

# Recherche und Vergleich aktueller Forschungsarbeiten zur Fahrzeugumfeldererkennung im Automobilbereich

Diplomarbeit

iVA 0704

von

**Natascha Ritter (1156426)**

Betreuer iVA: Dipl.-Ing. Stefan Detering

Betreuer Universität Lüneburg: Prof. Dr.-Ing Phillip Odensass

Lüneburg, März 2008

Technische Universität Braunschweig

Institut für Verkehrssicherheit  
und Automatisierungstechnik



Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. E. Schnieder

Langer Kamp 8  
38106 Braunschweig

Telefon +49 (531) 3913317  
Telefax +49 (531) 3915197

E-Mail [e.schnieder@tu-bs.de](mailto:e.schnieder@tu-bs.de)  
<http://www.iva.ing.tu-bs.de>



**Universität Lüneburg**

**Fakultät III Umwelt und Technik  
Automatisierungstechnik**

Volgershall 1  
21339 Lüneburg

## **Versicherung**

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt und alle Hilfsmittel und Quellen angegeben habe.

Lüneburg, den 06. März 2008

---

Natascha Ritter

## **Kurzfassung**

**Thema:** Recherche und Vergleich aktueller Forschungsarbeiten zur Fahrzeugumfeldererkennung im Automobilbereich

**Verfasserin:** Natascha Ritter

**Betreuer:** Dipl.-Ing. Stefan Detering

iVA-Nr.: 0704

Das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig plant mit ihrem Versuchsfahrzeug CarLa verschiedene Messungen im Bereich Fahrzeugumfelderfassung durchzuführen. Das Versuchsfahrzeug soll zukünftig als generische Versuchsplattform für Fahrerassistenzsysteme dienen.

Für diese Arbeit wurden aktuelle Forschungsarbeiten zur Fahrzeugumfeldererkennung recherchiert und verglichen. Einführend werden die wichtigsten aktuellen Fahrerassistenzsysteme und die verwendeten Sensoren zur Umfelderfassung vorgestellt. Hierzu werden auch die grundlegenden Messverfahren und das Kalman-Filter beschrieben.

Es werden Verfahren zur Objektdetektion und -verfolgung mit Kamerasystemen und Lidar-Sensoren beschrieben, es wird das Kantenschablonenverfahren so wie der Farbregionen- und der Farbclusterfluss vorgestellt. Bei der Objektklassifikation werden Methoden beschrieben, bei denen Bounding-Boxen, Kantenoperatoren und der Reflexionsgrad von Objekten verwendet werden. Außerdem werden Beispiele für die Interpretation der Verkehrssituation gegeben, die mit Hilfe der Objektdetektion, -verfolgung und -klassifikation beobachtet werden.

Mit den beschriebenen Verfahren kann das Umfeld eindeutig erkannt werden. Es kann zwischen Verkehrsteilnehmern, Randelementen und Verkehrszeichen unterschieden werden, außerdem kann der Verlauf der Fahrbahn und die Geschwindigkeiten von Fahrzeugen ermittelt werden. Eine Erkennung und Prognose der Verkehrssituation ist mit Hilfe dieser Informationen möglich. Der Einsatz der beschriebenen Technologien in FAS setzt sich mehr und mehr bei Komfortsystemen durch. Der Einsatz in sicherheitsrelevanten Systemen wird aktuell noch durch ungeklärte Zuverlässigkeits- und Haftungsrechtliche Fragen verzögert.

**Schlüsselwörter:** Fahrerassistenzsysteme, Fahrzeugsensorik, Umfelderfassung, Objektdetektion, Objektklassifikation

## Abstract

**Topic:** Research and comparison of current research activities for vehicle environment detection in automotive context

**Author:** Natascha Ritter      **Tutor:** Dipl.-Ing. Stefan Detering      iVA-No.: 0704

The Institution of Traffic Safety and Automation Engineering of the “Technische Universität Braunschweig” plans to perform several measurements for the vehicle environment detection with their experimental vehicle CarLa. The experimental vehicle should purpose as a generic test platform in the future.

For this study current research activities for vehicle environment detection have been researched and compared. The most important driver assistance systems and vehicle sensors for environment detection are introduced. For this the basic measurement methods and the Kalman-Filter are described.

The following chapters describe the processes for object detection and tracking with camera systems and lidar sensors. The “edges-model-process”, the “colour-regions-flux” and the “colour-cluster-flux” are introduced. For the object classification methods are described, where bounding-boxes, edges-operators and the reflectivity of objects are used. Furthermore examples for interpretation of traffic situations are given, which are observed with the help of object detection, tracking and classification.

The described processes can clearly recognize the vehicle environment. They can differentiate between road users, border elements and road signs, furthermore the run of the lane and the velocities of the vehicles can be determined. A recognition and forecast is with the help of these information's possible.

The applications of the described technologies in driver assistance systems enforce more and more in behaviour systems. The applications in security-relevant systems are current delayed by open questions about reliability and liability.

**Keywords:** Driver assistant systems, vehicle sensor, vehicle environment detection, object detection, object classification

Aufgabenstellung für

## DIPLOMARBEIT

Bearbeiter: Natascha Ritter  
Matrikelnummer:  
Fakultät: III, Umwelt und Technik, Automatisierungstechnik  
Fachgebiet: Fahrzeugautomatisierung  
Institutsnummer: 0704

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. E. Schnieder

Langer Kamp 8  
38106 Braunschweig  
Telefon +49 (531) 3913317  
Telefax +49 (531) 3915197  
E-Mail [e.schnieder@tu-bs.de](mailto:e.schnieder@tu-bs.de)  
<http://www.iva.ing.tu-bs.de>

Braunschweig, 26.04.2007

### **Thema: Recherche und Vergleich aktueller Forschungsarbeiten zur Fahrzeugumfeldererkennung im Automobilbereich**

Das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik plant verschiedene Messungen mit einem mit umfangreicher Sensorik ausgestattetem Versuchsfahrzeug. Der wichtigste Sensor dabei ist ein Laserscanner der Firma IBEO Automobile Sensor GmbH. Der Laserscanner ermöglicht hierbei Objekte im vorderen Ego-Fahrzeugumfeld zu erfassen. Durch die den Objekten zugeordneten Messgrößen (z.B. Abstand, Geschwindigkeit) ist es möglich, das Fahrerverhalten und den Verkehrsablauf zu untersuchen.

Sensorik zur Fahrzeugumfeldererkennung wird heutzutage bereits in Serienfahrzeugen für unterschiedliche Fahrerassistenzsysteme eingesetzt. Des Weiteren ist die Fahrzeugumfeldererkennung immer noch ein umfangreiches Forschungsgebiet. Im letzteren Fall werden dabei unterschiedlichste Ziele von der Fahrerinformation bis hin zum autonom fahrenden Fahrzeug verfolgt.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit hat Frau Ritter die Aufgabe eine Literaturrecherche und methodische Strukturierung zu vorhandenen Arbeiten auf dem Gebiet der Fahrzeugumfeldererkennung durchzuführen. Um die Vielzahl von Sensoren und der damit einhergehenden Mess- und Auswerteverfahren zur Fahrzeugumfeldererkennung zu begrenzen, soll der Schwerpunkt der Arbeit auf die Lidar- und Radarsensorik gelegt werden. Aufgrund der zu erwartenden hohen Anzahl an Forschungsarbeiten ist auf eine methodisch strukturierte Darstellung besonderen Wert zu legen.

Die Aufgabe umfasst im Einzelnen:

- Literaturrecherche von Veröffentlichungen zum Thema Fahrzeugumfelderfassung. Hierbei sollen sowohl Veröffentlichungen zu den Mess- und Auswerteverfahren als auch zu den eigentlichen Messungen und Messergebnissen berücksichtigt werden.
- Aufstellung in welchem Bereich bzw. zu welchem Zweck die Verfahren entwickelt und die Messungen durchgeführt wurden.
- Beschreibung und Vergleich der Messverfahren und der Auswerteverfahren
- Darstellung der besonderen Anforderungen an die Sensorik und Einschränkungen bzw. Grenzbereiche der Mess- und Auswerteverfahren.

- Vergleich der vorgenommenen Auswertungen und der erhaltenen Ergebnisse insbesondere für das Fahrerverhalten, Fahrzeugverhalten und Verkehrsfluss

Die Ergebnisse der Arbeit sind ausführlich nach den Richtlinien des Instituts für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik begleitend zu dokumentieren und in regelmäßigen Abständen zu aktualisieren und zu ergänzen. Da die Arbeit als Grundlage für weitere Arbeiten genutzt wird, sind die Ergebnisse der Untersuchung in tabellarischer Form oder/und vergleichbarer Darstellung festzuhalten. Weitere Einzelheiten sind mit dem Betreuer abzusprechen.

Eine durch Betreuung des Instituts für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik angefertigte studentische Arbeit darf nur nach Rücksprache mit dem Institut vom Studenten an Dritte weitergegeben oder veröffentlicht werden. Dies gilt insbesondere auch für so genannte Internetbörsen für studentische Arbeiten.

Über die Ergebnisse der Arbeit darf nur nach Rücksprache mit dem Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der TU Braunschweig verfügt werden. Die Arbeit bleibt Eigentum des Instituts.

Datum der Ausgabe:

Datum der Abgabe:

Stempel/Unterschrift:

---

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. E. Schnieder

## **Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	1
2 Aufgabenstellung und Motivation.....	7
2.1 Aufgabenstellung.....	7
2.2 Motivation.....	7
3 Versuchsfahrzeug CarLa, Umfelderkennung und Fahrerassistenzsysteme.....	8
3.1 Das Versuchsfahrzeug CarLa.....	8
3.2 Umfelderkennung.....	9
3.3 Fahrerassistenzsysteme.....	10
3.3.1 ACC-System.....	11
3.3.2 Stop & Go Systeme.....	12
3.3.3 Spurwechselassistent.....	12
3.3.4 Spurhalteassistent.....	13
3.3.5 Einparkassistent.....	14
3.3.6 Night Vision.....	15
3.3.7 Aktuelle Fahrzeugausstattungen.....	17
3.3.8 Zukünftige Trends bei Fahrerassistenzsystemen.....	19
4 Fahrzeugsensoren.....	21
4.1 Grundlegende Messprinzipien.....	21
4.1.1 Laufzeitmessung.....	21
4.1.2 Messung der Phasenverschiebung.....	22
4.1.3 Dopplereffekt.....	23
4.1.4 Triangulation.....	24
4.2 Elektromagnetische und akustische Sensoren.....	25
4.2.1 Ultraschall.....	25
4.2.2 Radar.....	26
4.2.3 Lidar/Ladar.....	28
4.2.4 Laser-Scanner.....	29

---

4.2.5	(Stereo-) Kamerasysteme .....	31
4.3	Kalman-Filter .....	32
5	Objekt und Umfeld.....	38
5.1	Sensorik .....	39
5.1.1	Aufbau.....	40
5.1.2	Ansteuerung .....	43
5.1.3	Datenfusion .....	45
5.2	Objektdetektion und -verfolgung .....	47
5.3	Objektklassifikation.....	54
5.4	Umfeldmodell.....	62
5.5	Interpretation Verkehrssituation.....	63
5.6	Anwendungen in Fahrerassistenzsystemen .....	68
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	70
	Literaturverzeichnis.....	73



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Burg Dankwarderode [Flickr 2008b].....	1
Abbildung 1.2 Burglöwe [Flickr 2008a].....	2
Abbildung 1.3 Forschungsflughafen Braunschweig.....	2
Abbildung 1.4 Technische Universität Braunschweig [Flickr 2008c].....	3
Abbildung 1.5 Einbettung des Institutes in die TU, deren Fakultäten und Zentren [Schnieder 2007a].....	4
Abbildung 3.1 Versuchsfahrzeug CarLa.....	8
Abbildung 3.2 Systemstruktur der Referenzplattform CarLa [Poliak et al. 2007].....	9
Abbildung 3.3 Die vier Kategorien der Fahrerassistenzsysteme mit Beispielen (nach [Cordoba 2007]).....	10
Abbildung 3.4 Eingriffsverhalten von ACC-Systemen [kfztech 2007].....	12
Abbildung 3.5 Funktionsweise des Spurwechselassistenten [Volkswagen 2007a].....	13
Abbildung 3.6 Spurbegrenzungserfassung beim Spurhalteassistenten [Auto-Reporter 2007].....	14
Abbildung 3.7 Einparkassistent mit Sensorausleuchtungsgebiete [Infohamster 2005].....	15
Abbildung 3.8 Sichtweite mit und ohne Nachtsicht-Assistenten [Daimler 2007].....	16
Abbildung 3.9 Der Monitor zeigt das Geschehen vor dem Fahrzeug mittels Wärmebildkamera an [ADAC 2007].....	17
Abbildung 3.10 Das Head-up Display zeigt auf der Windschutzscheibe mögliche Gefahren auf der Fahrbahn an [BMBF 2007].....	17
Abbildung 3.11 Entwicklungen der Fahrzeugausstattungen in Neufahrzeugen (nach [DAT-Report 2000-20007].....	18
Abbildung 3.12 Unfallraten vor und nach Einführung von ESP in Daimler Chrysler-Fahrzeugen [Zechnall 2006].....	18
Abbildung 3.13 Das Roboterfahrzeug „Caroline“ [CarOLO 2007].....	19
Abbildung 3.14 Sensoren am autonomen Fahrzeug „Caroline“ [CarOLO 2007].....	20
Abbildung 4.1 Grundprinzip der Laufzeitmessung [Lux 2006].....	21
Abbildung 4.2 Distanzmessung durch Laufzeitmessung in kartesischen Koordinaten [Lux 2006].....	22
Abbildung 4.3 Prinzip der Entfernungsmessung durch Phasenverschiebung [Lux 2006].....	22
Abbildung 4.4 Dopplereffekt bei Fahrzeugsensoren [Lux 2006].....	24
Abbildung 4.5 Grundprinzip der Triangulation [Lux 2006].....	24
Abbildung 4.6 Einparkhilfe mit Ultraschallsensor [Volkswagen 2007b].....	26

---

Abbildung 4.7 Radarsensor zur Abstandsregelung [Mobil und Sicher 2007] .....	27
Abbildung 4.8 Radarsensor der Bosch GmbH [Ritter 2001] .....	28
Abbildung 4.9 Lidar Sensoren im Einsatz [Schnieder 2007b].....	29
Abbildung 4.10 ACC-Sensor basierend auf Lidar-Technologie [Hella 2007] .....	29
Abbildung 4.11 Aufbau eines Laser-Scanners aus dem Automotive-Bereich [Schnieder 2007b]	30
Abbildung 4.12 Die Grundidee des Kalman-Filters in der Bildverarbeitung [Nischwitz et al. 20004] .....	33
Abbildung 4.13 Kanten-basierter Kalman Tracker zur Detektion eines Hubschrauberlandeplatzes [Nischwitz et al. 20004] .....	36
Abbildung 4.14 Segment-basierter Kalman Tracker zur Verfolgung von Handbewegungen [Nischwitz et al. 20004] .....	37
Abbildung 5.1 Struktur der Diplomarbeit .....	38
Abbildung 5.2 Schema des Gesamtsystems [Kapp et al. 2004].....	40
Abbildung 5.3 Schwellwertdetektor mit fester Schwelle bei a) großen, b) kleinem Puls, c) CFD mit kleinem Puls [Kapp et al. 2004].....	42
Abbildung 5.4 Funktionsskizze der mikrosystemtechnischen Aktoreinheit [Kapp et al. 2004]....	43
Abbildung 5.5 Kameraplattform [Papadopoulos 2006] .....	44
Abbildung 5.6 Telekamera mit Spiegel [Papadopoulos 2006] .....	44
Abbildung 5.7 Schwerpunktbereiche des Projekts INVENT [INVENT 2005] .....	45
Abbildung 5.8 Teilprojekte von INVENT [INVENT 2005].....	46
Abbildung 5.9 Schematische Darstellung der Erfassungsbereiche von Sensoren [INVENT 2005] .....	46
Abbildung 5.10 Skizze der Kameraanordnung im Versuchsfahrzeug [Rath 2001].....	48
Abbildung 5.11 Schablone eines Fahrzeughecks, die für die Detektion von Kombi-Pkws verwendet wird [Rath 2001].....	48
Abbildung 5.12 Momentaufnahmen während der Detektion eines weißen VW Golf Variant [Rath 2001] .....	49
Abbildung 5.13 Beispiele der Objektdetektion durch den Farbregionenfluss [Heisele 1998] .....	51
Abbildung 5.14 Beispiele der Objektdetektion durch den Farbclusterfluss [Heisele 1998].....	52
Abbildung 5.15 Objektdetektion mit Lidar [Ogawa et al. 2006a] .....	53
Abbildung 5.16 Aufnahme mit Lidar-Sensor [Ogawa et al. 2006a] .....	53
Abbildung 5.17 Videobild und Tiefendaten (in m) eines Laser-Scanners [Kapp et al. 2004].....	55
Abbildung 5.18 Prinzip der Segmentierung [Streller et al. 2002].....	55
Abbildung 5.19 Berechnung einer objektorientierten Bounding-Box [Streller et al. 2002].....	56

---

Abbildung 5.20 Segmentierte Messung eines Laser-Scanners (links) aus einer Autobahnscene (rechts) [Fürstenberg et al. 2004] .....	56
Abbildung 5.21 Messungen (rot) auf Fußgängerbeine zu sechs verschiedenen Zeitpunkten ( $\Delta t=100\text{ms}$ ) [Fürstenberg 2005] .....	57
Abbildung 5.22 Zwei Tiefenbilder einer Autofahrt ( $\Delta t=0,4\text{s}$ ) [Kapp et al. 2004] .....	59
Abbildung 5.23 Fahrbahnparameter [Ogawa et al. 2006a] .....	60
Abbildung 5.24 Ergebnis Umgebungserfassung [Ogawa et al. 2006a] .....	60
Abbildung 5.25 Startposition (links) und Bild während der Kamerabewegung (rechts) [Papadopoulos 2006] .....	61
Abbildung 5.26 Zwischenposition (links) und Bild während der Kamerabewegung (rechts) [Papadopoulos 2006] .....	61
Abbildung 5.27 Endposition (links) und Bild während der Kamerabewegung (rechts) [Papadopoulos 2006] .....	62
Abbildung 5.28 Bestandteile des Objektkatalogs zur Szenarienbeschreibung [INVENT 2005] ..	62
Abbildung 5.29 Schematische Darstellung der Sensorbereiche im VW Versuchsträger [Volkswagen 2005] .....	64
Abbildung 5.30 Datenrekorder zur Visualisierung und Aufzeichnung der Sensordaten im Onlinebetrieb [Volkswagen 2005] .....	65
Abbildung 5.31 Wiedergabe der Sensordaten mit synchronisierten Videobild im Offlinebetrieb [Volkswagen 2005] .....	65
Abbildung 5.32 Grafische Darstellung des Umfeldmodells in der Simulationsumgebung [Volkswagen 2005] .....	66
Abbildung 5.33 Darstellung einer simulierten Verkehrssituation [Volkswagen 2005] .....	66
Abbildung 5.34 Darstellung eines Ausschervorgangs [Volkswagen 2005] .....	67
Abbildung 5.35 Verkehrssituation nach Beendigung des Ausschervorgangs [Volkswagen 2005] .....	67
Abbildung 5.36 Fahrspurwechsel [Ogawa et al. 2006b] .....	68

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1.1 Aufgaben des iVA [nach Schnieder 2007a].....	5
Tabelle 5.1 Recherchierte Forschungsarbeiten .....	39
Tabelle 5.2 Laserschutzklassen nach DIN EN 60825-1.....	40
Tabelle 5.3 Beispiel Objektmodel [Ogawa et al. 2006b] .....	58
Tabelle 5.4 Beispiele für verwendete Sensorik in Fahrerassistenzsysteme .....	69

## Abkürzungsverzeichnis

ABS	Anti-Blockier-System
ACC	Adaptive Cruise Control
ASR	Antriebsschlupfregelung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CarLa	Car Laboratory
CCD	Charge Coupled device
CFD	Constant Fraction Discriminator
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DARVIN	Driver Assistance using Realtime Vision
DC	Daimler Chrysler
DESCASE	Design of Safety Critical Systems
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
EU	Europäische Union
FAS	Fahrerassistenzsysteme
FM/CW	Frequenz Modulation / Continuous Wave
FUE	Fahrumgebungserfassung und Interpretation
FVM	Fahrerverhalten und Mensch-Maschine-Interaktion
FWHM	Full Width at Half Maximum (Halbwertszeit)
Fz	Fahrzeug
GalCert	Galileo Zertifizierung Support
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HDRC	High Dynamic Range CMOS
HMI	Human Machine Interface
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INVENT	Intelligenter Verkehr und nutzungsgerechte Technik
IR	Infrarot
KI	Künstliche Intelligenz
Ladar	Laser Detection and Ranging

---

LCA	Lane Change Assistent
LDW	Lane Departure Warning
Lidar	Light Detection and Ranging
LKS	Lane Keeping Support
Lkw	Lastkraftwagen
LRR	Long Range Radar
NIV	Netzausgleich Individualverkehr
PC	Personal Computer
Pkw	Personenkraftwagen
PSD	Position Sensing Detector
Radar	Radio (Frequency) Detection and Ranging
SELCATSaReGa	Safer European Level Crossing Appraisal and Technology
SRRSELCAT	Short Range RadarSafer European Level Crossing Appraisal and Technology
STASRR	StauassistentShort Range Radar
UMRSTA	Universal Medium Range RadarStauassistent
VASUMRR	Vorausschauende, Aktive SicherheitUniversal Medium Range Radar
VDIVAS	Verein Deutscher IngenieureVorausschauende, Aktive Sicherheit
VLAVDI	VerkehrsleistungsassistentVerein Deutscher Ingenieure
VMTLVLA	Verkehrsmanagement in Transport und LogistikVerkehrsleistungsassistent
VRAVMTL	Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und AkzeptanzVerkehrsmanagement in Transport und Logistik
VRA	Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und Akzeptanz

## 1 Einleitung

„Die Gründungsgeschichte der Stadt Braunschweig ist in der wissenschaftlichen Forschung recht umstritten, so dass bis heute über 100 Literaturtitel zu diesem Thema publiziert wurden. Mit der Ersterwähnung im Jahre 1031 stehen die Braunschweiger jedoch auf der sicheren Seite. Bei der Weihe­notiz des Halberstädter Bischofs Branthago für die Kirche St. Magni aus dem Jahr 1031 handelt es sich um die älteste Urkunde des Braunschweiger Stadtarchivs, die gleichzeitig mit Brun­esguik auch die erste Überlieferung des Stadtnamens enthält, woraus sich im Mittelalter zunächst Brunswiek und dann die seit Mitte des 16. Jh. aufkommende Bezeichnung Braunschweig entwickelte.“ [Braunschweig 2008a]

„Der machtpolitisch höchst ambitionierte Herzog Heinrich der Löwe (um 1129/39 – 1195) baute seine Residenz Braunschweig seit 1144 zum politischen und kulturellen Mittelpunkt Sachsens aus und markiert damit den Beginn des territorialen Flächenstaates in Deutschland. In offenbar bewusster Konkurrenz zu den Königpfalzen (z.B. Goslar) entstand bei dem von ihm in Auftrag gegebenen Neubau der Dankwarderode (Abbildung 1.1) zwischen 1160-1175 ein Palast mit Doppelkapelle und direktem Zugang vom Obergeschoß in das Nordquerhaus des Domes.“



**Abbildung 1.1 Burg Dankwarderode [Flickr 2008b]**

Nach seiner Rückkehr von seiner Pilgerfahrt nach Jerusalem hatte Heinrich der Löwe 1173 mit dem Dombau St. Blasii begonnen, den er mit reichen Kunstschatzen und Reliquien ausstattete. Er führte in seiner Stadt einen glänzenden Hof, der einen geistig anspruchsvollen Personenkreis nach Braunschweig zog. Um 1166 ließ er auf dem Burgplatz einen bronzenen, vergoldeten Burglöwen (Abbildung 1.2) an der Gerichtsstätte seines Geschlechts errichten. Der Löwe erscheint seit 1231 im Siegel der Stadt.



**Abbildung 1.2 Burglöwe [Flickr 2008a]**

Nicht zuletzt aus fiskalischen Gründen holte er flandrische und friesische Kolonisten nach Braunschweig, die den Hagen längs des Bohlwegs entwässerten und rodeten, so dass sich bald um den Mittelpunkt des Hagenmarktes ein gewerblich und handwerklich geprägtes Weichbild mit Tuchmachern und Wollwebern etablierte.“ [Braunschweig 2008b]

Im Bereich Mobilität und Verkehr ist Braunschweig seit Jahrhunderten ein Vorreiter. 1788 fand der erste Ballonaufstieg durch den Franzosen Jean Pierre Blanchard statt. Auch die erste deutsche Staatsbahn (1838) und der erste deutsche Omnibus (1904) wurden in Braunschweig eingesetzt. Außerdem wurde 1989 die erste vollautomatische Präzisionslandung eines Flugzeugs mit Satellitenhilfe am Forschungsflughafen Braunschweig (Abbildung 1.3) durchgeführt.



