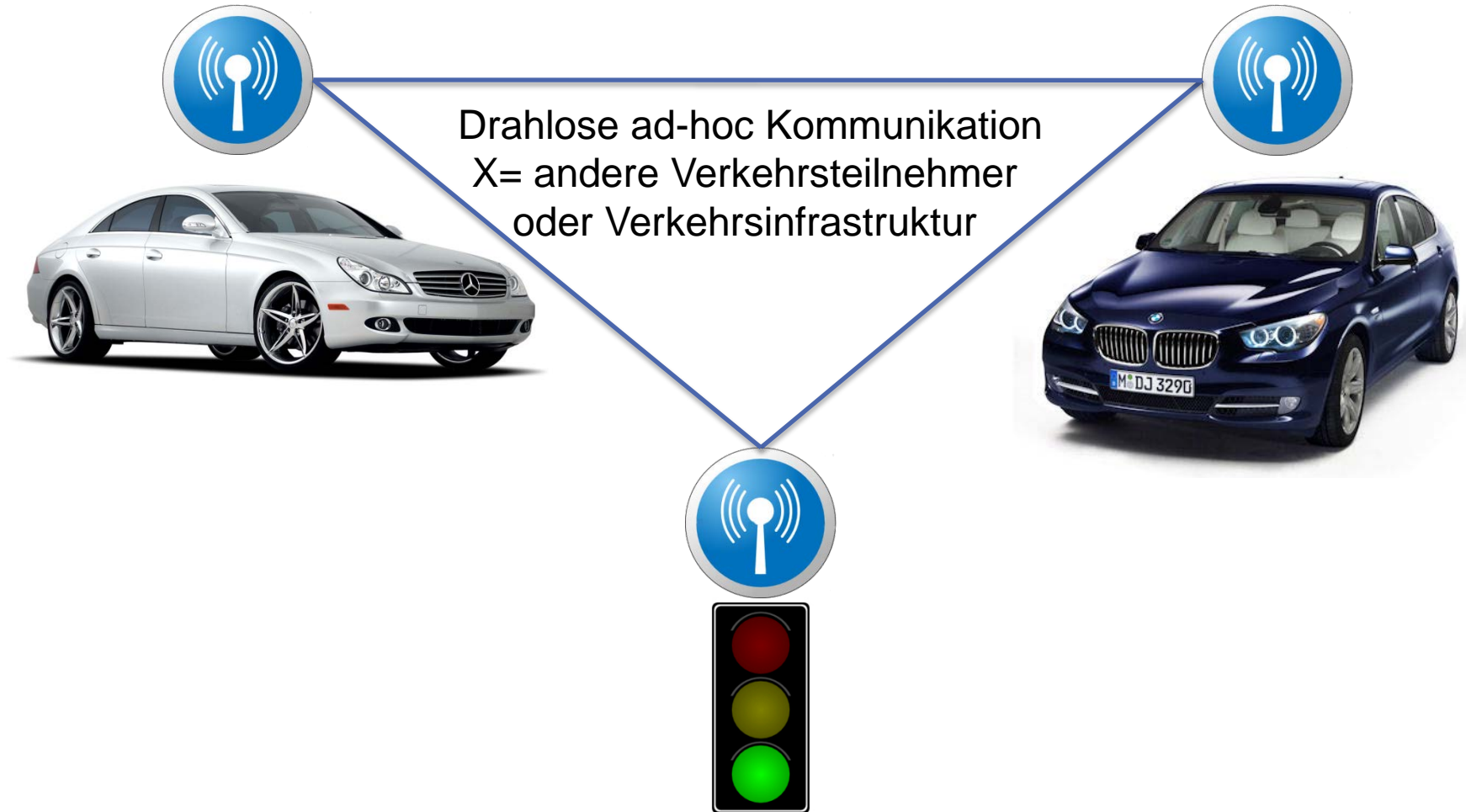
 Laserscanner

 Kamera

 Stereo-
kamera

 Radar und Ultraschall
mit kurzer Reichweite

Dezentrale Car2X-Kommunikation



Car2X-basierte Fahrerassistenzsysteme transformieren das Fahrzeug in eine intelligente Umgebung

Bremsassistent



Kreuzungsassistent



Engstellenassistent



Notfallassistent



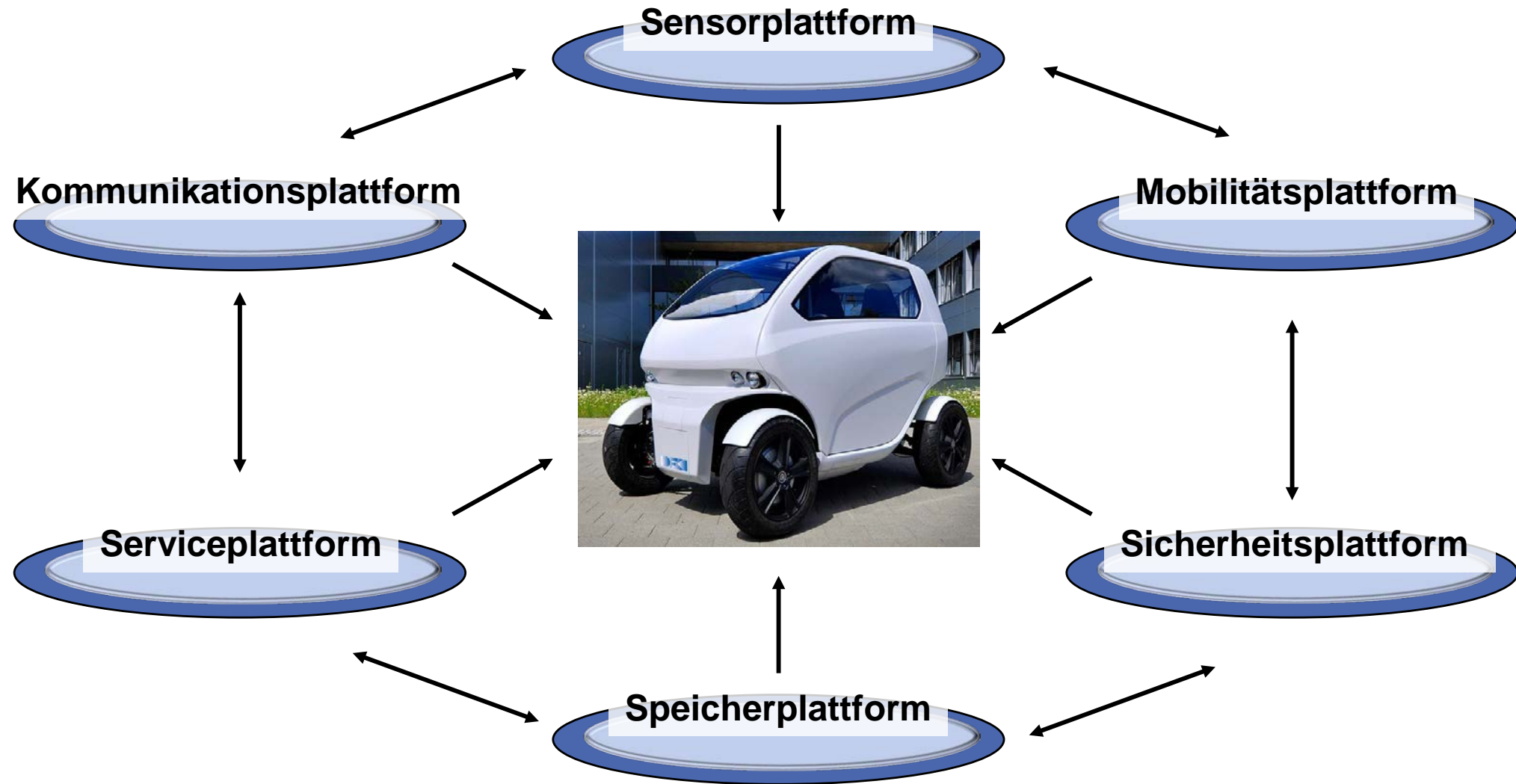
Geisterfahrerassistent



Garagenassistent

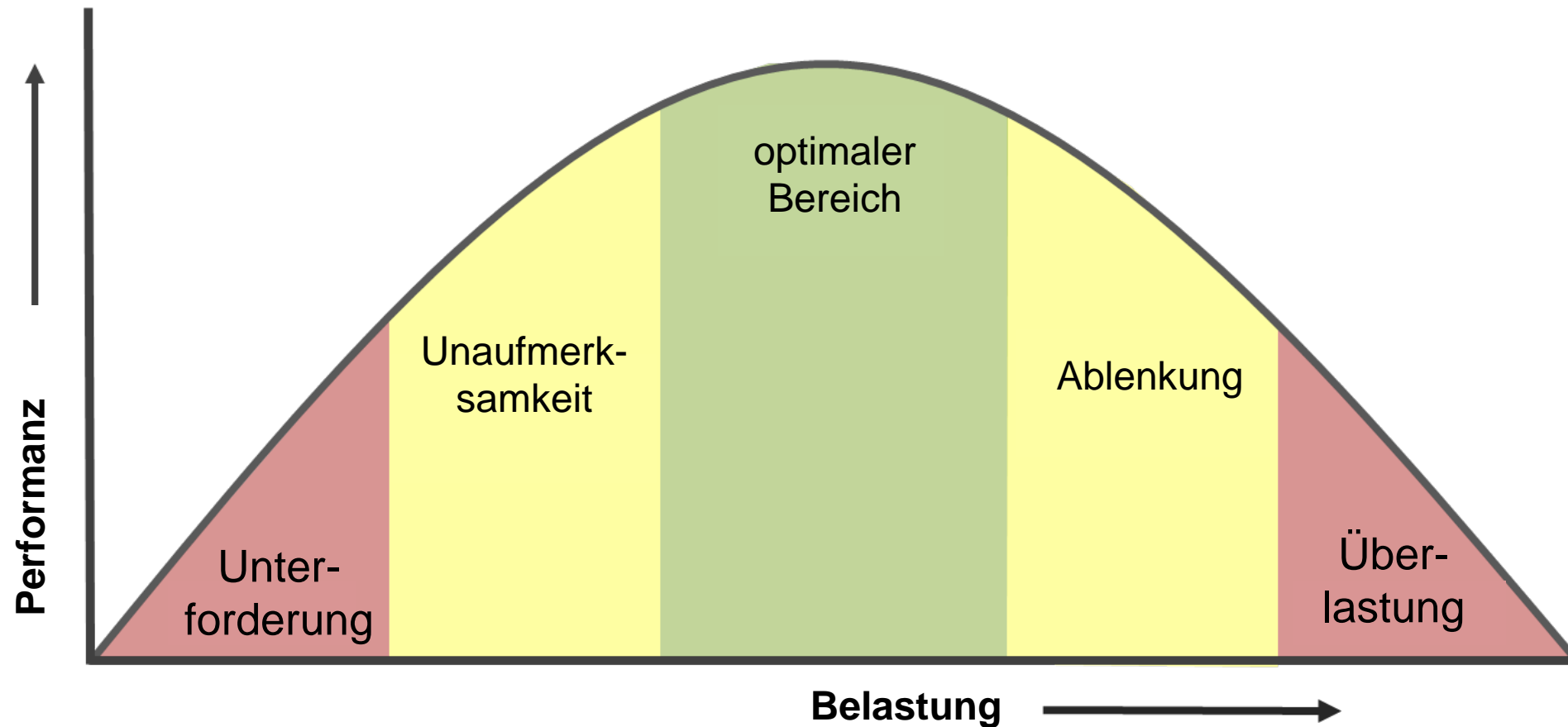


Das Auto in der datengetriebenen Plattformökonomie



Relevanz der aktuellen kognitiven Belastung des Fahrers in Hinblick auf das Dialogmanagement

