

DAIMLER

Schritt für Schritt zum Autonomen Fahren

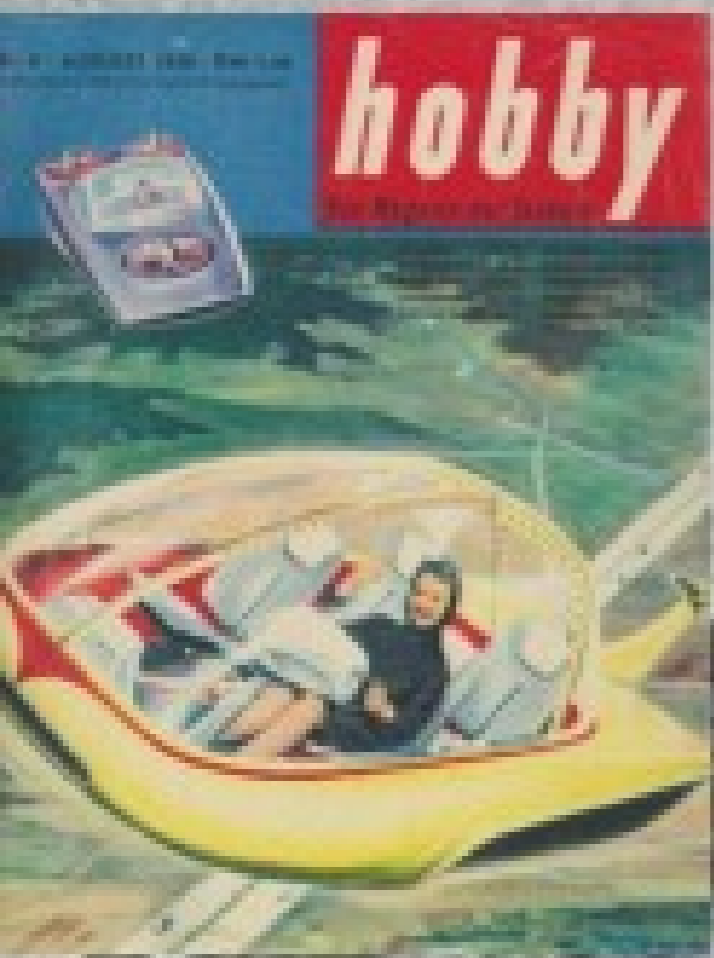
Eberhard Zeeb, Daimler AG











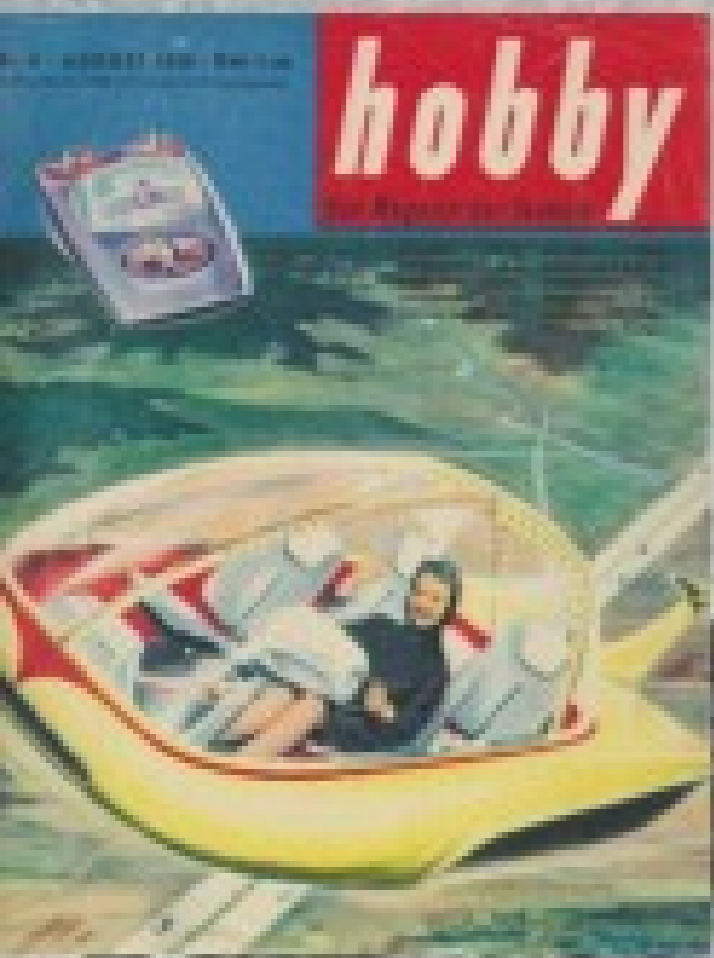
MAGIC
HIGHWAY,
U.S.A.



20



MAGIC
HIGHWAY,
U.S.A.



MAGIC
HIGHWAY,
U.S.A.





Autonomes Fahren – der Traum wird (langsam) Realität



1990er Jahre



Autonomes Fahren: Darpa Challenges - nächster großer Schritt



Autonomes Fahren: Google Cars



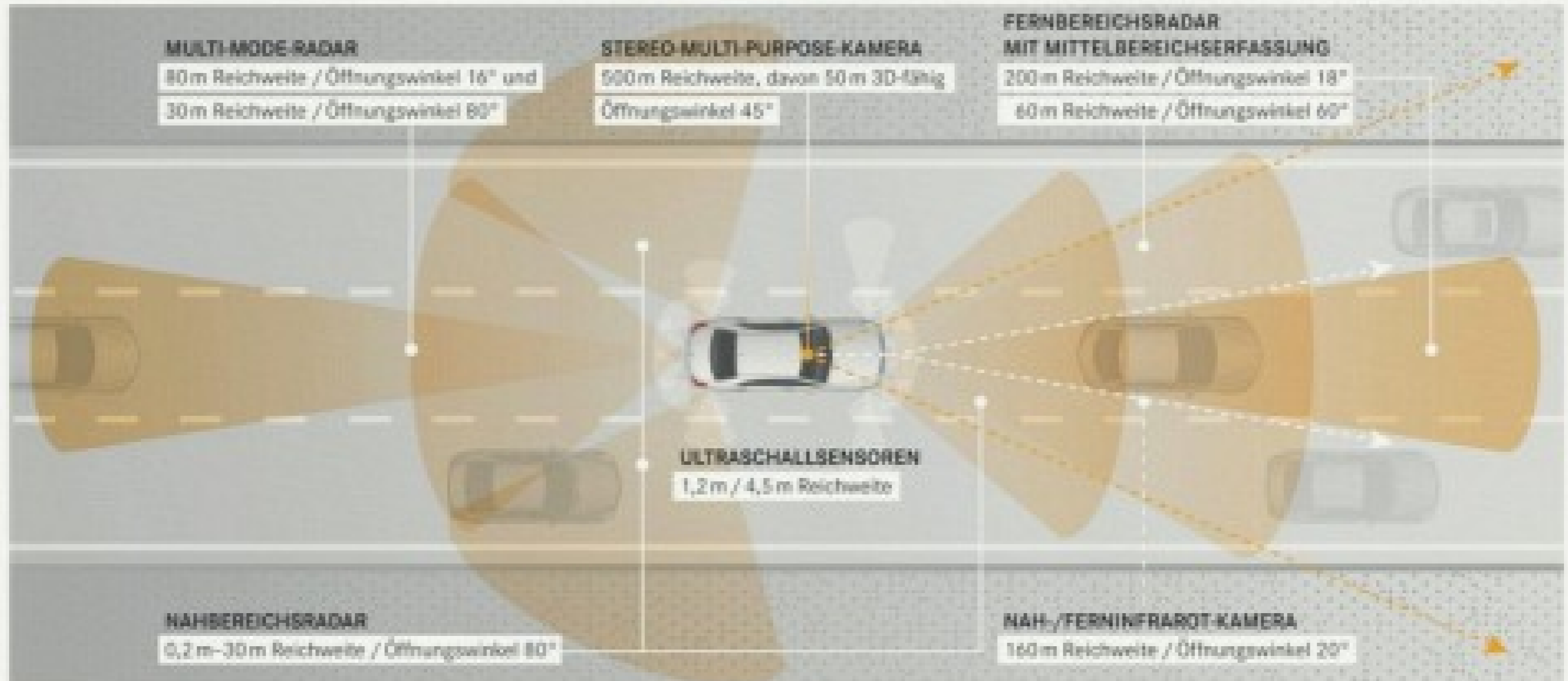
Mercedes: Sicherheit und Komfort aus Tradition

- 1978 ABS
- 1995 ESP®, Sidebag
- 1996 Bremsassistent
- 1998 DISTRONIC
- 2002 PRE-SAFE®
- 2003 Aktive Lichtfunktionen
- 2005 Adapt. Bremslichter, Bremsassistent PLUS, DISTRONIC PLUS
- 2006 PRE-SAFE® Bremse, Intelligent Light System
- 2007 Totwinkel-Assistent
- 2009 Attention Assist, Adaptiver Fernlicht-Assistent, Spurhalte-Assistent
- 2010 Aktiver Totwinkel-Assistent, Aktiver Spurhalte-Assistent
- 2011 CPA, PRE-SAFE® Bremse mit Stadtbremsefunktion, Nachtsicht-Assistent Plus & Spotlightfunktion
- 2012 Seitenwind-Assistent über ESP®

Mercedes: Sicherheit und Komfort aus Tradition

- 1978 ABS
- 1995 ESP®, Sidebag
- 1996 Bremsassistent
- 1998 DISTRONIC ← 77 GHz Fernbereichs-Radar
- 2002 PRE-SAFE®
- 2003 Aktive Lichtfunktionen ← Multi Purpose Camera
- 2005 Adapt. Bremslichter, Bremsassistent PLUS, DISTRONIC PLUS ← 24 GHz Radar
- 2006 PRE-SAFE® Bremse, Intelligent Light System
- 2007 Totwinkel-Assistent
- 2009 Attention Assist, Adaptiver Fernlicht-Assistent, Spurhalte-Assistent ← 77 GHz MM-Radar
- 2010 Aktiver Totwinkel-Assistent, Aktiver Spurhalte-Assistent
- 2011 CPA, PRE-SAFE® Bremse mit Stadtbremsefunktion, Nachtsicht-Assistent Plus & Spotlightfunktion
- 2012 Seitenwind-Assistent über ESP®

Die Sensorik der S-Klasse



Mercedes-Benz Intelligent Drive heute



PRE-SAFE® PLUS

Aktiver Totwinkel-Assistent

DISTRONIC PLUS

mit Lenk-Assistent

Nachtsicht-Assistent PLUS

mit Spotlicht-Funktion

PRE-SAFE® Bremse

mit Fußgängererkennung und
Stadtbremsfunktion

Adaptiver Fernlicht-Assistent PLUS

360°-Kamera

Aktiver Park-Assistent

PRE-SAFE® Impuls

ATTENTION ASSIST

COLLISION PREVENTION ASSIST

Aktiver Spurhalte-Assistent

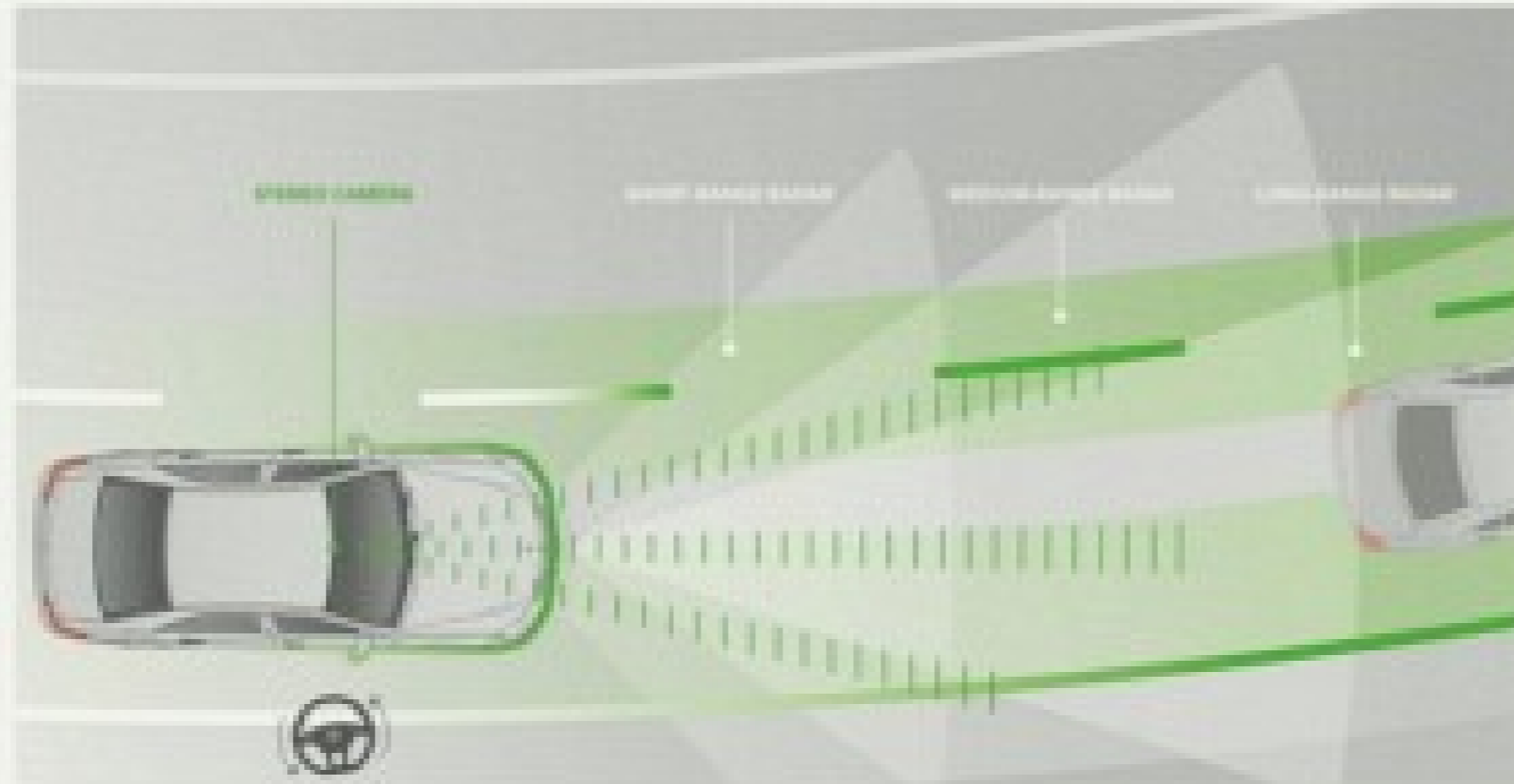
BAS PLUS mit Kreuzungs-Assistent

PRE-SAFE® Brake mit Fußgängererkennung und Stadtbremsefunktion



- Erkennung von Fußgängern und langsamer fahrenden, anhaltenden und stehenden Fahrzeugen im "Fahrtschlauch" durch Fusion der Radar- und Kameradaten
- Bei Fahrerreaktion: situationsgerechte Verstärkung der Bremsung bis hin zur Vollbremsung
- Fehlende Fahrerreaktion: autonome Bremsung zur Kollisionsvermeidung oder -schwereminderung
- Fußgängererkennung und Stadtbremsefunktion: 7-72 km/h; Kollisionsvermeidung bis über 50 km/h