**Abbildung 1.3 Forschungsflughafen Braunschweig**

Nicht zuletzt ist in Wolfsburg in der Region Braunschweig einer der größten Automobilbauer Europas ansässig. Weitere Werke der Volkswagen AG befinden sich in Braunschweig und Salzgitter. 1938 fand die Grundsteinlegung des Werkes in Wolfsburg statt, seit dem lassen sich immer mehr Zulieferer in der Region Braunschweig nieder.

Braunschweig hat die älteste technische Universität Deutschlands. Hier haben z.B. der Mathematiker Carl-Friedrich Gauß und der Nobelpreisträger Klaus von Klitzing studiert. „1775 wurde das Collegium Carolinum, eine neuartige Bildungsinstitution zwischen Gymnasium und



## 1 Einleitung

---

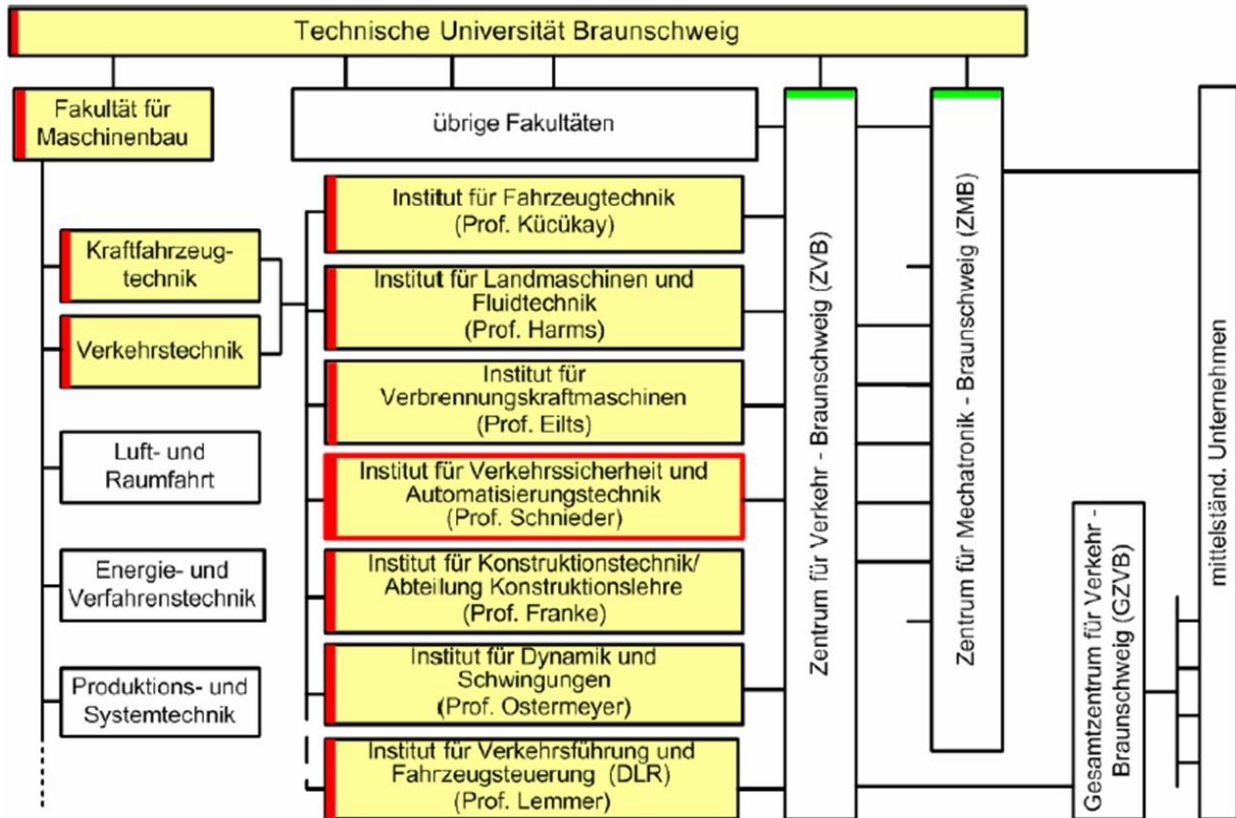
Universität, gegründet. Neben Geisteswissenschaften und „Schönen Künsten“ wurden mathematisch-technische Fächer gelehrt. 1862 wurde die Lehranstalt in „Polytechnische Schule“ umbenannt. Die Ausbildung fand in acht technisch-naturwissenschaftlichen Fachschulen statt. 1878 wurde die Schule in „Herzogliche Technische Hochschule Carolowilhelmina“ umbenannt. Seit 1968 heißt die Lehranstalt Technische Universität (Abbildung 1.4).“ [TU Braunschweig 2007]



**Abbildung 1.4 Technische Universität Braunschweig [Flickr 2008c]**

„Das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik wurde im Mai 2002 errichtet. Aufgrund der verkehrstechnischen Kompetenz des Instituts für Regelungs- und Automatisierungstechnik und der Technischen Universität wurde im Zusammenhang mit der Gründung des DLR-Institutes für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung 2002 die Umwidmung zum Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik durchgeführt. Das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik steht einerseits in der Verpflichtung aktuelle, allgemein wissenschaftliche Themen und Entwicklungen der Verkehrstechnik zu berücksichtigen und andererseits in der langjährigen systemtechnischen Tradition des Maschinenbaus in Braunschweig. Hier werden mit dem Neuaufbau der Verkehrssicherheit primär für den Landverkehr und der Weiterführung der Automatisierungstechnik inklusive regelungstechnischer Aspekte die systemischen Zusammenhänge zwischen Verkehr, Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie Automatisierungstechnik in wissenschaftlichem Gesamtansatz erforscht und gelehrt. Dafür wurden am Institut folgende wissenschaftliche Schwerpunkte eingerichtet: Verkehrssicherheit und –automatisierung, Fahrzeugsicherheit und –automatisierung so wie Systemik und Kooperative Systeme, die über ein Jahrzehnt in Zusammenhang mit dem Aufbau der Fachrichtung Produktions- und Systemtechnik des Maschinenbaus im Institut für

Regelungs- und Automatisierungstechnik weiterentwickelt wurden.“ [iVA 2008] In Abbildung 1.5 ist die Einbettung des Institutes für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik in die Technische Universität, deren Fakultäten und Zentren dargestellt.



**Abbildung 1.5 Einbettung des Institutes in die TU, deren Fakultäten und Zentren [Schnieder 2007a]**

In Tabelle 1.1 sind die Forschungsschwerpunkte, die wissenschaftlichen Ziele, die Vorlesungen, die Experimentalausstattung, die aktuellen Projekte und Finanzierungsquellen des Institutes für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik aufgeführt.

Tabelle 1.1 Aufgaben des iVA [nach Schnieder 2007a]

	<b>Verkehrssicherheit und –automatisierung</b>	<b>Fahrzeugsicherheit und –automatisierung</b>	<b>Systemik und Kooperative Systeme</b>
<b>Forschungsschwerpunkte</b>	Theorie der Verkehrssicherheit	Automatisierte sichere Fahrzeugbeeinflussung und –ortung	Konsistente und ganzheitliche Modellierung und Synthese komplexer Systeme
	Sicherheitsbemessung und Entwicklung von Verkehrsleitsystemen	Wechselwirkung Fahrzeug-Fahrer-Umwelt unter sicherheitsrelevanten Aspekten	Beschreibungsmittel, Methoden, Werkzeuge (BMW)
<b>Wissenschaftliche Ziele</b>	Straßen- und Schienenverkehr	Sichere satellitengestützte Präzisionsortung	Kopplung von Entwurfswerkzeugen zur Simulation von AT-Systemen
	Risiko- und Gefährdungsanalyse		Theoretische Untersuchungen auf Basis formaler Techniken
	Disposition		
<b>Vorlesungen</b>	Verkehrstechnik	Komponenten und Systeme	Theorie der Petrinetze
	Verkehrssicherheit	Beschreibungsmittel und Methoden	Entwurf von Automatisierungssystemen
	Verkehrsleittechnik	Fahrzeugregelung	Parameterschätzung
	Verkehrsökonomie und Verkehrspolitik	Technische Zuverlässigkeit	Nichtlineare Regelungstechnik
<b>Aktuelle Projekte und Finanzierungsquellen</b>	GalCert [UIC]	KI [Industrie]	Gemimi [BMW]
	SELCAT [EU]	Integrierte Sensorik [Industrie]	Zeus [BMW]
	KORTE [DFG]	On-Board-Diagnose [Industrie]	Tomasen [DFG]
	DemoOrt [BMW]	DESCASE [Helmholtz-Ges.]	Gesetzesfolgen [Industrie]
	SaReGa [UIC]		
	FlexCargoRail [BMW]		
<b>Experimentalausstattung</b>	Eisenbahn Modelldemonstrator 1:22,5 (60m Streckenlänge, 12 Fahrzeuge)	Experimental- und Messfahrzeuge (2 VW-Busse, 1 VW-Passat)	Vernetztes Rechensystem mit moderner Entwicklungsumgebung für Systementwurf, Softwareentwurf, Hardwareentwurf und Code-Generierung mit Industriestandardwerkzeugen so wie Werkzeugen aus der Forschung
	Leitstand	Lenkungs- und Universalprüfstand	

Im Rahmen dieser Aufgaben, wurde das Thema „Recherche und Vergleich aktueller Forschungsarbeiten zur Fahrzeugumfeldererkennung im Automobilbereich“ dieser Diplomarbeit entwickelt.

## **2 Aufgabenstellung und Motivation**

In diesem Abschnitt wird die Aufgabenstellung für diese Diplomarbeit vorgestellt und die Motivation für diese Arbeit wird erläutert.

### **2.1 Aufgabenstellung**

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden eine Literaturrecherche und eine methodische Strukturierung der recherchierten Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Fahrzeugumfelderfassung durchgeführt. Da es zur Fahrzeugumfeldererkennung viele unterschiedliche Sensoren gibt, wurde ein Schwerpunkt auf Lidar- und Radarsensorik festgelegt, allerdings werden die anderen Sensoren, wie Ultraschall und Kamerasysteme, ebenfalls behandelt. Die Arbeit gliedert sich in Kapitel 2, hier wird die Aufgabenstellung und die Motivation dieser Arbeit vorgestellt. In Kapitel 3 werden das Versuchsfahrzeug CarLa, die Umfelderkennung und einige Fahrerassistenzsysteme beschrieben. Anschließend werden die Fahrzeugsensoren mit den grundlegenden Messprinzipien und dem Auswerteverfahren des Kalman-Filters in Kapitel 4 erläutert. Der Hauptteil dieser Arbeit ist in Kapitel 5 zu finden, er befasst sich u. a. mit der Objektdetektion, der Objektverfolgung und der Objektklassifikation. Abschließend werden in Kapitel 6 die wichtigsten Ergebnissen zusammengefasst und ein Ausblick gegeben

### **2.2 Motivation**

Das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig plant mit ihrem Versuchsfahrzeug CarLa verschiedene Messungen im Bereich Fahrzeugumfelderfassung durchzuführen. Das Versuchsfahrzeug soll zukünftig als generische Versuchsplattform für Fahrerassistenzsysteme dienen. Für die Weiterentwicklung der Ausstattung des Versuchsfahrzeugs ist es notwendig einen umfassenden Überblick über den Stand der Forschung im Bereich der Fahrzeugumfeldererkennung zu haben. Diese Arbeit soll aktuelle Auswerteverfahren zur Objektdetektion und -klassifikation insbesondere für Laser-Scanner Sensoren darstellen und vergleichen und auf ggf. auftretende Probleme hinweisen. Die Arbeit schließt ebenfalls weitere Sensoren mit ein und gibt eine Übersicht, welcher Sensortyp am besten für bestimmte Fahrerassistenzsysteme geeignet ist.

### 3 Versuchsfahrzeug CarLa, Umfelderkennung und Fahrerassistenzsysteme

In den folgenden Unterabschnitten wird das Versuchsfahrzeug CarLa (Car Laboratory), das dem Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig als Referenzplattform dient, vorgestellt. In Abschnitt 3.2 wird eine Definition für die Umfelderkennung gegeben und in Abschnitt 3.3 werden einige Fahrerassistenzsysteme vorgestellt.

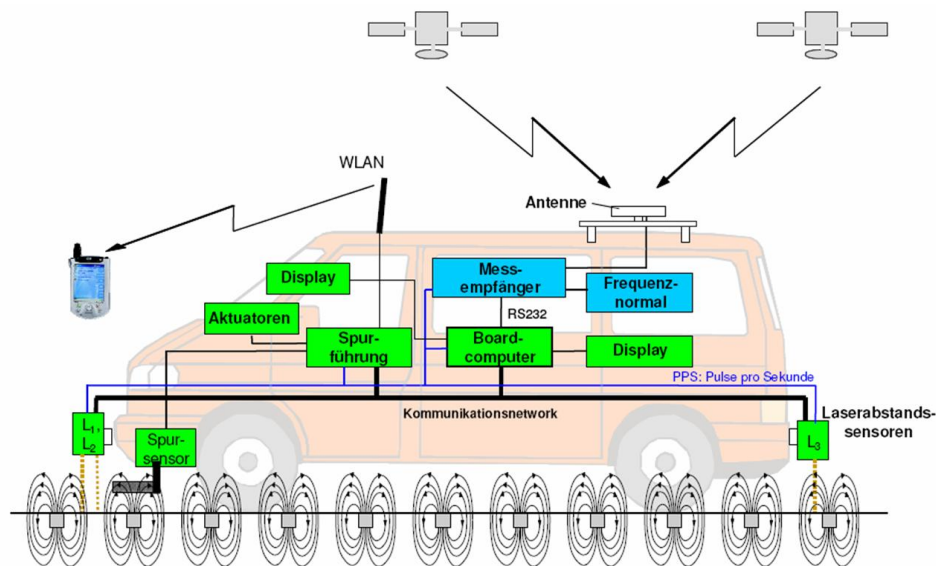
#### 3.1 Das Versuchsfahrzeug CarLa

Das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig forscht im Bereich der satellitenbasierten Ortung [Poliak et al. 2007], da dies für die zukünftige Entwicklung von Verkehrssystemen immer wichtiger wird. Diese Systeme sollen für sicherheitsrelevante Anwendungen eingesetzt werden, deshalb müssen für die Nutzung entsprechende Zertifizierungen mit Sicherheitsnachweisen erstellt werden. CarLa dient als Referenzplattform für den Bereich des Straßenverkehrs. Das Versuchsfahrzeug CarLa ist in Abbildung 3.1 dargestellt.



**Abbildung 3.1 Versuchsfahrzeug CarLa**

CarLa ermöglicht die dynamische Überprüfung von GNSS Empfängern. Es soll hier das Ortungsproblem umgekehrt werden, d.h. anstatt mit mindestens vier Satellitensignalen die genaue Position des Fahrzeuges zu ermitteln, wird die genaue Kenntnis über das Bewegungsverhalten des Fahrzeuges genutzt, um die Genauigkeit des (satellitenbasierten) Ortungssystems zu überprüfen. Um dies realisieren zu können, wird eine genaue Uhr (für die präzise Zeitinformation), eine digitale Karte der Referenzstrecke und ein Streckenleitsystem (d.h. präzise Ortung relativ zu der Strecke) benötigt. Abbildung 3.2 zeigt die derzeitige Konfiguration des Systems, welches alle wichtigen Komponenten der Referenzplattform schematisch darstellt.



**Abbildung 3.2 Systemstruktur der Referenzplattform CarLa [Poliak et al. 2007]**

Für die Spurführung wurde ein autonomes Fahrsystem (CarLaDrive) entwickelt, dieses System ist in der Lage, eine Genauigkeit in seitlicher Führung von ungefähr einem Zentimeter bei Geschwindigkeiten bis zu 120 km/h zu liefern. Anfangs basierte das Spurführungssystem auf optischen Sensoren und speziellen (optischen) Markierungen auf dem Boden der Teststrecke, dies wurde durch ein magnetisches System mit höherer Widerstandsfähigkeit gegenüber Witterungseinflüssen ersetzt. Da das Fahrzeug während der Fahrt Nick- und Wankbewegungen durchführt, werden diese Bewegungen auf die Antennen des GNSS Empfängers übertragen. Um dieses Problem kompensieren zu können, wurden drei Lidar-Sensoren eingebaut. Sie messen die Bewegung des Fahrzeugkörpers über dem Boden. Mit diesen Informationen und den Spezifikationen der Fahrzeugform (Bodenfreiheit, Dachhöhe etc.) kann die Position der Antenne relativ zur Strecke berechnet werden. Der fahrzeugseitige Computer wird für Berechnungen, Visualisierung und Aufzeichnung der Daten verwendet. Das Spurführungssystem, die drei Lidar-Sensoren und der fahrzeugseitige Computer sind Komponenten der Referenzplattform, die für die dynamische Überprüfung und Bewertung von Satellitenortungssystemen genutzt werden. Außerdem ist CarLa mit zusätzlichen Sensoren (z.B. Laser-Scanner für Objekt/Umwelterkennung etc.) und Interfaces (z.B. Touch Screen als HMI) ausgestattet um seine Verwendung für zukünftige Fahrerassistenzsysteme zu unterstützen. Die Ausstattung von CarLa wird fortlaufend mit neuen Komponenten erweitert.

### 3.2 Umfelderkennung

Die Umfelderkennung oder auch Umwelterkennung im Fahrzeugbereich betrachtet alle Geschehnisse in (z.B. Fahrer) und um dem Ego-Fahrzeug. Zur Betrachtung des Umfelds können

verschiedene Sensoren eingesetzt werden, die in Abschnitt 4.2 beschrieben werden. Die Umfelderkennung ist Voraussetzung für alle Fahrerassistenzsysteme, wovon einige in Abschnitt 3.3 erläutert werden. Zum Umfeld gehören Fahrzeuge, die Fahrbahn, Verkehrsschilder, Radfahrer, Fußgänger, Tiere, die Randbebauung, das Wetter, das Ego-Fahrzeug, der Fahrer selbst und natürlich auch alle Bewegungen. Je nach Einsatzgebiet des Fahrerassistenzsystems wird das zu beobachtende Umfeld definiert, d.h. es muss nicht immer das ganze Umfeld betrachtet werden. Beim Spurhalteassistenten z.B. gehört zur Umfelderkennung lediglich das Betrachten der Fahrbahn und den Fahrbahnmarkierungen (vgl. Abschnitt 3.3.4).

### 3.3 Fahrerassistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme (FAS) [Cordoba 2007] sind elektronische Zusatzeinrichtungen in Kraftfahrzeugen zur Unterstützung des Fahrers in bestimmten Fahrsituationen. Sie sollen das Fahren für den Fahrer sicherer und komfortabler gestalten, außerdem sollen sie die Zahl der Verkehrsunfälle senken und damit auch maßgeblich die Zahl der Unfalltoten. Die Fahrerassistenzsysteme lassen sich nach [Cordoba 2007] wie in Abbildung 3.3 gezeigt in vier Kategorien unterteilen.



**Abbildung 3.3 Die vier Kategorien der Fahrerassistenzsysteme mit Beispielen (nach [Cordoba 2007])**

Unter Fahrerunterstützung versteht man die Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer auf bestimmte Situationen aufmerksam machen und ein korrektes Fahrverhalten unterstützen, z.B.

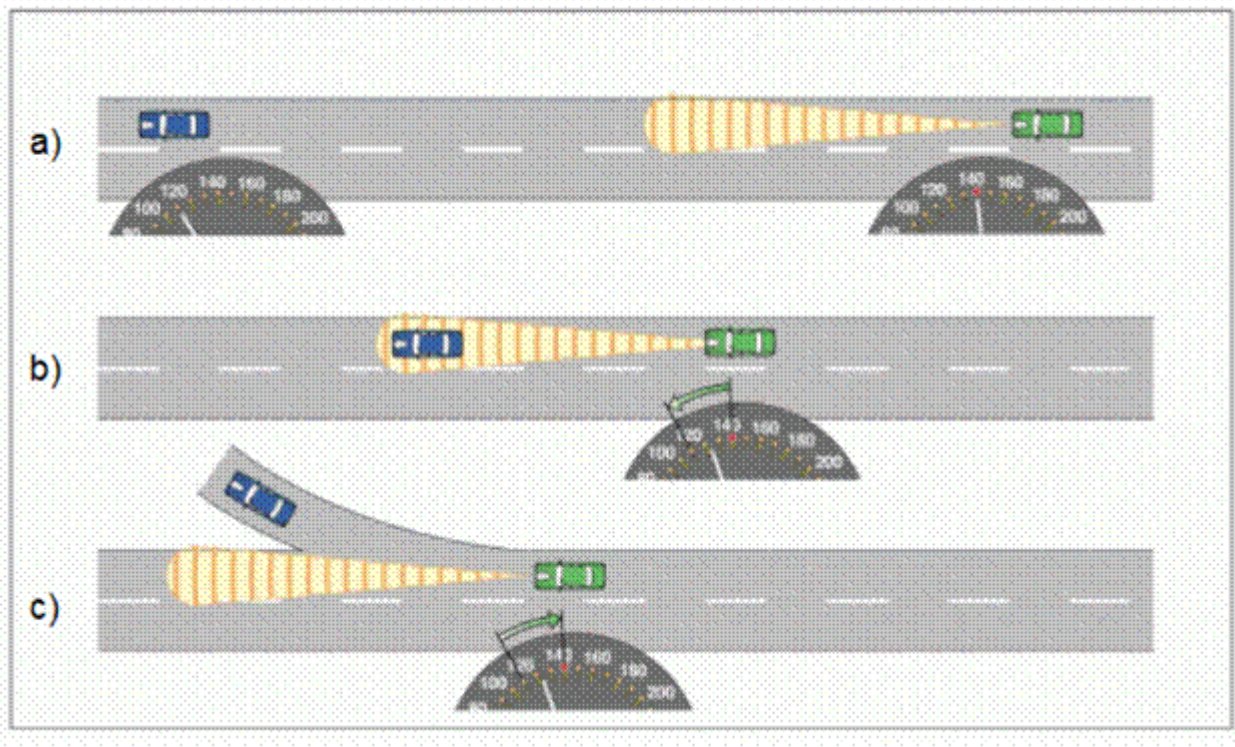


Einparkhilfe. Im Bereich Aktive Sicherheit werden Systeme eingeordnet, die aktiv einen Unfall vermeiden sollen, indem das Fahrzeug vor einem möglichen Hindernis zum Stillstand kommt oder einem Hindernis ausweicht. Passive Sicherheitssysteme treten nach einem Unfall oder zum Zeitpunkt des Aufpralls in Aktion, z.B. Airbags und Sicherheitsgurte. Diese Systeme sollen die Folgen eines Unfalls verringern. Und dann gibt es noch FAS der Kategorie Fahrzeugführung, die durch Eingriff in Lenkung, Gas und Bremse den Fahrkomfort in der Regel erhöhen und den Fahrer in Routineaufgaben unterstützen sollen. , z.B. ACC (Adaptive Cruise Control) und ACC Stop&Go.

In den nächsten Unterabschnitten werden kurz einige der bekanntesten Fahrerassistenzsysteme vorgestellt, außerdem wird der heutige Stand der Technik erläutert und es wird ein kleiner Einblick in die zukünftigen Trends der Fahrerassistenzsysteme gegeben.

#### **3.3.1 ACC-System**

Beim Adaptive Cruise Control (ACC) oder auch Abstandsregeltempomat [Continental 2003] gibt der Fahrer seine Wunschgeschwindigkeit vor. ACC-Systeme sind in den Geschwindigkeitsbereichen von 30 km/h bis maximal 180 km/h einsetzbar. Solange die Fahrbahn frei ist, hält das ACC-System die Wunschgeschwindigkeit konstant, dies ist in Abbildung 3.4 a) dargestellt. Darüber hinaus kann der Fahrer innerhalb der gesetzlichen Grenzen den Wunschabstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug vorgeben. Nähert sich jetzt das Fahrzeug einem langsameren Fahrzeug auf der eigenen Spur, wie in Abbildung 3.4 b) dargestellt, wird die Geschwindigkeit und die Position des blauen Fahrzeugs mit einem Sensor (Radar- oder Laserbasiert) ermittelt. Die Geschwindigkeit sowie der Abstand des grünen Fahrzeugs, das mit dem ACC-System ausgestattet ist, wird geregelt durch Motor- und Bremseingriffe. Der Bremseingriff darf bis zu ca. 25% der maximalen Fahrzeugverzögerung betragen, wenn dies nicht ausreicht wird der Fahrer mit einem akustischen Signal gewarnt und muss selbst in den Bremsvorgang eingreifen. Es ist jeder Zeit möglich, das der Fahrer das Fahrzeug überstimmt (Bremsen oder Gaspedal betätigen). Ist die Fahrspur wieder frei, wie in Abbildung 3.4 c), beschleunigt das ACC-System wieder auf die gewählte Wunschgeschwindigkeit.