Das Gesetz von Yerkes-Dodson



Kontextsensitive Fahrerassistenz durch nicht-intrusive Benutzermodellierung

Niedrige
kognitive
Belastung
nachdem auf
Autobahnspur
eingefädelt,
Anruf wird
signalisiert



- **Situationserkennung, Lenk- und Bremsaktionen,**
- **Messung des Hautwiderstandes und**
- **anderes Biofeedback, in Kooperation mit TR 53, RENA**

Lokale Gefahrenwarnung über Car2X-Kommunikation

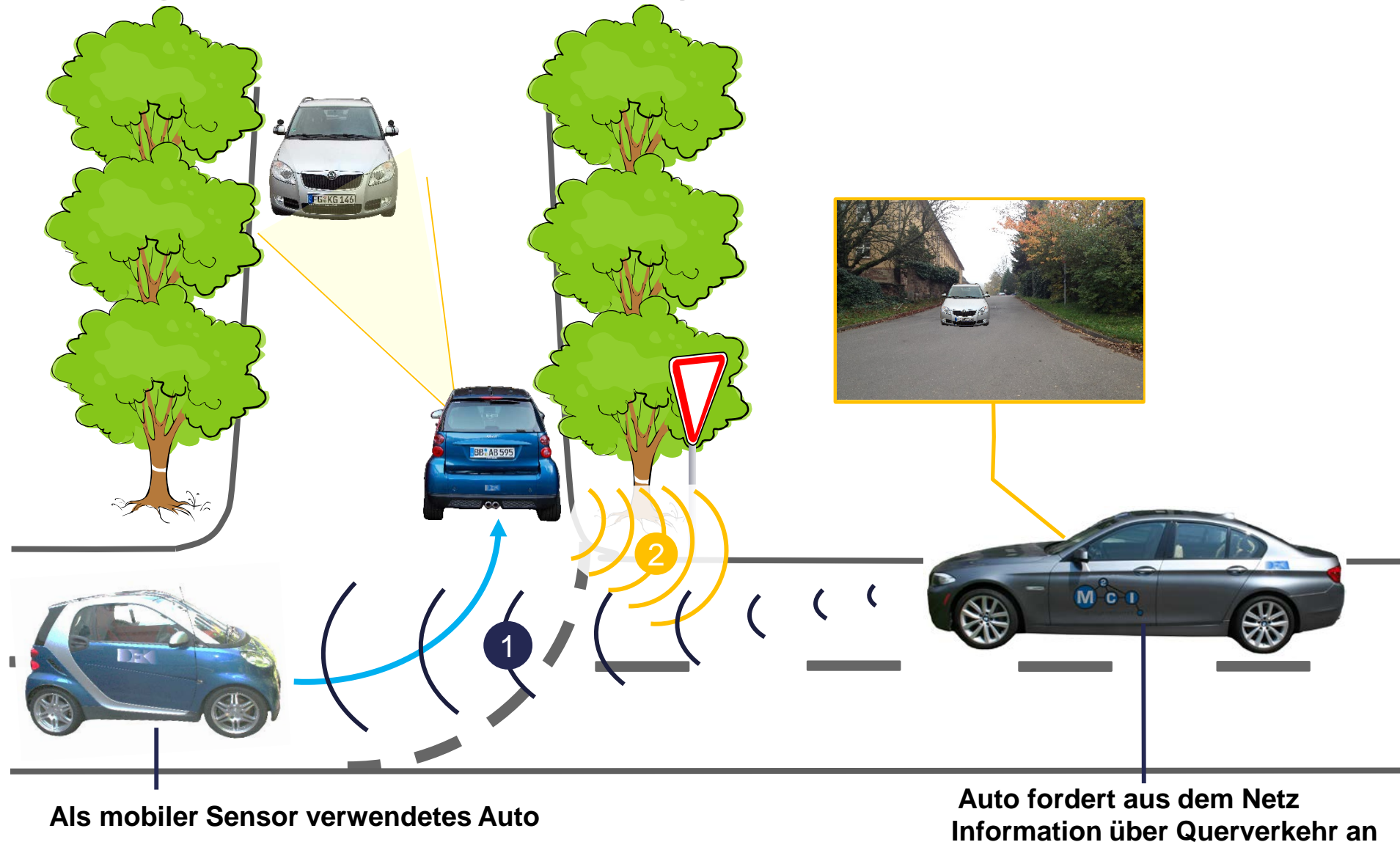


© Robert Bosch GmbH

Während der Fahrsituation hat das Model zur Kognitiven Belastung Einfluß auf die Präsentationsplanung



Intelligente Kreuzungsassistenten: Andere Autos können mit Car2X als mobile Sensoren verwendet

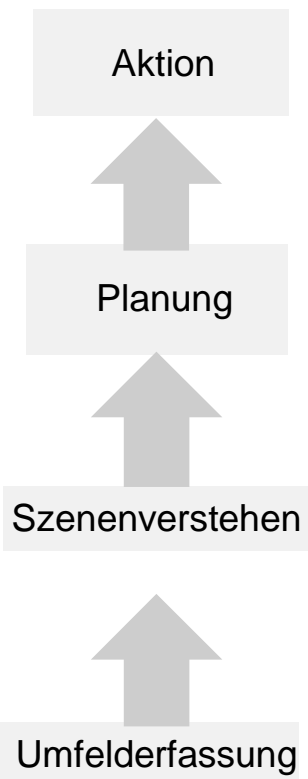
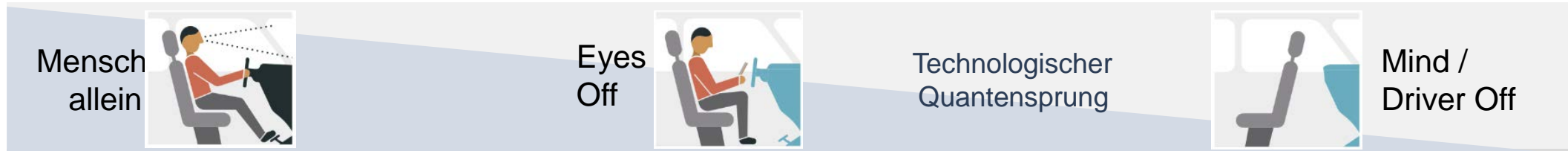


Castronovo, Sandro, Promotion 2013: The Pull Paradigm: Foundations of User-Centric Advanced Driver Assistance Systems Based on Bidirectional Car2X Communication

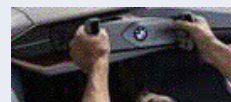
BMW-Testfahrzeug des DFKI mit Car2X



Künstliche Intelligenz ist die Basis für Autonomes Fahren



Aktion



Planung



10¹¹ Neuronen
10¹¹ Synapsen
10¹⁷ Ops / s

Szenenverstehen

+


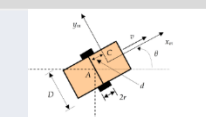


20 Jahre Erfahrung


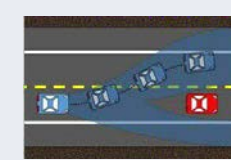
Umfelderfassung



Aktion

Planung

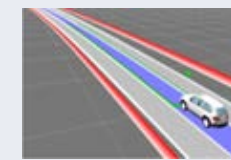



Übernahme in 7-10s (Fahrer als Fallback)