DISTRONIC PLUS mit Lenkassistent und Stop&Go-Pilot 2013



Kombinierte Längs- und Querführung von 0 bis 200 km/h

- Querführung durch Lenkeingriffe und Anpassung des Lenkmoments, auch in Kurven

Fahrspurerkennung auf Basis von Markierungen und umgebenden Fahrzeugen

- Erkennung über Stereokamera und Radarsensorik

Mercedes-Benz Intelligent Drive

Maximale Sicherheit und maximaler Komfort für Fahrzeuginsassen und andere Verkehrsteilnehmer auf Basis intelligent vernetzter Sensoren und elektronischer Systeme



DAIMLER

Komplexität der Verkehrssituation bestimmt Schwierigkeit

Dazu kommen Witterungsabhängigkeiten und Tag/Nacht-Unterschiede



Komplexität der Verkehrssituation bestimmt Schwierigkeit

Dazu kommen Witterungsabhängigkeiten und Tag/Nacht-Unterschiede



Komplexität der Verkehrssituation bestimmt Schwierigkeit

Dazu kommen Witterungsabhängigkeiten und Tag/Nacht-Unterschiede

	Niedrige Eigengeschwindigkeit	Hohe Eigengeschwindigkeit
Strukturiertes Verkehrsumfeld	<p>Stau</p> 	<p>Autobahnfahrt</p> 
Chaotisches Verkehrsumfeld	<p>Parken, Manövrieren</p> 	<p>Stadt- und Landstraßenfahrt</p> 

Komplexität der Verkehrssituation bestimmt Schwierigkeit

Dazu kommen Witterungsabhängigkeiten und Tag/Nacht-Unterschiede

	Niedrige Eigengeschwindigkeit	Hohe Eigengeschwindigkeit
Strukturiertes Verkehrsumfeld	<p>Stau</p> 	<p>Autobahnfahrt</p> 
Chaotisches Verkehrsumfeld	<p>Parken, Manövrieren</p> 	<p>Stadt- und Landstraßenfahrt</p> 

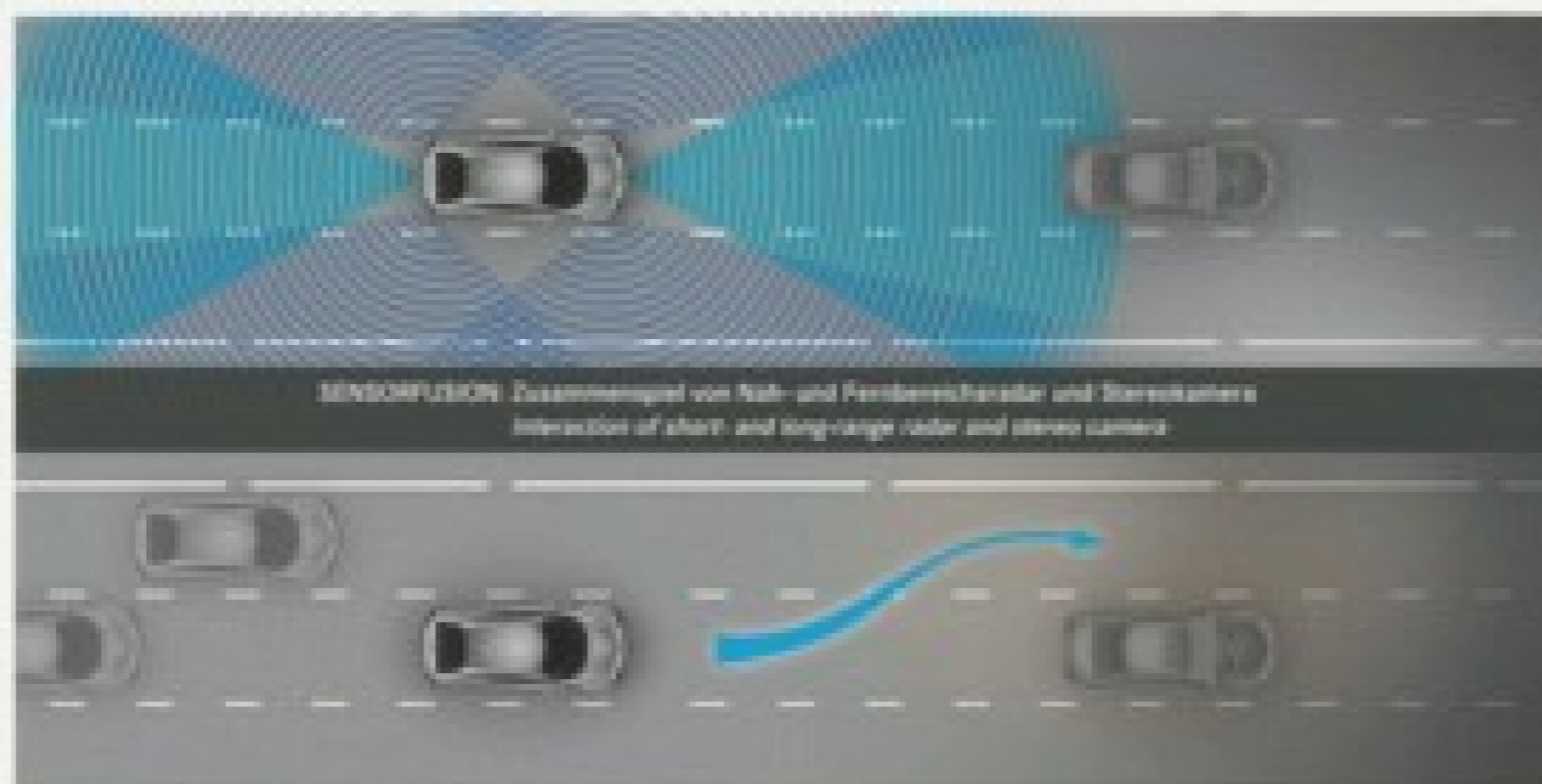
Komplexität der Verkehrssituation bestimmt Schwierigkeit

Dazu kommen Witterungsabhängigkeiten und Tag/Nacht-Unterschiede

	Niedrige Eigengeschwindigkeit	Hohe Eigengeschwindigkeit
Strukturiertes Verkehrsumfeld	<p>Stau</p> 	<p>Autobahnfahrt</p> 
Chaotisches Verkehrsumfeld	<p>Parken, Manövrieren</p> 	<p>Stadt- und Landstraßenfahrt</p> 

Autobahn-Pilot

- Autonomes Fahren inklusive Überholmanöver auf baulich getrennten Richtungsfahrbahnen
- Anpassung der Geschwindigkeit nicht nur an Tempolimits, sondern auch an Verkehrssituation, Witterung und Strecke
- Kollisionsfreiheit (so gut wie ein menschlicher Fahrer) wird sichergestellt



Wieso sind Stadt- und Überlandstraßen so schwierig?

	Autobahn	Stadt- und Überlandstraßen
Spuren	Breit	Eng und nicht immer exklusiv
Richtung	Gleiche Richtung für alle	Fahrzeuge aus und in alle Richtungen
Manöver	Spurwechsel	<ul style="list-style-type: none">• Umfahrend von Hindernissen (z.B. parkenden Autos) inkl. Koordination mit dem Gegenverkehr• Kreuzungen und Einmündungen• Kreisverkehre
Verkehrszeichen	Tempolimits	Verkehrszeichen und Vorfahrtsregeln
Verkehrsteilnehmer	Nur Fahrzeuge	Fußgänger und Fahrradfahrer
Sichtbereich	Weit	Eingeschränkt

Automatisiertes Fahren im Überland- und Stadtverkehr Auf den Spuren von Bertha Benz



Fahrzeug-Plattform

Ein normaler S 500[®]
mit allen Notbremssystemen
als Basisschutz



... aber mit modifizierter Software für die Aktoransteuerung

Lenkung



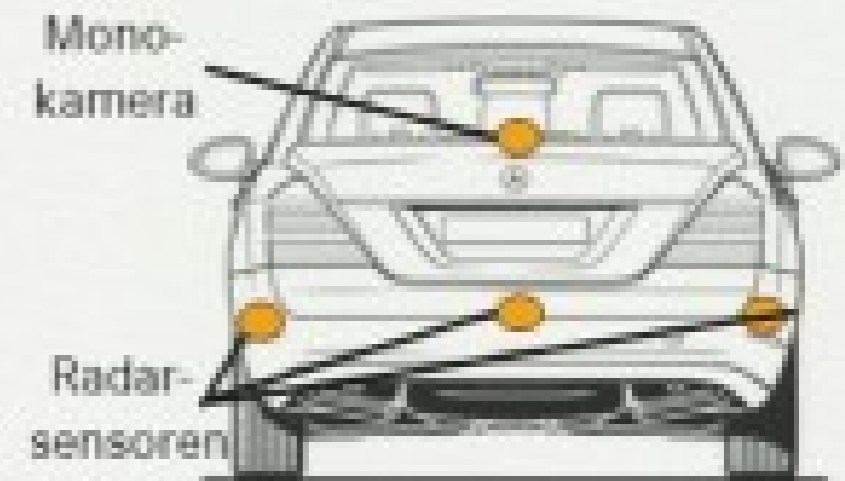
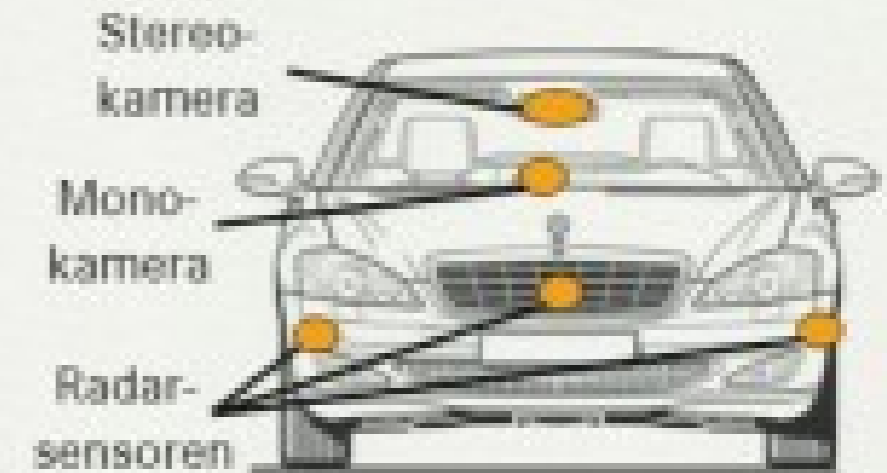
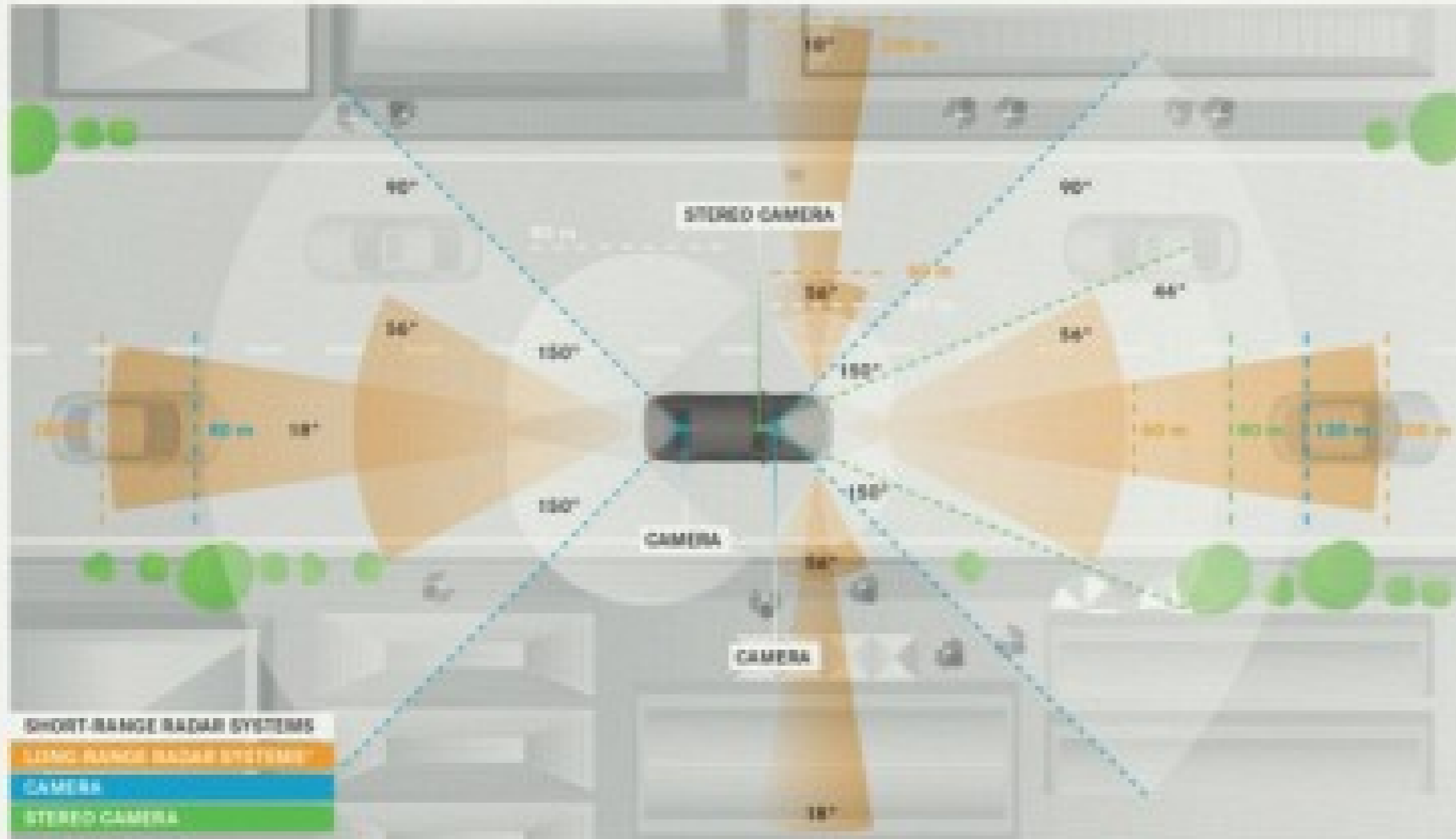
Serien-Electrolenkung mit
Spezielle Software,
um größer Lenkwinkel und
Lenkwinkelgeschwindigkeiten
zuzulassen
(2 12 4x4 ZF EPS)