**Abbildung 3.4 Eingriffsverhalten von ACC-Systemen [kfztech 2007]**

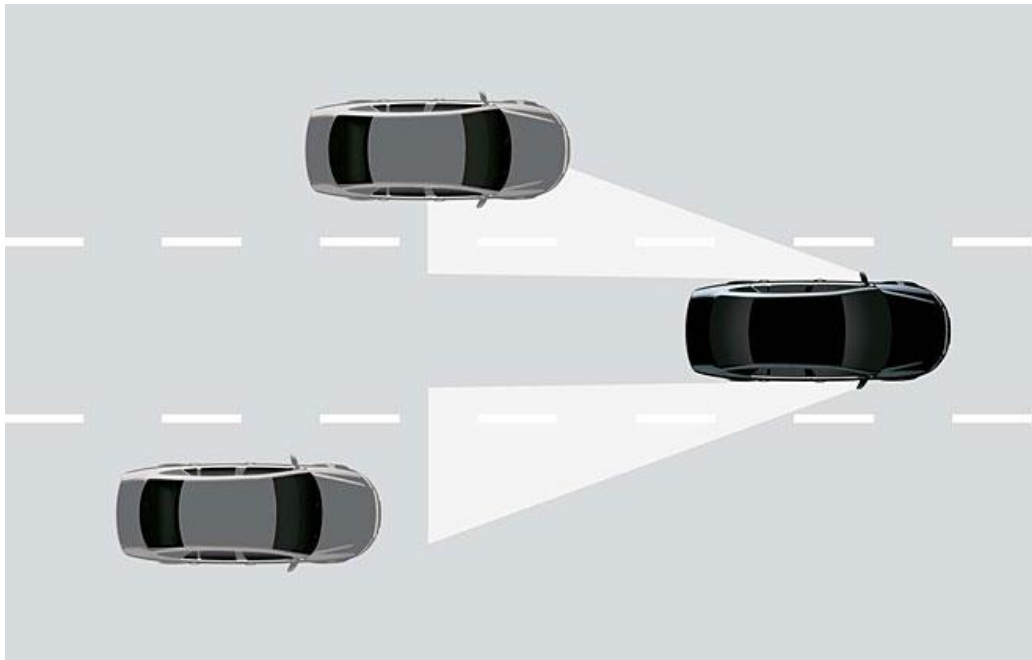
Sinkt die Fahrzeuggeschwindigkeit auf unter 30 km/h schaltet sich das ACC-System ab und warnt den Fahrer mit einem akustischen Signal.

### 3.3.2 Stop & Go Systeme

Hierbei handelt es sich um ein ACC-System für niedrige Geschwindigkeiten unter 30 km/h, also für das Fahren im Stadtverkehr oder in Stausituationen. Das System startet das Fahrzeug je nach Auslegung mit oder ohne Bestätigung des Fahrers selbständig, passt seine Geschwindigkeit der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges an und bremst bei Bedarf bis zum Stillstand ab. Das lästige Anfahren und Abbremsen bleibt dem Fahrer erspart, er muss nur noch lenken.

### 3.3.3 Spurwechselassistent

Der Spurwechselassistent (Lane Change Assistent LCA) [Bester Beifahrer 2007a] soll den Fahrer bei Überhol- und Spurwechselvorgängen unterstützen. Die Sensorik überwacht dabei wie in Abbildung 3.5 dargestellt den seitlichen und den hinteren Bereich des Fahrzeugs.

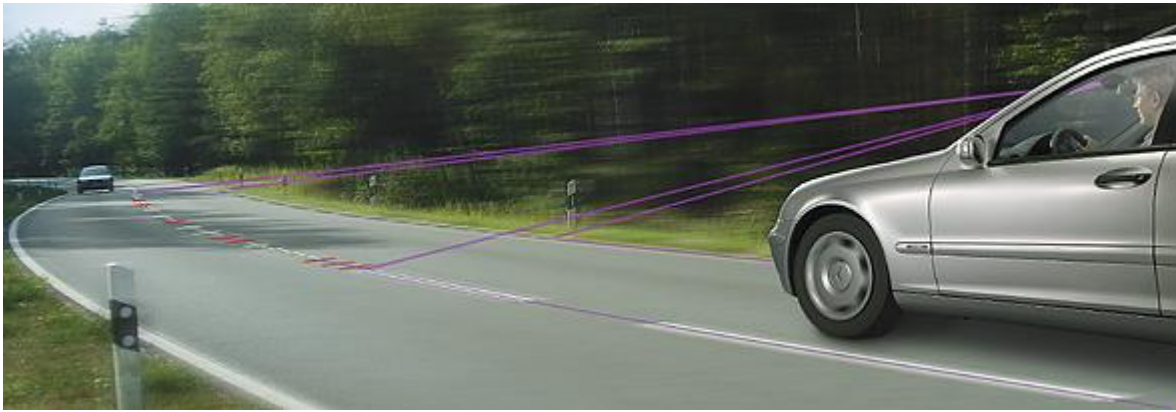


**Abbildung 3.5 Funktionsweise des Spurwechselassistenten [Volkswagen 2007a]**

Zur Überwachung des toten Winkels werden Video-, Ultraschall- oder Nahbereichsradarsensoren verwendet und zur Überwachung des hinteren Bereiches dienen meistens Radarsensoren für den Fernbereich. Der Spurwechselassistent wird mit dem Setzen des Blinkers aktiviert, befindet sich auf der Fahrspur, zu der gewechselt werden soll, bereits ein Fahrzeug oder es nähert sich ein Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit, dann wird der Fahrer gewarnt. Die Warnung erfolgt in der Regel durch eine Anzeige in der Nähe des Außenspiegels.

### **3.3.4 Spurhalteassistent**

Der Spurhalteassistent [Bester Beifahrer 2007a] warnt den Fahrer bei unbeabsichtigtem Verlassen der Fahrspur, welches z.B. aufgrund von Unaufmerksamkeit oder Sekundenschlaf passieren kann. Beim Spurhalteassistent kann die Fahrbahnmarkierung mit Hilfe eines Kamerasystems erfasst werden, das z.B. in der Nähe des Innenspiegels angebracht ist. In Abbildung 3.6 ist mit violetten Linien diese Erfassung der Fahrbahnmarkierungen dargestellt.



**Abbildung 3.6 Spurbegrenzungserfassung beim Spurhalteassistenten [Auto-Reporter 2007]**

Es werden zwei Ausprägungen des Spurhalteassistenten unterschieden: Das Lane Departure Warning System (LDW) und das Lane Keeping System (LKS). Das Lane Departure Warning System warnt den Fahrer ausschließlich z.B. durch ein akustisches Signal oder Zittern im Lenkrad beim Verlassen der Fahrbahn, das Lane Keeping System dagegen greift auch aktiv korrigierend in die Lenkung ein, der Fahrer behält allerdings jederzeit die Kontrolle und kann das System überstimmen. Sobald der Blinker betätigt wird, werden bei beiden Systemen die Funktionalität deaktiviert und soweit vorhanden wird der Spurwechselassistent aktiv.

### 3.3.5 Einparkassistent

Beim Einparken wird zwischen Einparkhilfen und Einparkassistenten [Bester Beifahrer 2007b] unterschieden. Die Einparkhilfe warnt den Fahrer vor Kollisionen, also wenn sein Fahrzeug zu dicht an ein Hindernis heranzfährt, mit Hilfe eines akustischen Signals. Dabei wird das Umfeld des Fahrzeugs beim Einparkvorgang mit Ultraschallsensoren überwacht. Beim Einparkassistenten wird, wie in Abbildung 3.7 zu sehen ist, die Parklücke mit Hilfe von Ultraschallsensoren ausgemessen. Das System wird in der Regel per Knopfdruck aktiviert, anschließend fährt man langsam an der Parklücke vorbei wobei der Einparkassistent die Lücke vermisst, vergleicht sie mit den Abmessungen des eigenen Fahrzeugs und falls die Parklücke passt, meldet sich der Einparkassistent mit einem akustischen und optischen Signal, damit der Fahrer am Ende einer passenden Lücke anhält. Das System berechnet nun den optimalen Weg in die Parklücke und auf Knopfdruck bringt er den Fahrer mühelos in die Lücke.



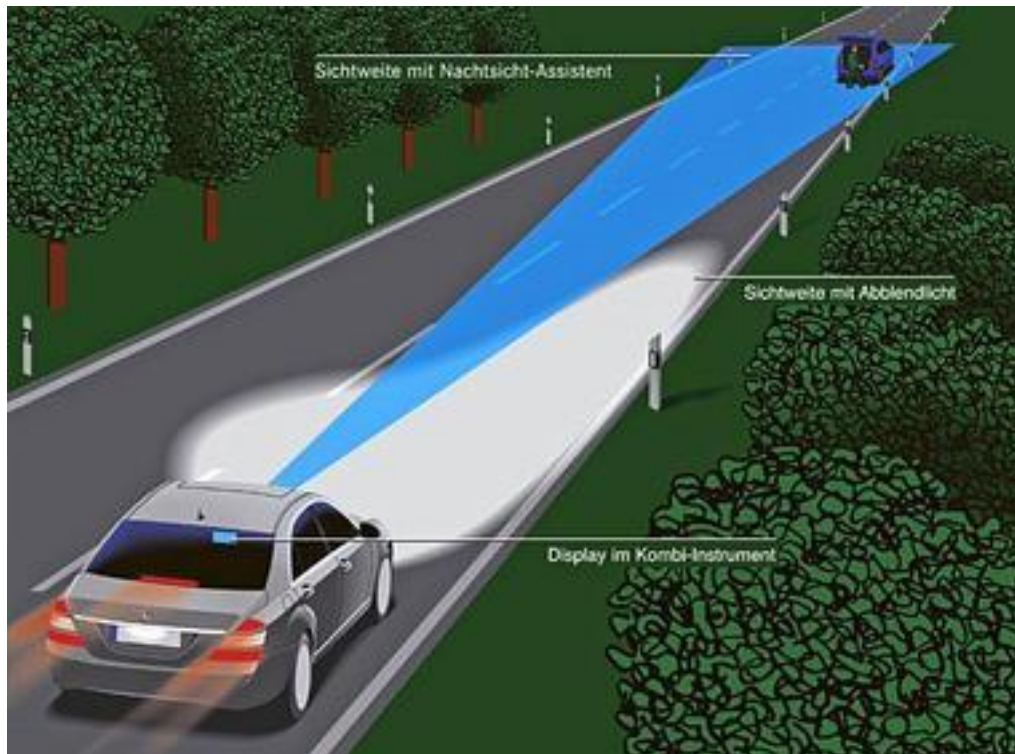
**Abbildung 3.7 Einparkassistent mit Sensorausleuchtungsgebiete [Infohamster 2005]**

Ist das Fahrzeug mit einer elektronischen Lenkung ausgestattet, geschieht das Lenken autonom und der Fahrer muss nur noch die Geschwindigkeit regulieren. Besitzt das Fahrzeug keine elektronische Lenkung, signalisiert der Einparkassistent dem Fahrer, wann und wie stark er das Lenkrad einschlagen muss.

### **3.3.6 Night Vision**

Night Vision Systeme sind Nachtsichtassistenten [Bester Beifahrer 2007c], die dem Fahrer helfen sollen Objekte, Hindernisse sowie den Straßenverlauf frühzeitig bei Nacht zu erkennen.

Hier unterscheidet man zwischen aktiven und passiven Nachtsichtassistenten. Beim aktiven Nachtsichtassistenten wird nahes Infrarotlicht verwendet, welches für das menschliche Auge unsichtbar ist und beleuchtet das Sichtfeld vor dem Fahrzeug in einem Bereich bis ca. 150 Metern. Abbildung 3.8 zeigt einen Vergleich der Sichtweite mit Abblendlicht und mit aktivem Nachtsichtassistenten. Durch eine infrarotsensitive Videokamera, die meistens im Bereich des Innenspiegels eingebaut ist, wird die Fahrszene aufgenommen und kann in Echtzeit als Schwarzweiß-Bild auf einem Display dargestellt werden.



**Abbildung 3.8 Sichtweite mit und ohne Nachtsicht-Assistenten [Daimler 2007]**

Bei passiven Nachtsichtassistenten wird die Abstrahlungswärme von Objekten mittel Hilfe einer Wärmebildkamera aufgenommen. Diese Kamera ist in der Regel im Stoßfänger eingebaut. Wie in Abbildung 3.9 zu sehen ist, werden warme Objekte hell sowie kalte Objekte dunkel dargestellt. Dabei können warme Gegenstände bis zu einer Entfernung von 300 Metern detektiert werden. Der Vorteil der aktiven Systeme ist, dass bei dieser Methode Hindernisse unabhängig von ihrer Temperatur sichtbar sind. Es sind also auch Fahrbahnmarkierungen und Verkehrsschilder deutlich zu erkennen.





**Abbildung 3.9 Der Monitor zeigt das Geschehen vor dem Fahrzeug mittels Wärmebildkamera an [ADAC 2007]**

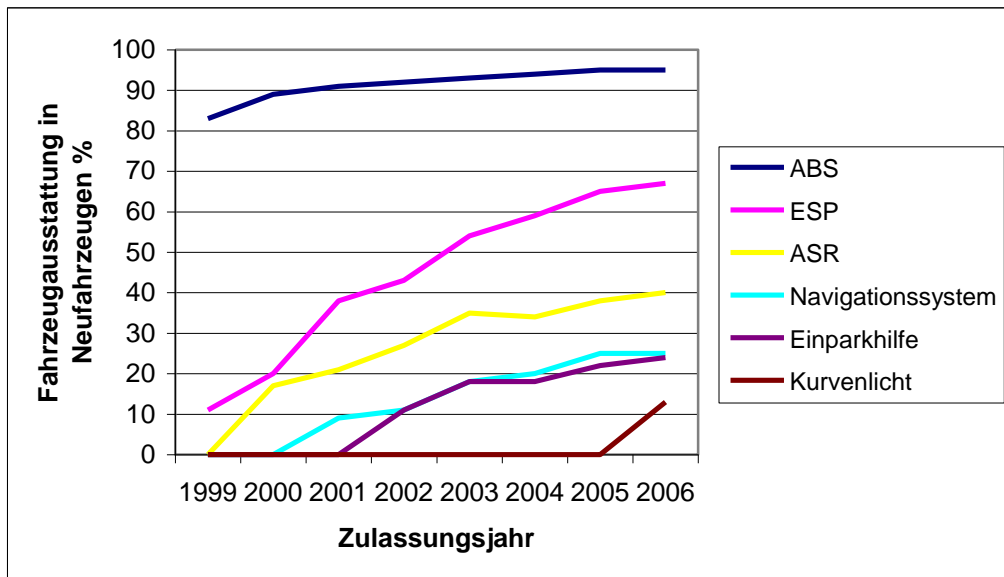
Bei beiden Verfahren kann das Nachtsichtbild entweder wie in Abbildung 3.9 auf einem Monitor dargestellt werden oder es wird mit einem Head-up Display in die Windschutzscheibe projiziert, wie es in Abbildung 3.10 zu sehen ist.



**Abbildung 3.10 Das Head-up Display zeigt auf der Windschutzscheibe mögliche Gefahren auf der Fahrbahn an [BMBF 2007]**

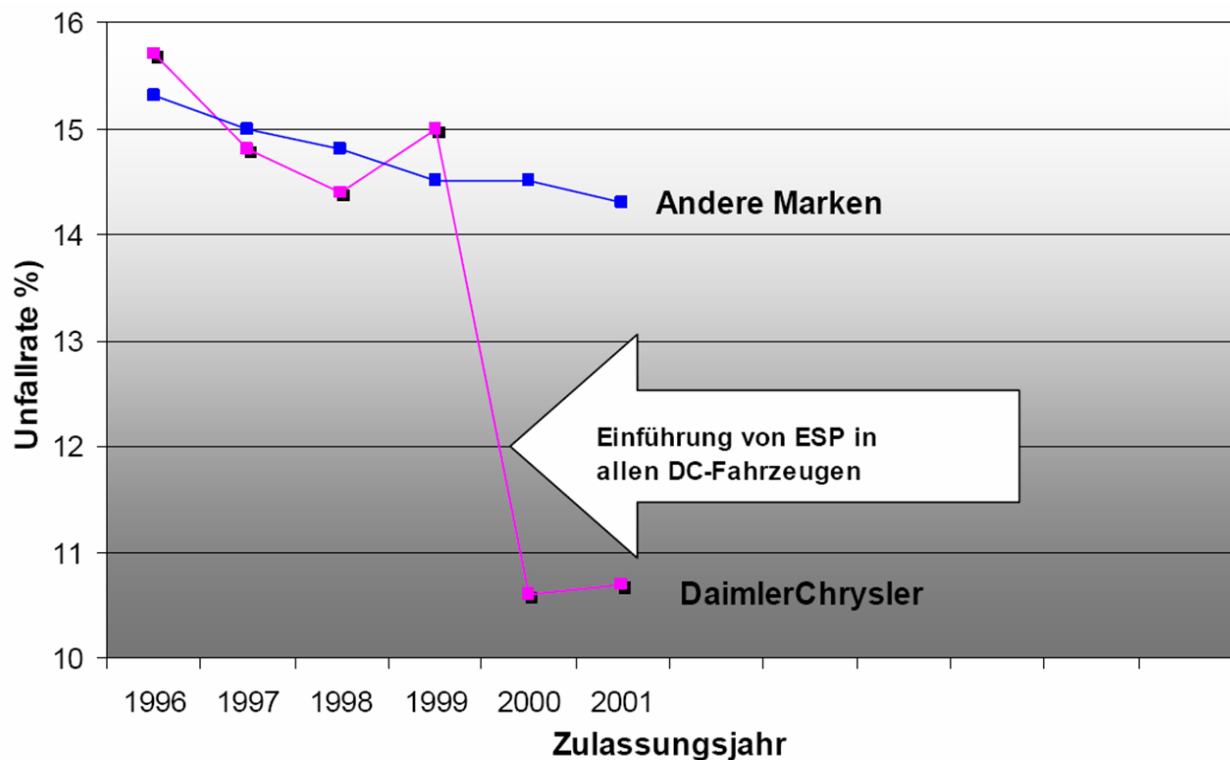
### **3.3.7 Aktuelle Fahrzeugausstattungen**

In Abbildung 3.11 werden die Entwicklungen der Fahrzeugausstattungen in Neufahrzeugen anhand einiger Sicherheitssysteme und Komfortsysteme seit 1999 dargestellt.



**Abbildung 3.11 Entwicklungen der Fahrzeugausstattungen in Neufahrzeugen (nach [DAT-Report 2000-2007])**

Wie hier zu erkennen ist, hat sich bis heute das Antiblockiersystem bereits als serienmäßiges Fahrerassistenzsystem durchgesetzt. Insbesondere das ESP System hat einen sehr starken Anstieg in der Neufahrzeugausstattung erreicht, da unterschiedliche Statistiken den besonderen Nutzen von ESP Systemen zur Unfallvermeidung aufzeigen. Abbildung 3.12 zeigt beispielhaft die gesunkene Unfallrate nach Einführung von ESP anhand von DaimlerChrysler-Fahrzeugen.



**Abbildung 3.12 Unfallraten vor und nach Einführung von ESP in Daimler Chrysler-Fahrzeugen [Zechnall 2006]**



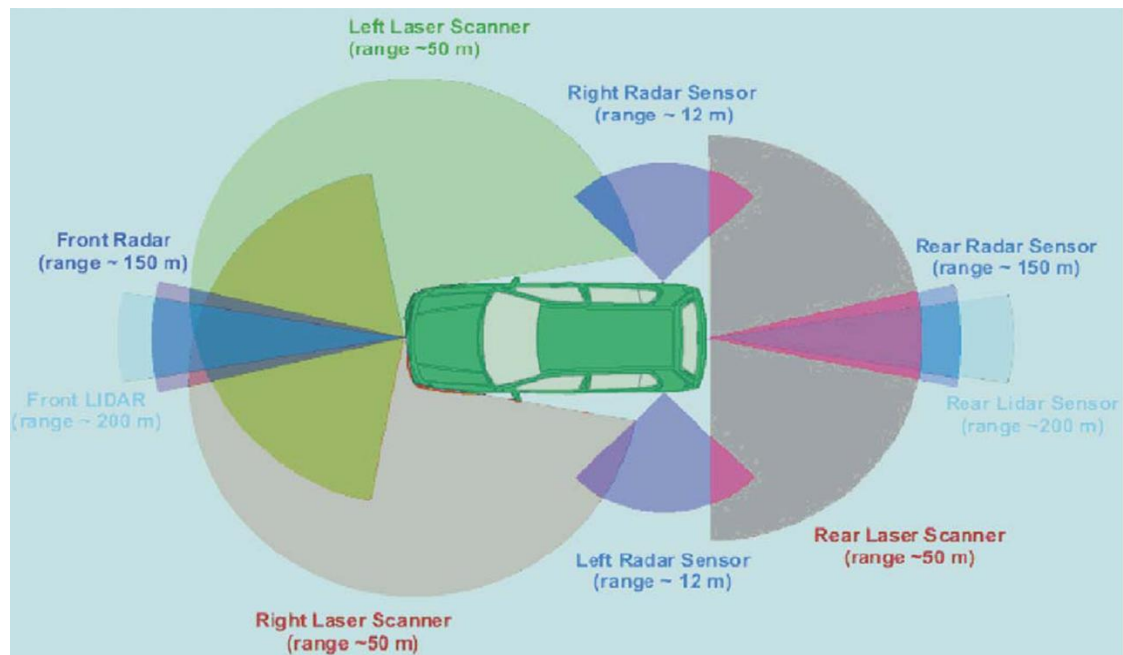
### 3.3.8 Zukünftige Trends bei Fahrerassistenzsystemen

Wie man beim Einparkassistenten bei einem Fahrzeug mit elektronischer Lenkung bereits Ansatzweise erkennen kann, geht der Trend über zum autonomen Fahren. Auch die Technische Universität Braunschweig forscht und entwickelt in diesem Bereich. Im Projekt CarOLO wurde für den DARPA Urban Challenge 2007 das autonom fahrende Auto „Caroline“ konstruiert, welches in in Abbildung 3.13 zu sehen ist.



**Abbildung 3.13 Das Roboterfahrzeug „Caroline“ [CarOLO 2007]**

Das autonome Fahrzeug muss ohne Fahrer einen schwierigen 60 Meilen langen Parcours bewältigen, der realistischen Situationen im Straßenverkehr simuliert. Einfädeln, Überholen und Einparken ohne menschliche Hilfe im städtischen Verkehr waren Aufgaben im Wettbewerb. Dabei mussten die Straßenverkehrsregeln beachtet werden, außerdem ahmten 50 Autos der DARPA mit Stuntfahrern den Gegenverkehr nach. Abbildung 3.14 zeigt wo welche Sensoren am Fahrzeug angebracht sind und stellt die jeweiligen Überwachungsbereiche der Sensoren schematisch dar.



**Abbildung 3.14 Sensoren am autonomen Fahrzeug „Caroline“ [CarOLO 2007]**

Das Roboterfahrzeug ist mit 2 Radarsensoren für den Fernbereich, 2 Radarsensoren für den Nahbereich, 2 Lidar-Sensoren und 2 Laser-Scannern ausgestattet, außerdem verfügt es über GPS zur genauen Positionsbestimmung. Von ursprünglich mehr als 100 Teilnehmern hat sich das Fahrzeug „Caroline“ als eines von 11 Fahrzeugen für das Finale qualifiziert, dort erlitt das Braunschweiger Auto einen Zusammenstoß und wurde mit verbogener Sensorik aus dem Rennen genommen.

## 4 Fahrzeugsensoren

In diesem Abschnitt werden die grundlegenden Messprinzipien vorgestellt und danach werden die wesentlichen Eigenschaften der einzelnen Signal- bzw. Sensortypen erläutert, dabei wird hauptsächlich auf die Sensorik eingegangen, die für den Automobilbereich relevant sind und auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet werden.