Beschränktes Set an Manövern



Szenenverstehen

Kein „vollständiger“ Ersatz für menschliche Fähigkeiten



Kein Gegenverkehr, getrennte Fahrspuren

Umfelderfassung

Aktion



Planung



Überholen bei Gegenverkehr

Kreuzungen / Mündungen

Szenenverstehen

Kein Fallback



Verdeckungen

Geparkte Fahrzeuge

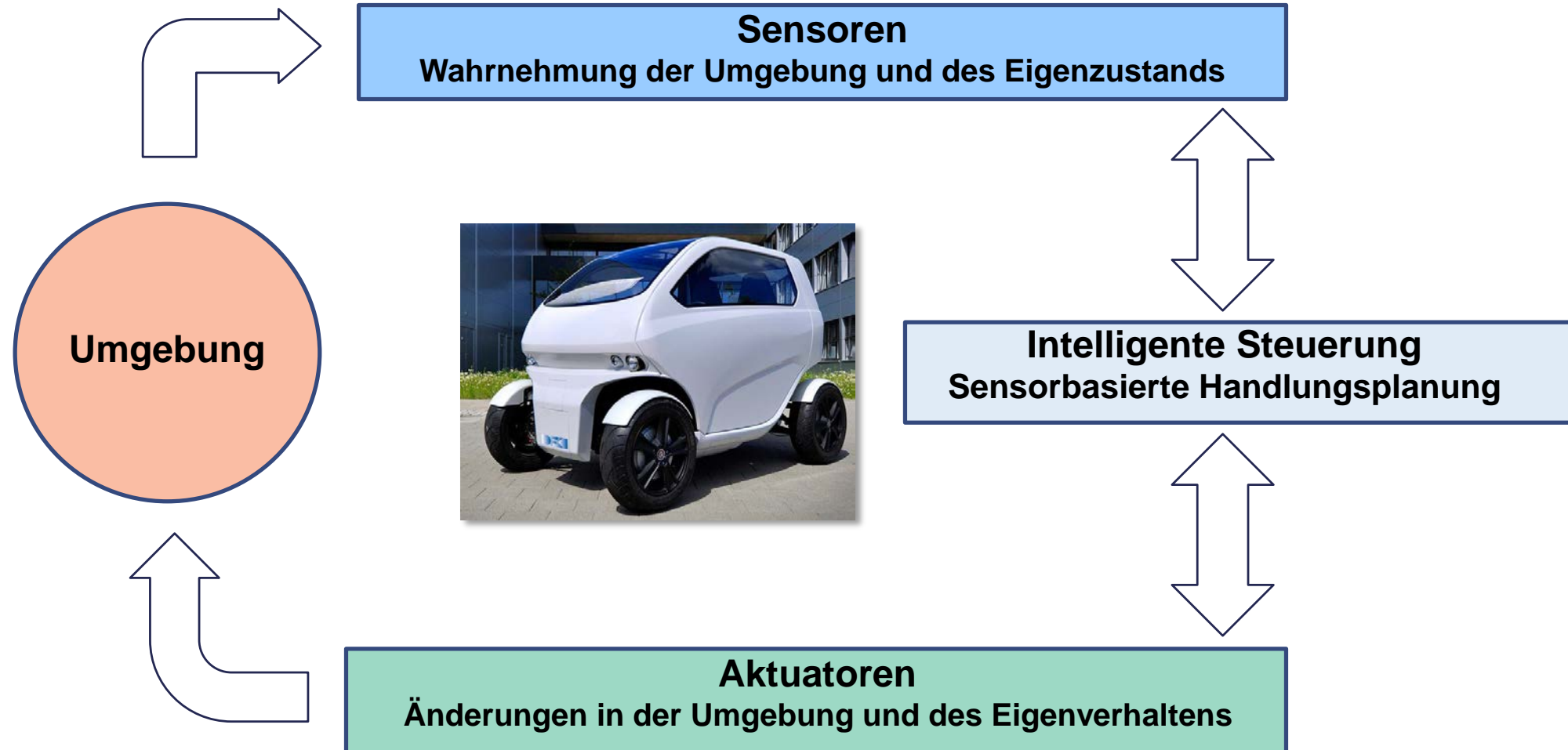


Eigenlokalisierung In der Stadt

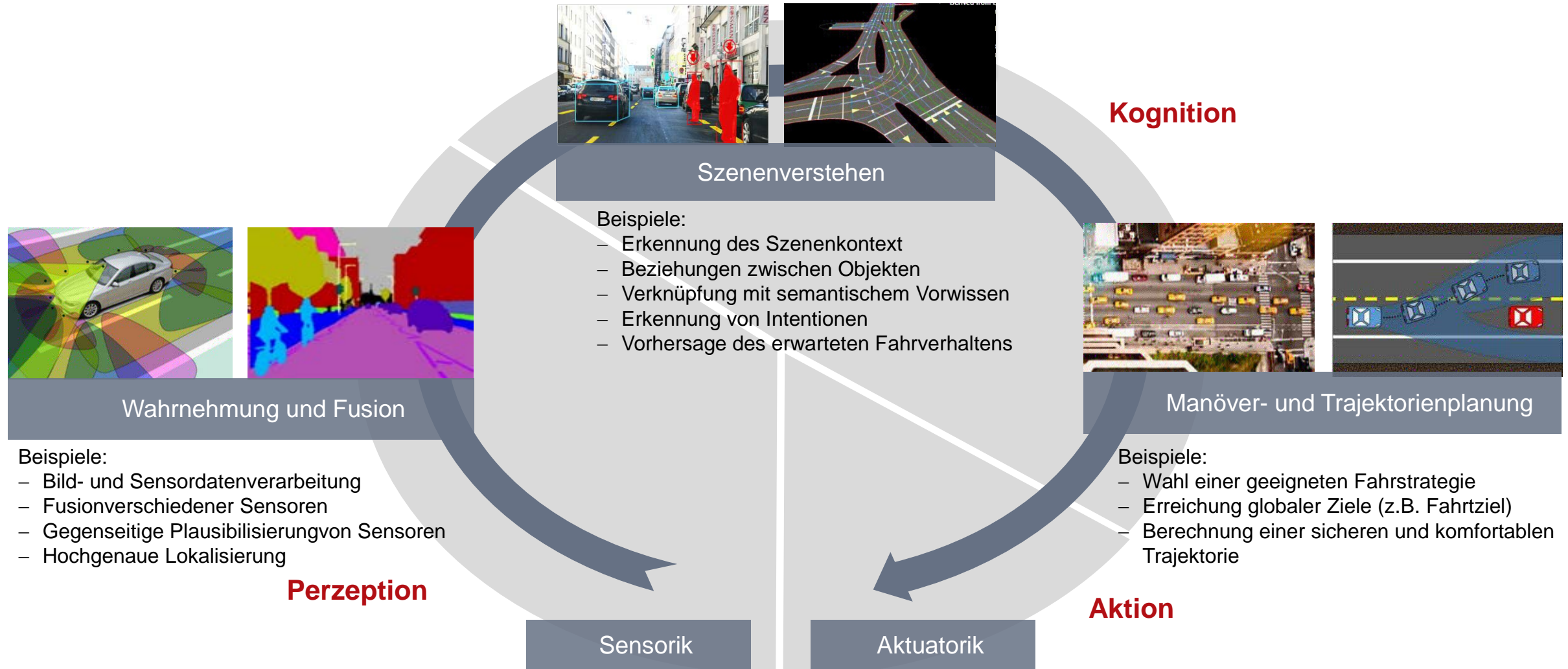
Umfelderfassung



Das Auto der Zukunft als Roboter



Die Software für das autonome Fahren basiert auf Ansätzen der Künstlichen Intelligenz.



Stufen der Automatisierung des Fahrens

Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Menschlicher Fahrer	Assistiert	Teilautomatisiert	Hochautomatisiert	Vollautomatisiert	Fahrerlos
<p>Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus.</p> <p>Kein eingreifendes Fahrzeugsystem erforderlich.</p>	<p>Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus.</p> <p>System übernimmt die jeweils andere Funktion.</p>	<p>Fahrer muss das System dauerhaft überwachen.</p> <p>System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall.*</p>	<p>Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen.</p> <p>Fahrer muss potenziell in der Lage sein zu übernehmen.</p> <p>System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall.* Es erkennt Systemgrenzen und fordert den Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.</p>	<p>Keine Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall.</p> <p>System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen.</p>	<p>Von Start bis Ziel ist kein Fahrer erforderlich.</p> <p>Das System übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich bei allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen.</p>
Fahrer					Automatisierung

Deutschland ist führend bei den technologischen Wegbereitern zum autonomen Fahren

Anzahl der Patentanmeldungen zum autonomen Fahren seit 2010

Bosch und VW-Konzern liegen bei Basispatenten weit vorne



● Welt ohne Deutschland ● Deutschland

Bosch Deutschland

545

Audi Deutschland

292

Continental Deutschland

277

General Motors USA

246

Google USA

198

VW Deutschland

184

Toyota Japan

166

Daimler Deutschland

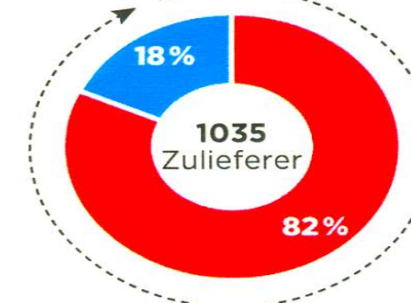
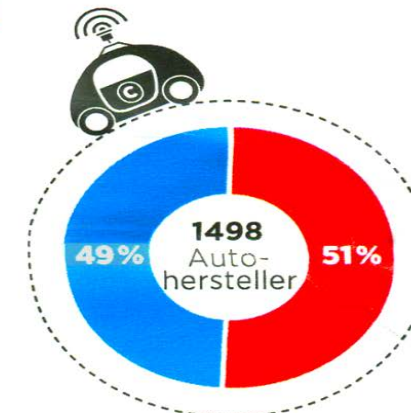
156

BMW Deutschland

142

Ford USA

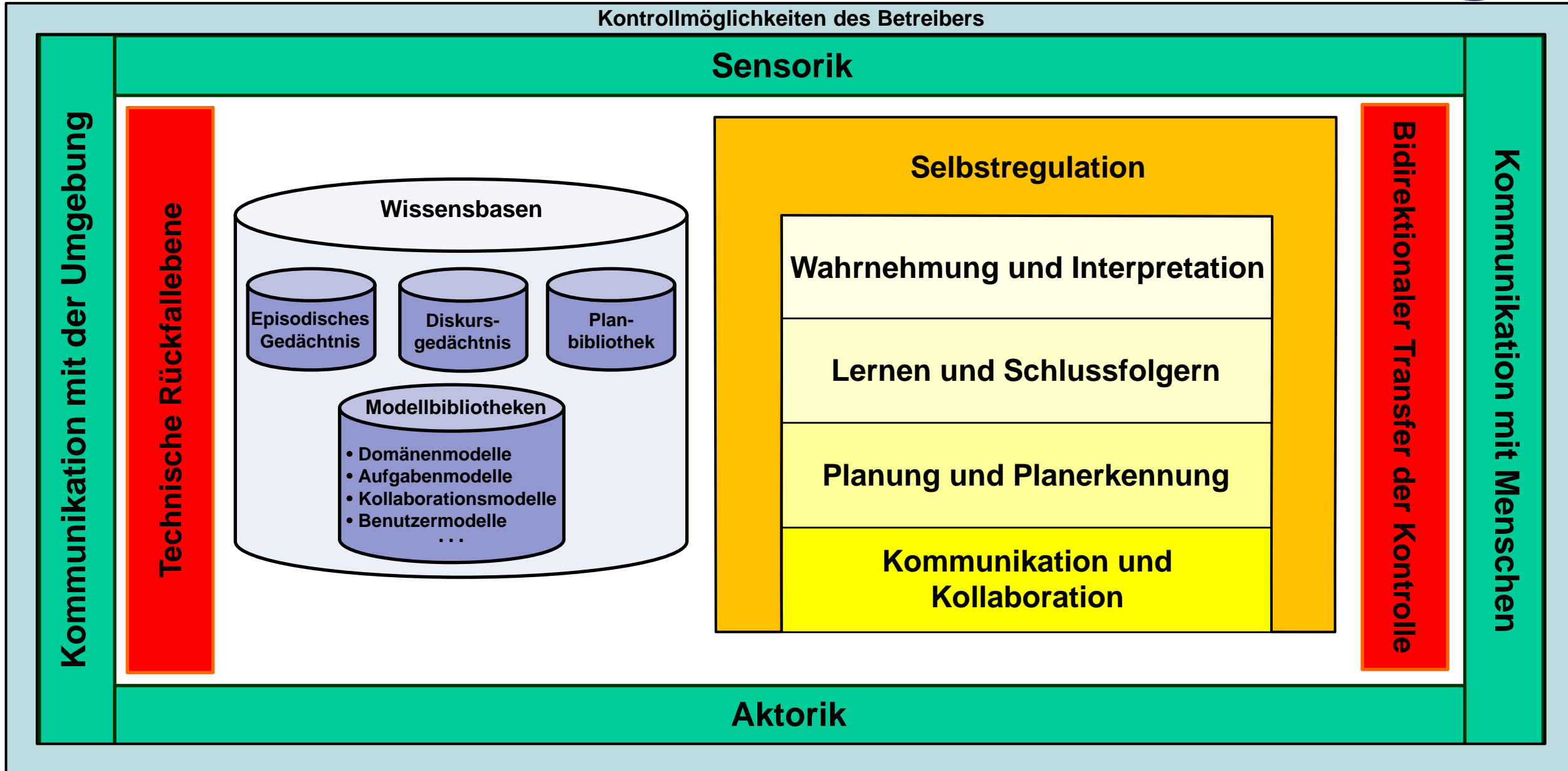
103



Gesamt: **2838**

42% ↔ **58%**

Referenzarchitektur für Autonome Systeme



Notfallassistenz aus dem SmartSenior-Projekt Übergang zum hochautomatisierten Fahren



Neue Mobilitätskonzepte für die Smart City



**Disruptive Funktionen eines Elektromobils:
Drehen auf der Stelle, Zusammenfallen zum Kompaktparken, Seitliches Fahren**