Beschleunigen/Bremsen

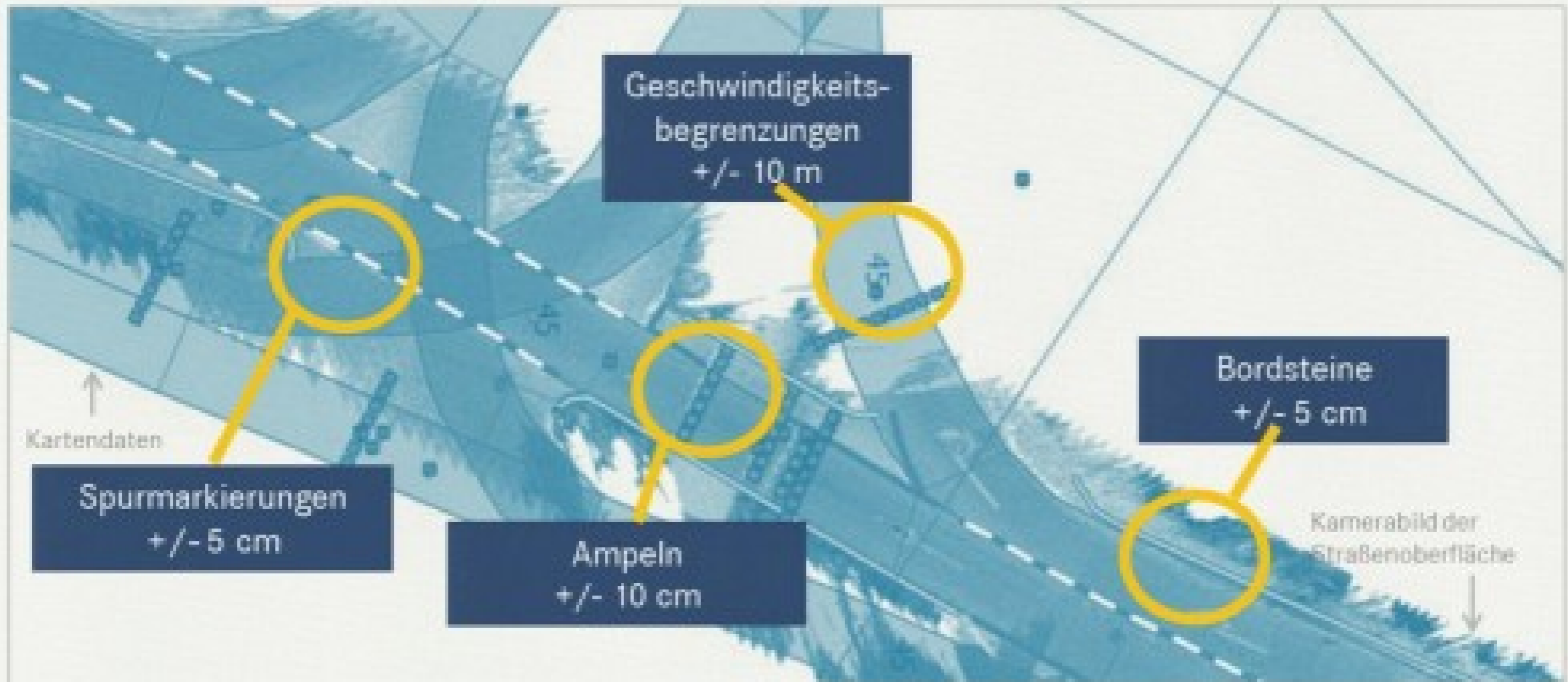


Angepasste 222 MB
DISTRONIC zur
Beschleunigungs- und
Bremsregelung

... und mit zusätzlichen seriennahen Radarsensoren und Kameras

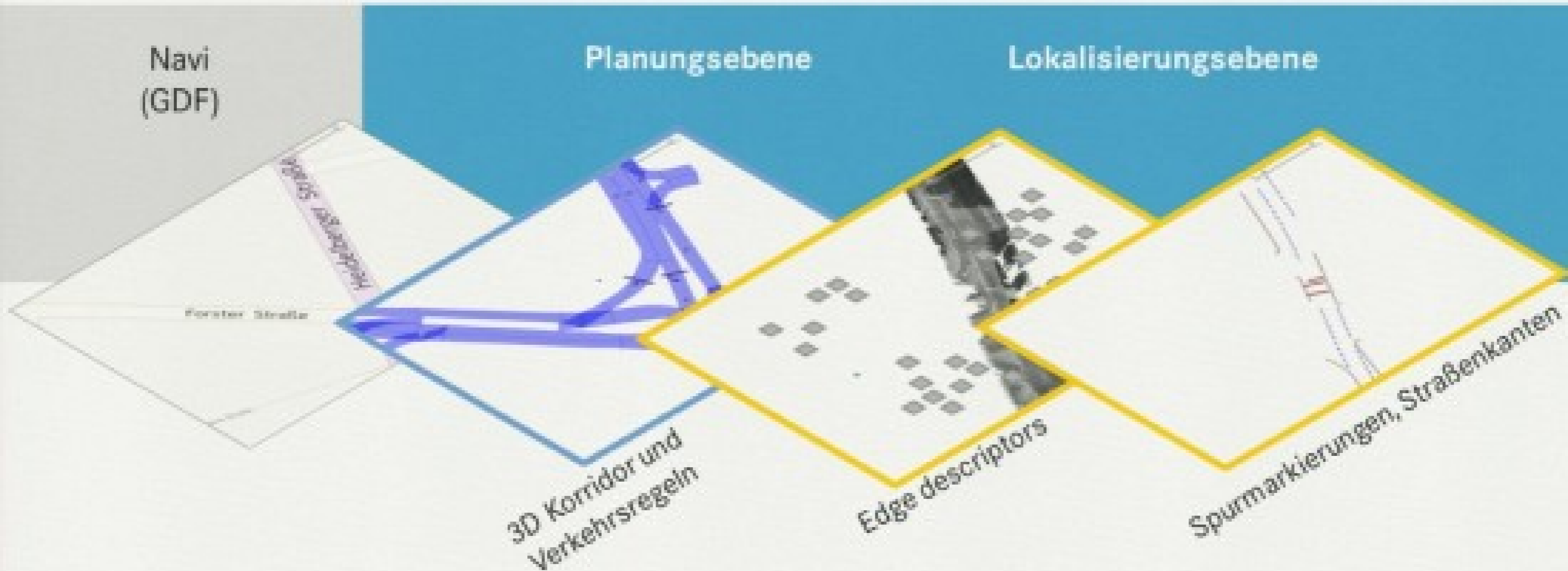


... und hochgenauer Karte



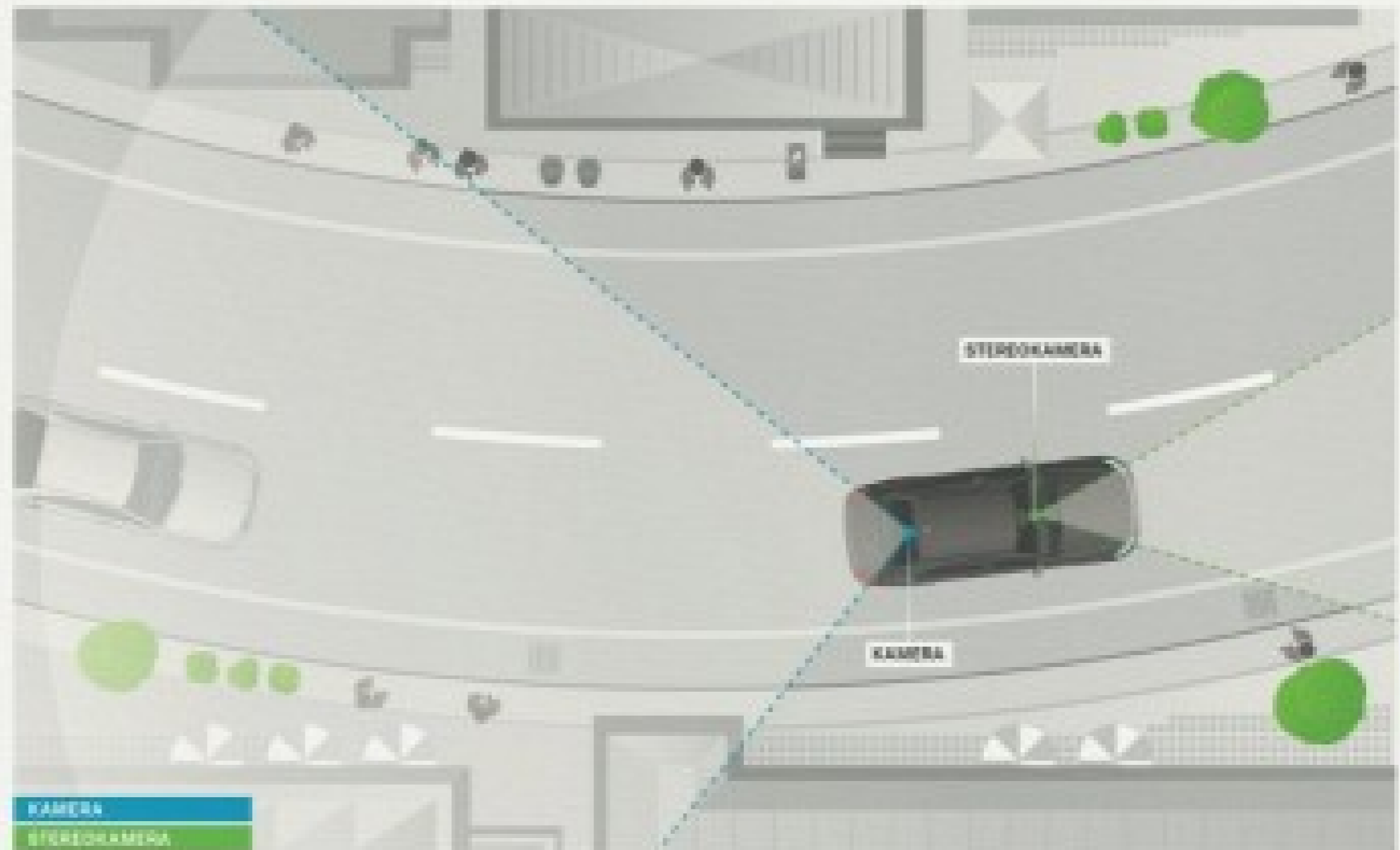
Kartenarchitektur

Karteninhalte in unterschiedlichen Layern für verschiedene Module (Lokalisierung, Planung)

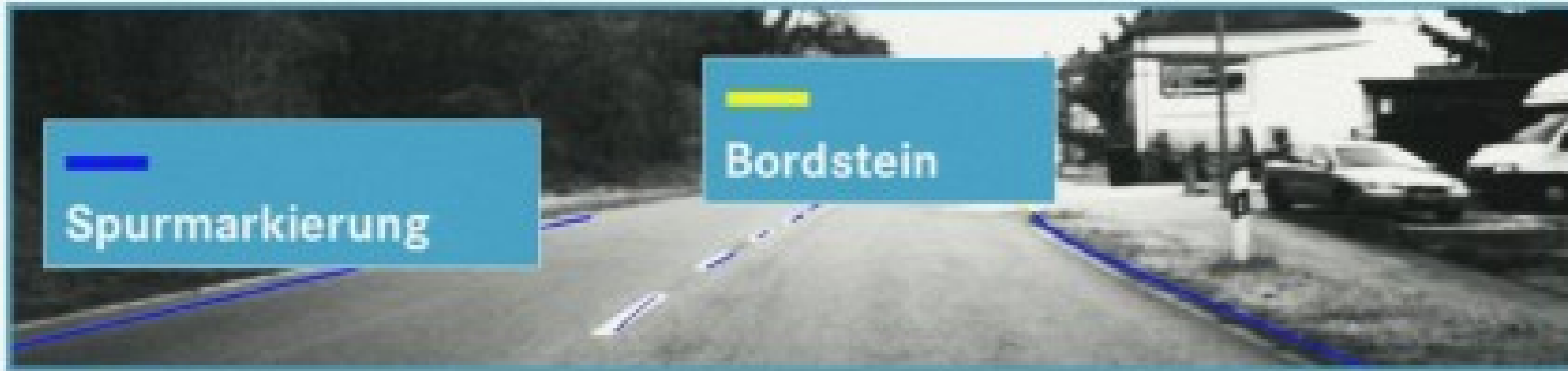


Positionierung

- GPS ist für die Lokalisierung zu ungenau.
- Kameras nehmen Spurmarkierungen (nach vorne) und Landmarken (nach hinten) auf und vergleichen diese mit den in der Karte abgelegten Daten.
- Zentimetergenaue Positionierung



Lokalisierung: Visuelle Positionierung



Überlandverkehr:
"Lane Loc"