Im Bereich akustischer Sensoren beschränkt sich die Beschreibung auf Ultraschallsensoren. Im Bereich elektromagnetische Sensoren werden Radar, Lidar, Laser-Scanner, Stereovision und Stereokamerasysteme beschrieben.

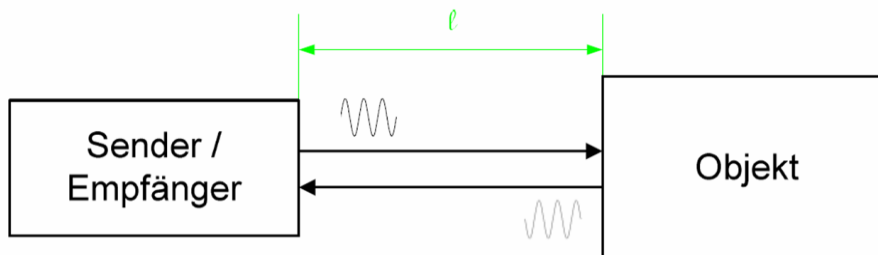
Danach wird das am häufigsten eingesetzte Auswerteverfahren, der Kalman-Filter, beschrieben.

### 4.1 Grundlegende Messprinzipien

In diesem Abschnitt werden die gängigsten Messprinzipien für die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Sensoren vorgestellt. Es wird zwischen akustischen Signalen (Ultraschall) und elektromagnetischen Signalen (Mikrowellen oder Licht) unterschieden, wobei es sich bei beiden Signalen um Wellen handelt. Diese Welleneigenschaften verwenden die Sensoren zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessungen. In den folgenden Unterabschnitten werden die Messprinzipien der Laufzeitmessung, der Phasenmessung, der Ausnutzung des Dopplereffekts und das Triangulationsverfahren vorgestellt.

#### 4.1.1 Laufzeitmessung

Bei der Laufzeitmessung [Schnieder 2007b] wird die Entfernung zwischen dem Sensor und einem Objekt ermittelt. Abbildung 4.1 Zeigt das Grundprinzip der Laufzeitmessung.

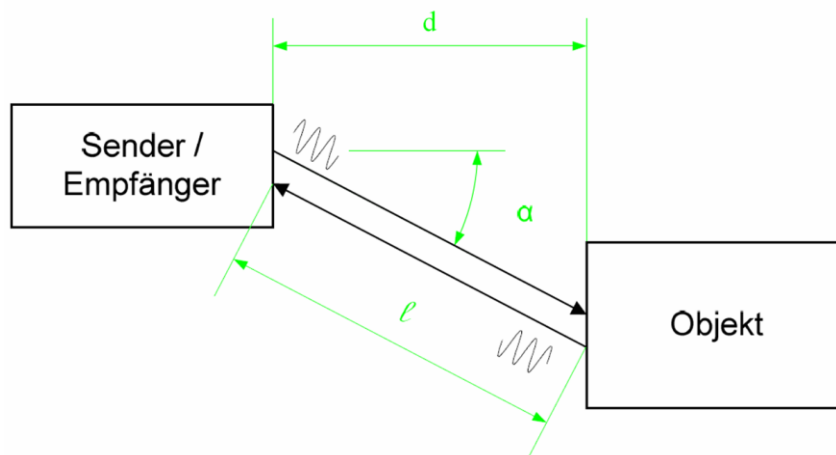


**Abbildung 4.1 Grundprinzip der Laufzeitmessung [Lux 2006]**

Ein Wellenpaket wird vom Sender emittiert, vom Objekt, das vom Sender den Abstand  $l$  hat, reflektiert und vom Sender detektiert. Das Signal legt dabei den Weg  $2l$  zurück. Die Laufzeit  $\Delta t$  wird gemessen und da die Ausbreitungsgeschwindigkeit des verwendeten Signaltyps bekannt ist, kann daraus der Weg  $l$  berechnet werden:

$$\ell = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \quad (4.1)$$

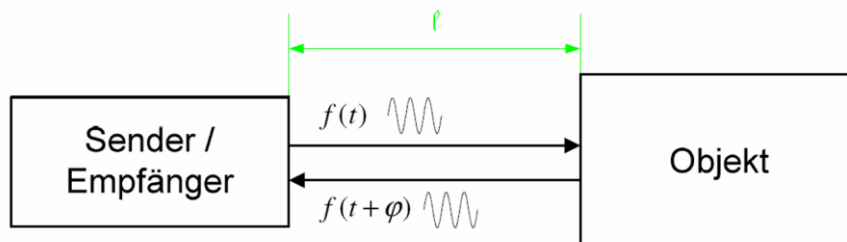
In Abbildung 4.2 ist die Distanzmessung in kartesischen Koordinaten dargestellt. Der Winkel ist je nach Verfahren bekannt durch die Geometrie des Aufbaus (Lidar), durch einen Encoder messbar (Laser-Scanner) oder durch Verwendung mehrerer Sender/Empfänger ermittelbar, z.B. unter Ausnutzung von Richtungscharakteristika von Antennen (Radar) oder z.B. Triangulation (Ultraschall). Da man den Winkel  $\alpha$  und die radiale Distanz  $\ell$  kennt, können die kartesischen Koordinaten mit Hilfe von einfachen trigonometrischen Beziehungen berechnet werden.



**Abbildung 4.2 Distanzmessung durch Laufzeitmessung in kartesischen Koordinaten**  
[Lux 2006]

#### 4.1.2 Messung der Phasenverschiebung

Auch die Phasenverschiebung [Schnieder 2007b] eines Signals kann zur Entfernungbestimmung verwendet werden. Hier wird das empfangene Signal kontinuierlich mit dem emittierten Signal verglichen. Abbildung 4.3 zeigt das Prinzip der Entfernungsmessung durch Phasenverschiebung.



**Abbildung 4.3 Prinzip der Entfernungsmessung durch Phasenverschiebung** [Lux 2006]

Die Entfernung  $\ell$  berechnet sich aus der Frequenz  $f$  bzw. Wellenlänge  $\lambda$  des emittierten Signals und der Phasenverschiebung  $\varphi$ .

$$\ell = \frac{\varphi \cdot \lambda}{4 \cdot \pi} \quad (4.2)$$

### 4.1.3 Dopplereffekt

Der „Dopplereffekt“ ist ein Phänomen, das eine Frequenzverschiebung zwischen einem emittierten und empfangenen Signal bewirkt, wenn sich Sender und/oder Empfänger bewegen. Er ist von den Beträgen und Richtungen der Geschwindigkeit von Sender und Empfänger abhängig. Bei der Berechnung wird unterschieden, ob das Signal zur Ausbreitung ein Medium (Schall) benötigt oder nicht (optischer Dopplereffekt für elektromagnetische Wellen). Aus der ursprünglichen Frequenz lässt sich die Geschwindigkeit eines Objektes ermitteln.

Bei dem Dopplereffekt mit Trägermedium muss zwischen den Bewegungen bzw. Geschwindigkeiten von Sender und Empfänger unterschieden werden, daraus ergibt sich folgende Frequenzverschiebung:

$$f' = f \cdot \left( \frac{c \pm v_E}{c \mp v_S} \right) \quad (4.3)$$

mit

$c$  – Ausbreitungsgeschwindigkeit der verwendeten Signalquelle

$v_E$  – Betrag der Geschwindigkeit des Empfängers

$v_S$  – Betrag der Geschwindigkeit des Senders

$f$  – Vom Sender emittierte Frequenz

$f'$  – Vom Empfänger empfangene Frequenz

Das obere Operationszeichen gilt, wenn sich Sender bzw. Empfänger aufeinander zu bewegen und die unteren Operationszeichen, wenn sich Sender bzw. Empfänger von einander weg bewegen.

Der optische Dopplereffekt resultiert aus einer Relativbewegung von Empfänger und Sender, dabei fällt die Unterscheidung zwischen bewegten Sender und Empfänger weg. Daraus ergibt sich dann folgender Zusammenhang:

$$f' = f \cdot \sqrt{\frac{c + v_r}{c - v_r}} \quad (4.4)$$

mit

$c$  – Lichtgeschwindigkeit

$v_r$  – Betrag der Relativgeschwindigkeit

Abbildung 4.4 zeigt das Prinzip des Dopplereffekts bei Fahrzeugsensoren, der Fahrzeugsensor emittiert ein Wellenpaket mit der Frequenz  $f$ , dies trifft mit der Frequenz  $f'$  (erster Dopplereffekt)

auf ein Objekt und der Fahrzeugsender empfängt dann das reflektierte Signal mit der Frequenz  $f'$  (zweiter Dopplereffekt).

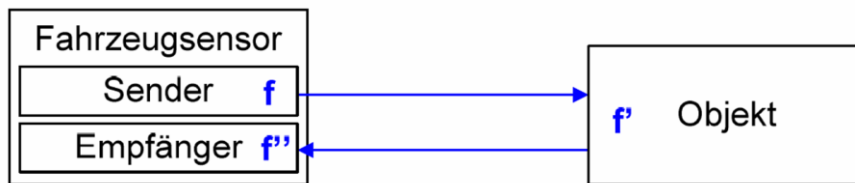


Abbildung 4.4 Dopplereffekt bei Fahrzeugsensoren [Lux 2006]

#### 4.1.4 Triangulation

Bei der Triangulation [Lux 2006] wird die absolute Position eines Objekts ermittelt. Abbildung 4.5 zeigt das Grundprinzip der Triangulation. „Station 1“ und „Station 2“ sind die beiden Sensoren, die den Abstand  $b$  haben. Der Abstand  $b$  sowie die absoluten Positionen  $\vec{s}_1$  und  $\vec{s}_2$  der Sensoren bezüglich eines Koordinatensystems sind bekannt. Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  werden bestimmt (im Rahmen der Genauigkeiten  $\Delta\alpha$  und  $\Delta\beta$ ) und mit Hilfe von einfachen trigonometrischen Beziehungen wird die absolute Position des Objektpunktes  $P$  berechnet. Sollten die Winkel- bzw. Messbereiche der Sensoren begrenzt sein, wie in Abbildung 4.5 angedeutet, ist eine Triangulation nur innerhalb der Überlappung dieser Bereiche, dem so genannten Messvolumen des Systems, möglich.

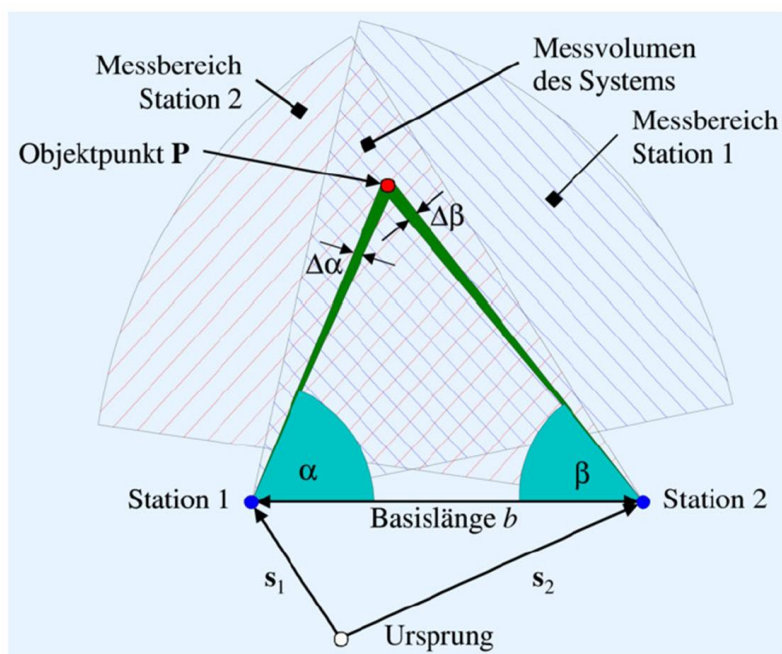


Abbildung 4.5 Grundprinzip der Triangulation [Lux 2006]

### 4.2 Elektromagnetische und akustische Sensoren

In den folgenden Unterabschnitten werden die Sensoren, die hauptsächlich für die Umfelderkennung verwendet werden, beschrieben. Die wichtigsten Eigenschaften der Sensortypen werden erläutert.

#### 4.2.1 Ultraschall

Ultraschall [Schnieder 2007b] ist der einzige akustische Sensor im Bereich Fahrzeugsensorik. Der Frequenzbereich liegt zwischen 20kHz bis ca. 1GHz und befindet sich somit oberhalb der Wahrnehmungsgrenze des menschlichen Gehörs.

Ultraschallsensoren verwenden zur Entfernungsmessung die Laufzeitmessung (Abschnitt 4.1.1) und zum Bestimmen der Geschwindigkeiten von Objekten wird der Dopplereffekt (Abschnitt 4.1.3) ausgenutzt.

Um größere Bereiche erfassen zu können, werden mehrere Ultraschallsensoren verwendet, so können auch Objektpositionen in einem z.B. fahrzeugfesten Koordinatensystem bestimmt werden. Allerdings kann es bei der Verwendung von mehreren Sensoren zu einem unerwünschten Crosstalk kommen, d.h. die Messergebnisse werden durch „Übersprechen“ zwischen unterschiedlichen Sensoren verfälscht. Um dies zu vermeiden müssen komplizierter Verfahren als nur Laufzeitmessung verwendet werden.

Ultraschallsensoren sind sehr günstig im Preis und arbeiten verschleißfrei, außerdem können das Material und die Oberflächenbeschaffenheit des zu erfassenden Objekts beliebig sein. Diese Sensoren sind auch unter rauen Umgebungstemperaturen sehr zuverlässig. Nachteile von Ultraschallsensoren sind die geringe Reichweite von max. 1,5 bis 5 Metern, dadurch wird das Anwendungsgebiet des Sensors stark eingeschränkt, und die geringe Genauigkeit, da der Betrag der Schallgeschwindigkeit nicht genau bekannt ist, entstehen bei der Berechnung der Objektentfernung Messfehler.

Ultraschallsensoren werden häufig bei Abstandswarnsystemen für Parkassistenten und bei Erkennung von bevorstehenden Kollisionen zur Pre-Crash-Konditionierung von Fahrzeugsicherheitssystemen (z.B. Straffung des Gurtsystems) eingesetzt.



**Abbildung 4.6 Einparkhilfe mit Ultraschallsensor [Volkswagen 2007b]**

Abbildung 4.6 zeigt eine Einparkhilfe [Volkswagen 2007b] mit Abstandswarnung nach hinten, dieses System arbeitet mit Ultraschallsensoren, die in den Stoßfängern verbaut sind. Trifft ein Impuls auf ein Hindernis, wird er reflektiert und der Sensor registriert das Echo. Aus der Zeitdifferenz zwischen senden und Empfangen wird der Abstand zwischen Hindernis und Fahrzeug berechnet.

### 4.2.2 Radar

Radar [Schnieder 2007b] steht für Radio (frequency) detection and ranging und gehört zu den elektromagnetischen Sensoren. Bei elektromagnetischen Signalen gibt es momentan drei Frequenzbänder in Deutschland und Europa, die eindeutig definiert sind. Das „Long Range Radar“ (LRR) liegt bei 76-77 Gigahertz, das Frequenzband bei 24 Gigahertz heißt „Short Range Radar“ (SRR) und wurde bis 2013 freigegeben, ab 2013 sollen dann alle Radarsysteme das Frequenzband um 79 Gigahertz nutzen. Die Nutzung dieser Signale unterliegt europaweit staatlichen Regulierungen, so kann ein ungestörter Betrieb in diesen Bereichen gewährleistet werden.

Das Long Range Radar wird vorwiegend bei ACC-Systemen eingesetzt, diese benötigen eine große Reichweite des Sensors (>100m). Das Short Range Radar allerdings wird im Nahbereich eingesetzt, außerdem sind die Herstellkosten für SRR erheblich geringer als bei LRR, hier ist der Einsatz mehrerer Radarsensoren zur Abdeckung möglichst großer Winkelbereiche ökonomisch erst möglich.

Die Abstands- und Geschwindigkeitsmessungen werden auch mit Hilfe von Laufzeitmessungen (Abschnitt 4.1.1) und Dopplereffekt (Abschnitt 4.1.3) durchgeführt. In der Regel sind Radarsensoren intelligente Sensoren, d.h. eine Signalverarbeitungseinheit ist direkt in dem Sensorgehäuse integriert.



Radarsensoren sind dazu in der Lage Fahrzeuge vor dem direkten Vordermann ohne direkten Sichtkontakt zu detektieren. Da es sich bei Radarsignalen um Mikrowellen im Zentimeterbereich (oder darunter) handelt, wirken Fahrbahn und Fahrzeuge nahezu wie Spiegel für das Signal, dadurch entstehen Mehrfachreflexionen zwischen Fahrbahn und Fahrzeuge. Vorteile von Radarsensoren sind, dass sie auch bei schlechtem Wetter eingesetzt werden können, da Wasser in diesem Wellenbereich keinen hohen Reflexionskoeffizienten besitzt und deshalb ist Niederschlag nahezu unsichtbar für den Sensor. Außerdem können sie verdeckt in Fahrzeuge eingebaut werden, da Kunststoff keinen Einfluss auf die Messung hat und deshalb können sie gut vor Verschmutzung geschützt werden.

Wenn sich mehrere Objekte im Erfassungsbereich des Radarsensors befinden, stellt die Unterscheidung zwischen den einzelnen Objekten sowie zwischen realen Objekten und Phantomzielen („ghosts“) ein Problem dar, das nur durch reine Laufzeitmessung von Signalen nicht gelöst werden kann. Hier werden andere Verfahren wie z.B. Frequenzmodulations- und Objektverfolgungsverfahren (Tracking vgl. Abschnitt 4.3) eingesetzt.



**Abbildung 4.7 Radarsensor zur Abstandsregelung [Mobil und Sicher 2007]**

In Abbildung 4.7 ist eine schmale Radarkeule zu sehen, die den Raum vor dem Fahrzeug abtastet, um den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu ermitteln.



**Abbildung 4.8 Radarsensor der Bosch GmbH [Ritter 2001]**

Abbildung 4.8 zeigt einen Abstandstempomaten von Bosch, dieser Radarsensor arbeitet mit 77 Gigahertz und kann bewegte Objekte bis zu einer Entfernung von ca. 100 Metern erkennen.

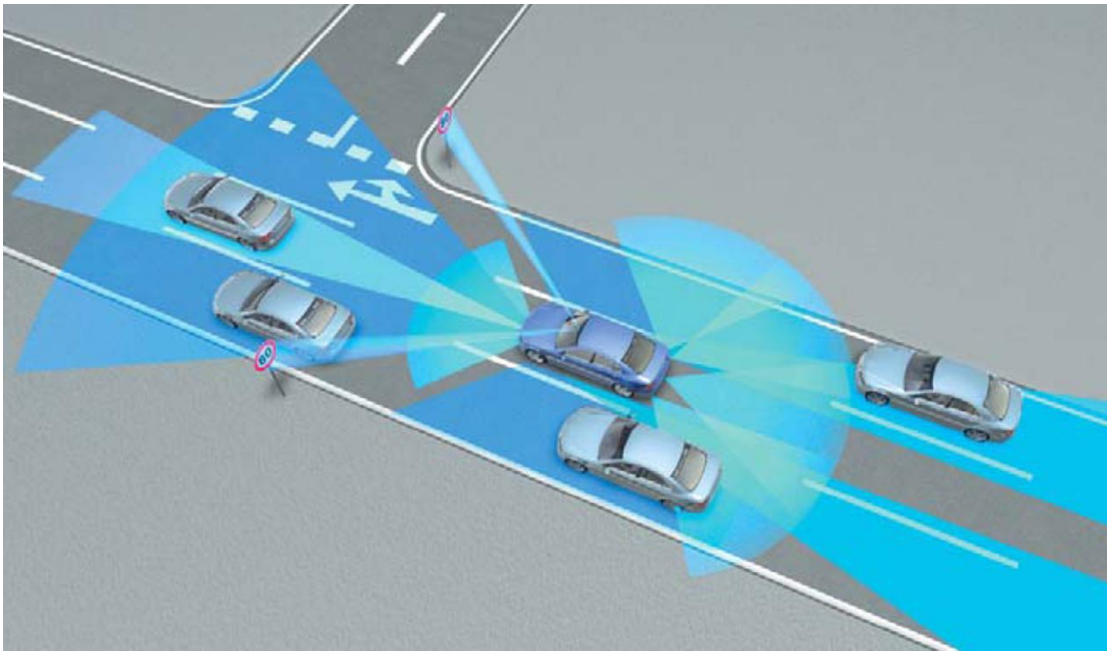
### 4.2.3 Lidar/Ladar

Lidar [Schnieder 2007b] bedeutet „light detection and ranging“, es wird oft auch Ladar genannt, für „laser detection and ranging“, da ein Laser als Lichtquelle verwendet wird. Als Signalquelle dient also häufig ein Laser im nahen Infrarotbereich (ca. 780nm) und die meisten Messverfahren basieren auf einer Laufzeitmessung (Abschnitt 4.1.1) des Signals.

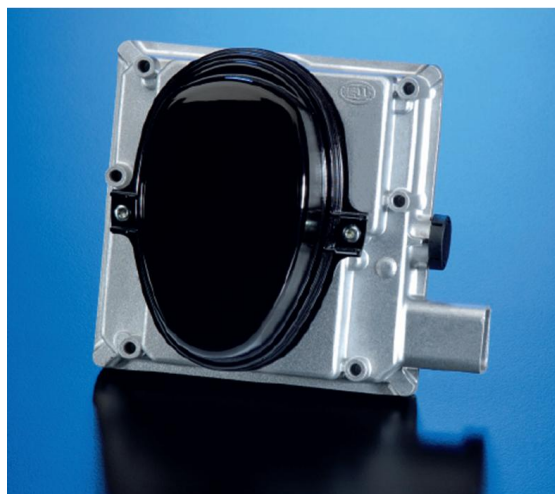
Lidar und Radar unterscheiden sich zunächst nur in der Frequenz bzw. Wellenlänge ihres Trägersignals. Weitere Differenzen treten im Messverfahren und auch im Messverhalten auf, da Lidar und Radar unterschiedliche Reflexions- bzw. Transmissions- und Absorptionseigenschaften der Umwelt bei unterschiedlichen Wellenlängen besitzen. Licht wird im Gegensatz zu Radarwellen an Niederschlagsteilchen stark gestreut. dieses Schlechtwetterverhalten von Lidarsystemen war anfangs ein großer Nachteil gegenüber den Radarsystemen, mittlerweile gibt es für dieses Problem spezielle Auswerteverfahren. Wie z.B. die Mehrfachechoauswertung, hier werden für jeden Laserpuls mehrere Signalechos registriert und mit Hilfe von intelligenten Softwarealgorithmen klassifiziert. So können schon ein Großteil der „Phantomechos“, also Signalechos die durch Reflexion des Laser-Pulses an Niederschlagsteilchen erzeugt wurden, als Regenkontakte erkannt und aussortiert werden.

Lidar-Sensoren sind außerdem in der Herstellung erheblich kostengünstiger als Radar-Sensoren, deshalb werden die etablierten Radar-Sensoren im ACC-Bereich durch preisgünstigere Lidar-Sensoren ersetzt. Aufgrund der sehr geringen Divergenz des verwendeten Lasers werden bei Lidar-Sensoren zur Abdeckung größerer Winkelbereiche mehrere, versetzt angeordnete

Laserstrahlen verwendet (Abbildung 4.9). Momentan gibt es Lidar-Systeme, die eine Reichweite von knapp über 200 Metern erreichen können.