Autonomes Fahren basiert auf Künstlicher Intelligenz, schnellen mobilen Netzen und präziser Sensorauswertung

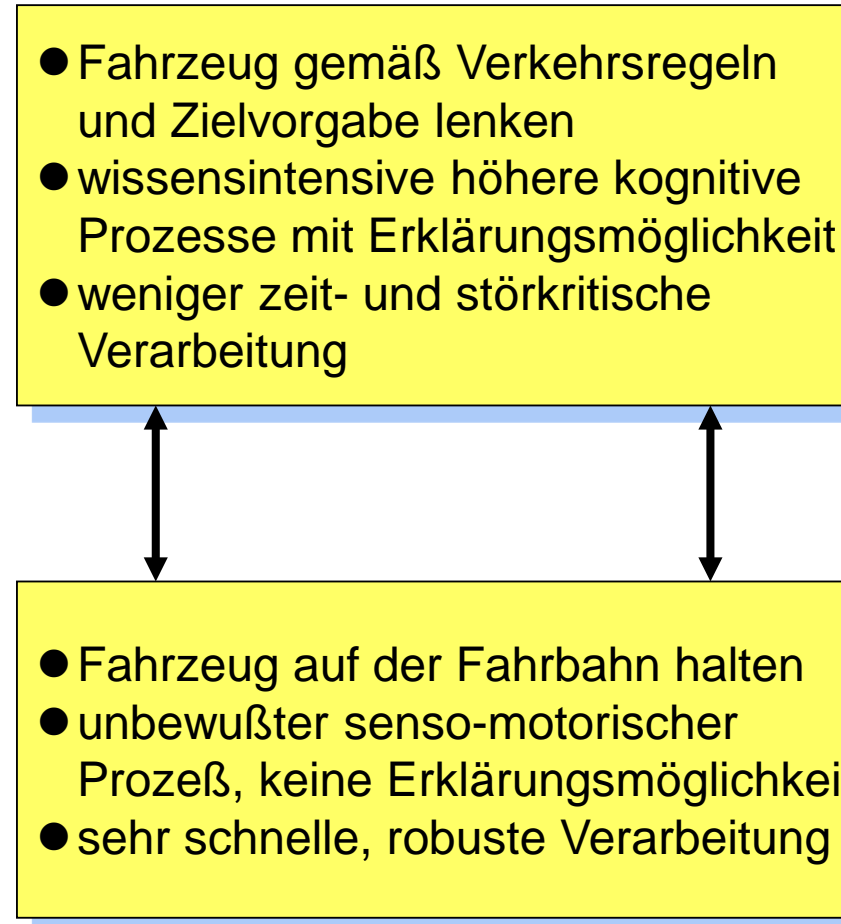
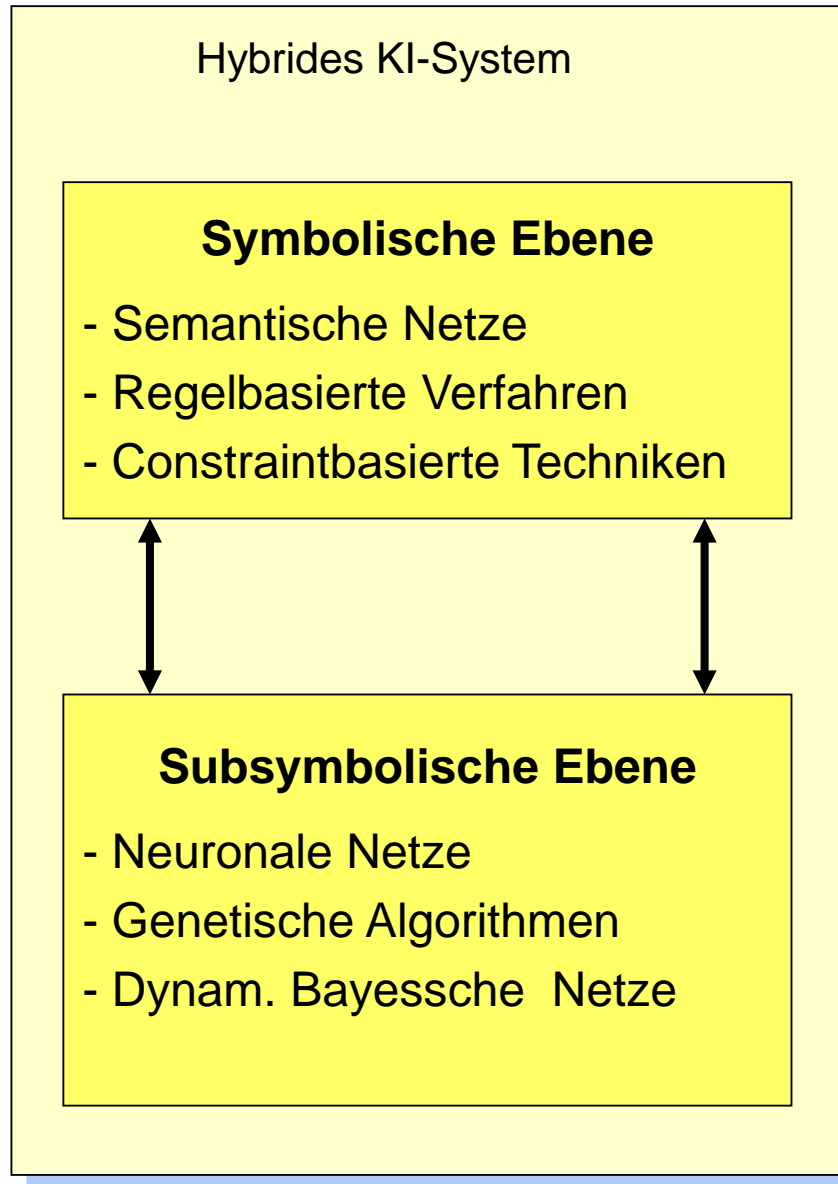