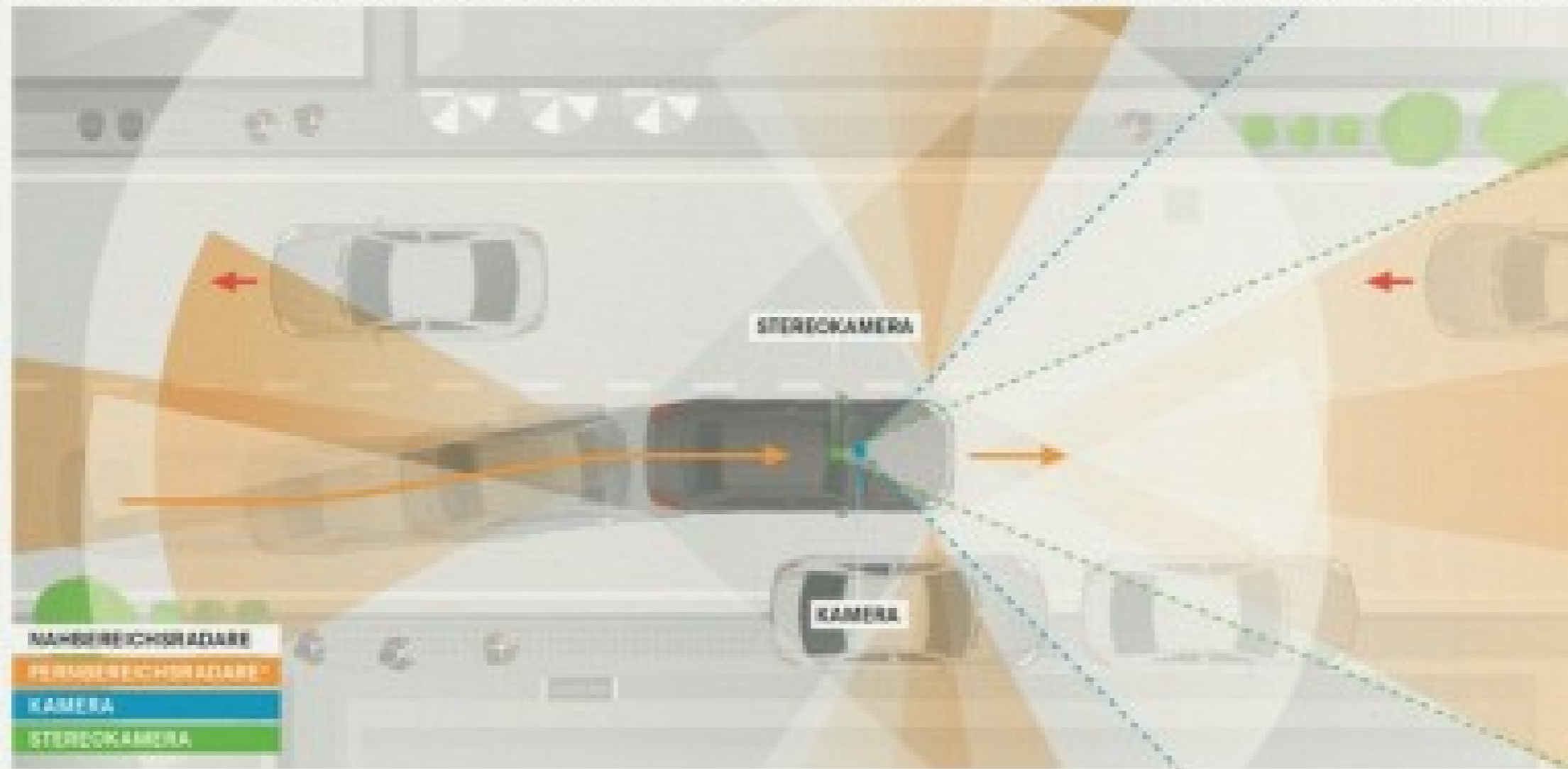


Stadtverkehr:
"Feature Loc"

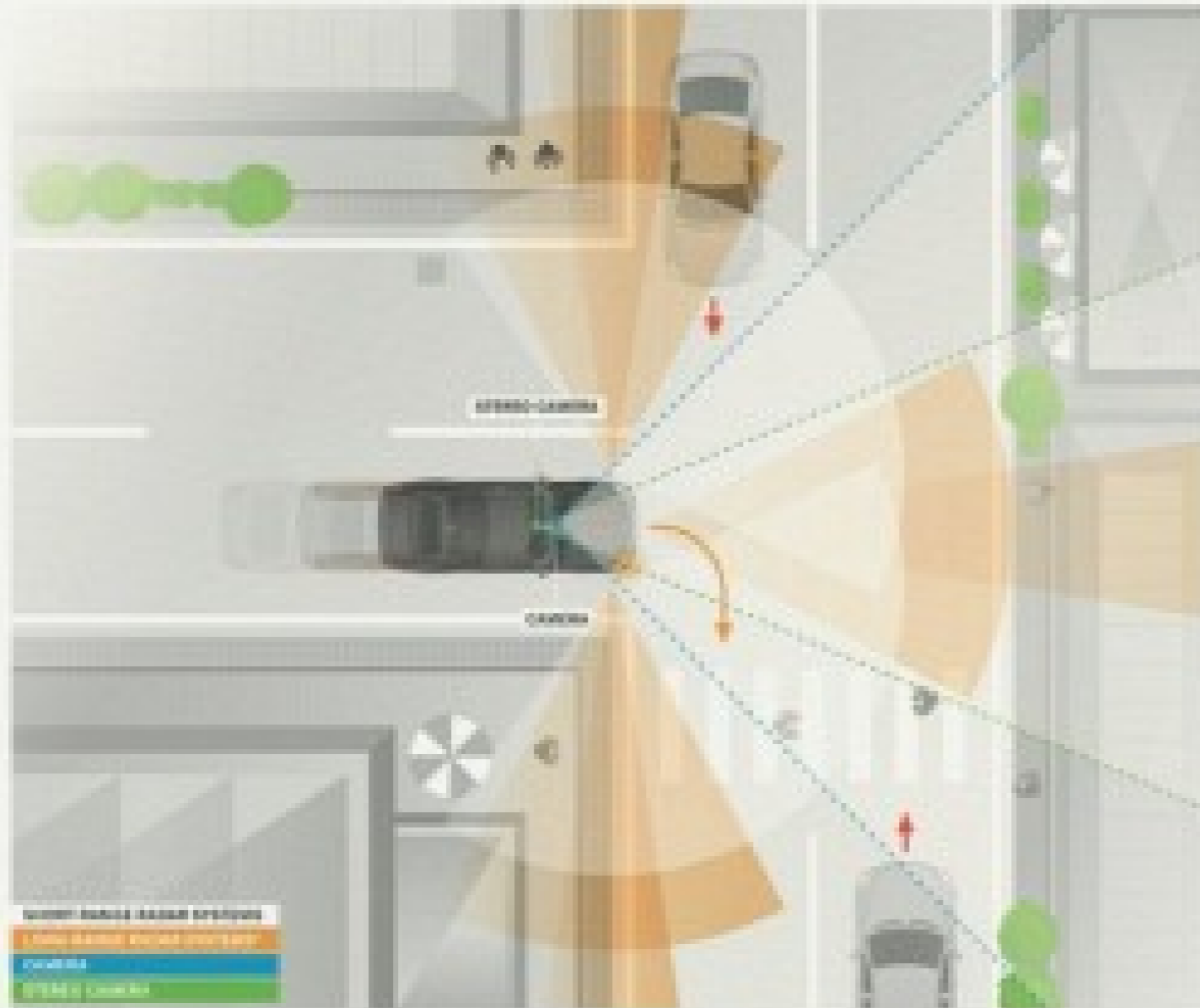
Zusammenarbeit
mit KIT

Hindernisserkennung

Fahrzeug erkennt statische und dynamische Hindernisse mit Radaren und Stereokamera