**Abbildung 4.9 Lidar Sensoren im Einsatz [Schnieder 2007b]**



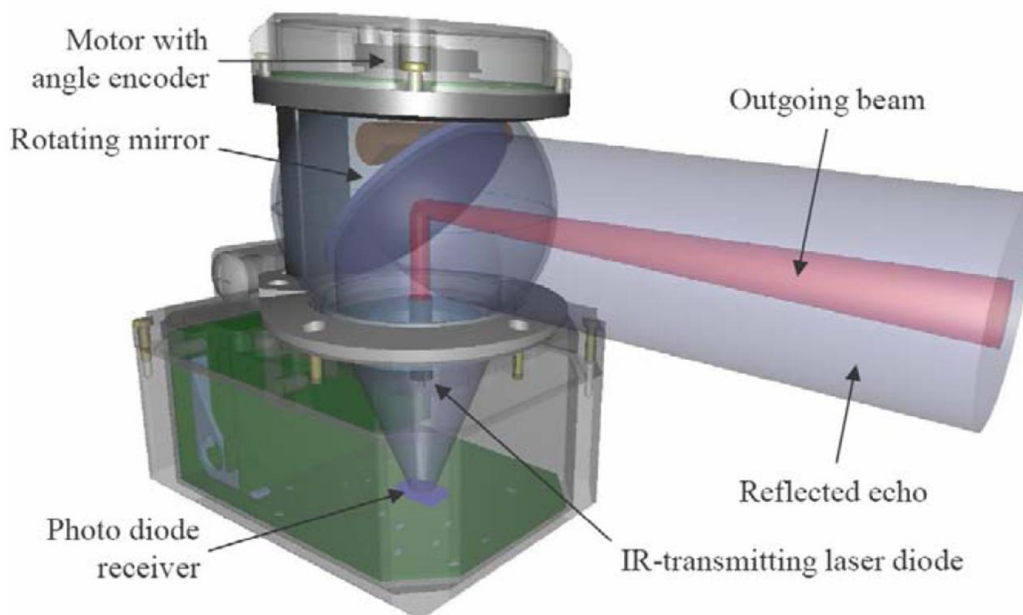
**Abbildung 4.10 ACC-Sensor basierend auf Lidar-Technologie [Hella 2007]**

Abbildung 4.10 zeigt einen ACC-Sensor, für diesen Sensor wird eine moderne opto-elektronische Messtechnik basierend auf dem Prinzip der Lichtlaufzeitmessung (Lidar) verwendet. Ein kurzer Lichtimpuls wird ausgesendet und das Rückstreusignal wird mit Hilfe einer Auswerteelektronik aufgezeichnet.

### 4.2.4 Laser-Scanner

Laser-Scanner [Schnieder 2007b] sind eine spezielle Bauart von Lidar-Sensoren, deren „Sichtfeld“ durch eine mechanische Komponente erweitert wurde. Der Laser-Puls und das Echo

werden über eine Ablenkeinheit emittiert und empfangen. Durch Auslenkung dieser Ablenkeinheit kann der Raumwinkel der jeweiligen Messung variiert werden. Es können, je nach Bauart der Ablenkeinheit, unterschiedliche Raumbereiche (2D oder 3D) vermessen werden. Eine rotierende Ablenkeinheit, mit der eine vollständige zweidimensionale Schnittebene des Fahrzeugumfeldes bestimmt werden kann, ist typisch für den Automobilbereich. In Deutschland gibt es momentan nur einen Anbieter für Automotive taugliche Laser-Scanner. Abbildung 4.11 zeigt den schematischen Aufbau des Laser-Scanners vom Typ ALASCA der Firma IBEO.



**Abbildung 4.11 Aufbau eines Laser-Scanners aus dem Automotive-Bereich [Schnieder 2007b]**

Der Korpus des Laser-Scanners enthält die elektronischen Komponenten, sowohl der Sendeeinheit (eine Nahinfrarot-Laserdiode) als auch der Empfangseinheit (bestehend aus Photodioden). Im Sensorkopf befindet sich die Ablenkeinheit, bestehend aus einem drehbar gelagerten Spiegel und einem Servomotor mit Winkel-Encoder. Der Spiegel wird durch den Servomotor mit einer definierten Winkelgeschwindigkeit rotiert und lenkt das emittierte bzw. reflektierte Laserlicht aus dem Sensorinnenraum in den Beobachtungsbereich und umgekehrt.

Die Entfernung wird beim Laser-Scanner auf Basis der Laufzeitmessung bestimmt und Geschwindigkeiten über den Differenzenquotienten von Zeit und Entfernung. Der Winkel-Encoder liefert den Horizontalwinkel der jeweiligen Messung, dadurch lässt sich die absolute Position der detektierten Messpunkte ermitteln.

Laser-Scanner besitzen eine hohe Genauigkeit bei der Distanzmessung und ein großes Sichtfeld, deshalb werden sie oft als Referenzsensoren bei der Prototypenentwicklung zukünftiger Fahrerassistenzsysteme eingesetzt. Außerdem werden Laser-Scanner in Versuchs- und

Forschungsfahrzeugen für diverse Aufgabenbereiche eingesetzt, vor allem bei der Erfassung komplexer Szenarien im städtischen Verkehr.

Laser-Scanner werden bei Einparkhilfen, Überwachung des toten Winkels, Pre-Crash-Systemen, Fußgängerschutz, Spurhalte- und Abbiegeassistentenfunktionen, ACC-Systemen (inklusive Stop- & Go-Funktionalität) sowie bei der Einleitung einer automatischen Notbremsung des Fahrzeuges eingesetzt.

### 4.2.5 (Stereo-) Kamerasysteme

Stereo-Kamerasysteme sind ein Sonderfall der Wegausbreitungssensoren, dies ist ein passiver Sensor, der im Allgemeinen keiner eigenen Signalquelle bedarf. Dieser Sensor nutzt stattdessen im Bereich des sichtbaren Lichts die natürliche Ausleuchtung der Umwelt durch Tageslicht (oder z.B. Scheinwerferlicht bei Nacht).

Die Stereovision beruht auf einer für jedes Pixel zweier Kameras durchgeführten Triangulation. Voraussetzung für eine hohe Genauigkeit bei diesem Verfahren ist, dass der räumliche Versatz der beiden Kameras genau bekannt ist und auch während der Messungen konstant bleibt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Zuordnung von Pixeln eines Objektes einer Kamera zu den korrespondierenden Pixeln der anderen Kamera. Diese Problematik wird durch entsprechende Software-Algorithmen gelöst. Die Objektentfernung wird über den relativen Versatz des jeweiligen Pixels auf dem entsprechenden Kamerachip und über die relative Lage der zweiten Kamera berechnet. Demzufolge ist die erreichbare (Distanz) Auflösung eines Stereo-Kamerasystems direkt abhängig von der Auflösung der verwendeten Kamera. Dies wird zusätzlich durch die aufgrund der Genauigkeit des Systems geforderte räumliche Nähe der Kameras verschärft, da hierdurch per se der relative Versatz zwischen den jeweiligen Pixeln tendenziell geringer ausfällt.

Typischerweise besitzen Kameras einen Öffnungswinkel von ca.  $30^\circ$  sowohl horizontal als auch vertikal, dadurch können bereits einzelne Kameras (insbesondere in der Elevation) einen relativ großen Bereich erfassen. Kamerasysteme haben eine hohe Auflösung und liefern auch potenziell den höchsten Informationsgehalt, besonders was die Zusatzinformationen zu einzelnen Objekten betrifft.

Das Potenzial solcher Systeme lässt sich an dem biologischen Vorbild, dem menschlichen Auge (Augenpaar) sowie der Verarbeitung dieser Bilddaten durch das menschliche Gehirn erahnen. Von derartigen Leistungen sind aktuelle Stereo-Kamerasysteme jedoch noch weit entfernt.

Im Bereich der Fahrspurdetektion, z.B. für den Einsatz in LDW (Lane Departure Warning)- oder LKS (Lane Keeping Support) –Systemen, stellen Kamerasysteme (nicht unbedingt Stereo-

Kamerasysteme) momentan den gebräuchlichsten und ausgereiftesten Sensortyp dar, da die Fahrspur relativ einfach aus den Videobildern extrahiert werden kann [Schnieder 2007b].

### 4.3 Kalman-Filter

Hier soll die Grundidee des Kalman-Filters [Nischwitz et al. 20004] erläutert werden und kurz das Thema Tracking zur Objektverfolgung (Abschnitt 5.2) im Bereich der Bildverarbeitung beschrieben werden. Seit 1960 wurden zahlreiche Anwendungen für das Kalman-Filter entwickelt. In der Regelungstechnik gehört das Kalman-Filter zu den Standardmethoden der optimalen Regelung mit Zustandsbeobachter. Auch in modernen Navigationssystemen wird das Kalman-Filter verwendet, dabei werden Messdaten verschiedener Navigationssensoren (z.B. Inertialsensor und GPS) zu einer optimalen Positionsschätzung zusammengeführt. Das Kalman-Filter ist eines der am häufigsten eingesetzten Verfahren, mit denen verrauschte Messdaten verschiedener Sensoren zusammengeführt werden. Das Kalman-Filter ist ein sehr umfangreiches und interessantes Verfahren, das schon in vielen Arbeiten und Fachbüchern betrachtet wurde.

In der Automobiltechnik wird das Kalman-Filter bei der Entwicklung von neuen Fahrerassistenzsystemen auf der Basis bildgebender Sensoren verwendet, dazu gehören automatische Geschwindigkeits- und Abstandskontrolle, Warnung vor Hindernissen oder zu hoher Kurvengeschwindigkeit, automatische Fahrspurverfolgung bis hin zum autonomen Fahren. Beim Militär wird das Kalman-Filter zur automatischen Zielverfolgung eingesetzt. Es gibt noch viele andere Anwendungen für das Tracking, im Bereich Mensch-Maschine-Schnittstelle z.B. die Gestenerkennung (Abbildung 4.14), die Verfolgung der Lippenbewegung zur Spracherkennung, die Verfolgung von Augen-, Kopf- oder Körperbewegungen zur Steuerung von Automaten oder Virtual Reality Umgebungen.

Die Grundidee des Kalman-Filters wird mit Hilfe eines physikalischen Systems erläutert, dazu stellt man sich eine Kugel vor, die von Luftwirbeln etwas aus der Normal-Bahn abgelenkt wird (Abbildung 4.12). Die Bewegung des Systems kann durch das Newton'sche Gesetz beschrieben werden:

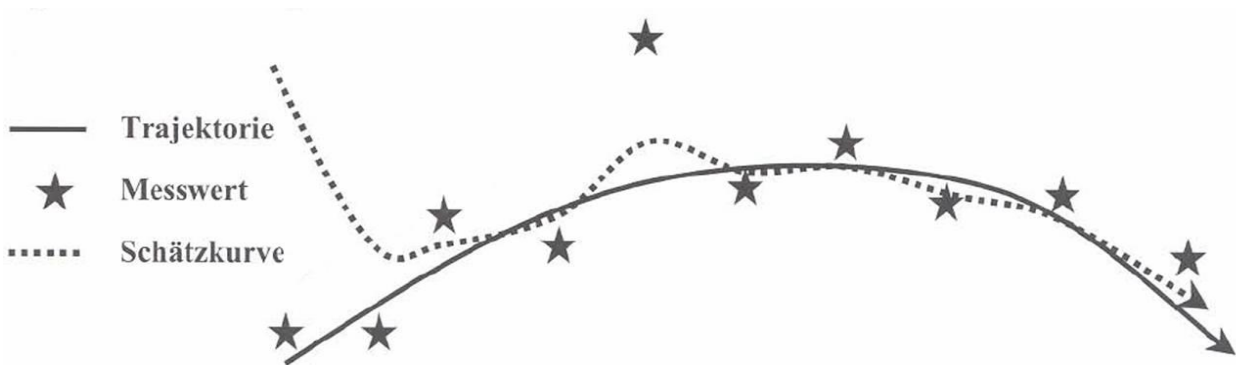
$$F_a = ma \quad (4.5)$$

$$F_a = F_g + F_r \quad (4.6)$$

$F_g$ : Gewichtskraft

$F_r$ : Reibungskraft

Durch die Luftwirbel wirken Reibungskräfte  $F_r$  auf die Kugel, diese Kräfte werden als eine zufällige, normalverteilte Komponente betrachtet. Es wird zusätzlich eine physikalische Messvorrichtung, z.B. eine feststehende Kamera benötigt, die in bestimmten zeitlichen Abständen Bilder der Situation aufnimmt. Die relative Position und die relative Größe der Kugel sind dadurch im Bild messbar. Die Messgenauigkeit der Kamera wird durch die Auflösung begrenzt und ist von Schwankungen durch die Luftwirbel oder anderen Störungen (z.B. Verdeckung) ausgesetzt. Mit Hilfe aller bis zu diesem Zeitpunkt angefallenen Messungen soll der beste Schätzwert für die Position und die Geschwindigkeit der Kugel zum Zeitpunkt  $k$  gefunden werden.



**Abbildung 4.12 Die Grundidee des Kalman-Filters in der Bildverarbeitung [Nischwitz et al. 20004]**

Mit Hilfe der bekannten Größe der Kugel und den Abbildungseigenschaften der Kamera wird die Entfernung Kugel zu Kamera und somit auch die Position der Kugel ( $x, y, z$ ) geschätzt. Aus zwei aufeinander folgenden Bildern kann dann auch die Geschwindigkeit ( $v_x, v_y, v_z$ ) der Kugel geschätzt werden. Aus der Newton'schen Bewegungsgleichung kann der Ort und die Geschwindigkeit der Kugel für zukünftige Zeitpunkte prädiziert bestimmt werden. Die Abweichung zwischen prädiziertem und gemessenem Systemzustand (Ort und Geschwindigkeit) wird zur Verbesserung der Schätzung des Systemzustands verwendet, dabei fließen Messungen mit großer Genauigkeit stark in die Berechnung ein und Messungen mit geringer Genauigkeit wenig in die Berechnung ein. Das Kalman-Filter ist so ausgelegt, dass es unter Berücksichtigung des Mess- und Systemrauschens (Luftwirbel) aus den vorhandenen Messwerten den optimalen Schätzwert für den Systemzustand liefert.

Im Bereich der Bildverarbeitung wird das Kalman-Filter zur Objektverfolgung verwendet, dieses Verfahren nennt man Tracking. Beim Tracking soll die Position und/oder die Geschwindigkeit von Objekten zu jedem Zeitpunkt optimal geschätzt werden. Es liegen Kamerabilder als Eingabewerte vor, in speziellen Anwendungen können dies auch Positionsdaten anderer Sensoren



---

sein, z.B. Radar oder Lidar. Mit Hilfe von Bildverarbeitungsverfahren wird eine Objekterkennung durchgeführt, dadurch ist die Lage des Objektbildes auf dem Kamerasensor bekannt. Aus der prädizierten Position und Lage des Objekts im 3-dimensionalen Raum kann mit den vorabvermessenen Abbildungseigenschaften der Kamera die Lage des auf den Sensor projizierten Objekts vorhergesagt werden. Hier wird ebenfalls die Abweichung zwischen prädizierter und gemessener Lage des Objekts zur Vermessung der Positions- und Geschwindigkeits-Schätzung des Objekts verwendet. Die Genauigkeit der Positionsmessung so wie die Objekt- und Eigenbewegung müssen berücksichtigt werden, um eine erfolgreiche Filterung zu erreichen.

Im Folgenden werden die prinzipiellen Ablaufschritte eines Kalman Trackers bei der Objektverfolgung beschrieben.

1. Aufschalten des Kalman-Filters (Alignment):

Am Anfang kann noch keine verlässliche Schätzung über die Lage des Objektes im Bild gemacht werden, deshalb muss das gesamte Bild abgescannt werden, dies nennt man Alignment. Wenn eine bewegliche Kamera verwendet wird, wird meistens der gesamte Schwenkbereich der Kamera nach dem gesuchten Objekt abgescannt. Beim Alignment werden folgende Unterschritte durchgeführt:

- Bildaufnahme:

Mit dem Kamerasensor wird ein Bild aufgenommen und digitalisiert.

- Bildvorverarbeitung:

Geometrische Entzerrung, Kontrastoptimierung und Rauschunterdrückung.

- Merkmalsextraktion:

Meistens handelt es sich hierbei um Kantendetektion und Linienverfolgung. Die Position und Orientierung der Kanten, sowie Geradheit, Ausgefranstheit von Linien sind hier die Ergebnisse.

- Projektion:

Die Kanten des gesuchten 3D-Objekts werden auf die 2D-Sensorbildebene projiziert.

- Matching-Verfahren:

Korrelation des gemessenen Linienmusters mit dem erwarteten Muster. Das Ergebnis bei einer ausreichenden Korrelation ist eine Startschätzung des Systemzustands (z.B. Position, Lage und Geschwindigkeit des Objekts relativ zur Kamera).



### 2. Prädiktionsschritt:

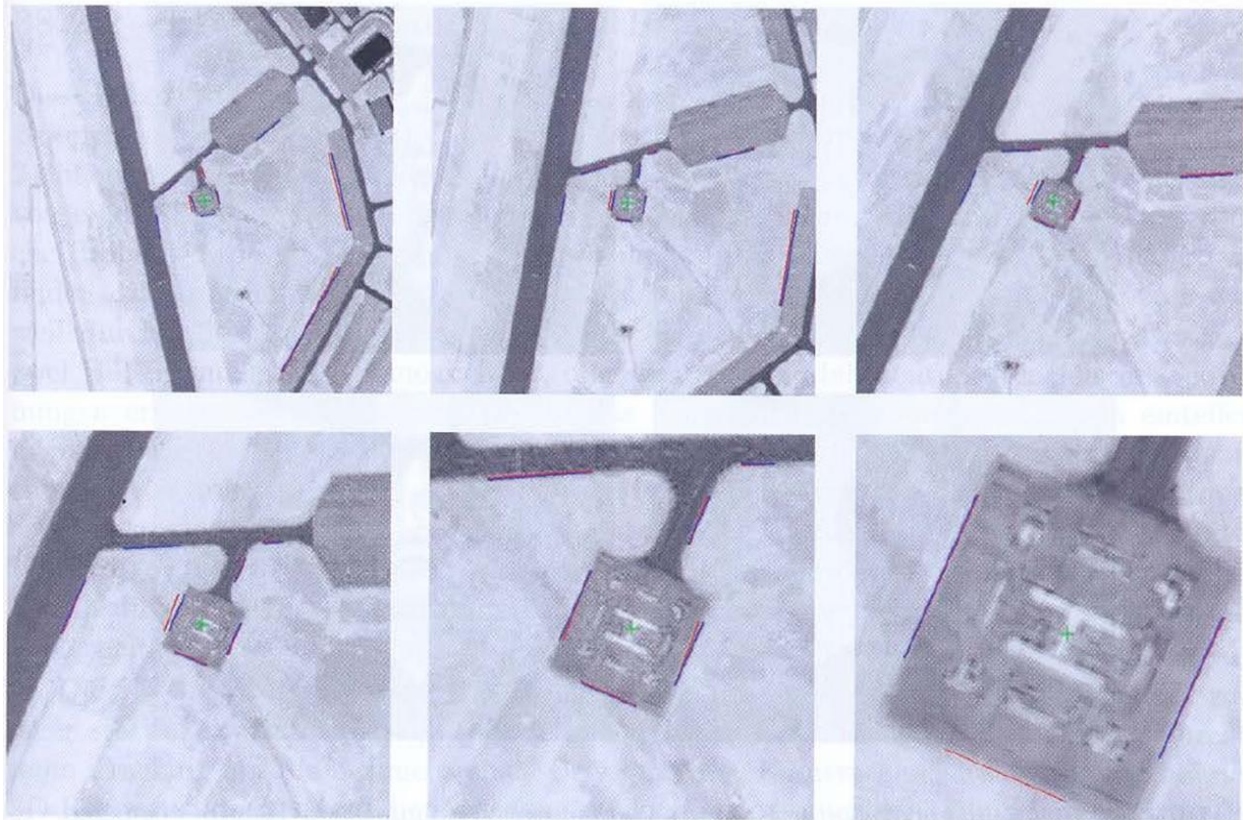
Vorhersage der relativen Position und Lage des Objekts zum nächsten Abtastzeitpunkt mit Hilfe der zugrunde liegenden Systemdynamik (Position, Lage, Geschwindigkeit, Beschleunigung der eigenen Kamera usw.).

### 3. Korrekturschritt:

Korrektur der Prädiktion mit der Messung. Hier werden ähnliche Schritte durchgeführt wie beim Alignment, also Bildaufnahme, Bildverarbeitung, Merkmalsextraktion, Objekterkennung mit eingeschränktem Sichtbereich (je nach Qualität der Prädiktion). Die Messung, also die Detektion des Objekts, wird erheblich erleichtert, da vom vorhergehenden Prädiktionsschritt ein Schätzwert für die Objektposition vorhanden ist. Hier reicht es aus das Objekt in einem kleinen Bildausschnitt zu suchen, anders als beim Alignment muss nicht mehr das gesamte Bild bzw. der gesamte Schwenkbereich der Kamera abgesucht werden. Dieser Bildausschnitt wird „track gate“ genannt und seine Größe wird von der Genauigkeit der Prädiktion bestimmt. Die Abweichung zwischen geschätzter und gemessener Objektposition auf der Sensorebene wird zur Verbesserung der Positions- und Geschwindigkeits-Schätzung für das Objekt benutzt. Qualitätsmaße für die detektierten Kanten und Linien, z.B. der Kontrast der Kanten oder die Ausgefranstheit von Linien, werden als Maß für das Messrauschen benutzt und somit wird bestimmt wie stark die Messung in die Schätzung des Systemzustands eingeht. Wenn die Kantendetektion sehr unsicher ist, wird die Messung kaum für die Zustandsschätzung berücksichtigt, so wird eine eventuelle fehlerhafte Objekterkennung kaum beachtet. Sind die Kanten allerdings klar erkennbar, gehen sie mit hoher Gewichtung in die Schätzung ein.

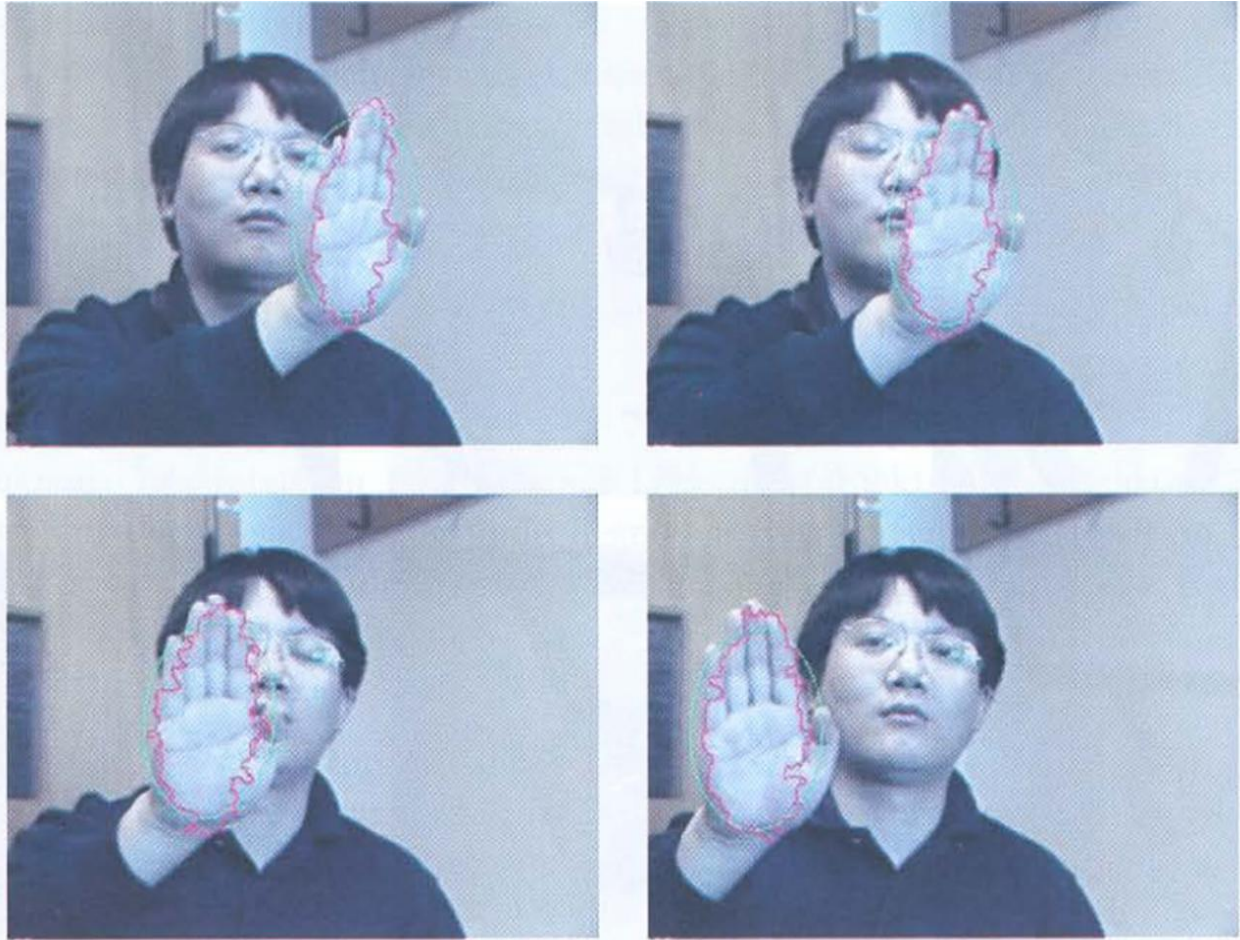
Der Prädiktionsschritt und der Korrekturschritt laufen abwechselnd ab.