Autonome DFKI-Elektrofahrzeuge im synchronisierten Konvoi auf MIA-Basis

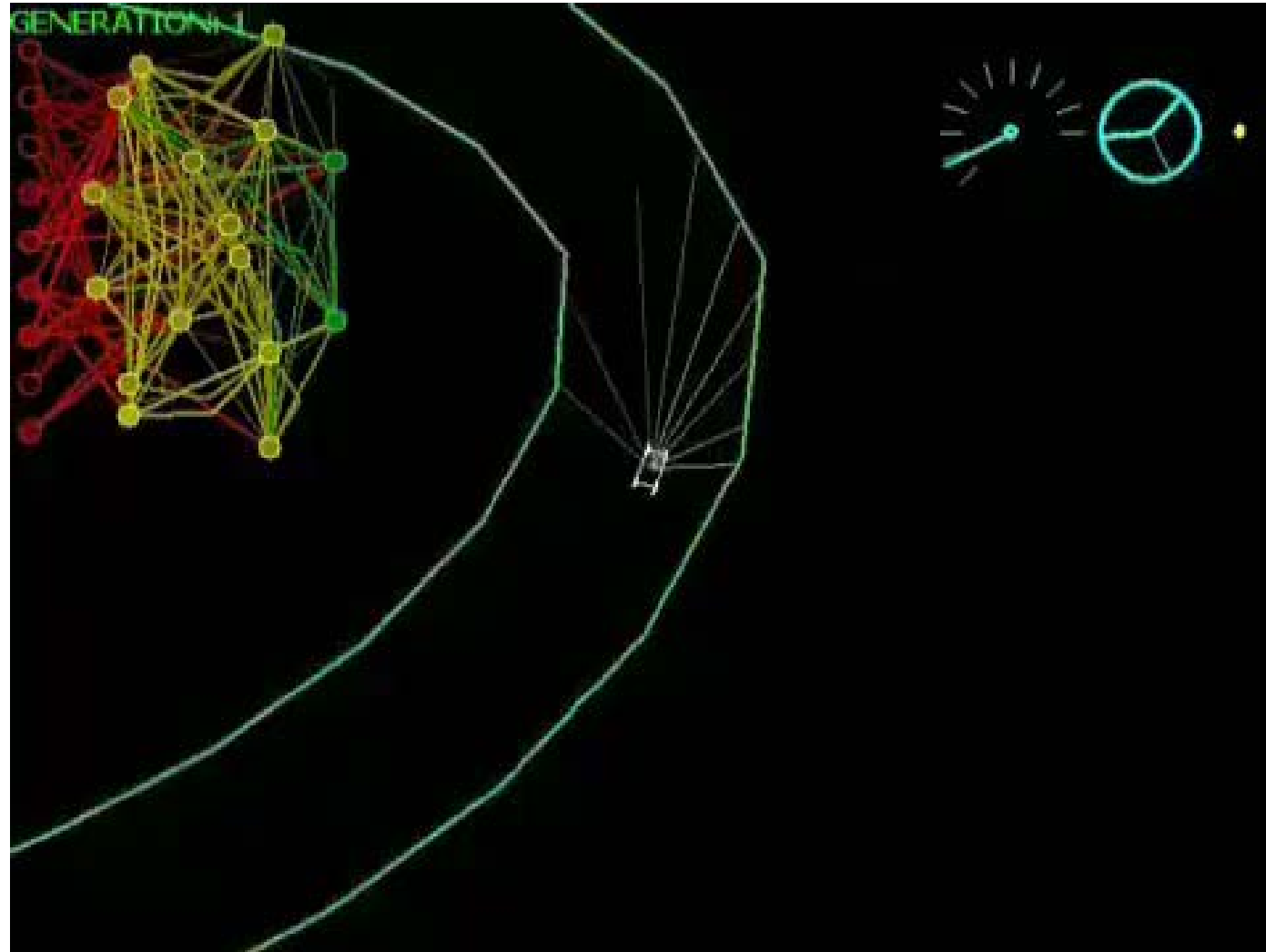


4 mia-Fahrzeuge mit Laserscannern am DFKI Bremen

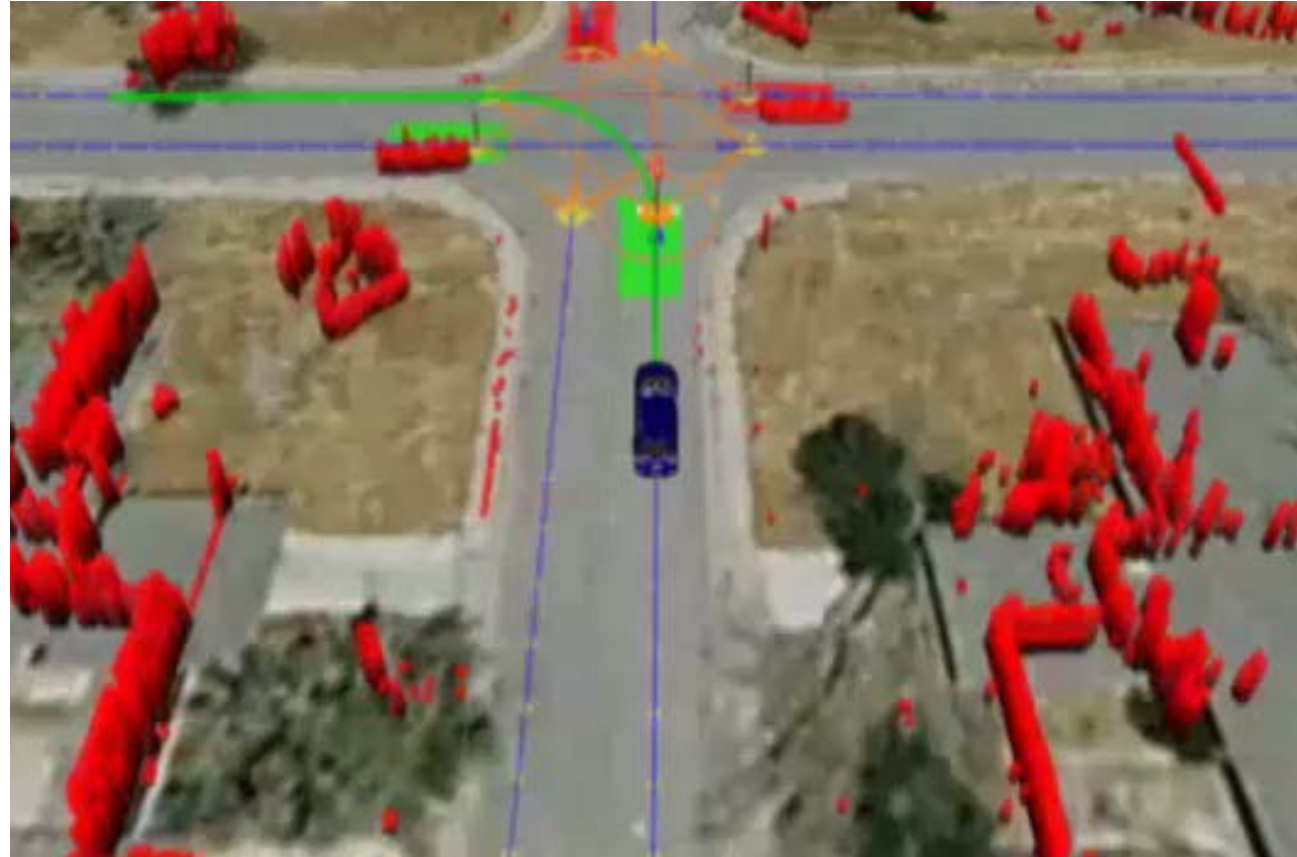
Die Notwendigkeit hybrider Informationsverarbeitung in Fahrerassistenzsystemen



Deep Learning des elementaren Lenkverhaltens für ein autonomes Fahrzeug: Mehrschichtige neuronale Netzwerke



Autonomes Fahren an einer Kreuzung mit amerikanischem 4-Way-Stop



Symbolische Inferenz: Nicht-logische Axiome in temporaler, nicht-monotoner Modallogik

Wenn Ziel $(x, (\text{Abbiegen}(x, y, s_{t+1}))$

dann Blinken (x, y, s_t)

Wenn Beobachtet $(x, \text{Blinken}(y, z, s_t))$

dann Annahme $(x,$

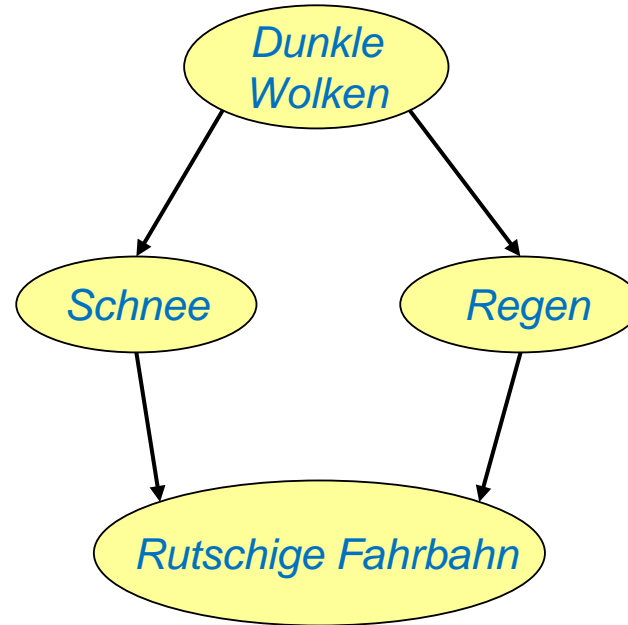
$(\text{Ziel } y (\text{Abbiegen}(y, z, s_{t+1})))$)

Automatisches Theorembeweisen

Bedingte Wahrscheinlichkeitstabellen in Bayesschen Netzen

$$P(C) = \begin{bmatrix} T & F \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

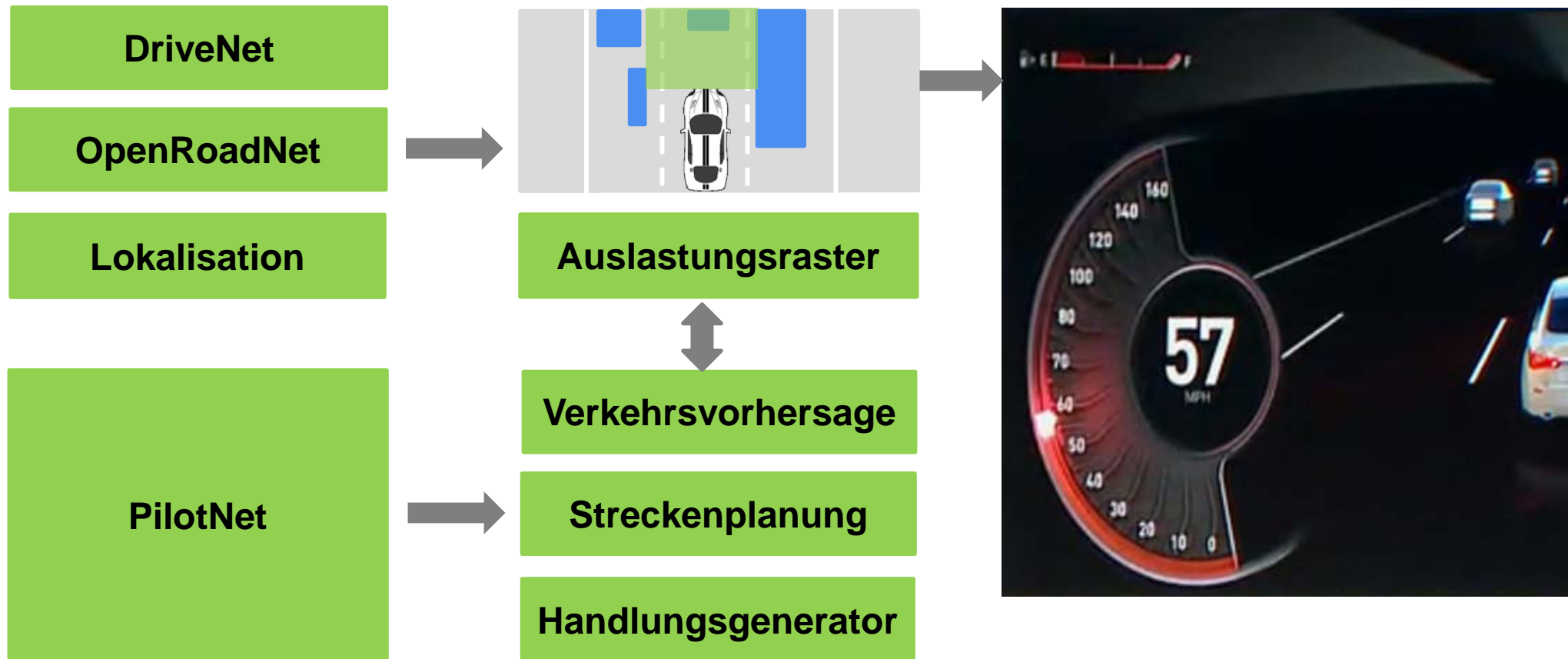
C	$P(S)$
T	0.50
F	0.50



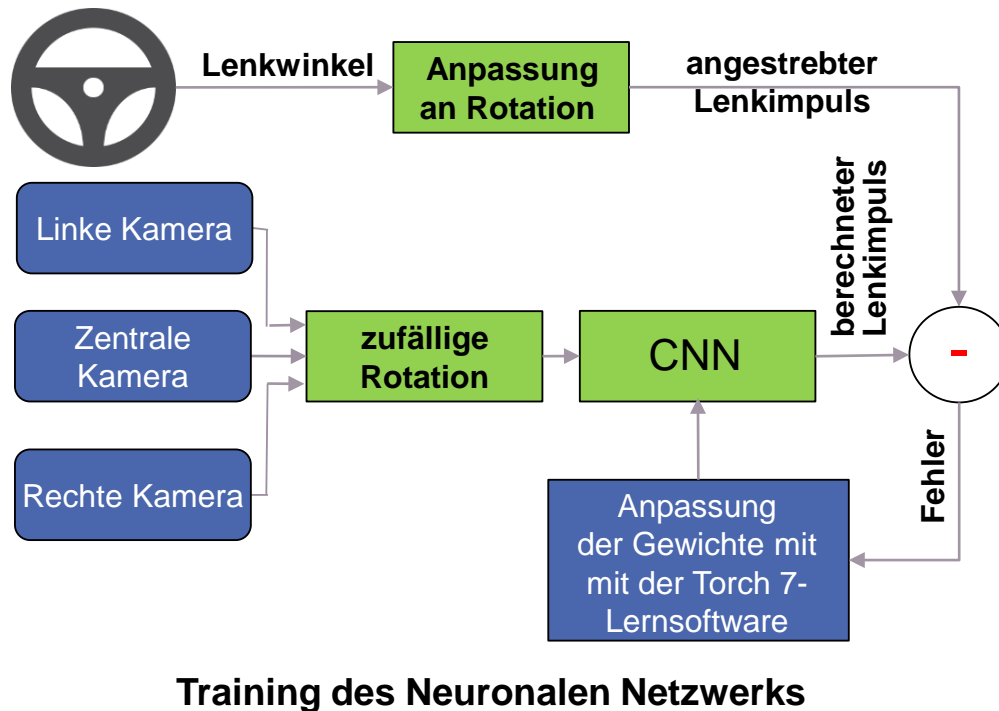
C	$P(R)$
T	0.80
F	0.20

S	R	$P(W)$
T	T	0.99
T	F	0.90
F	T	0.90
F	F	0.00

Die DRIVEWORKS-Plattform für Autonomes Fahren von Nvidia



DAVE2 von NVIDIA: End-to-End CNN-Lernen für Autopilotfunktion



72 Stunden Videos (10 Bilder pro Sekunde) mit Lenkwinkel als Trainingsdaten (auch bei Regen, Schnee, Nebel, Sonnenblendung)

Lernen eines CNN-Modells mit:

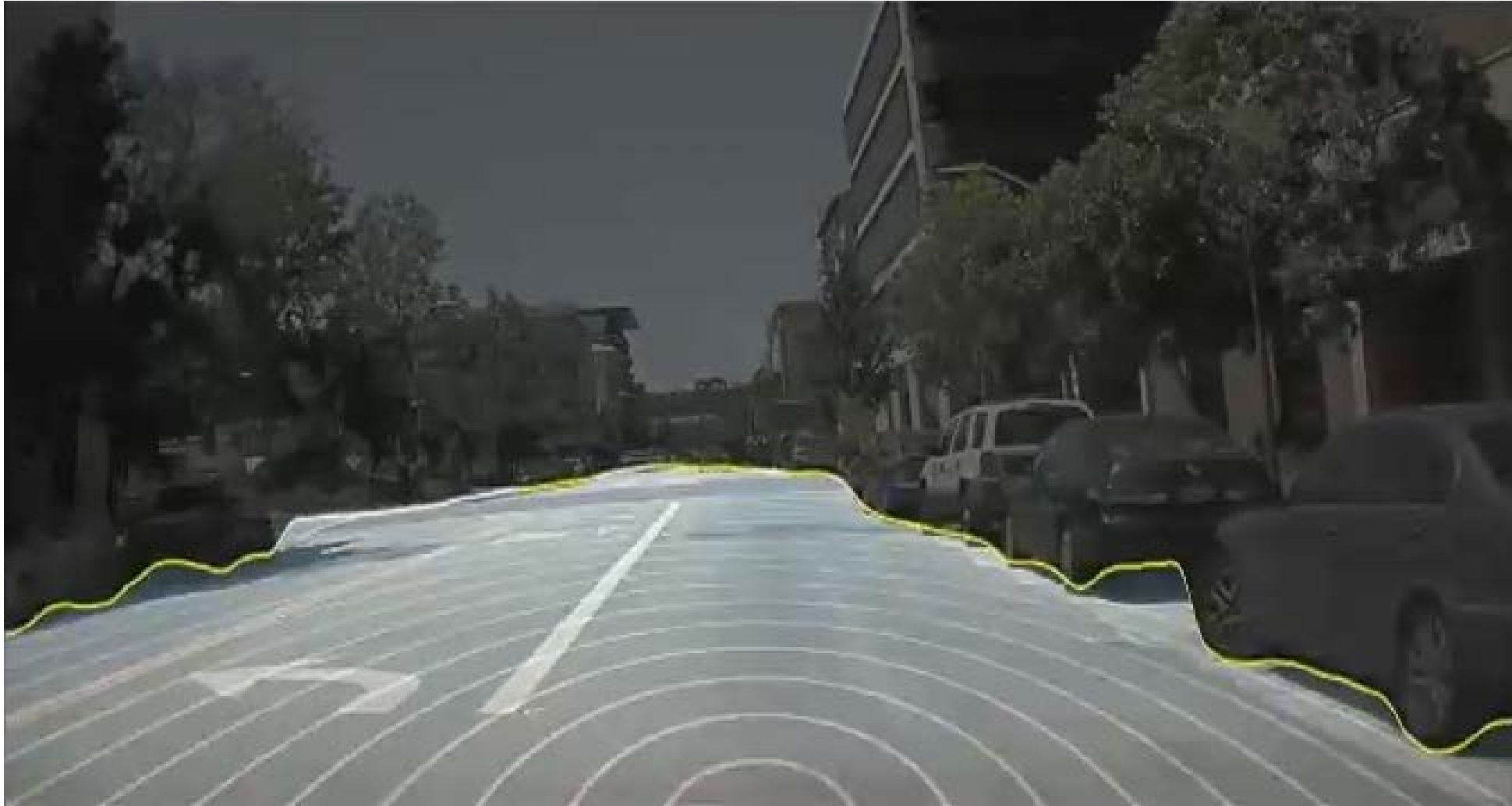
- 5 Verdeckten Schichten
- 27 Millionen Verbindungen
- 250.000 Parameter

16 km auf Landstrasse 100% autonom,
durchschnittlich 98% autonom

Kombination der verschiedenen Echtzeit-Erkennungssysteme: andere Verkehrsteilnehmer, Fahrspuren, Manövrierraum



Berechnung des gefahrenfreien Manövrierraumes



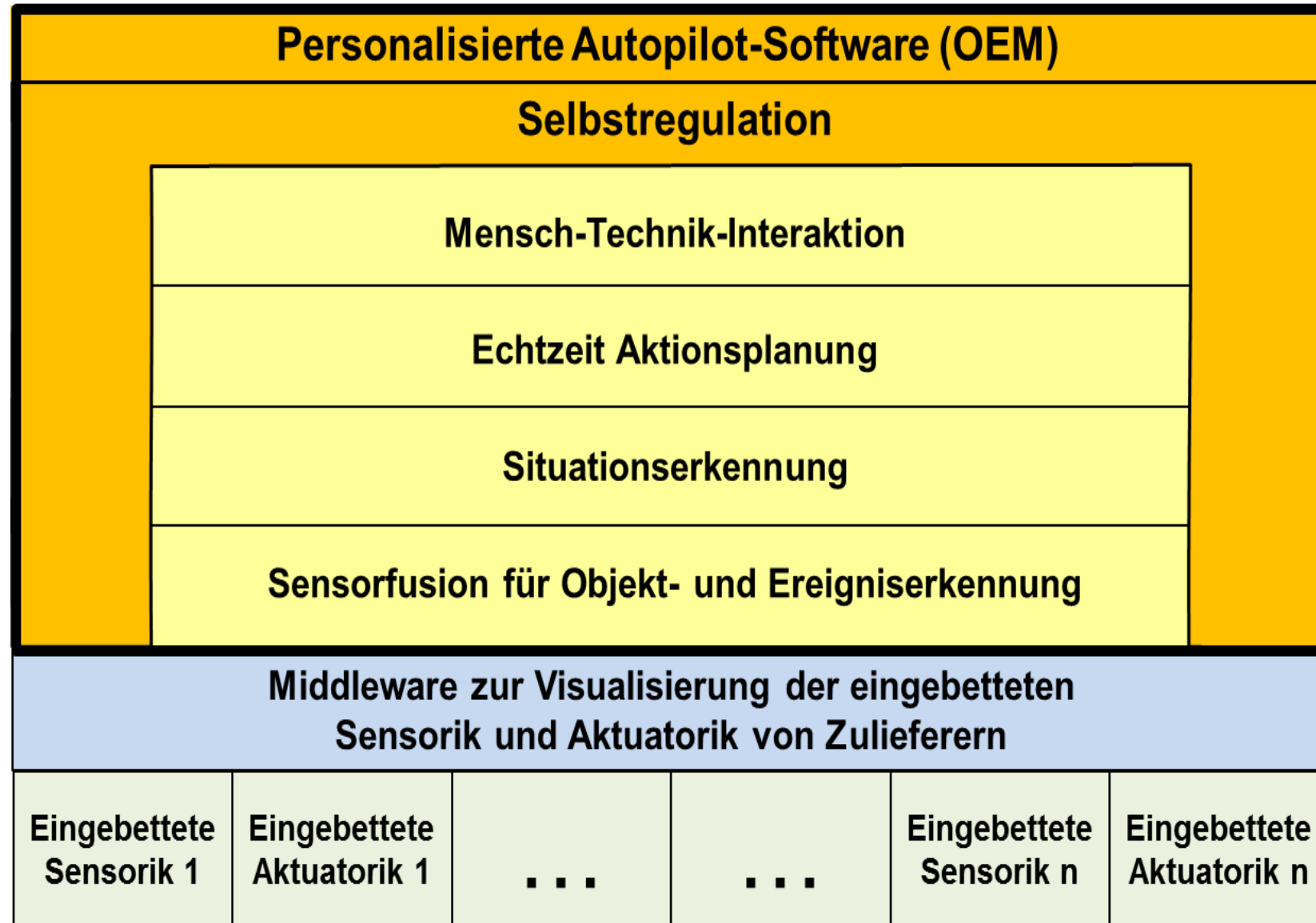
Maschinelles Lernen für selbstfahrende Autos

Maschinelles Metalernen

Welcher Sensorkombination vertraue ich in welcher Situation?

Welchen Aktionsplan führe ich in welcher Situation am besten aus?

Maschinelles Lernen zur Sensorauswertung und Aktuatorsteuerung



Forschungsbedarf: Fließender Übergang der Steuerung vom Autonomen System zum Menschen



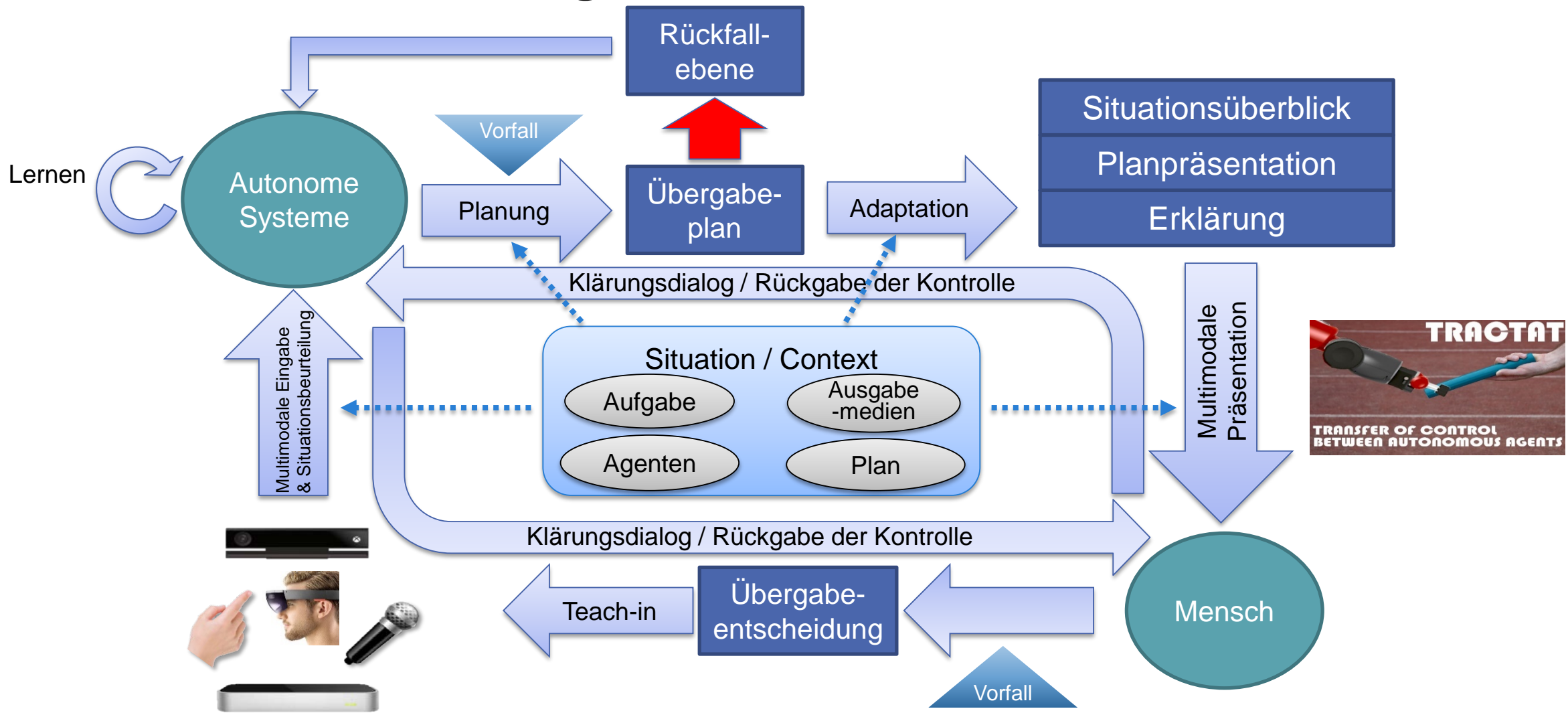
Neues DFKI-Projekt zur Übergabe der Steuerung zwischen Mensch und Autonomem System



Beispiel Autopilot des Tesla S

Wann, warum, wie und wie oft soll der Mensch zur Übernahme der Kontrolle veranlaßt werden? Es darf beim Menschen kein Gefühl des Kontrollverlustes eintreten. Obwohl er Aufgaben an das Autonome System delegiert.