... auch an Kreuzungen und in Kreisverkehren



Radarbasierte Objekterkennung

Detektion bewegter Objekte

Beobachtung von querendem Verkehr an Kreuzungen

Detektion verdeckter Objekte

Beobachtung von Fahrzeugen in Kreisverkehren

Radarbasierte Objekterkennung

Detektion bewegter Objekte

Beobachtung von querendem Verkehr an Kreuzungen

Detektion verdeckter Objekte

Beobachtung von Fahrzeugen in Kreisverkehren

Stereoseehen

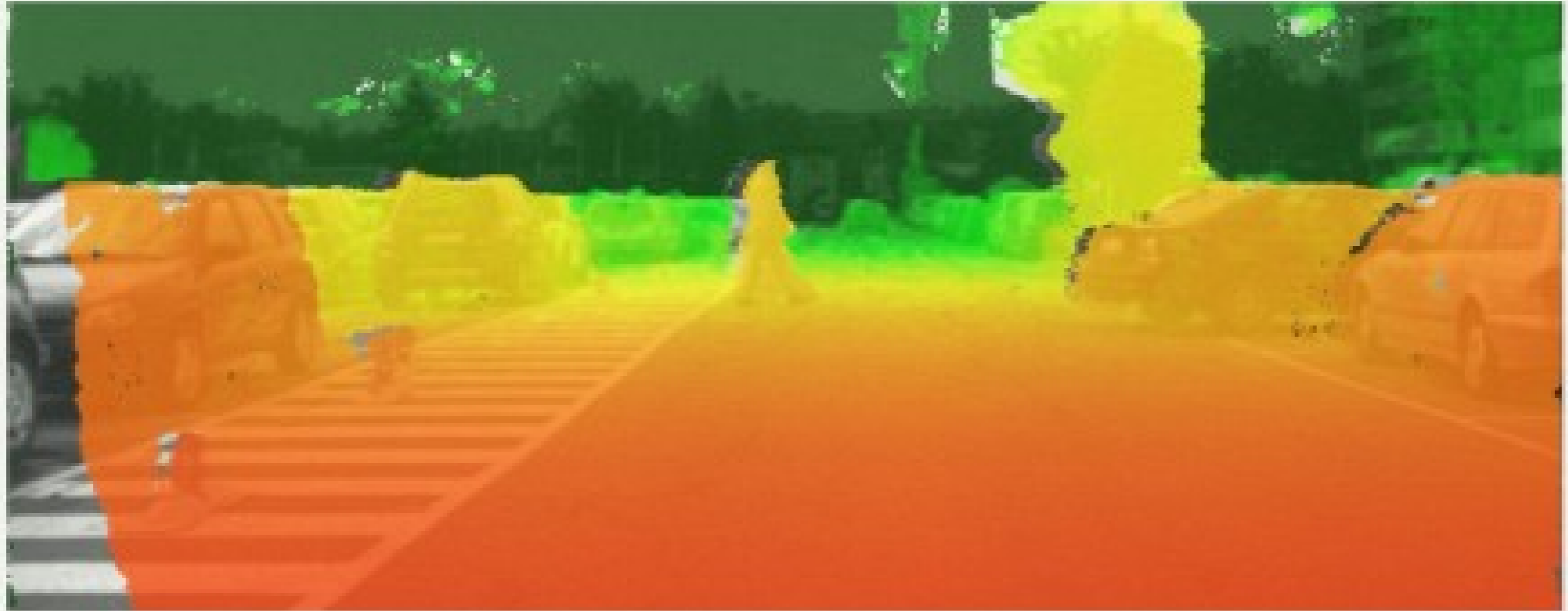




Rechtes Bild



Linkes Bild



Disparitätsbild

Farbcodierte Entfernung:
nah fern

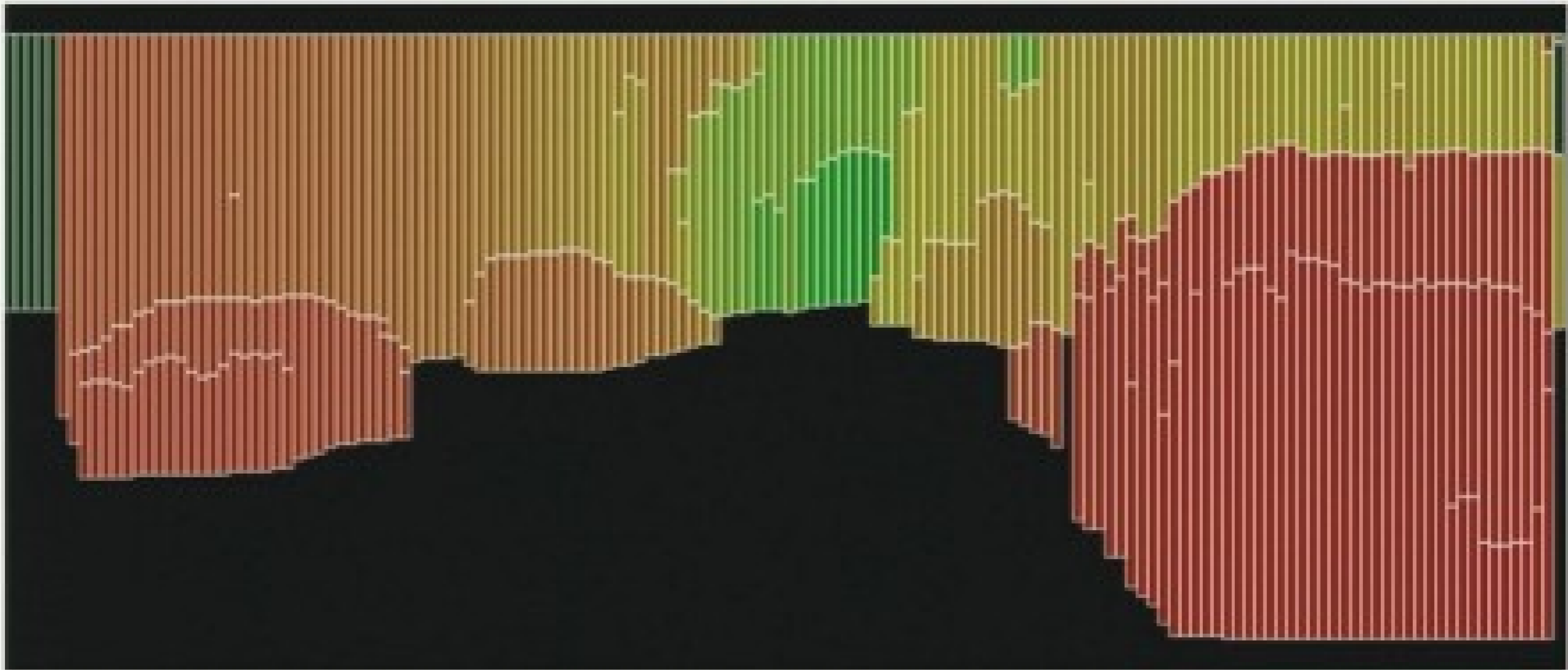
Vom Pixel zu Objekten



Disparitätsbild: 400.000 pixels in 3D

Stixelbild: ca. 1.000 stixels in 3D

Vom Pixel zu Objekten



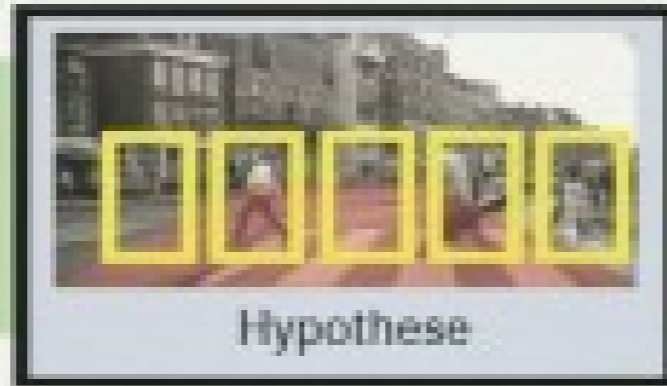
Disparitätsbild: 400.000 pixels in 3D

Stixelbild: ca. 1.000 stixels in 3D

Umgebungserfassung: Fußgänger



Umgebungserfassung: Fußgänger



Objekterkennung: Fahrzeuge

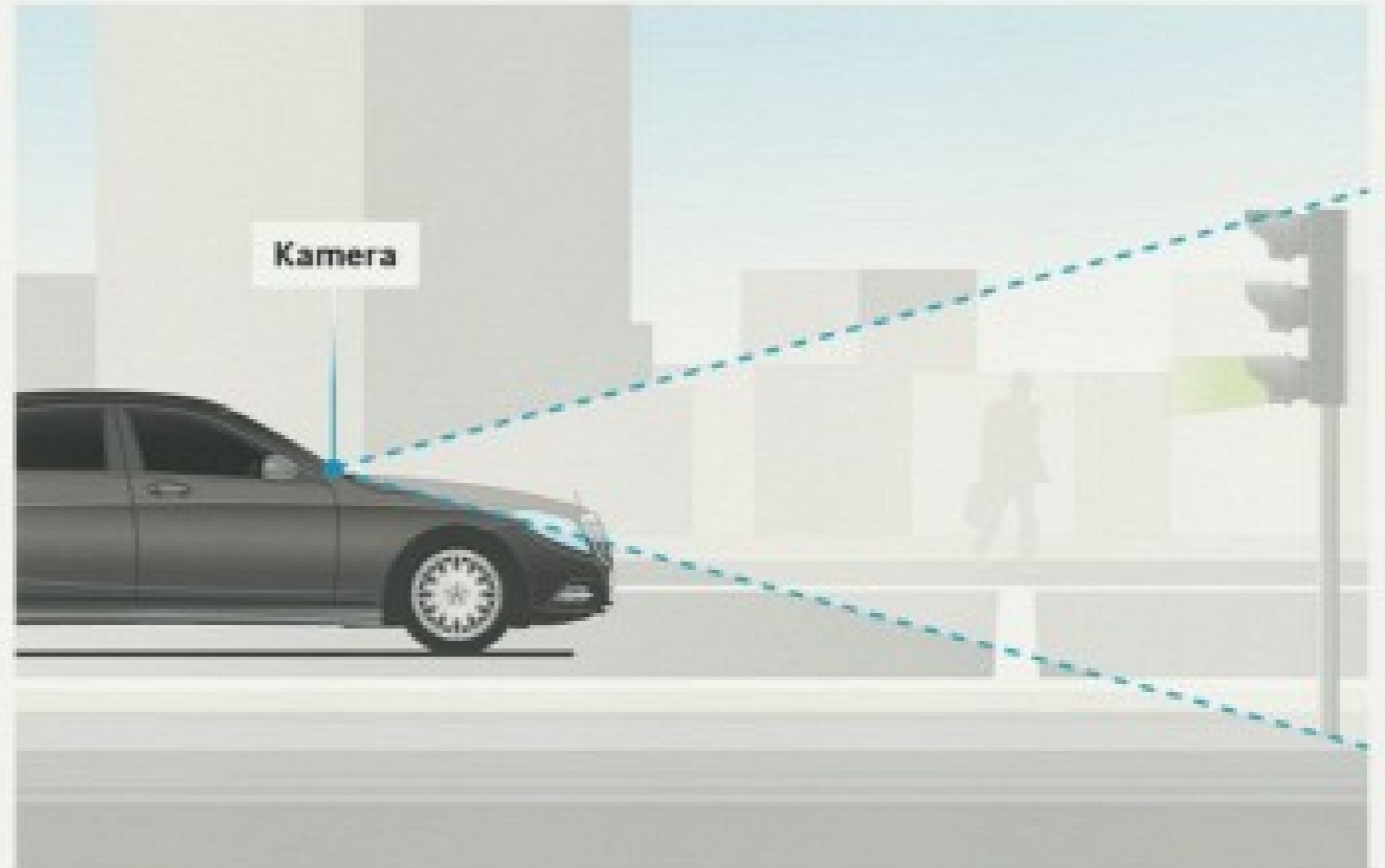
Werkzeugkette analog zur Fußgängererkennung



Ampelerkennung

Ampeln sind schwer zu erkennen und zuzuordnen

- Nur wenige Pixel auf Kamerachip (speziell bei Pfeilampeln)
- Detektion aus großen Entfernungen erforderlich
- An der Kreuzung großer Sichtwinkel erforderlich
- Zuordnung der relevanten Ampel zur Spur nicht einheitlich geregelt.



Ampelerkennung



Ampelerkennung



- Beim Anhalten an der Ampel muss sich die Ampel im Sichtfeld der Kamera befinden.

Ampelerkennung



- Beim Anhalten an der Ampel muss sich die Ampel im Sichtfeld der Kamera befinden.
- Bei Annäherung muss die Ampel auch auf große Entfernungen (z.B. Landstraße) erkannt werden.

Ampelerkennung



- Beim Anhalten an der Ampel muss sich die Ampel im Sichtfeld der Kamera befinden.
- Bei Annäherung muss die Ampel auch auf große Entfernungen (z.B. Landstraße) erkannt werden.

Ampelerkennung



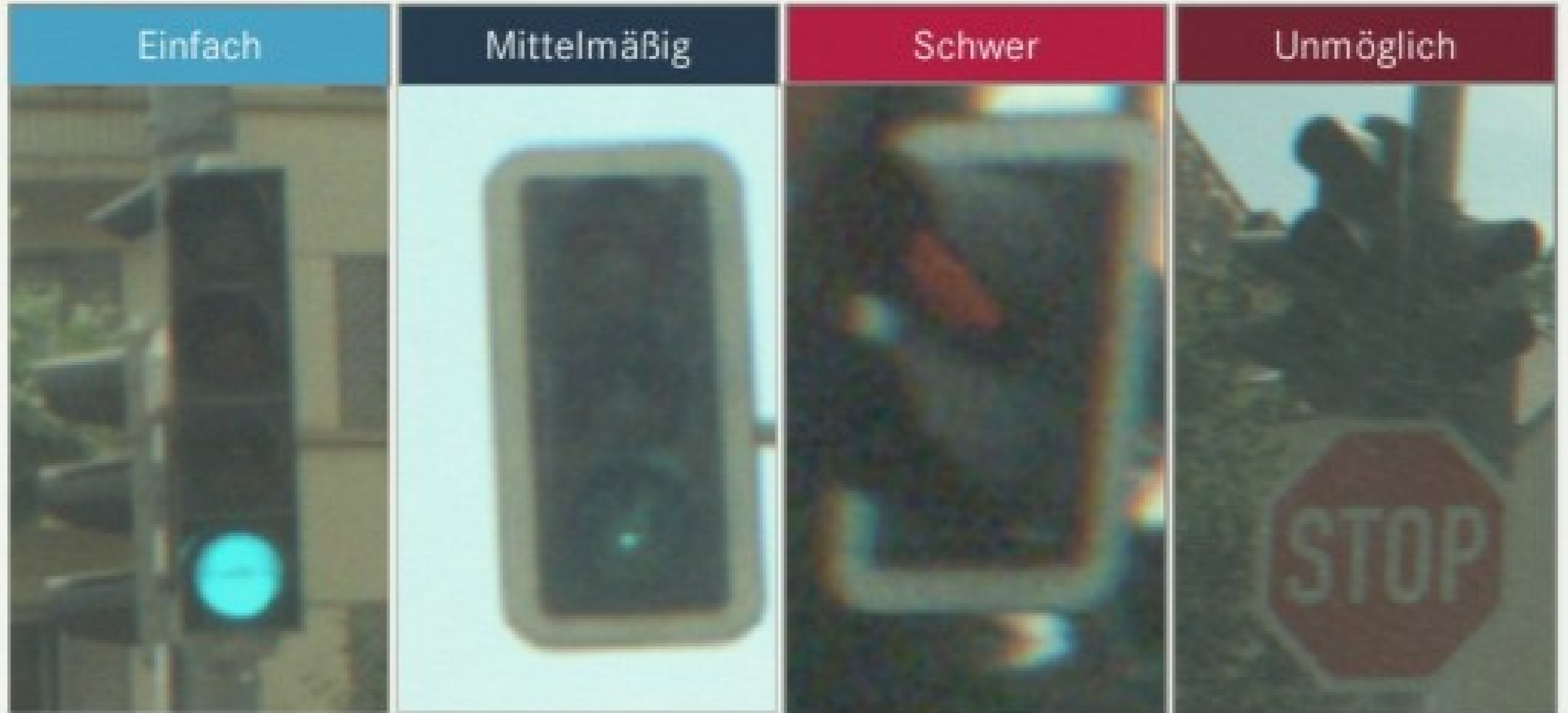
- Beim Anhalten an der Ampel muss sich die Ampel im Sichtfeld der Kamera befinden.
- Bei Annäherung muss die Ampel auch auf große Entfernungen (z.B. Landstraße) erkannt werden.
- An Kreuzungen muß die Zuordnung der Ampel möglich sein.

Ampelerkennung

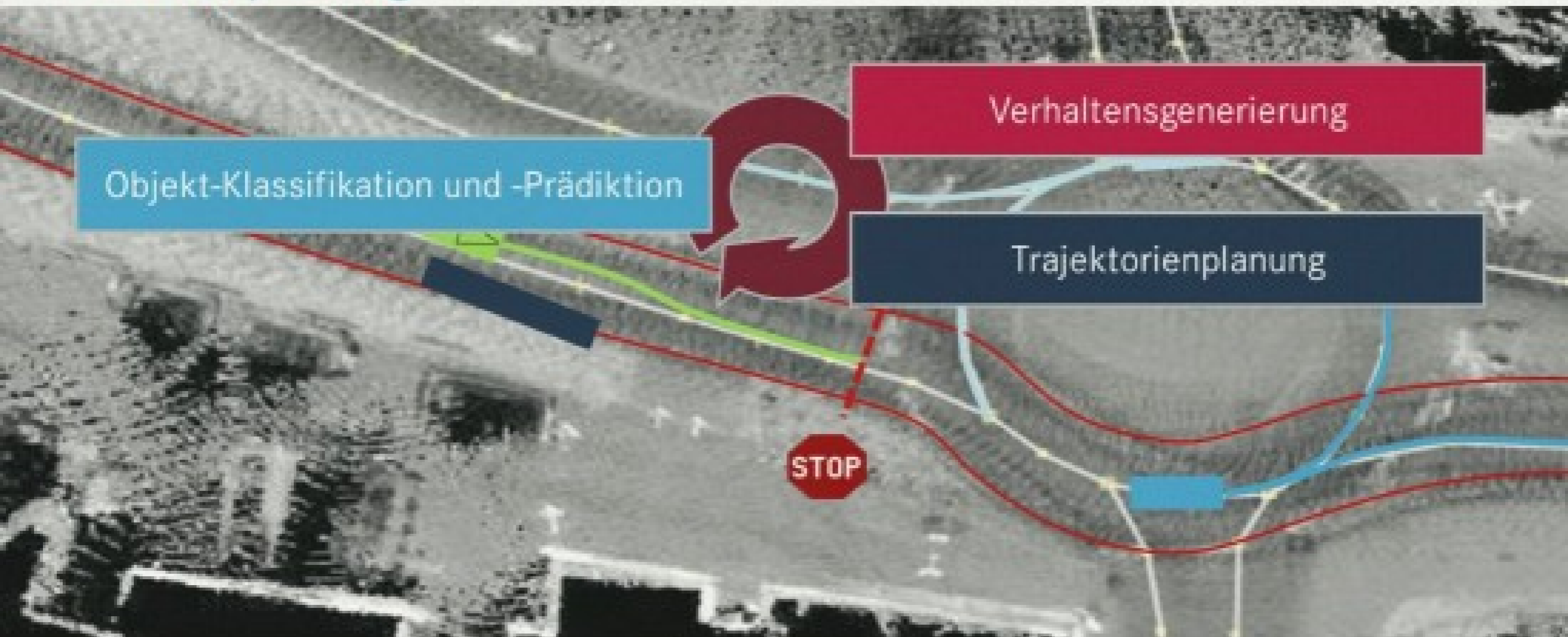


- Beim Anhalten an der Ampel muss sich die Ampel im Sichtfeld der Kamera befinden.
- Bei Annäherung muss die Ampel auch auf große Entfernungen (z.B. Landstraße) erkannt werden.
- An Kreuzungen muß die Zuordnung der Ampel möglich sein.