Abbildung 4.13 zeigt anhand eines Beispiels die Wirkungsweise eines Kalman-Filters. Es werden charakteristische Kanten eines Helikopterlandeplatzes verfolgt, der Helikopter soll mit Hilfe einer Kamera automatisch an der vorgesehenen Stelle landen. Die blau hervorgehobenen Kanten sind gemessen, also durch Bildverarbeitungsalgorithmen aus dem aktuellen Bild extrahiert. Vom Kalman-Filter aus dem vorhergehenden Bild extrahiert, sind die rot eingezeichneten Kanten. In diesem Beispiel liegen die prädierten Kanten meistens relativ nahe an den gemessenen Kanten.



**Abbildung 4.13 Kanten-basierter Kalman Tracker zur Detektion eines Hubschrauberlandeplatzes [Nischwitz et al. 20004]**

Es gibt auch noch andere Methoden eines Kalman Trackers. Bis jetzt wurde der Vergleich zwischen geschätzter und gemessener Objektposition auf der Basis von Kanten und Linien betrachtet. Eine andere Möglichkeit sind segment-basierte Methoden, dabei wird eine Szene nach bestimmten Kriterien in verschiedene Segmente unterteilt. Zu den Kriterien können z.B. ähnliche Bewegungsvektoren oder Texturmerkmale gehören. Hier dient das Kalman-Filter dazu die Verschiebung und eventuell die Verzerrung des Segments im nächsten Bild vorherzusagen. Das prädizierte Segment wird mit dem gemessenen Segment, das sich aus der Einzelbild-Segmentierung des aktuellen Bildes ergibt, verglichen. Die sich nicht überlappenden Teile des Segments sind ein Maß für die Abweichung der Prädiktion von der Messung und werden zur Verbesserung der Schätzung der Objektbewegung verwendet. In Abbildung 4.14 wird ein segment-basierter Kalman Tracker zur Verfolgung einer Handbewegung benutzt, dabei ruht die Kamera und das Objekt, hier die Hand, bewegt sich. Das Alignment, die grüne Ellipse, wird manuell durchgeführt Die rote Kurve stellt die detektierte Kontur der Hand dar.



**Abbildung 4.14 Segment-basierter Kalman Tracker zur Verfolgung von Handbewegungen**  
[Nischwitz et al. 2004]

## 5 Objekt und Umfeld

Um eine geeignete Struktur für diese Diplomarbeit zu finden, wurden die Hauptthemen der recherchierten Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen erfasst. Im nächsten Schritt wurden den einzelnen Themen den Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen zugeordnet. In Abbildung 5.1 sieht man die Hauptthemen schwarz umrandet und die Forschungsarbeiten farblich umrandet. In Tabelle 5.1 sind die recherchierten Forschungsarbeiten aufgelistet. Diese Struktur diente als Grundlage für den Aufbau dieser Diplomarbeit.

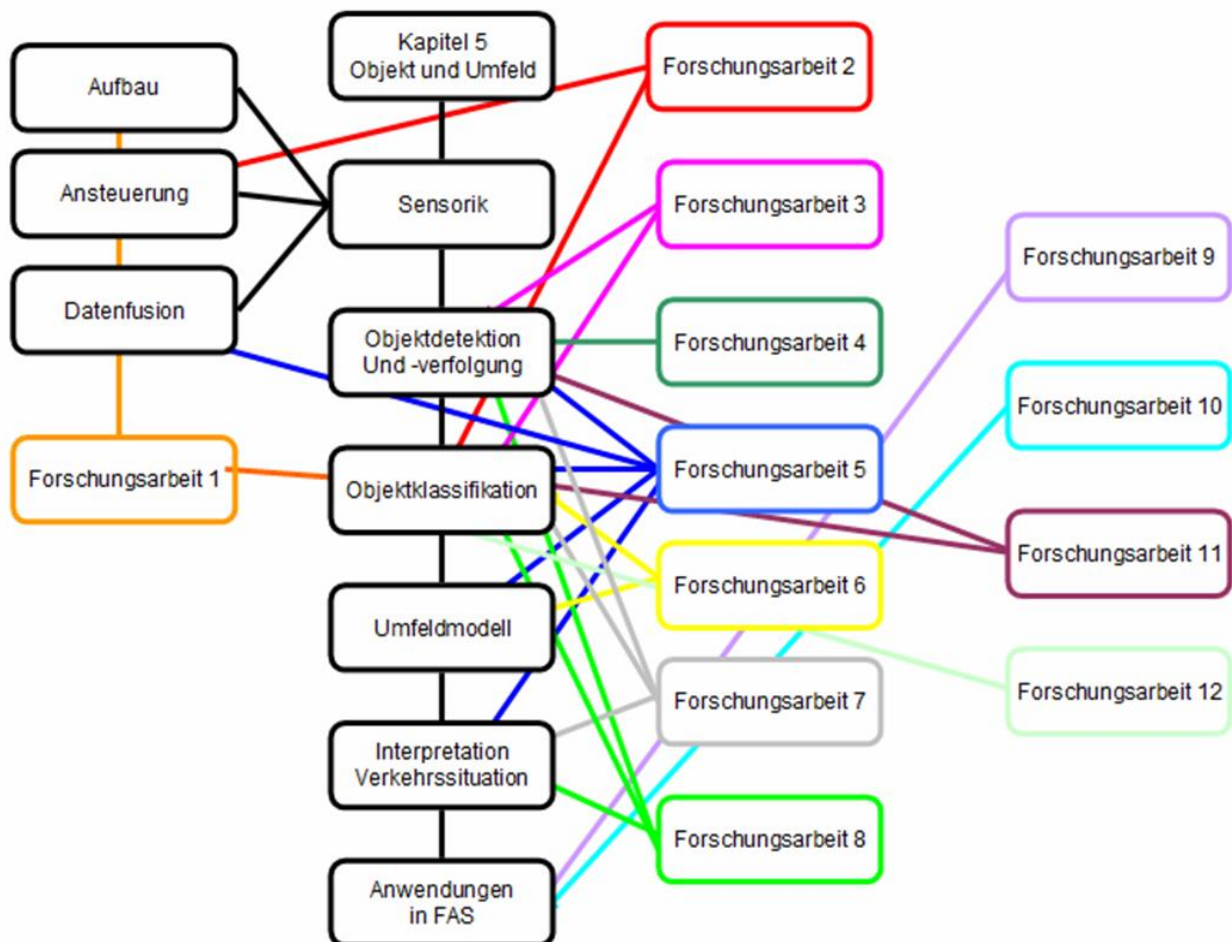


Abbildung 5.1 Struktur der Diplomarbeit



**Tabelle 5.1 Recherchierte Forschungsarbeiten**

<b>Forschungsarbeit</b>	<b>Titel</b>
1	Miniaturisierter Laserscanner zur Umfelderkennung im Fahrzeugbereich
2	Blickrichtungssteuerung für kognitive Automobile
3	Spezialisierung generischer Modelle von Straßenverkehrsszenen für die Bildfolgenauswertung
4	Objektdetektion in Straßenverkehrsszenen durch Auswertung von Farbbildfolgen
5	Projekt INVENT
6	Lidar-Sensoren zur Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen
7	Lane Recognition Using On-vehicle Lidar
8	Road Environment Recognition Using On-vehicle Lidar
9	Simulationsuntersuchungen zum Einfluss von Fahrverhalten und technischen Abstandsregelsystemen auf den Kolonnenverkehr
10	Close following on the Motorway: Initial Findings of an instrumented Vehicle Study
11	Fahrzeugumfelderfassung mit mehrzeiligen Laser-Scannern
12	Fußgängerschutz unter Nutzung mehrzeiliger Laser-Scannern

## 5.1 Sensorik

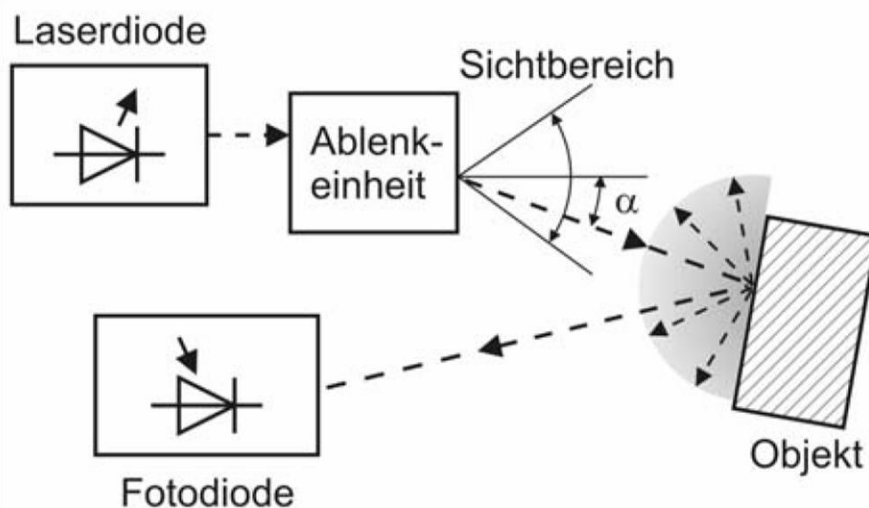
In Abschnitt 4.2 wurde der allgemeine Aufbau und die allgemeine Funktionsweise der unterschiedlichen Sensoren Ultraschall, Radar, Lidar, Laser-Scanner und Kamerasysteme beschrieben. In einer Vielzahl der recherchierten Veröffentlichungen wird nicht auf die Besonderheiten im Systemaufbau eingegangen. Der Systemaufbau eines Laser-Scanners und dessen technische Besonderheiten für die gewünschte Funktionsweise im Bereich der Umfelderkennung ist in einem VDI-Bericht der Universität Karlsruhe [Kapp et al. 2004] detailliert beschrieben und wird in Abschnitt 5.1.1 zusammengefasst.

Einige Sensorsysteme benötigen eine spezielle Ansteuerung. Während Laser-Scanner und Lidar-Sensoren nur einen bestimmten Winkel überwachen können, existieren Kamerasysteme, die dem menschlichen Auge nachempfunden wurden und einen beliebigen Winkel einsehen können. Dieses System wird in Abschnitt 5.1.2 beschrieben.

Andere Kamerasysteme haben diese spezielle Ansteuerung nicht, verwenden aber im Zuge der Sensordatenfusion, die in Abschnitt 5.1.3 beschrieben wird, die Messdaten von anderen Sensoren, um eine Objekterkennung im Kamerabild auf einen begrenzten Bereich einzuschränken.

### 5.1.1 Aufbau

Die Universität Karlsruhe benutzt zur Umfelderkennung im Fahrzeugbereich einen Laser-Scanner [Kapp et al. 2004]. In Abschnitt 4.2.4 wurden bereits der allgemeine Aufbau und die allgemeine Funktionsweise von Laser-Scanner-Systemen beschrieben. Abbildung 5.2 zeigt noch einmal das Gesamtsystem.



**Abbildung 5.2 Schema des Gesamtsystems [Kapp et al. 2004]**

Als Laserdiode wird eine IR-Puls laserdiode verwendet. Diese gibt eine unsichtbare Laserstrahlung im nahen Infrarotbereich ab und wird deshalb nicht störend wahrgenommen. Bei der Spezifikation der Hardwarekomponenten muss bei der Umfelderkennung im Fahrzeugbereich beachtet werden, dass die Laserschutzauflagen eingehalten werden und das bei einem Laserstrahl mit steigender Entfernung des zu erfassenden Objekts die empfangene Leistung stark abfällt, deshalb wird ein gut parallelisierter Sendestrahle und ein empfindlicher Empfänger benötigt. Laser werden entsprechend ihrer Gefährlichkeit für den Menschen in Geräteklassen eingeteilt, die in Tabelle 5.2 zu sehen sind. Daraus ist zu erkennen, dass in diesem Fall der Laser die Geräteklasse 1, 1M, 2 oder 2M haben kann.

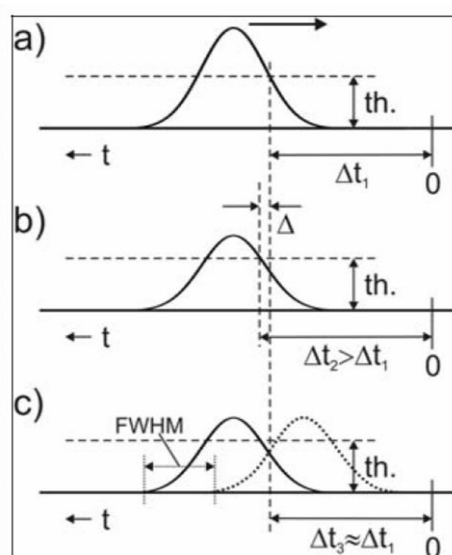
**Tabelle 5.2 Laserschutzklassen nach DIN EN 60825-1**

Laserschutzklasse	Beschreibung
1	Die zugängliche Laserstrahlung ist unter vorhersehbaren Bedingungen ungefährlich.
1M	Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Strahlenquerschnitt nicht durch optische Instrumente (Lupe etc.) verkleinert wird. Wellenlängenbereich: 302,5nm – 400nm

Laserschutzklasse	Beschreibung
2	Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400nm – 700nm). Sie ist bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25s) auch für das Auge ungefährlich. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400nm bis 700nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1.
2M	Wie Klasse 2, solange der Strahlenquerschnitt nicht durch optische Instrumente (Lupe etc.) verkleinert wird.
3A	Die zugängliche Laserstrahlung wird für das Auge gefährlich, wenn der Strahlenquerschnitt durch optische Instrumente (Lupe etc.) verkleinert wird. Ist dies nicht der Fall, ist die ausgesendete Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400nm – 700nm) bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich.
3R	Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5nm bis 10 <sup>6</sup> nm und ist gefährlich für das Auge. Die Leistung bzw. Energie beträgt maximal das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung der Klasse 2 im Wellenlängenbereich von 400nm bis 700nm und das Fünffache des Grenzwertes der Klasse 1 für andere Wellenlängen.
3B	Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut.
4	Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch die diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- und Explosionsgefahr verursachen.

Um eine möglichst große Verstärkung des Empfängers zu erreichen wird eine Fotodiode mit Signalverarbeitung in das Gesamtsystem eingebaut. Bei der Auswertung des reflektierten Strahls ist zu beachten, dass die Pulsflanke mit zunehmender Entfernung flacher wird, deshalb stellt ein Schwellwertdetektor den Puls eines nahen Objekts früher fest als den eines weiter entfernten Objekts. Die Entfernung ferner und schlecht reflektierender Objekte wird systematisch zu groß gemessen. Infolgedessen benutzt die Universität Karlsruhe zur Kompensation dieses Effekts eine **Constant Fraction Discriminator (CFD)** Schaltung. In Abbildung 5.3 a) ist ein Puls zu sehen, der von links kommend nach  $\Delta t_1$  vom Schwellwertdetektor mit fester Schwelle  $t_h$  detektiert wird. In

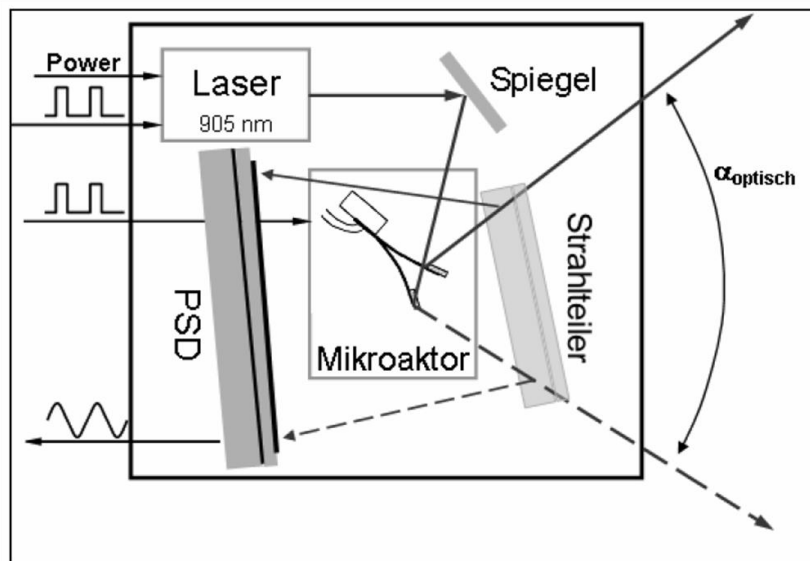
Abbildung 5.3 b) ist die gleiche Pulsform zu sehen, deren Amplitude jedoch geschwächt ist, obwohl das schlechter reflektierte Objekt gleich weit entfernt ist. Dieser Puls wird gegenüber dem ersten um  $\Delta$  später gesehen. In Abbildung 5.3 c) wird dieser Effekt durch die CFD-Schaltung abgemildert. Dabei wird der Puls um die Halbwertzeit (FWHM) verschoben, der Schwellwertdetektor löst aus, wenn sich der verschobene Puls mit dem ursprünglichen Puls schneidet.



**Abbildung 5.3 Schwellwertdetektor mit fester Schwelle bei a) großen, b) kleinem Puls, c) CFD mit kleinem Puls [Kapp et al. 2004]**

Als Ablenkeinheit wird eine mikrosystemtechnische Aktoreinheit, die in Abbildung 5.4 gezeigt ist, verwendet. Die Aktoreinheit besteht aus einem Mikroaktor, einem Positionsdetektor (Position Sensing Detector, PSD) sowie optischen Komponenten. Ein Laserstrahl gelangt über einen Ablenkspiegel auf den periodisch schwingenden Mikroaktor und wird abgelenkt. Über einen Strahlenteiler wird ein Bruchteil des abgelenkten Lichts zurück auf den Positionsdetektor reflektiert, so kann der aktuelle Ablenkwinkel bestimmt werden.





**Abbildung 5.4 Funktionsskizze der mikrosystemtechnischen Aktoreinheit [Kapp et al. 2004]**

Das Zusammenspiel der Einzelkomponenten wird von einem Mikrocontroller gesteuert. Er triggert das Senden der Pulse, das Starten bzw. Stoppen eines Zeitmesschips, wenn die Empfangsschaltung den reflektierten Puls detektiert wird. Und er wird mit Hilfe einer grafischen Benutzeroberfläche vom PC aus angesprochen. Neben Zeit bzw. Entfernung muss möglichst zeitgleich der Ablenkwinkel gemessen werden. Die Messdaten werden an den PC übermittelt, dort stehen sie der weiteren Signalverarbeitung, z.B. Objektdetektion (Abschnitt 5.2) zur Verfügung.

### 5.1.2 Ansteuerung

Die Universität Karlsruhe rüstet einen SMART Roadstar auf autonome Fahrweise um, dabei entstand am Institut für Technische Informatik eine „Blickrichtungssteuerung für kognitive Automobile“ [Papadopoulos 2006]. Zur Umfelderkennung wurde eine Kameraplattform verwendet, die aus zwei Stereokameras für den Nahbereich und einer Telekamera für den Fernbereich besteht. Außerdem wurde das Versuchsfahrzeug mit einem Beschleunigungssensor zur Messung der Nickbewegung des Fahrzeuges ausgestattet. Ein optischer Inkrementalgeber (Sensor zur Erfassung von Lageänderungen) wurde zur Bestimmung des Schwenkwinkels der Kamera in das Fahrzeug eingebaut. In Abbildung 5.5 ist die verwendete Kameraplattform zu sehen und Abbildung 5.6 zeigt die benutzte Telekamera mit Spiegel.



**Abbildung 5.5 Kameraplattform [Papadopoulos 2006]**



**Abbildung 5.6 Telekamera mit Spiegel [Papadopoulos 2006]**

Es wurde eine Ansteuerung für die Kameraplattform auf dem Prinzip des „sakkadischen Sehens“ sowie die Ansteuerung der Telekamera mit geeigneter Regelung und Ansteuerung des Spiegels entwickelt. Um die einzelnen Kameras und den Spiegel bewegen zu können, wurden Schrittmotoren verwendet. Die „Sakkadenansteuerung“ der Stereokameras erlaubt das Beobachten eines großen Sichtfeldes, außerdem ist der Schulterblick mit diesen Kameras möglich, um Fahrzeuge z.B. bei einem Überholmanöver erkennen zu können. Bei diesem Projekt wurde realisiert, dass bei der Ansteuerung der Zielpositionen es für die Bildverarbeitung möglich ist auch Zwischenpositionen zu beobachten. Über einstellbare Parameter wurde sichergestellt, dass die Bildverarbeitung auswertbare Bilder erhält, indem die Zeitdauer des Stillstandes zwischen

den Sakkaden einstellbar ist. Das Bild der Telekamera wird über einen beweglichen Spiegel abgelenkt. Um eine Bildstabilisierung im Fernbereich zu erreichen, wurde ein zusätzlicher Beschleunigungssensor eingesetzt, er sollte der anfallenden Beschleunigung auf den Spiegelmotor entgegenwirken. Die Kompensation der Nickbewegung konnte im Rahmen der Diplomarbeit nicht gelöst werden, der Spiegelmotor reagierte zu stark und die Bilder waren verzerrt. Allerdings erlaubten die Sensordaten des Beschleunigungssensors eine Bildbewertung, so bekam die Bildverarbeitung Informationen, welche Bilder analysiert werden sollen.

### 5.1.3 Datenfusion

In den recherchierten Veröffentlichungen geht nur das Projekt INVENT ausführlich auf das Thema Datenfusion ein. Wie in Abbildung 5.7 gezeigt ist, besteht INVENT aus drei verschiedenen Schwerpunktbereichen, die sich wiederum in acht Teilprojekte untergliedern, die in Abbildung 5.8 dargestellt sind.

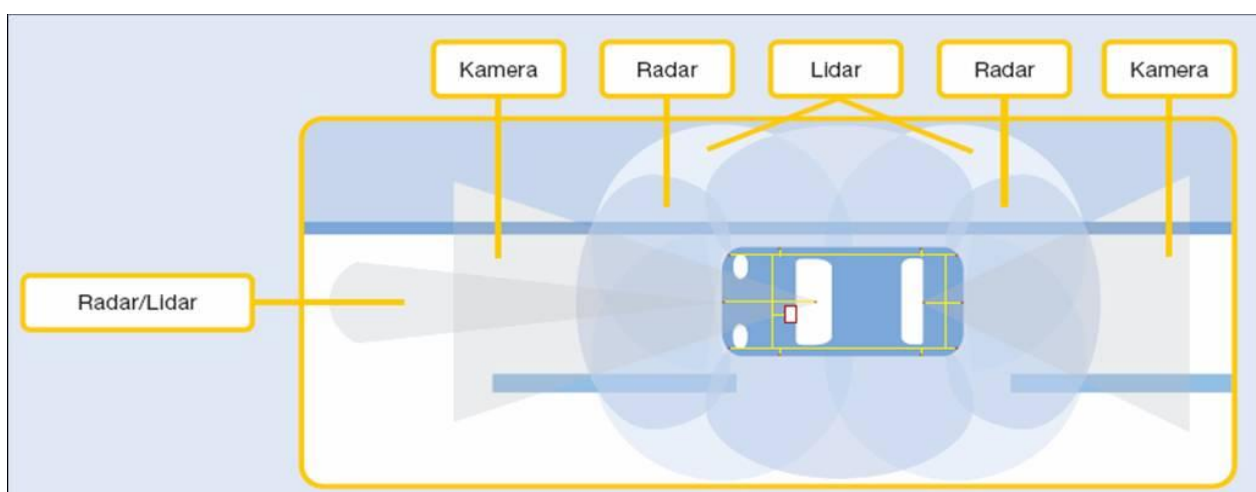


Abbildung 5.7 Schwerpunktbereiche des Projekts INVENT [INVENT 2005]



**Abbildung 5.8 Teilprojekte von INVENT [INVENT 2005]**

Die Datenfusion wurde im Teilprojekt Fahrumgebungserfassung und Interpretation bearbeitet [INVENT 2005]. Als Sensoren wurden Radar-Sensoren und Lidar-Sensoren, dazu gehören auch Laser-Scanner, für den Nah- und Fernbereich, sowie Kamerasysteme, für den sichtbaren Bereich und auch für Wärmestrahlung, verwendet. Abbildung 5.9 zeigt die Erfassungsbereiche der Sensoren.



**Abbildung 5.9 Schematische Darstellung der Erfassungsbereiche von Sensoren [INVENT 2005]**

Zunächst wurde der Nutzen der verschiedenen Sensoren zur Umgebungserfassung untersucht. Es zeigte sich, dass es notwendig ist unterschiedliche Sensoren gleichzeitig zu verwenden, denn nur durch die Verknüpfung dieser Daten können alle wichtigen Details der Fahrumgebung erfasst und ausgewertet werden.