Autonome Systeme kommen immer wieder in Situationen, in denen sie Hilfe benötigen.



Intelligente Komponente zum Transfer der Kontroll: Standardisierung z.B. im Leihfahrzeug erforderlich für Pedalerie
 Garantie der Selbstwirksamkeit für den menschlichen Nutzer und Vermeidung eines gefühlten Kontrollverlustes

Nahtloser, proaktiver und multimodaler Kontrolltransfer



Jemand muss in etwa 3 Minuten die Steuerung übernehmen, da keine hochauflösende Karte für das Zielgebiet verfügbar ist.

Videokonferenz in einem selbstfahrenden Mercedes

Autonome Systeme werfen ethische Fragen auf

Asimov'sche Gesetze:

1. Ein Roboter darf kein menschliches Wesen wissentlich verletzen oder durch Untätigkeit gestatten, dass einem menschlichen Wesen wissentlich Schaden zugefügt wird.
2. Ein Roboter muss den ihm von einem Menschen gegebenen Befehlen gehorchen – es sei denn, ein solcher Befehl würde mit Regel 1 kollidieren.
3. Ein Roboter muss seine Existenz beschützen, solange dieser Schutz nicht mit Regel 1 oder 2 kollidiert.

Beispiel einer falschen ethischen Entscheidung bei einem menschlichen Fahrer:

- Schulbusfahrer weicht auf glatter Waldstrasse einem Reh aus, kommt ins Schleudern und der Bus kippt um mit vielen schwerverletzten Kindern.
- Problem beim autonomen Fahren: Können Kind, Reh, Affe als Hindernis unterschieden werden?



Fragwürdige ethische Tests für Entscheidungen in Kollisionsszenarien

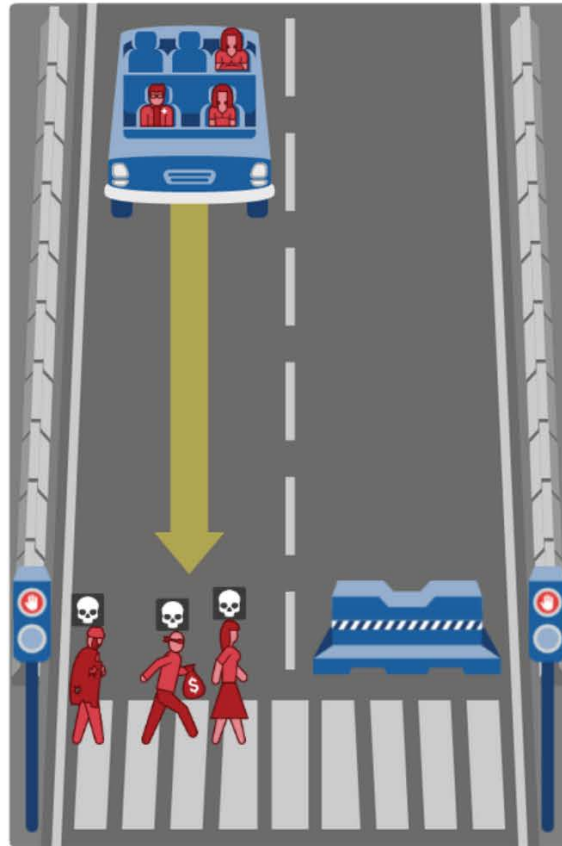


Was soll das selbstfahrende Auto machen?

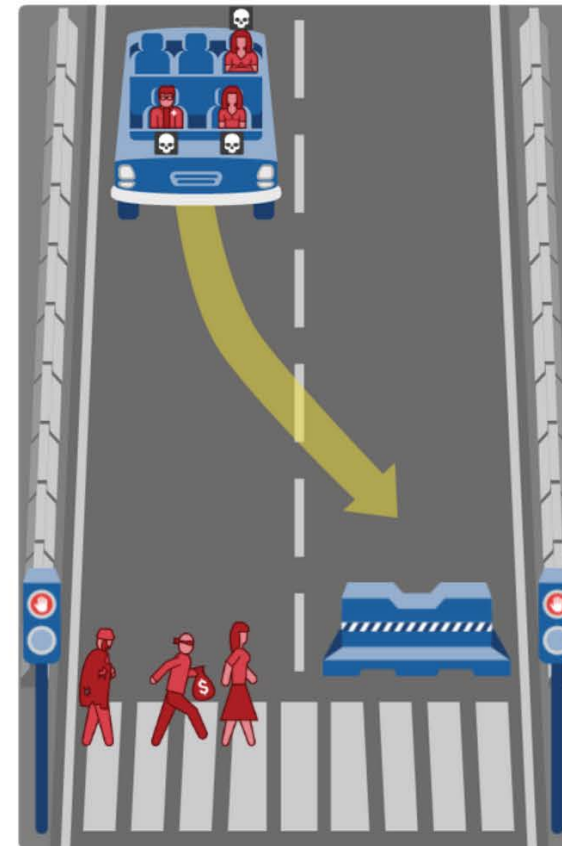
Das selbstfahrende Auto mit plötzlichem Bremsversagen wird in diesem Fall geradeaus weiterfahren und über einen Zebrastreifen auf der aktuellen Spur fahren. Das führt zu Tot:

- 1 Obdachloser
- 1 Krimineller
- 1 Frau

Beachte, dass die betroffenen Fußgänger die Straße unrechtmäßig bei rot überqueren



Beschreibung ausblenden



Beschreibung ausblenden

1 / 13

Das selbstfahrende Auto mit plötzlichem Bremsversagen wird in diesem Fall ausweichen und in eine Betonbarriere prallen. Das führt zu Tot:

- 1 Frau
- 1 Arzt
- 1 Schwangere Frau

Fragwürdige ethische Tests für Entscheidungen in Kollisionsszenarien



Was soll das selbstfahrende Auto machen?

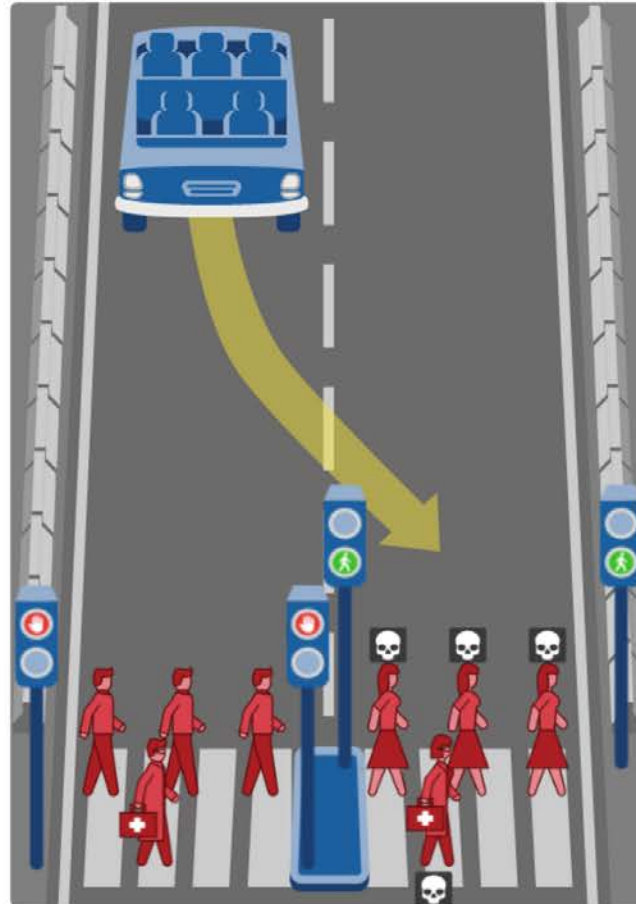
3 / 13

Das selbstfahrende Auto mit plötzlichem Bremsversagen wird in diesem Fall ausweichen und über einen Zebrastreifen auf der gegenüberliegenden Spur fahren. Das führt zu

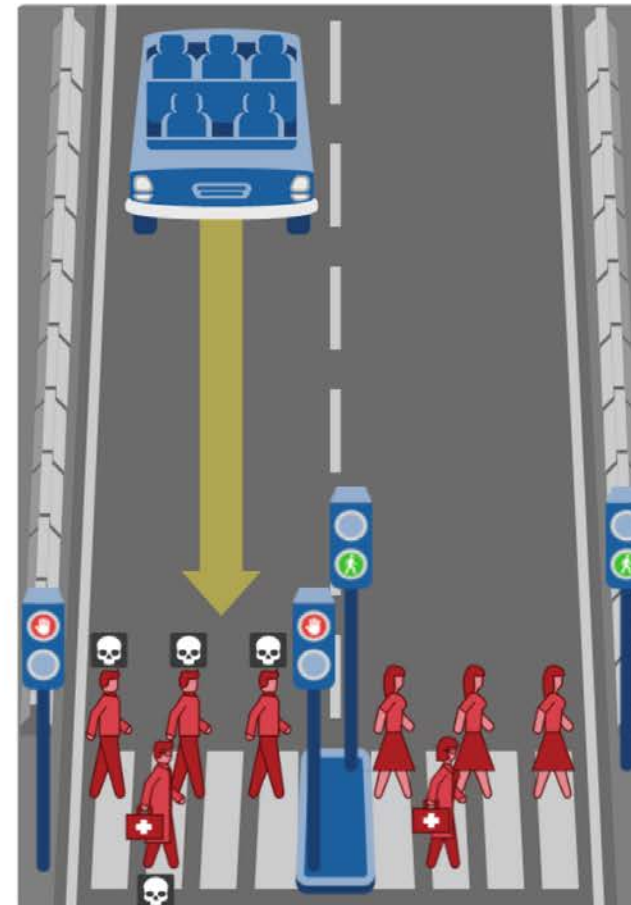
Tot:

- 3 Frauen
- 1 Ärztin

Beachte, dass die betroffenen Fußgänger die Straße rechtmäßig bei grün überqueren