Ampelerkennung



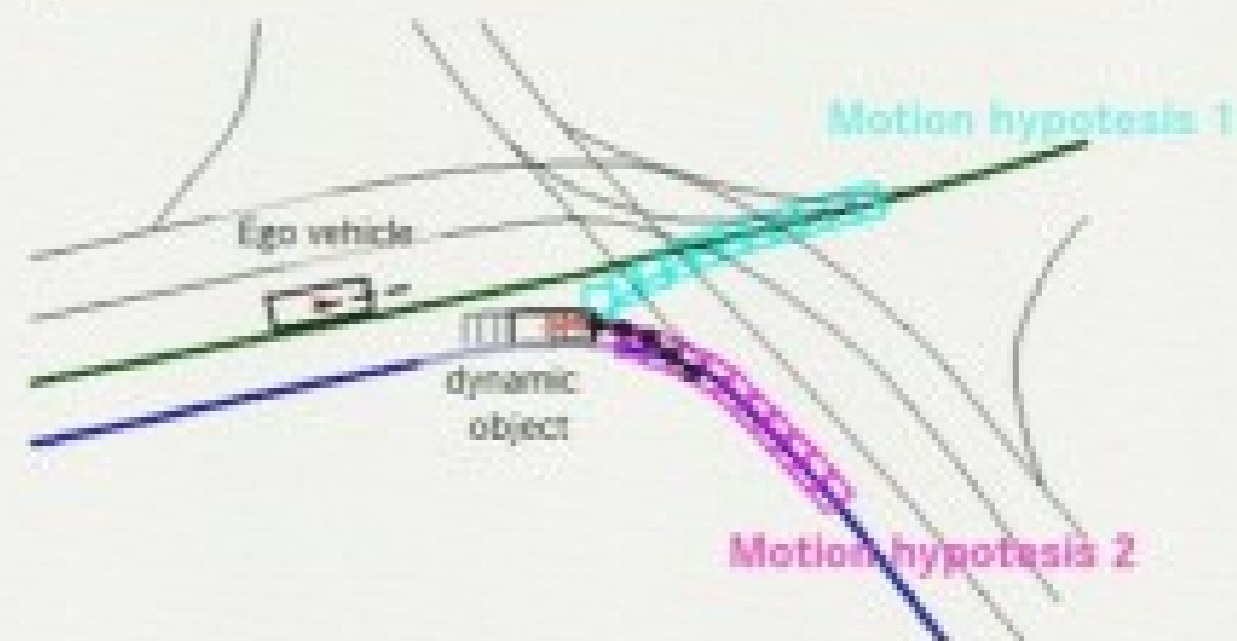
Manöverplanung



In Zusammenarbeit mit KIT

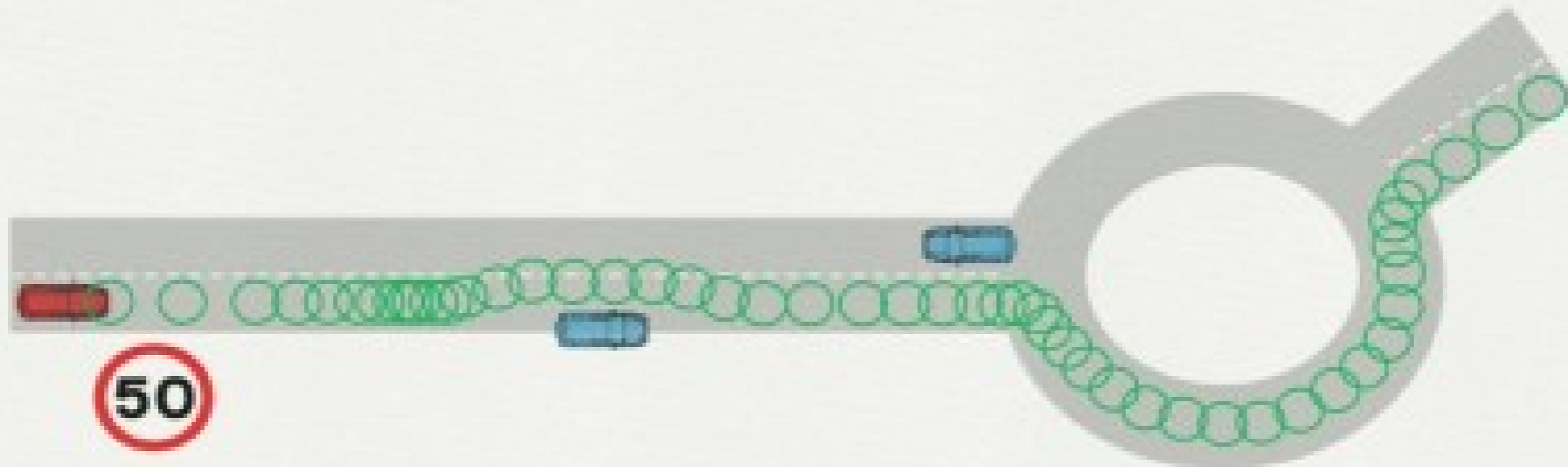
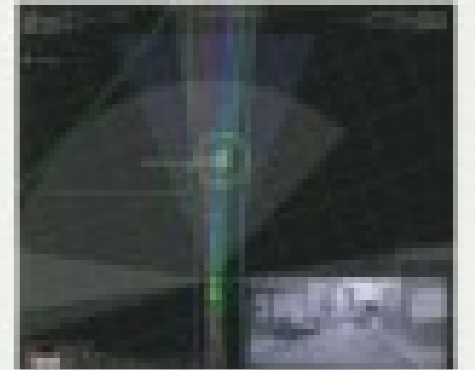
Objektklassifikation und Verhaltensprädiktion

- Klassifikation der Objekte in der Umgebung
 - statische Objekte
 - dynamische Objekte (Autos, Fußgänger, ...)
- Generierung von Bewegungshypothesen für die dynamischen Objekte auf Basis von Objektattributen und Fahrspuren
- Testen und Bewerten von probabilistischen Bewegungshypothesen
- Verhaltensprädiktion der Objekte

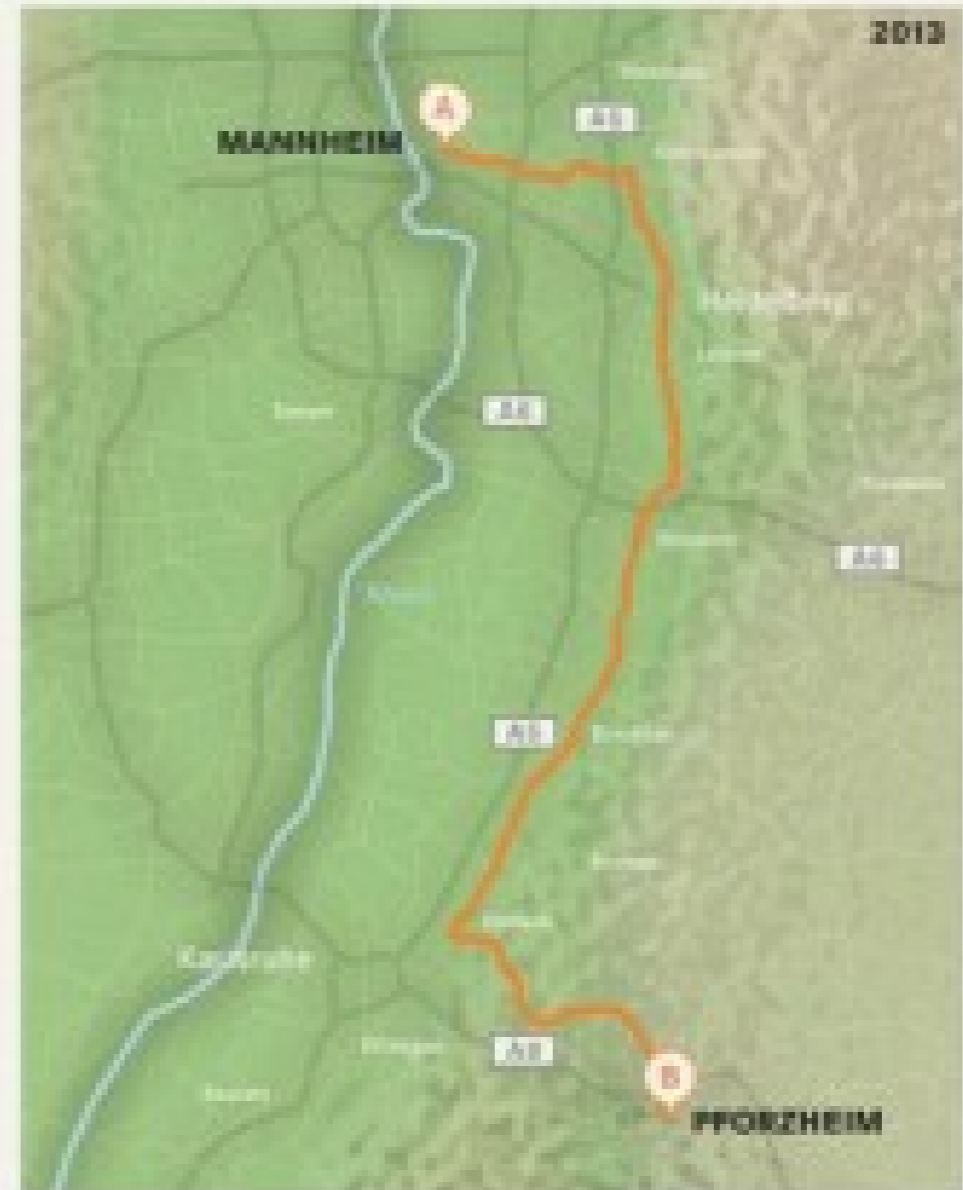
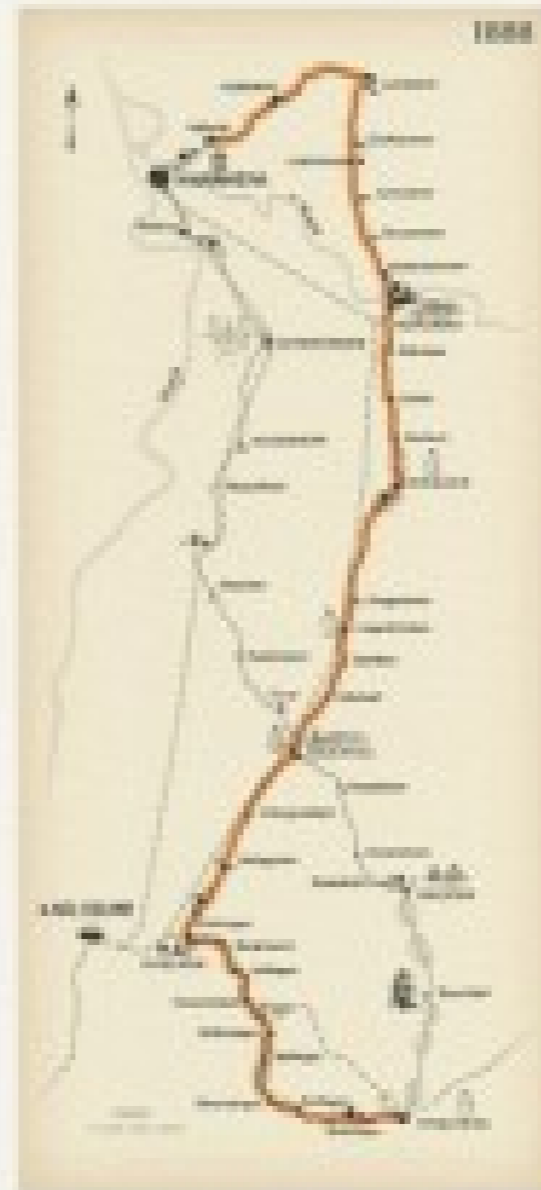


Trajektorienplanung

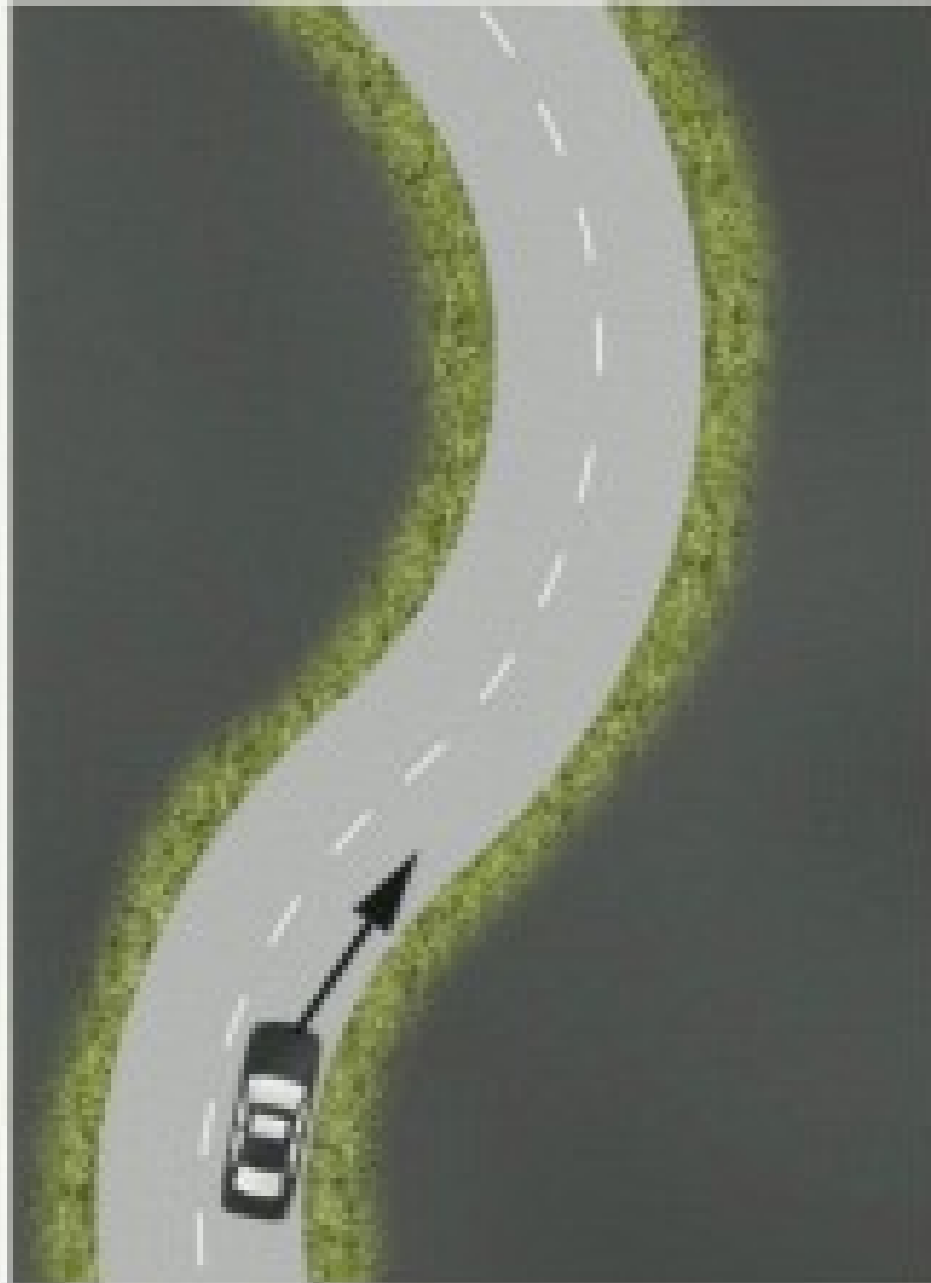
- Trajektorienplanung unter Betrachtung statischer (z.B. parkende Fahrzeuge) und dynamischer Objekte (z.B. Gegenverkehr)
- Optimierungsziele:
 - Minimale Abweichung zur gewünschten ursprünglichen kartenbasierten Planung
 - Keine Kollisionen mit Objekten auf oder neben der Fahrbahn
 - Minimale Längs- und Querrucke (= maximaler Fahrkomfort)