Um allerdings eine Fusion unterschiedlicher Sensordaten, also einen multisensoriellen Ansatz, zu ermöglichen, müssen die Sensordaten aufbereitet werden. INVENT unterteilt die

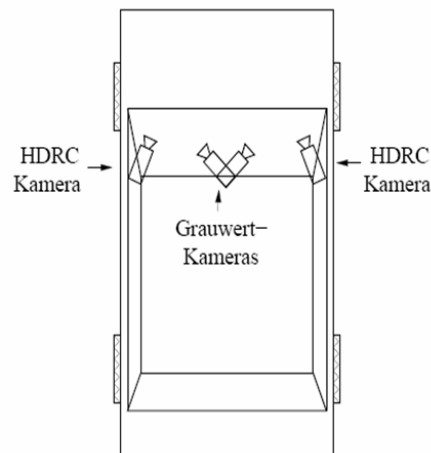
Sensordatenaufbereitung in drei Bereiche: Ortskalibrierung, Zeitsynchronisation und Sensormodellierung. Bei der Ortskalibrierung werden die geometrischen Relationen bestimmt, d.h. die Lage der Sensoren wird angegeben. Als Bezugspunkt für das Koordinatensystem wird das Ego-Fahrzeug verwendet. Bei der Zeitsynchronisation wird eine gemeinsame Zeitbasis definiert. Nur so kann sichergestellt werden, dass die unterschiedlichen Sensoren bei hohen Geschwindigkeiten, wie sie im Verkehrsumfeld herrschen, dieselben Objekte wahrnehmen. Bei der Sensormodellierung werden alle bekannten und benötigten Sensoreigenschaften in Sensormodellen hinterlegt. Dazu gehört wie die einzelnen Bestandteile der Fahrumgebung durch den entsprechenden Sensor abgebildet wird und wie genau diese Messungen sind. Die Sensormodelle werden bei der Datenfusion verwendet.

Es gibt zwei Möglichkeiten die unterschiedlichen Sensoren zu fusionieren. Zum einen können die Sensoren gleichberechtigt sein und zum anderen kann man mit einem Master-Sensor arbeiten, der notwendige und hilfreiche Zusatzinformationen von anderen Sensoren mit verwendet. Meistens handelt es sich beim Master-Sensor um die Bildverarbeitung, der z.B. eine Vorauswahl von interessierenden Regionen im Bild durch Lidar- oder Radar-Sensoren bekommt oder es wird der Bildverarbeitung die Entfernung und die Geschwindigkeit von Objekten mitgeteilt.

In einigen der recherchierten Veröffentlichungen, z.B. [Streller et al. 2002], wird die Datenfusion im Bereich Ausblick angesprochen. Meistens sollen in weiteren Untersuchungen Bildverarbeitungssysteme mit Radar- oder Lidar-Sensoren fusioniert werden, um eine robustere Objektdetektion (Abschnitt 5.2) und Objektklassifikation (Abschnitt 5.3) zu gewährleisten. Oder wie schon oben erwähnt soll eine einfache und schnelle Erkennung der Entfernung und der Geschwindigkeit ermöglicht werden.

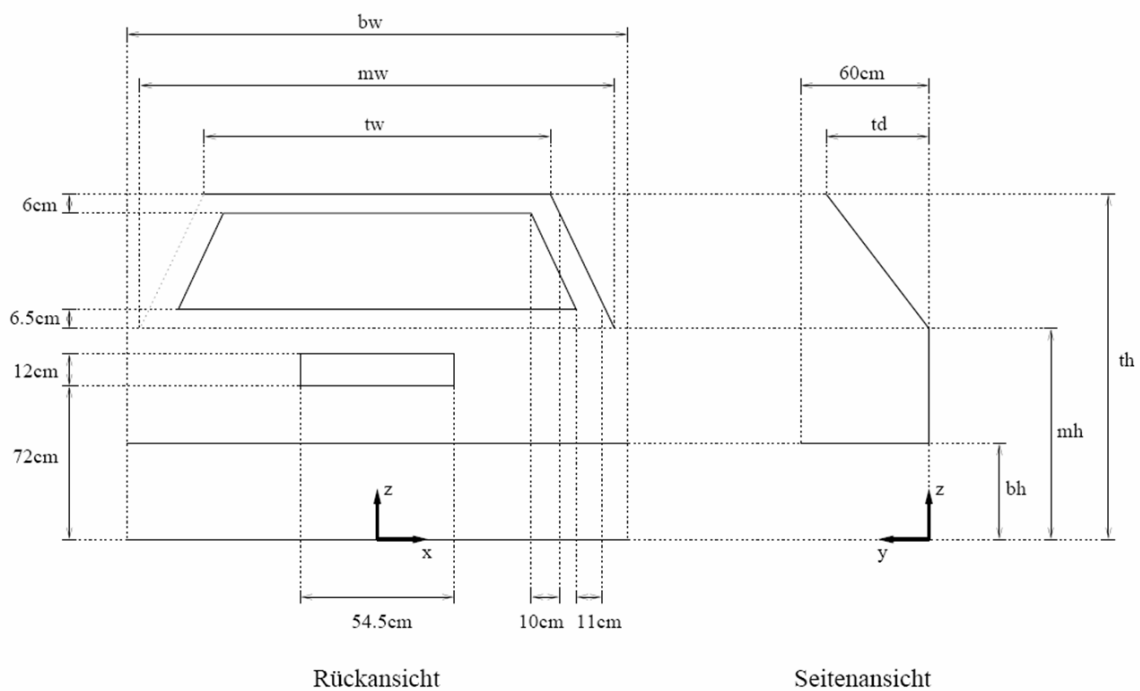
### **5.2 Objektdetektion und -verfolgung**

Im Bereich der Objektdetektion gibt es in den recherchierten Veröffentlichungen unterschiedliche Ansätze, je nach verwendeter Sensorik. Die Universität Karlsruhe z.B. hat für das DARVIN-Projekt eine Kameraplattform entwickelt [Rath 2001], die es ermöglicht stationäre Objekte durch Auswertung von Bildfolgen zu detektieren und zu verfolgen. Die Kameraplattform besteht wie in Abbildung 5.10 zu sehen ist, aus vier einzelnen Videokameras. An der Frontscheibe auf Höhe des Rückspiegels werden zwei analoge Grauwertkameras in divergenter Anordnung angebracht. Sie erfassen die Fahrbahn­ränder und den seitlichen Szenenbereich. Außerdem werden am oberen Ende der Windschutzscheibe jeweils eine digitale hochdynamische Farbkamera (HDRC) rechts und links eingebaut. Hiermit können auch Bildauswertungen unter extremen Lichtbedingungen durchgeführt werden. Sie dienen der Erfassung des Straßenbereichs vor dem Fahrzeug.



**Abbildung 5.10 Skizze der Kameraanordnung im Versuchsfahrzeug [Rath 2001]**

Die Detektion sollte sich anfangs in dieser Arbeit auf drei Objektkategorien begrenzen. Als erstes die Fahrbahnbegrenzung, damit ist der eine Straße begrenzende Bordstein gemeint. Als zweites sollten die Verkehrszeichen betrachtet werden und zum Schluss stationäre Personenkraftwagen. In der Kategorie Personenkraftwagen werden nur Pkws betrachtet, die auf der gleichen Fahrbahn wie das Ego-Fahrzeug geparkt und in Fahrtrichtung orientiert sind. Wenn mehrere Fahrzeuge hintereinander geparkt sind, wird nur das hinterste Fahrzeug behandelt. Nach Erstellen der Schablone eines Fahrzeughecks, siehe Abbildung 5.11, wurde festgestellt, dass der Aufwand sehr hoch ist und die Arbeit wurde auf das Detektieren von Fahrzeugen beschränkt.



**Abbildung 5.11 Schablone eines Fahrzeughecks, die für die Detektion von Kombi-Pkws verwendet wird [Rath 2001]**

Das hier verwendete Verfahren der Kantenschablonen vergleicht die aufgenommenen Bilder mit den erstellten Schablonen. Probleme bei der Detektion von Pkws gibt es, wenn das Heck des Kombi-Pkws nicht vollständig sichtbar ist oder wenn sich das Ego-Fahrzeug sehr nah am zu detektierenden Objekt befindet. Abbildung 5.12 zeigt das Detektieren und Verfolgen eines weißen VW Golf Variant, dabei ist die Schablonenlage violett und die Lage bei erfolgreicher Detektion blau gekennzeichnet.



**Abbildung 5.12 Momentaufnahmen während der Detektion eines weißen VW Golf Variant [Rath 2001]**

Abbildung 5.12 a) zeigt die Momentaufnahme während des Detektionsstarts, dabei wurde das Fahrzeug nicht erkannt, da es noch zu weit entfernt ist. In Abbildung 5.12 b) ist die erste Detektion des Fahrzeugs dargestellt, hier wurde die Lage zu weit links geschätzt. In Abbildung 5.12 c) ist die erste gute Detektion zu sehen, dabei wurde die Lage relativ gut geschätzt. Die Momentaufnahme in Abbildung 5.12 d) zeigt die ersten Schwächen während der Verfolgung, die

Schablone wird zu weit rechts angesetzt. In Abbildung 5.12 e) wird der Längswinkel falsch geschätzt und in Abbildung 5.12 f) ist eine extreme Perspektive dargestellt, das Fahrzeug ist nicht mehr komplett sichtbar, hier ragt die Schablone schon deutlich aus dem Bild.

Die Universität Stuttgart hat im Institut für Physikalische Elektronik zur Objektdetektion Farbbildfolgen ausgewertet. Im Projekt „Elektronisches Auge“ [Heisele 1998] wurden allerdings andere Verfahren als im DARVIN-Projekt untersucht. Zur Aufnahme der Farbbildfolgen wurde eine CCD-Farbkamera verwendet. In diesem Projekt soll ein Ansatz gefunden werden, mit dem sich Verkehrsteilnehmer (Objekte) unabhängig von ihren Form- und Farbgebungen detektieren lassen. Im Gegensatz zum DARVIN-Projekt werden hier vor allem die Verkehrsteilnehmer beobachtet, die eine signifikante Relativbewegung zur Kamera aufweisen, da von ihnen ein erhöhtes Gefahrenpotential im Hinblick auf mögliche Kollisionen ausgeht. Es wird hier auch keine Einschränkung bezüglich des Verkehrsszenarios oder der Art der Verkehrsteilnehmer gemacht. Das Projekt untersucht zum einen das Verfahren des Farbregionenflusses und zum anderen das Verfahren des Farbclusterflusses. Hier werden die Bildbewegungen nicht punktweise in Grauwertbildern bestimmt, sondern es wird das zeitliche Verhalten von Farbregionen in einer Farbbildfolge beobachtet. Der Vorteil beim Verwenden von Farb- statt Grauwertinformationen ist, dass sich benachbarte Bildobjekte besser trennen lassen.

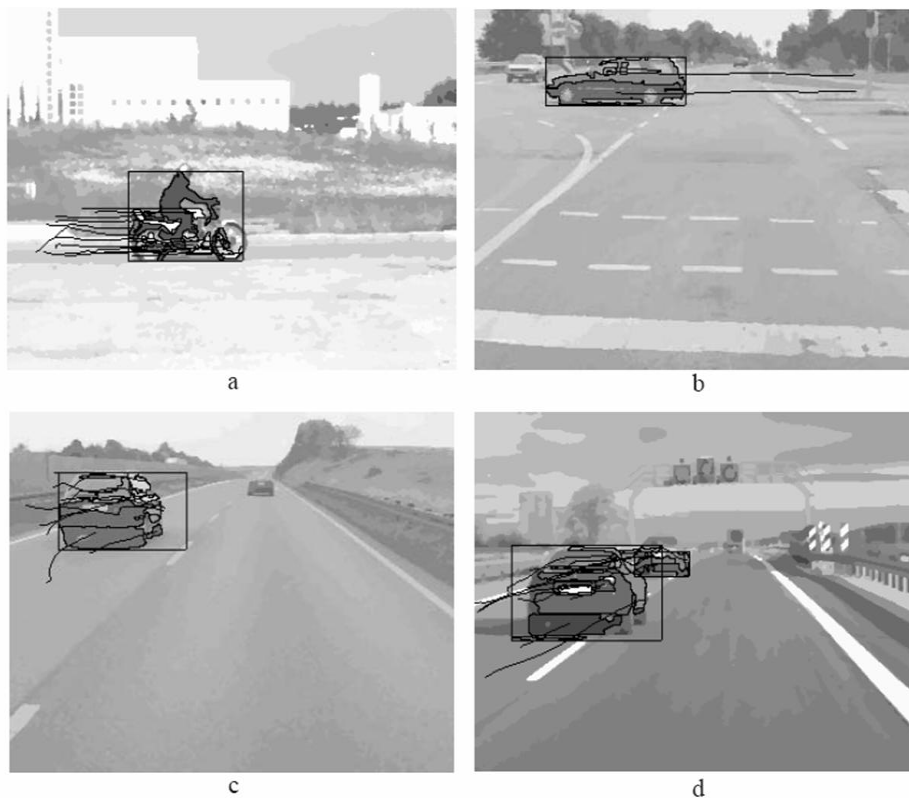
Beide Verfahren gliedern sich in drei wesentliche Bestandteile: Farbsegmentierung, Bewegungsbestimmung und Bewegungssegmentierung. Bei der Farbsegmentierung werden in jedem Einzellbild Bildpunkte ähnlicher Farbe zu Farbgebieten zusammengefasst. Es wird dabei angenommen, dass die Bildpunkte einer homogenen Bildregion zum selben Objekt gehören und somit auch zu einem Farbgebiet. Während der Bewegungsbestimmung werden die Trajektorien (Bewegungsverhalten) der Farbgebiete bestimmt. Die Bildbewegung wird für den gesamten Bildbereich bestimmt, so bleiben die Unterbrechungen in der Bildbewegung zur Abgrenzung der Bildobjekte erkennbar. Bei der Bewegungssegmentierung werden benachbarte Regionen mit ähnlichen Trajektorien zu Bewegungssegmenten bzw. Objekthypothesen zusammengefasst.

Der Unterschied der beiden Verfahren ist im Bereich der Farbsegmentierung. Beim Farbregionenfluss werden Regionen gebildet, deren Bildpunkte im segmentierten Bild eine einheitliche Farbe und eine zusammenhängende Fläche haben. Um die Trajektorien der Farbregionen zu bestimmen, wird eine Regionenzuordnung in zwei aufeinander folgenden Bildern durchgeführt. Dazu werden die Regionen der einzelnen Bilder mit Hilfe ihrer Eigenschaften (z.B. Kontur und Schwerpunkt) verglichen. Beim Farbclusterfluss wird während der Farbsegmentierung eine Häufigkeitsanalyse (Clusteranalyse) durchgeführt, hier werden die Bildpunkte bezüglich ihrer Position und ihrer Farbe in Cluster aufgeteilt. Jeder Cluster wird durch

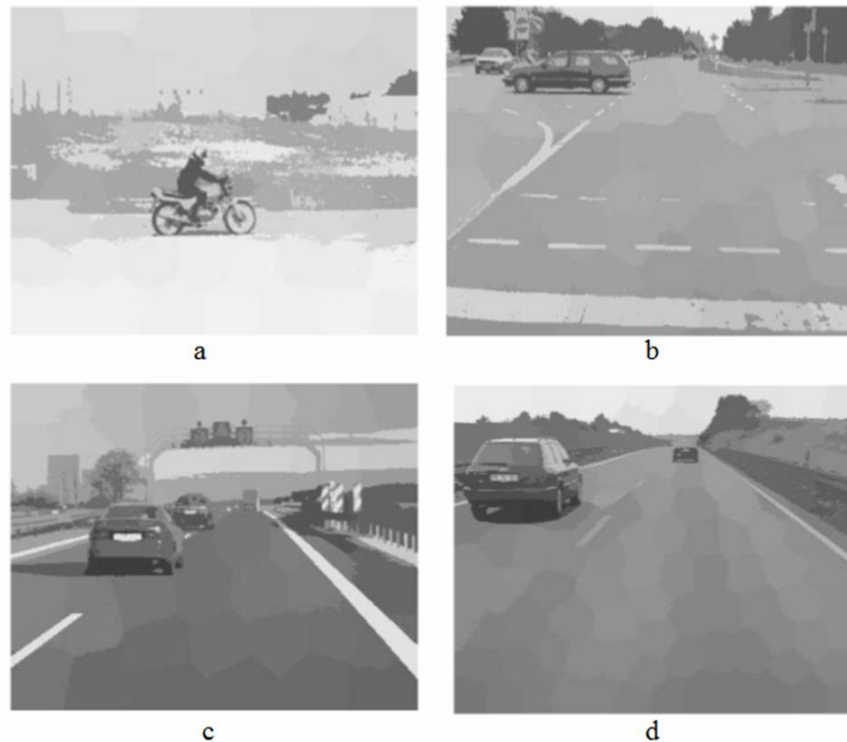


seinen Schwerpunkt eindeutig im Farbpositionsraum bestimmt. Die Originalfarben der Bildpunkte werden durch die Farben der zugehörigen Clusterschwerpunkte ausgetauscht. In diesem Verfahren wird eine dynamische Segmentierung durchgeführt, d.h. die Ergebnisse der Clusteranalyse des vorhergehenden Bildes werden für die Clusteranalyse des aktuellen Bildes verwendet. So ist es auch möglich die entsprechenden Cluster in Folgebildern einander zuzuordnen und eine Bewegungsbestimmung der Clusterschwerpunkte durchzuführen.

Abbildung 5.13 und Abbildung 5.14 zeigen dieselben Aufnahmen, einmal Objektdetektion mit Farbregionenfluss und einmal Objektdetektion mit Farbclusterfluss. Die Motorradszene in Abbildung a) wurde mit stehender Kamera aufgenommen. Abbildung b) entstand bei der Anfahrt auf eine Kreuzung. Die Bilder der unteren Reihe sind zwei verschiedenen Autobahnszenen entnommen. In Abbildung c) war der Himmel bewölkt und in Abbildung d) herrschte strahlender Sonnenschein.



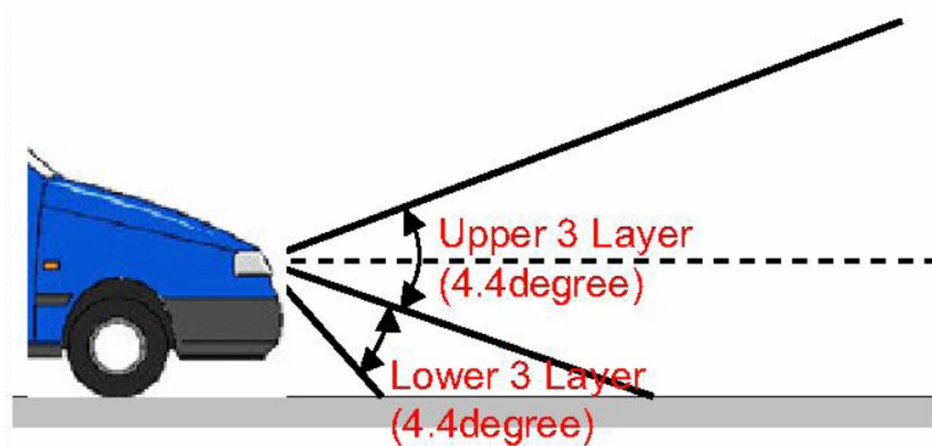
**Abbildung 5.13 Beispiele der Objektdetektion durch den Farbregionenfluss [Heisele 1998]**



**Abbildung 5.14 Beispiele der Objektdetektion durch den Farbclusterfluss [Heisele 1998]**

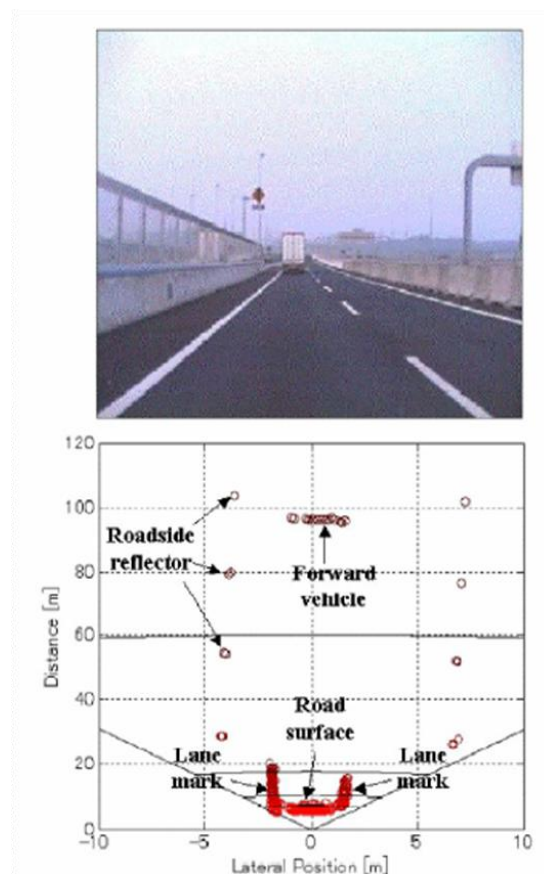
Bei beiden Verfahren werden keine Kenntnisse über das Aussehen der zu detektierenden Objekte (im Gegensatz zum Verfahren der Kantenschablonen) benötigt. Es lassen sich nur Objekte mit signifikanter Relativbewegung zur Kamera detektieren, diese aber zuverlässig. Nachteile dieser Verfahren sind, dass Objekte, die in der Bildebene aneinandergrenzen und dieselbe Bildbewegung besitzen, können nicht voneinander getrennt werden und dass zwischen dem Schatten und dem Objekt selbst nicht unterschieden werden kann. Beim Farbregionenfluss gibt es bei der Farbsegmentierung Probleme, wenn verschiedene Objekte ähnlicher Farbe in einer Farbregion zusammengefasst werden. Besonders bei grau gefärbten Fahrzeugen wurden Teile der Straße mit dem Fahrzeug zu einer Farbregion verschmolzen. Beim Farbclusterfluss dagegen treten häufig bei großen Bildbereichen mit einer homogenen Bildverteilung (z.B. Straße) Falschdetektionen auf. Der Farbregionenfluss liefert exaktere Bewegungsinformationen, allerdings erweist sich der Farbclusterfluss als robusteres Verfahren beim Detektieren von formveränderlichen (z.B. Fußgänger) oder teilweise verdeckten Objekten.

Die Firma DENSO arbeitet dagegen bei der Objektdetektion mit einem Lidar-Sensor [Ogawa et al. 2006a] und [Ogawa et al. 2006b], dies zeigt Abbildung 5.15.



**Abbildung 5.15 Objektdetektion mit Lidar [Ogawa et al. 2006a]**

Mit den „Upper 3 Layer“ werden die Objekte vor dem Ego-Fahrzeug und die Objekte am Straßenrand erkannt. Die „Lower 3 Layer“ werden zum Detektieren der Fahrbahn verwendet. Mit Hilfe des Reflexionsgrades der unterschiedlichen Objekte werden sie detektiert und dann auch klassifiziert (Abschnitt 5.3). In Abbildung 5.16 ist die Aufnahme der Objekte mit dem Lidar-Sensor zu sehen.



**Abbildung 5.16 Aufnahme mit Lidar-Sensor [Ogawa et al. 2006a]**

Die Firma IBEO [Fürstenberg et al. 2004] verwendet zur Objektdetektion wie DENSO ebenfalls einen mehrzeiligen Laser-Scanner. Auch hier zeigt die Reflexion an, ob ein Objekt vorhanden ist.

Die Reflexionspunkte werden zu Segmenten zusammengefasst, die dann zur Objektklassifikation (Abschnitt 5.3) verwendet werden.

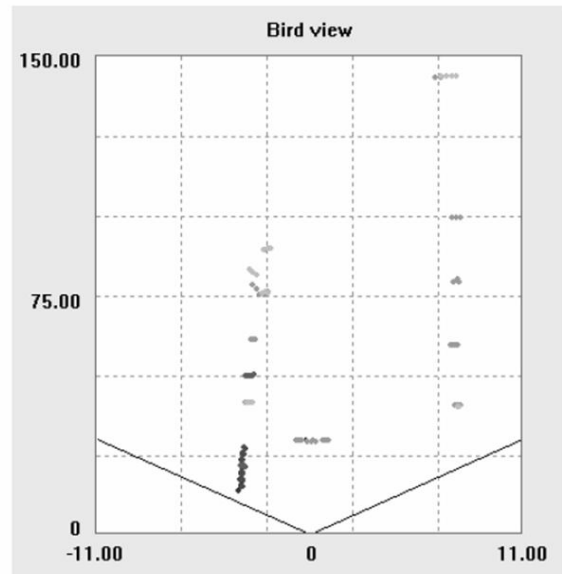
Wie bereits in Abschnitt 5.1.3 beschrieben wurde, verwendet das Projekt INVENT [INVENT 2005] viele unterschiedliche Sensoren. Somit haben sie auch viele Möglichkeiten bei der Objektdetektion. Sie verwenden wie die Firma IBEO für Radar- und Lidar-Systeme die Reflexionspunkte, um sie später zu Segmenten zusammenzufassen. Für die Videosensorik haben sie eine Vielzahl von Detektionsmethoden, die Merkmale wie Form, Farbe (vgl. „Elektronisches Auge“ [Heisele 1998]), Kanten (vgl. DARVIN-Projekt [Rath 2001]) oder den „optischen Fluss“ (eine Definition von „optischen Fluss“ war in der Arbeit nicht angegeben) benutzen.