Beschreibung ausblenden



Beschreibung ausblenden

Das selbstfahrende Auto mit plötzlichem Bremsversagen wird in diesem Fall geradeaus weiterfahren und über einen Zebrastreifen auf der aktuellen Spur fahren. Das führt zu Tot:

- 3 Männer
- 1 Arzt

Beachte, dass die betroffenen Fußgänger die Straße unrechtmäßig bei rot überqueren

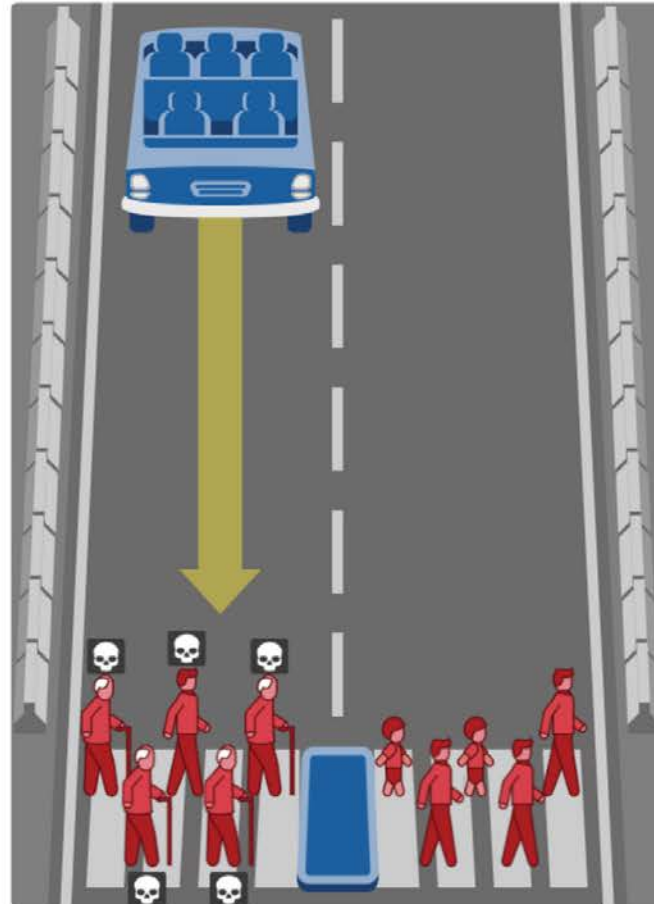
Fragwürdige ethische Tests für Entscheidungen in Kollisionsszenarien

Was soll das selbstfahrende Auto machen?

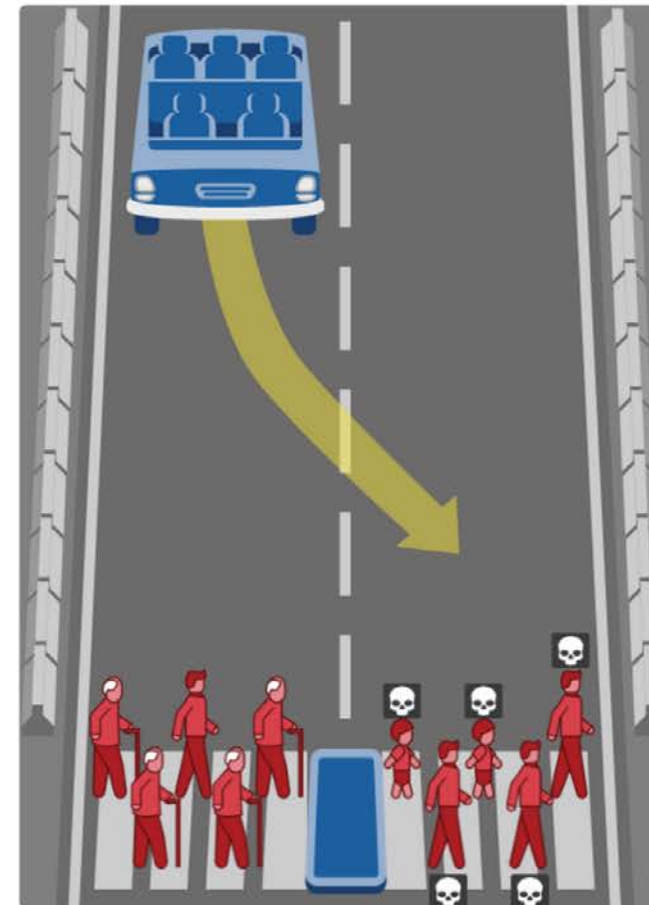
4 / 13

Das selbstfahrende Auto mit plötzlichem Bremsversagen wird in diesem Fall geradeaus weiterfahren und über einen Zebrastreifen auf der aktuellen Spur fahren. Das führt zu Tot:

- 4 Ältere Männer
- 1 Mann



Beschreibung ausblenden



Beschreibung ausblenden

Das selbstfahrende Auto mit plötzlichem Bremsversagen wird in diesem Fall ausweichen und über einen Zebrastreifen auf der gegenüberliegenden Spur fahren. Das führt zu Tot:

Tot:

- 2 Jungen
- 3 Männer

Aktuelle Entscheidungsbasis für autonome Fahrzeuge

1. Sachschaden geht vor Personenschaden
2. Eine Bewertung oder gar Abwägung von Menschenleben ist nicht zulässig.
3. Der geplante Fahrweg wird nur verlassen, wenn dadurch Personenschaden vermieden werden kann.
4. Die Geschwindigkeit wird bei Kollisionsgefahr extrem reduziert.
5. Durch aktive Sicherheitssysteme werden bei unvermeidlichem Aufprall Personenschäden minimiert.



Autonome Schiffe und Züge

Ziele:

- Erhöhte Verkehrssicherheit (80% der nautischen Unfälle beruhen auf menschlichem Versagen)
- Verkehrsverdichtung ohne Ausbau der Verkehrswege

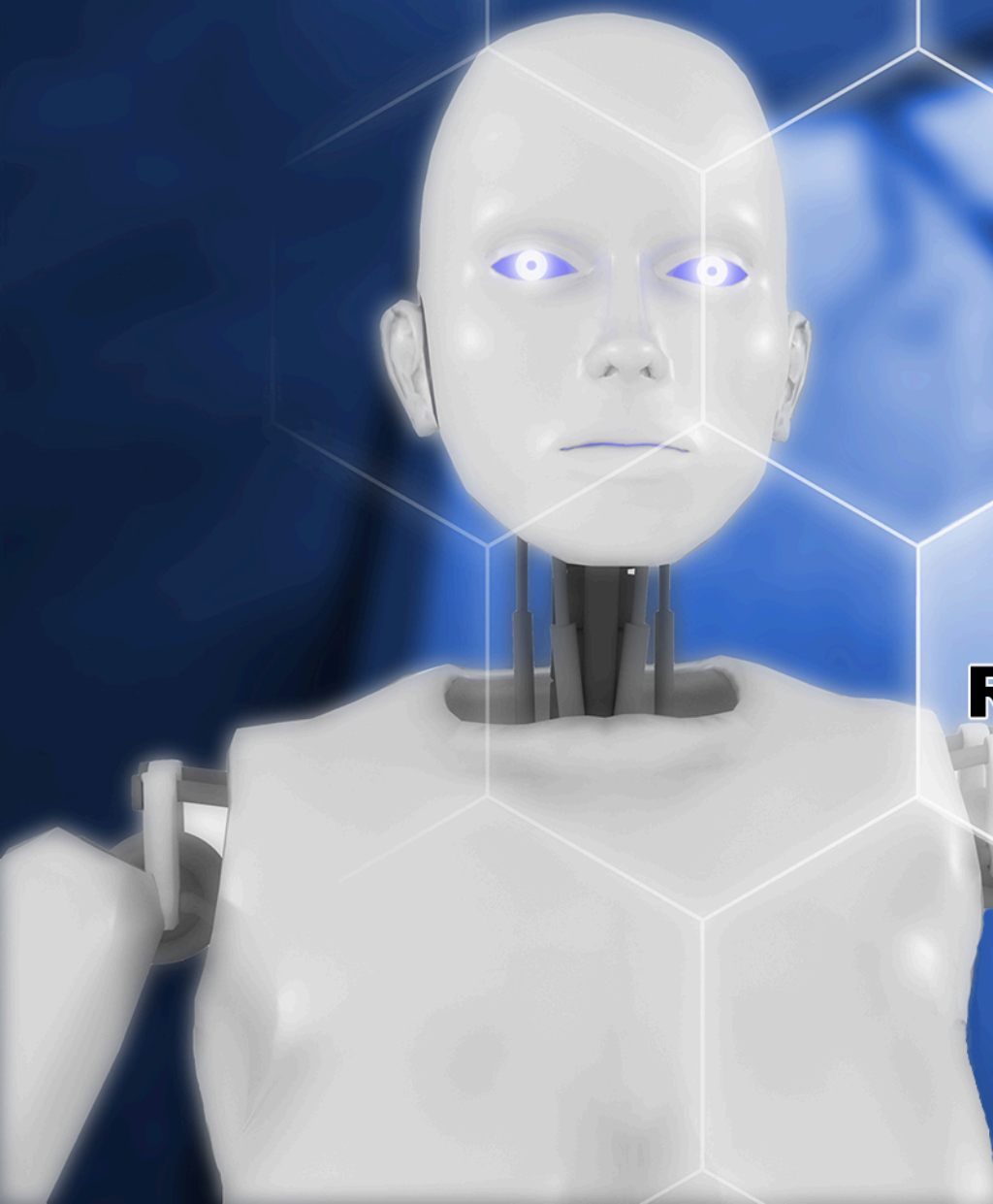


Testfelder in Deutschland:

- für autonome Schiffe auf der Elbe bis Cuxhaven
- für autonome Züge auf einer Strecke der Erzgebirgsbahn

Konklusionen

1. Autonome Systeme setzen **maschinelles Lernen über Big Data** voraus, wobei durch die Erfolge des **Deep Learning** hier eine gute Ausgangsbasis besteht.
2. Autonome Systeme müssen **subsymbolische und symbolische KI-Verfahren** in hybriden Architekturen verknüpfen.
3. Mehrere autonome Systeme können auch hybride Teams bilden, um Aufgaben gemeinsam zu lösen.
4. **Auto-Piloten und völlig autonomes Fahren** werden möglich, der Mensch muss nur noch in extrem außergewöhnlichen Situationen eingreifen.
5. Neben den technischen Fragen sind für viele Einsatzbereiche von autonomen Systemen auch noch zahlreiche **ethische, juristische und soziale Themen** zu bearbeiten.



LERNENDE
MASCHINEN
02.05.2017

**INDUSTRIE
4.0
23.05.2017**

SPRACH-
DIALOGUE
09.05.2017

KÜNSTLICHE
INTELLIGENZ

KI

**BIG
DATA**

**TEAM-
ROBOTIK**

AUTONOME
SYSTEME
16.05.2017

**ALTERS-
ASSISTENZ**

**SMART
SERVICE**

**SICHER-
HEIT**

**EMOTION &
VERHALTEN**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