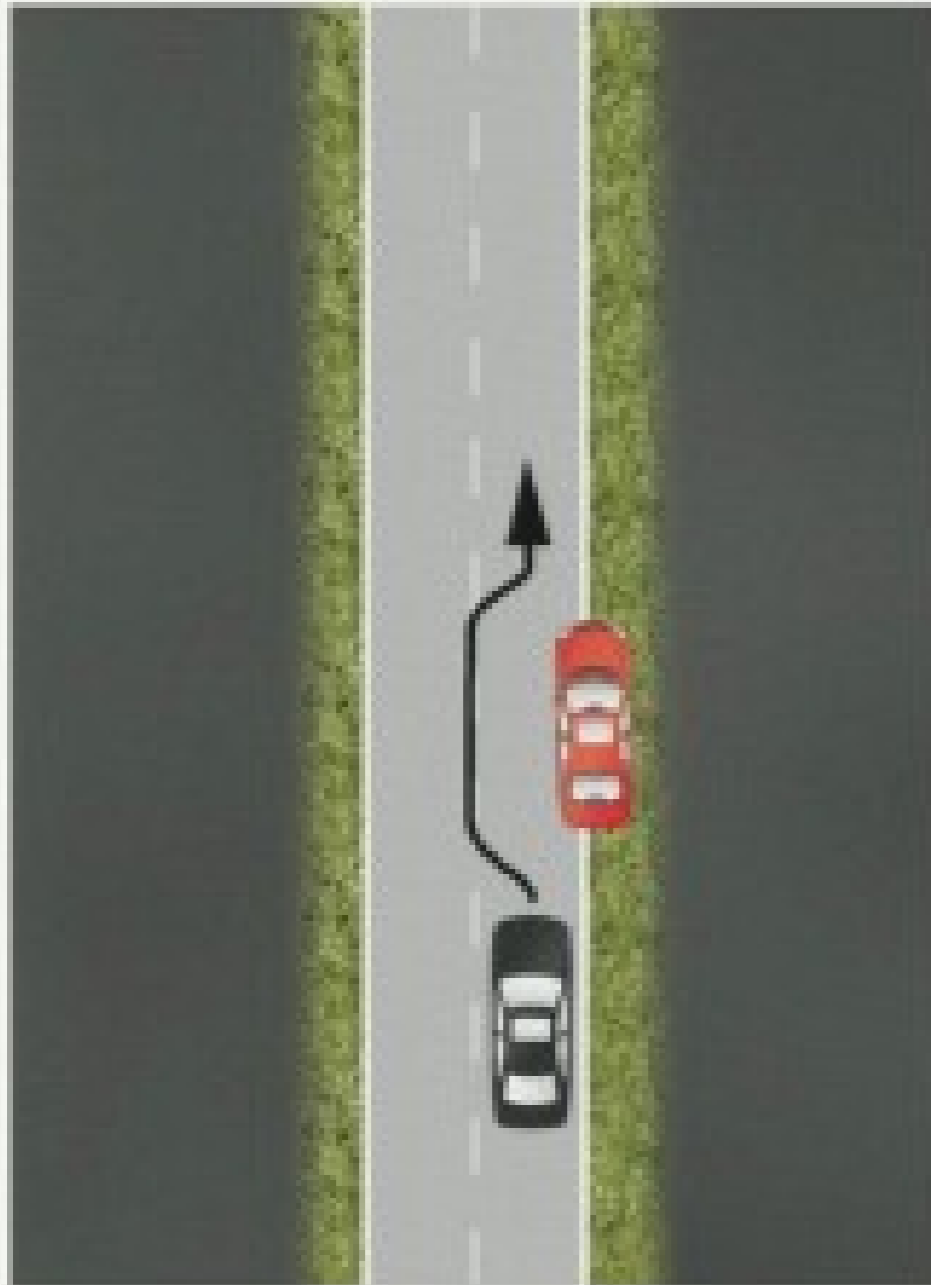
Impressionen von der Bertha-Route



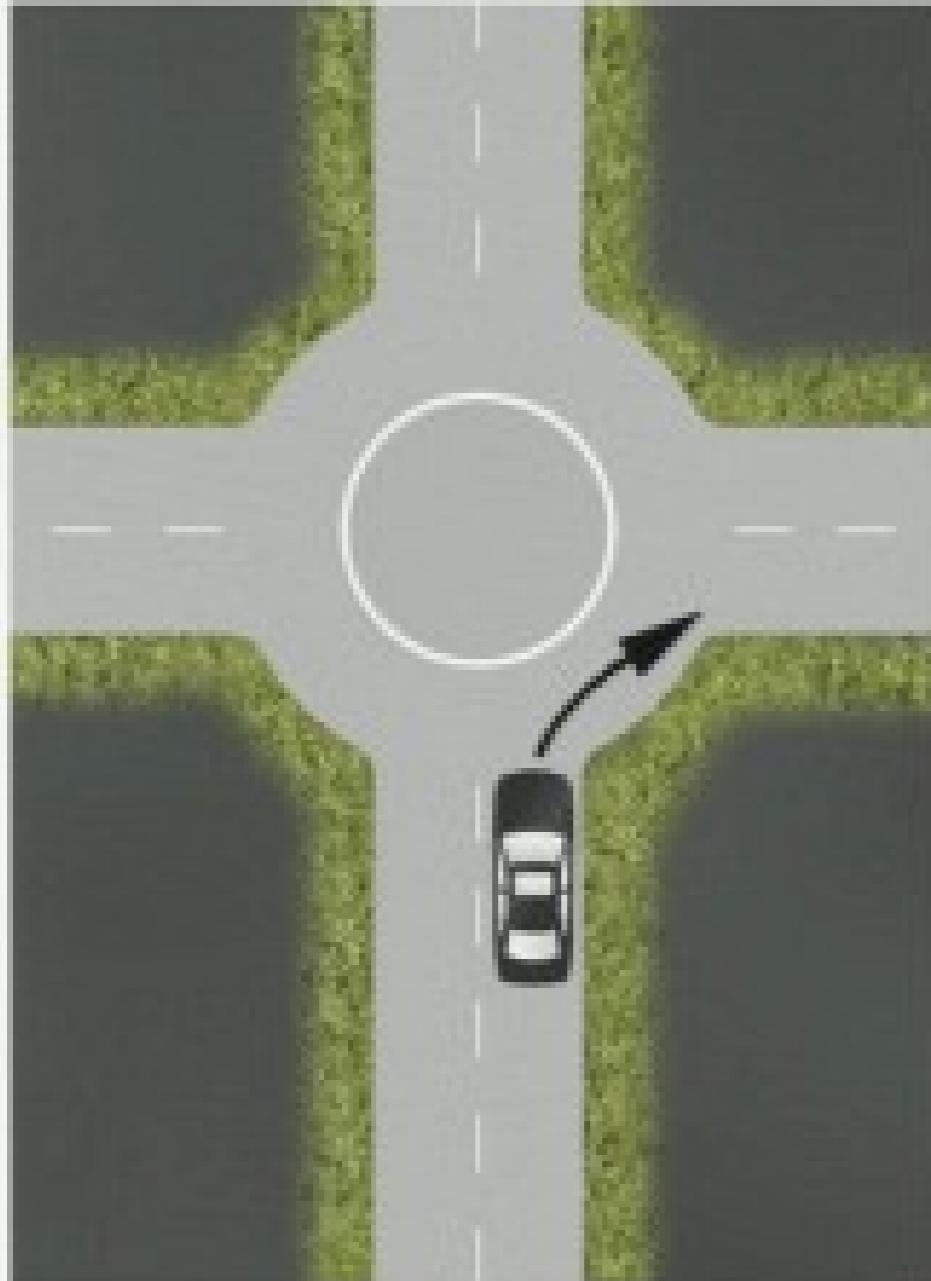
Überlandfahrt



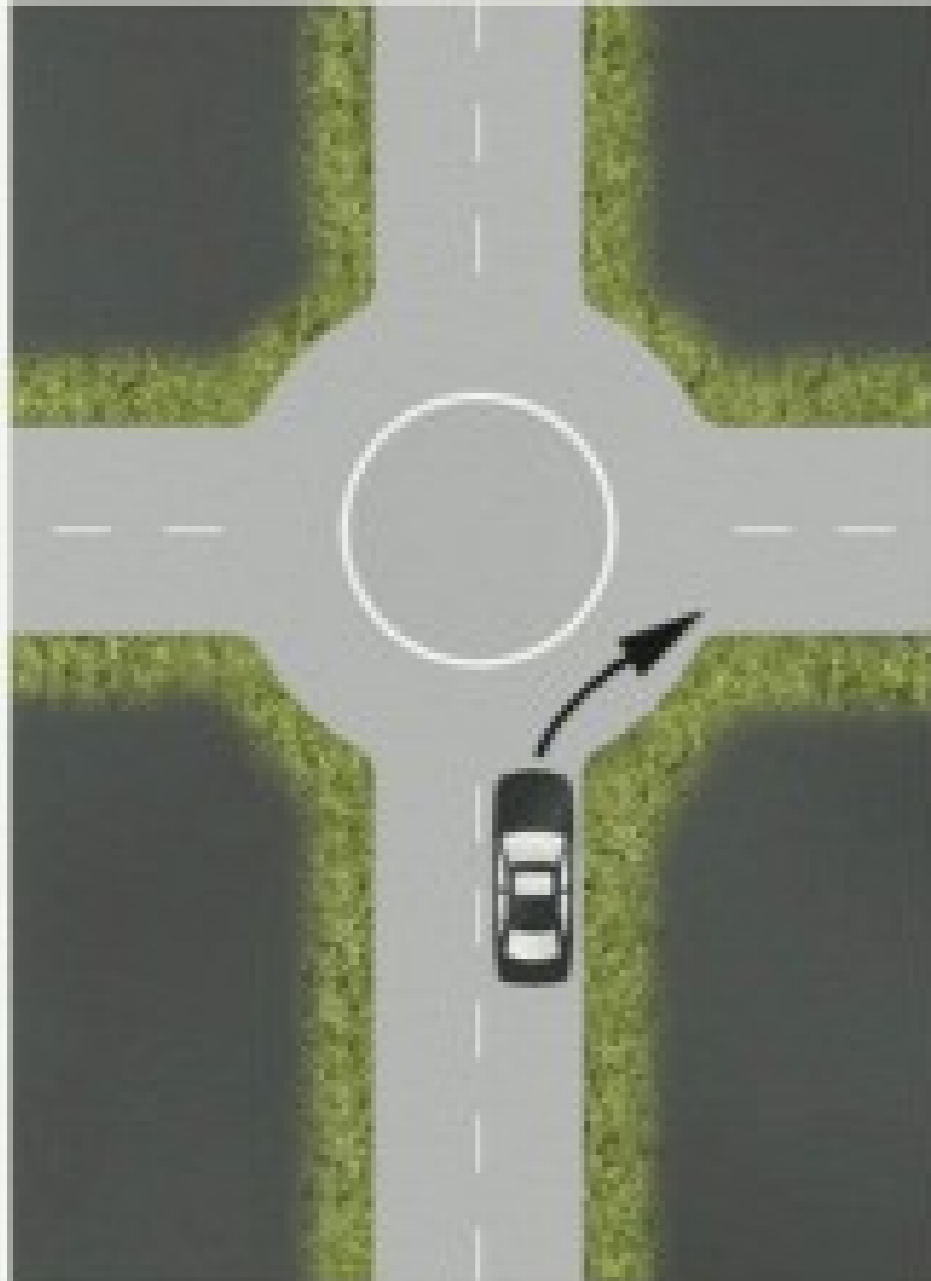
Parkende Fahrzeuge



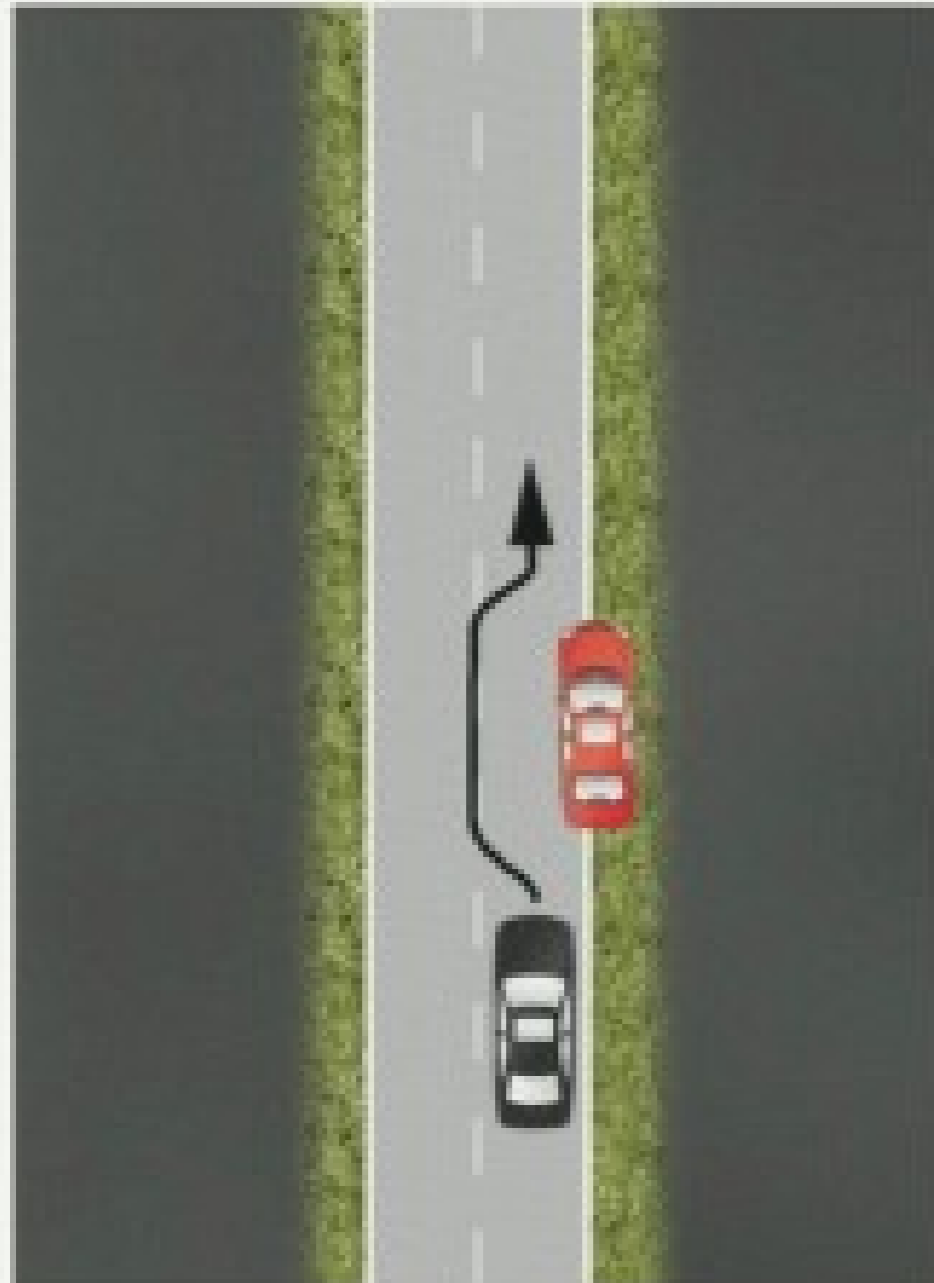
Kreisverkehr



Kreisverkehr



Engstellen mit Gegenverkehr

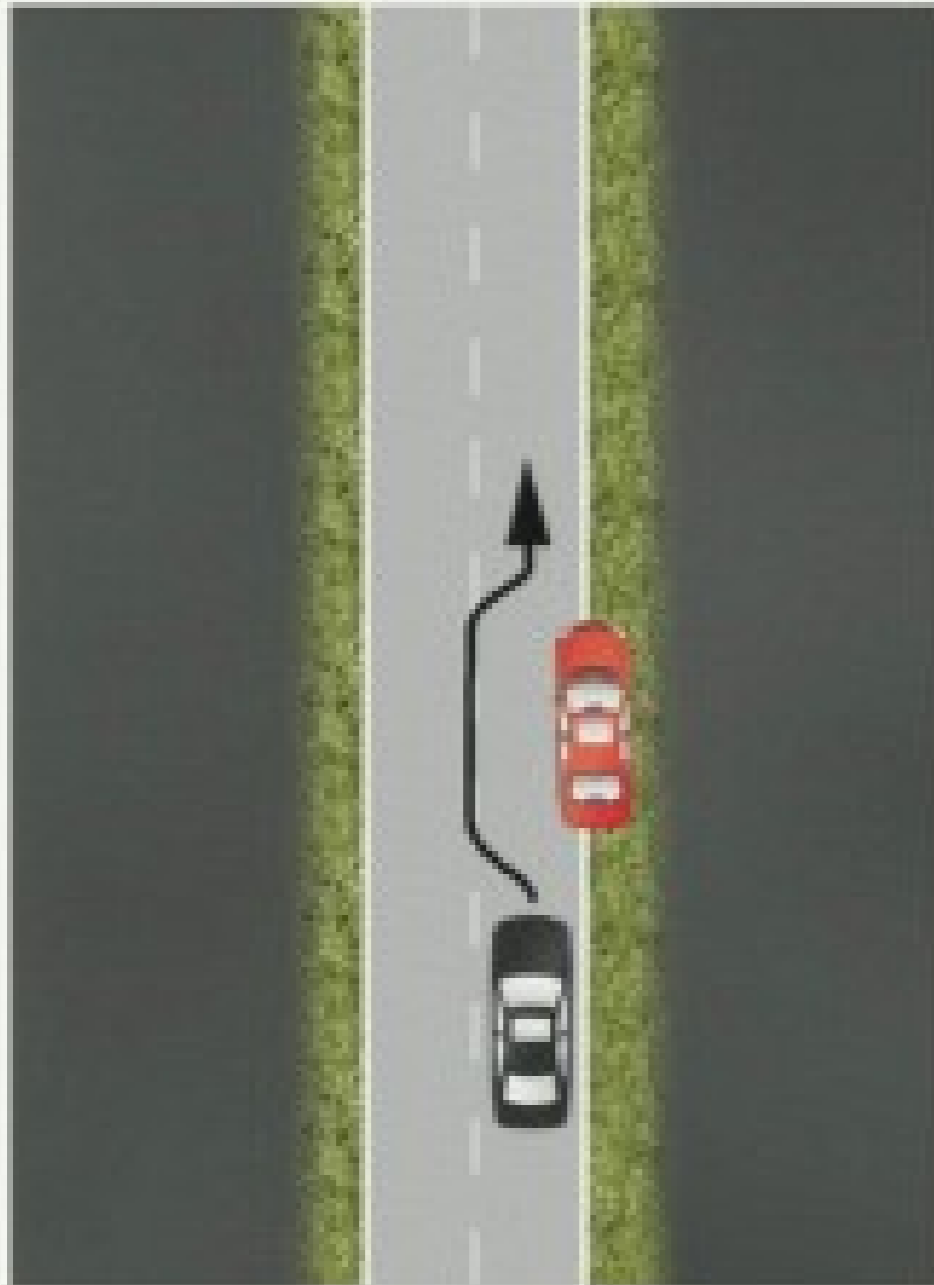


Umfahren statischer Objekte bei Gegenverkehr

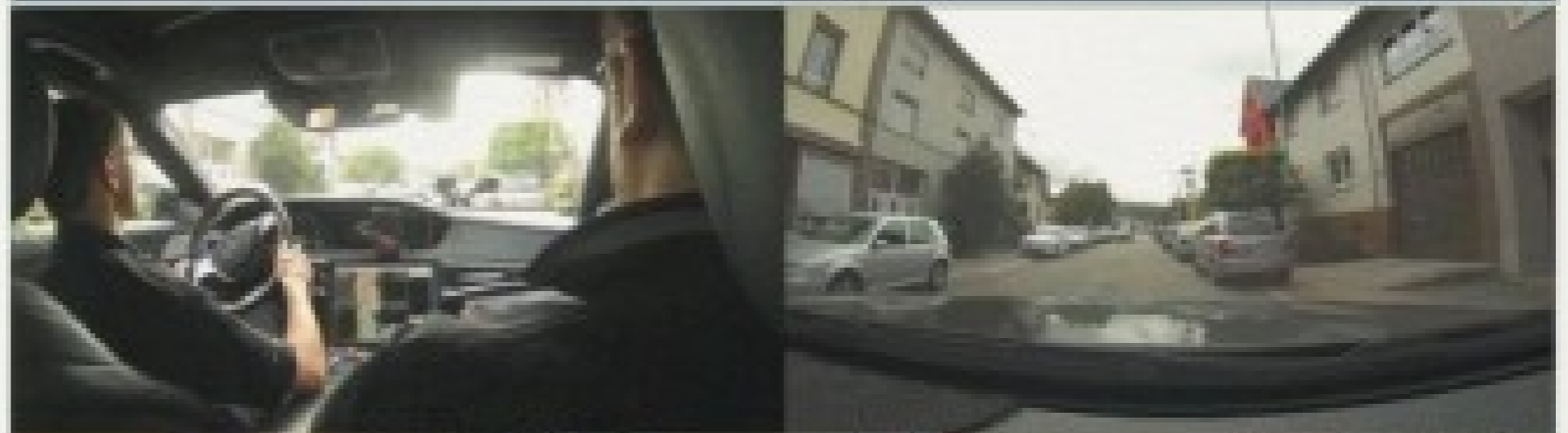


Söllingen 2:14h

Engstellen mit Gegenverkehr



Umfahren statischer Objekte bei Gegenverkehr



Fußgänger



Was bedeutet autonom?

αὐτο Autos = „selbst“ + νόμος Nomos = „Gesetz“

→ Selbstgesetzgebung

Was bedeutet autonom?

αὐτο Autos = „selbst“ + νόμος Nomos = „Gesetz“

→ Selbstgesetzgebung



→ Besser: Eigenverantwortlichkeit im Rahmen gegebener Regeln

Automatisierungsstufen



(Stufeneinteilung nach BAST)

Automatisierungsstufen

Nicht automatisiert

Fahrer fährt selbst


Teilautomatisiert



Hochautomatisiert



Vollautomatisiert



(Stufeneinteilung nach BAST)

Automatisierungsstufen

Nicht automatisiert

Fahrer fährt selbst

Teilautomatisiert



Hochautomatisiert



Vollautomatisiert



(Stufeneinteilung nach BAST)

Zulassungsrecht ggf. kritisch

Autonome Fahrzeuge sind prinzipiell zulassungsfähig, wenn sie notwendige Überwachungen durch den Fahrer sicherstellen

UN-R 79 (Lenkanlagen) erfordert Überarbeitung:
Momentan kein automatisches Lenken bei mehr als 10 km/h

Automatisierungsstufen

Nicht automatisiert

Fahrer fährt selbst

(Stufeneinteilung nach BAST)



Verhaltensrecht ggf. kritisch

Zulassungsrecht ggf. kritisch

Autonome Fahrzeuge sind prinzipiell zulassungsfähig, wenn sie notwendige Überwachungen durch den Fahrer sicherstellen

UN-R 79 (Lenkanlagen) erfordert Überarbeitung:
Momentan kein automatisches Lenken bei mehr als 10 km/h

Genfer und Wiener Weltabkommen für Straßenverkehr erfordern Klärungen hinsichtlich "Fahrer hat immer Kontrolle"

Mehrere US-Bundesstaaten (Nevada, Florida, Kalifornien) erlassen gerade Gesetze zum Betrieb autonomer Fahrzeuge

Automatisierungsstufen

Nicht automatisiert

Fahrer fährt selbst

(Stufeneinteilung nach BAST)

Teilautomatisiert



Hochautomatisiert



Vollautomatisiert



Verhaltensrecht ggf. kritisch

Zulassungsrecht ggf. kritisch

Autonome Fahrzeuge sind prinzipiell zulassungsfähig, wenn sie notwendige Überwachungen durch den Fahrer sicherstellen

UN-R 79 (Lenkanlagen) erfordert Überarbeitung:
Momentan kein automatisches Lenken bei mehr als 10 km/h

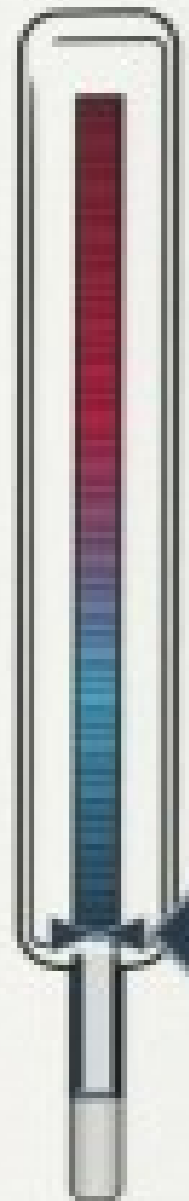
Genfer und Wiener Weltabkommen für Straßenverkehr erfordern Klärungen hinsichtlich "Fahrer hat immer Kontrolle"

Mehrere US-Bundesstaaten (Nevada, Florida, Kalifornien) erlassen gerade Gesetze zum Betrieb autonomer Fahrzeuge

Produkthaftungsrecht bleibt unberührt

Event Data Recorder sinnvoll zur Klärung von Ansprüchen

Freiheiten des Fahrers



Auto fahren



Freiheiten des Fahrers



Freiheiten des Fahrers



Freiheiten des Fahrers



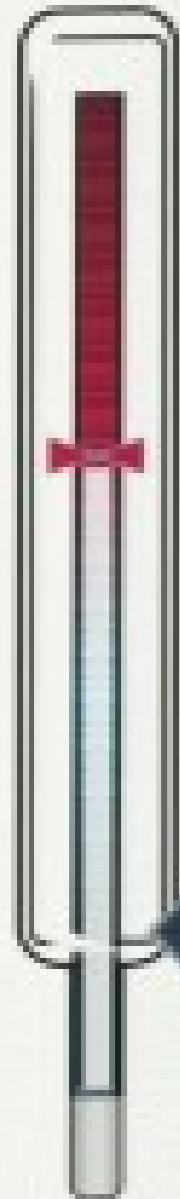
Freiheiten des Fahrers



Auto fahren



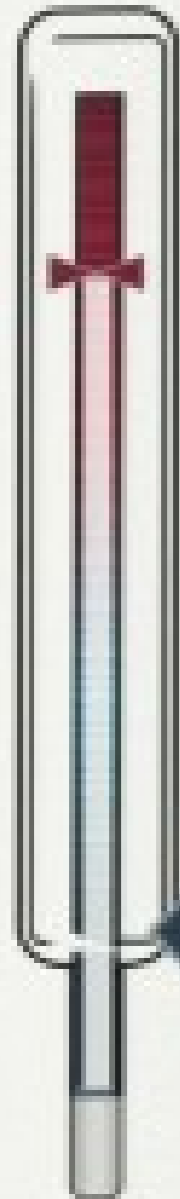
Freiheiten des Fahrers



Auto fahren



Freiheiten des Fahrers



Auto fahren



Freiheiten des Fahrers



Auto fahren



Freiheiten des Fahrers



Aufgabenteilung Fahrer/System

Teilautomatisiert

Hochautomatisiert



Erforderliches Sicherheitsniveau Hochautomatisiertes Fahren

- Bei funktionalen Unzulänglichkeiten keine (sofortige) Korrektur durch den Fahrer
 - „fail- operational“ für Übernahmezeit
 - ASIL-Anforderung an die Verfügbarkeit
 - Notwendige Neubetrachtung der Aktorik (Bremsen/Lenkung)
- Bezugsniveau menschliche Fahrer: (Beispiel Autobahn in Deutschland)
 - Alle 660,0 Mio km Unfall mit Getöteten
 - Alle 7,5 Mio km Unfall mit schweren Blechschäden
- Unfallwahrscheinlichkeit $< 10^{-5}$ /Stunde beim hochautomatisierte Fahren (auf der Autobahn)



Erforderliches Sicherheitsniveau Hochautomatisiertes Fahren

- Bei funktionalen Unzulänglichkeiten keine (sofortige) Korrektur durch den Fahrer
 - „fail- operational“ für Übernahmezeit
 - ASIL-Anforderung an die Verfügbarkeit
 - Notwendige Neubetrachtung der Aktorik (Bremsen/Lenkung)
- Bezugsniveau menschliche Fahrer: (Beispiel Autobahn in Deutschland)
 - Alle 660,0 Mio km Unfall mit Getöteten
 - Alle 7,5 Mio km Unfall mit schweren Bleichschäden
- Unfallwahrscheinlichkeit $< 10^{-5}$ /Stunde beim hochautomatisierte Fahren (auf der Autobahn)



Ein-/Auswechsler



Fußgänger

Hürden auf dem Weg zum autonomen Fahren



Hürden auf dem Weg zum autonomen Fahren



Hürden auf dem Weg zum autonomen Fahren



Hürden auf dem Weg zum autonomen Fahren



Hürden auf dem Weg zum autonomen Fahren



DAIMLER

Blick in die Design Zukunft



Quelle: <http://www.welt.de>



Quelle: <http://www.welt.de>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