In allen recherchierten Veröffentlichungen wird das Prinzip des Trackings (vgl. Kalman-Filter Abschnitt 4.3) zur Objektverfolgung verwendet.

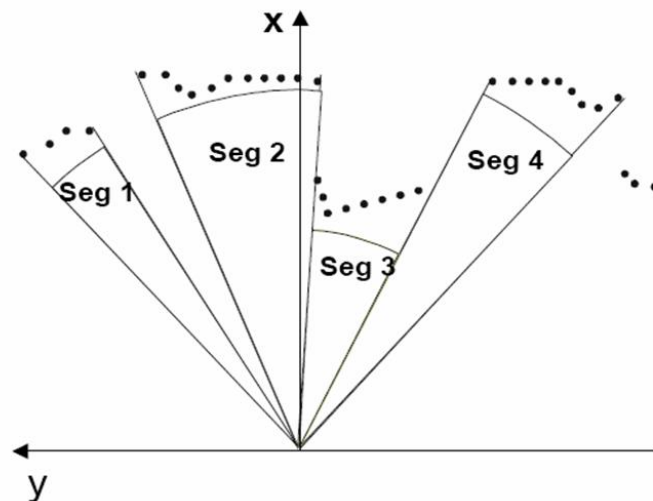
### **5.3 Objektklassifikation**

Bei der Objektklassifikation werden die detektierten Objekte Objektklassen zugeordnet. Es wird entschieden, ob es sich um Fahrzeuge, Fahrbahn, Fahrbahnbegrenzungen, Verkehrszeichen, Fußgänger oder Randbebauungen handelt. In den recherchierten Veröffentlichungen wurde zur Objektdetektion (vgl. Abschnitt 5.2) meistens Laser-Sensoren (Lidar, Ladar und Laser-Scanner) oder Kamerasysteme verwendet.

Die Objektklassifikation bei Laser-Sensoren basiert auf den Tiefeninformationen der Aufnahmen. Dies wird im VDI-Bericht „Miniaturisierte Laser-Scanner zur Umfelderkennung im Fahrzeugbereich“ [Kapp et al. 2004] beschrieben. Im Gegensatz zu Videobildern hat eine Aufnahme mit einem Laser-Sensor nur wenige Messpunkte und Tiefeninformationen liegen direkt nach einer Aufnahme vor. Das Videobild hat eine hohe laterale Auflösung und somit auch eine hohe Datenmenge, außerdem können Tiefeninformationen (z.B. Entfernung von Objekten) bei Verwendung einer Kamera nur aus Bildfolgen gewonnen werden. Abbildung 5.17 zeigt ein Verkehrsszenario, das mit einem Laser-Scanner und einem Referenzvideobild aufgenommen wurde.

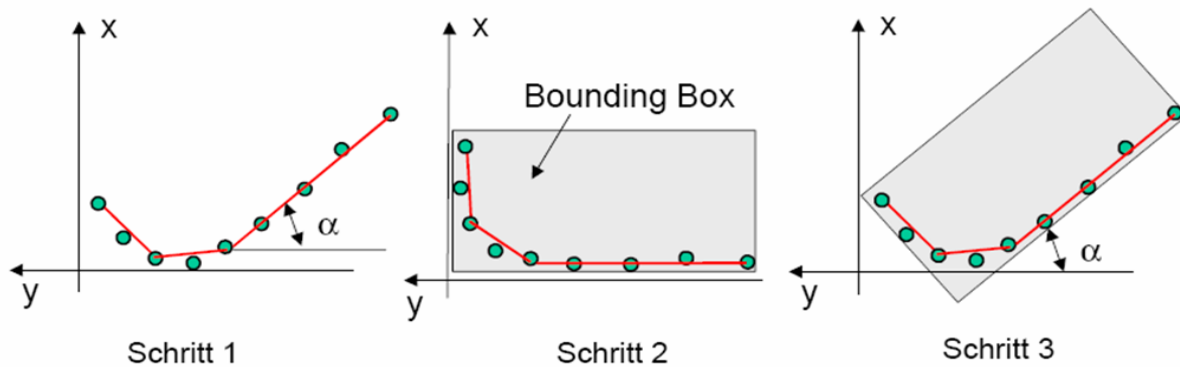


**Abbildung 5.17 Videobild und Tiefendaten (in m) eines Laser-Scanners [Kapp et al. 2004]**  
 Die aus den Tiefenbildern gewonnenen Reflexionspunkte der detektierten Objekte werden dann zu Segmenten zusammengefasst. Abbildung 5.18 zeigt das Prinzip der Segmentierung.



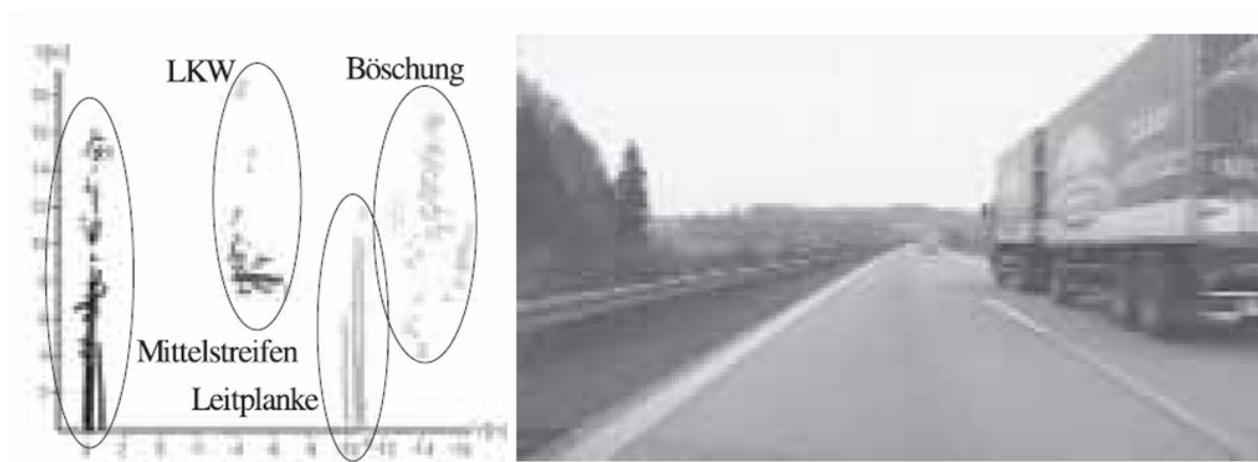
**Abbildung 5.18 Prinzip der Segmentierung [Streller et al. 2002]**

Nach der Segmentierung gibt es mehrere Möglichkeiten die Segmente (Objekte) zu klassifizieren. In dem Bericht „Lidar-Sensoren zur Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen“ [Streller et al. 2002] für das Messtechnische Symposium wird eine am Objekt ausgerichtete Bounding-Box berechnet, die das Objekt (Segment) gerade umschließt. In Abbildung 5.19 ist dieses erfahren dargestellt.



**Abbildung 5.19 Berechnung einer objektorientierten Bounding-Box [Streller et al. 2002]**

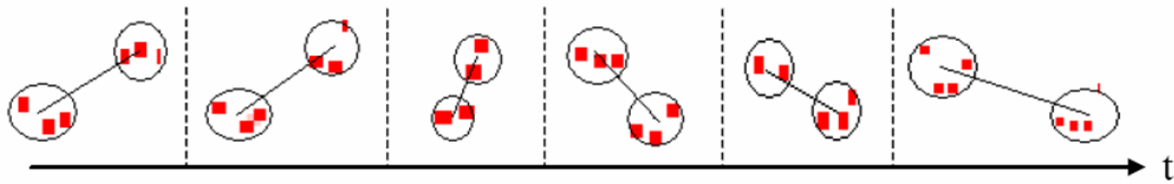
In Schritt 1 wird das Segment um den Orientierungswinkel  $\alpha$  gedreht, so dass der längere Vektor achsenparallel ist. In Schritt 2 wird die Bounding-Box um die maximalen und minimalen Koordinaten der zum Segment gehörenden Messpunkte gelegt. Im 3. Schritt wird das Segment mit der zugehörigen Bounding-Box um  $\alpha$  zurück transformiert. Zur Erstklassifikation werden die Abmessungen der Bounding-Box und die Anpassungsgüte der Bounding-Box verwendet. Bei der Anpassungsgüte wird die normierte Summe der quadratischen Abweichungen der Messpunkte von der Bounding-Box bewertet. Ist der Wert hoch, kann es sich nicht um glatte Objekte wie Pkw oder Lkw handeln, sondern um Randelemente wie Büsche oder Hecken. Die Abmessungen der Bounding-Box werden dann mit den in der Datenbank hinterlegten Abmessungen typischer Verkehrsteilnehmer wie Pkw, Lkw, Personen oder Radfahrer verglichen. Gibt es eine Übereinstimmung wird das Objekt der jeweiligen Objektklasse zugeordnet. In Abbildung 5.20 wird ein Beispiel einer Segmentierung dargestellt.



**Abbildung 5.20 Segmentierte Messung eines Laser-Scanners (links) aus einer Autobahnszene (rechts) [Fürstenberg et al. 2004]**

Um Fußgänger eindeutig von anderen Objekten wie z.B. Poller und Pfosten zu unterscheiden, werden bei IBEO [Fürstenberg 2005] kleine Segmente besonders stark beobachtet. Diese

Segmente können als Fußgänger klassifiziert werden, wenn sie sich bewegen oder sich im Zeitraum der Beobachtung bewegt haben, dies ist in Abbildung 5.21 dargestellt.



**Abbildung 5.21 Messungen (rot) auf Fußgängerbeine zu sechs verschiedenen Zeitpunkten ( $\Delta t=100\text{ms}$ ) [Fürstenberg 2005]**

Eine andere Möglichkeit die Segmente (Objekte) zu klassifizieren ist das Verwenden von Kantenoperatoren. Dieses Verfahren ist ähnlich wie das Prinzip der Kantenschablonen aus dem DARVIN-Projekt [Rath 2001] (Abschnitt 5.2), nur dass hier Tiefen- statt Intensitätswerte verwendet werden. Zuerst erfolgt eine Vorsegmentierung, um die Objekte im Tiefenbild deutlich zu trennen. Danach wird eine einfache Parametrisierung durchgeführt, dabei werden die Segmente mit Geradenabschnitten, „L“-Formen (zwei Geraden unter einem Winkel von  $90^\circ$ ) und Kreisen bzw. Ellipsen verglichen. Dabei beschreibt ein Geradenabschnitt bzw. eine „L“-Form die Heck-, Front- oder Seitenpartie eines reflektierenden Objekts, z.B. eines Fahrzeugs. Kreise bzw. Ellipsen dagegen stellen kleine, nicht quaderförmige Objekte wie z.B. Straßenbegrenzungspfosten dar. Nachdem die Objekte in diese zwei Gruppen unterteilt wurden, können ihre Parameter, wie z.B. Länge und Breite, bestimmt werden, dieses wird in dem VDI-Bericht nicht näher beschrieben. Auch hier wird eine Bounding-Box bzw. ein Bounding-Circle um das Segment gelegt, allerdings um zu erkennen wie dicht man an ein Objekt kommen darf ohne es zu berühren. Da man schon eine Bounding-Box bzw. ein Bounding-Circle berechnet hat, könnte man leicht die Abmessungen wie bei [Streller et al. 2002] mit einer Datenbank vergleichen. So könnten dann genauere Aussagen z.B. über die Fahrzeuge gemacht werden und Pkws könnten von Lkws unterschieden werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Objektklassifikation mit Laser-Sensoren beschreibt DENSO in ihren IEEE-Berichten für die Tagung Intelligent Vehicles Symposium 2006 [Ogawa et al. 2006a] und [Ogawa et al. 2006b]. Sie arbeiten mit dem Reflexionsgrad der Objekte. Nach der Segmentierung werden die Segmente mit dem in einer Datenbank hinterlegten Objektmodell verglichen. In Tabelle 5.3 ist ein Beispiel eines Objektmodells zu sehen, hier wird zwischen einem Fahrzeug, einem Verkehrszeichen und der Fahrbahn unterschieden.

**Tabelle 5.3 Beispiel Objektmodel [Ogawa et al. 2006b]**

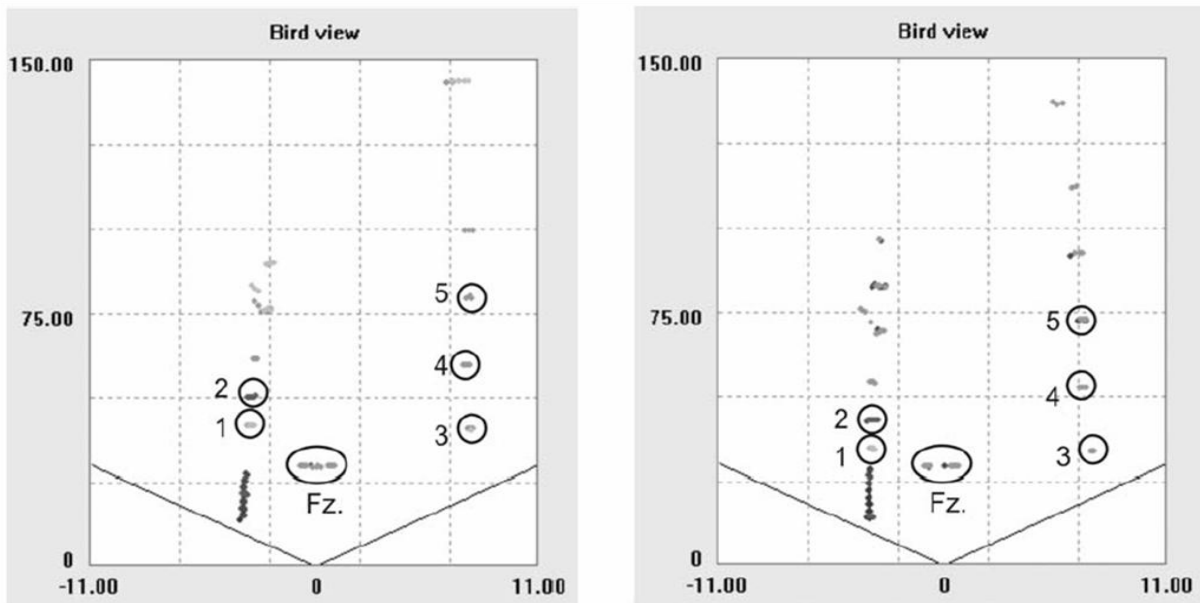
	<b>Size/Shape</b>	<b>Reflectivity</b>	<b>Position</b>	<b>Movement</b>	<b>Others</b>
<b>Vehicle</b>	Rectangle Car: 1.7m Truck: 2.5m	Reflector: high Body: Low	On the lane	Longitudinal: Large Lateral: Small	Reflector pair Large reflector board
<b>Sign board</b>	Rectangle, Circle Size: Large	High	Roadside Overhead	Stationary	-
<b>Roadside reflector</b>	Circle Size: Small	High	Roadside	Stationary	Road board

Aus Tabelle 5.3 ist zu erkennen, dass der Reflexionsgrad (Reflectivity) nicht ausreicht, um ein Segment (Objekt) eindeutig zu klassifizieren. Auch die Größe und Form (Size/Shape), die Position, die Bewegung sowie die Geschwindigkeit (Movement) der Segmente können als Klassifikationsmerkmale verwendet werden. Um den Bereich Größe und Form zu erhalten, könnte man hier auch mit Bounding-Boxen oder Kantenoperatoren arbeiten.

Probleme bei der Objektklassifikation mit Laser-Sensoren werden nur bei der Verwendung von Kantenoperatoren [Rath 2001] angesprochen. Fehler können entstehen, da hier nicht immer mit letzter Sicherheit gesagt werden kann, ob es sich um eine Gerade, „L“-Form oder einen Kreis bzw. einer Ellipse handelt. Außerdem werden reflexionsschwache Objekte vom verwendeten Laser-Scanner nicht wahrgenommen.

Bei [Kapp et al. 2004] ist es möglich jedes Tiefenbild für sich zu betrachten, vergleicht man allerdings zwei aufeinander folgende Tiefenbilder wie in Abbildung 5.22 entstehen folgende Ergebnisse. Die einzelnen Objekte lassen sich eindeutig in den beiden Tiefenbildern zuordnen und somit können die Relativgeschwindigkeiten und Drehraten der einzelnen Objekte zum Ego-Fahrzeug berechnet werden. Wenn in den Bildern ein ruhendes Objekt, wie z.B. ein Straßenpfosten, erkannt wurde, ist es außerdem möglich die Geschwindigkeit und die Drehrate des Ego-Fahrzeuges zu ermitteln. In Abbildung 5.22 kann das vorausfahrende Fahrzeug (Fz; vom Typ Geradenabschnitt) erkannt werden. Zusätzlich kann durch die Änderung der relativen Positionen der Begrenzungspfosten (1-5; vom Typ Kreise bzw. Ellipsen) ein Übergang von einer Rechts- in eine Linkskurve ausgemacht werden.





**Abbildung 5.22** Zwei Tiefenbilder einer Autofahrt ( $\Delta t=0,4s$ ) [Kapp et al. 2004]

In den IEEE-Berichten für die Tagung Intelligent Vehicles Symposium 2006 [Ogawa et al. 2006a] und [Ogawa et al. 2006b] zeigt DENSO wie sie durch Verwendung eines einzelnen Lidar-Sensors mehrere Fahrerassistenzsysteme (Abschnitt 3.3) realisieren wollen. Zur Objekterkennung gehört hier das Erkennen von relevanten Fahrzeugen für ACC-Systeme (Abschnitt 3.3.1) das Erkennen der Fahrbahn für Lane-Keeping-Systeme (Abschnitt 3.3.4) und das Erkennen von Objekten, die sich vor dem Ego-Fahrzeug befinden für Pre-Crash-Safety, dabei handelt es sich um Unfallvermeidungssysteme.

Im Bericht „Lane Recognition using On-vehicle Lidar“ [Ogawa et al. 2006a] wird das Ermitteln des Fahrbahnverlaufs beschrieben. In Abbildung 5.16 (Abschnitt 5.2) ist ein Scan mit dem verwendeten Lidar-Sensor zu sehen, daraus werden die Fahrbahnparameter berechnet. Diese Parameter sind in Abbildung 5.23 dargestellt, dazu gehören die Fahrbahnkrümmung (Curvate), der Gierwinkel (Yaw Angel), der Offset und die Fahrbahnbreite (Width). Der Gierwinkel ist der Winkel zwischen Fahrspurkrümmung und Längsachse des Ego-Fahrzeugs.

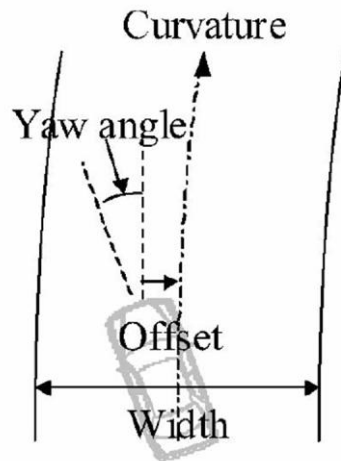


Abbildung 5.23 Fahrbahnparameter [Ogawa et al. 2006a]

Aus den Parametern wird nun die Fahrbahnmitte berechnet und dann der Straßenverlauf. Das Ergebnis der Objektklassifikation (Umgebungserfassung) ist in Abbildung 5.24 zu sehen, hier zeigt das linke Bild die Umgebungserfassung mit Lidar-Sensor, das Bild oben rechts die Frontsicht mit Objekterfassung und das Bild unten rechts die Umgebungserfassung mit Lidar-Sensor von vor zwei Sekunden.

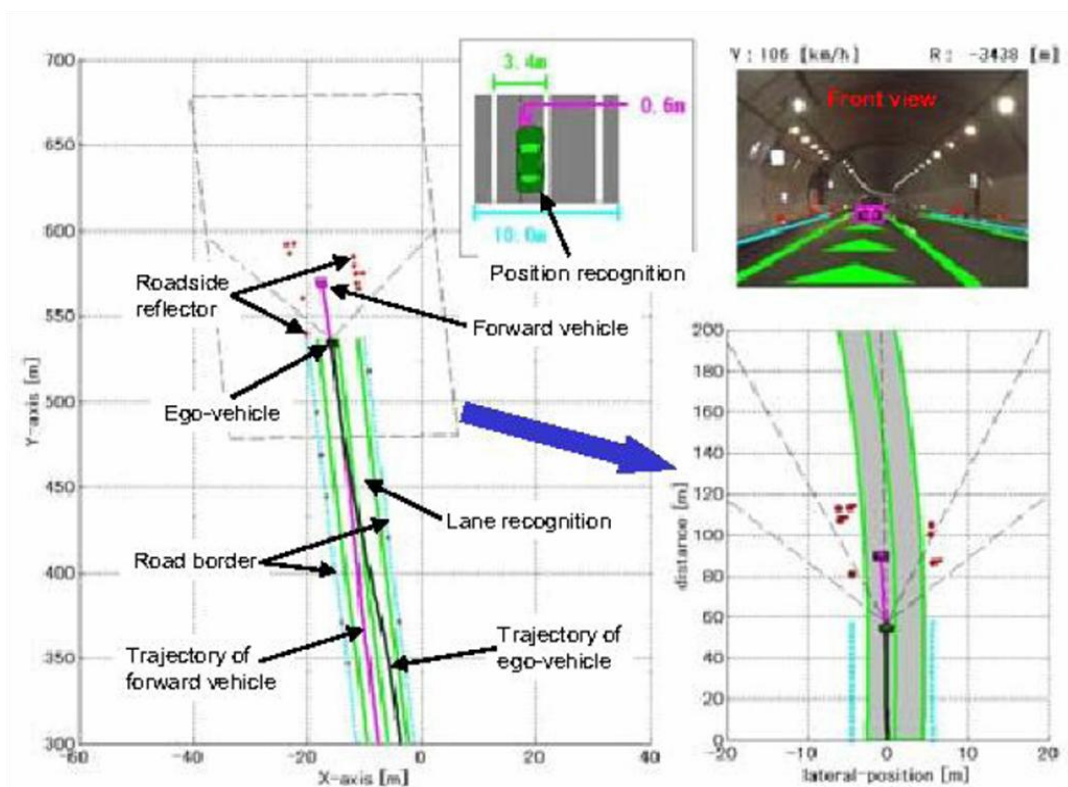


Abbildung 5.24 Ergebnis Umgebungserfassung [Ogawa et al. 2006a]

Die Objektklassifikation mit Kamerasystemen wurde in den recherchierten Veröffentlichungen wenig behandelt. Im DARVIN-Projekt [Rath 2001] können lediglich Kombi-Pkws klassifiziert werden, dies wurde in Abschnitt 5.2 bereits beschrieben.

Auch in der Arbeit über „Blickrichtungssteuerung für kognitive Automobile“ [Papadopoulos 2006] wurde hauptsächlich die Ansteuerung der Kameraplattform (Abschnitt 5.1.2) betrachtet. In Testläufen wurden dann Bilder des Umfelds aufgenommen, dabei wurden nur Aussagen über die Qualität der Aufnahmen gemacht und nicht über das Umfeld selbst. Wie in den Abbildung 5.25 bis Abbildung 5.27 zu erkennen ist, können mit der Kameraplattform während den Anfangs-, Zwischen- und Endpositionen verwertbare Bilder aufgenommen werden. Hier könnte z.B. mit Hilfe von Kantenschablonen oder Farbregionen (Abschnitt 5.2) weiter gearbeitet werden, um Objekte zu detektieren und zu klassifizieren.



**Abbildung 5.25 Startposition (links) und Bild während der Kamerabewegung (rechts)**  
[Papadopoulos 2006]



**Abbildung 5.26 Zwischenposition (links) und Bild während der Kamerabewegung (rechts)**  
[Papadopoulos 2006]

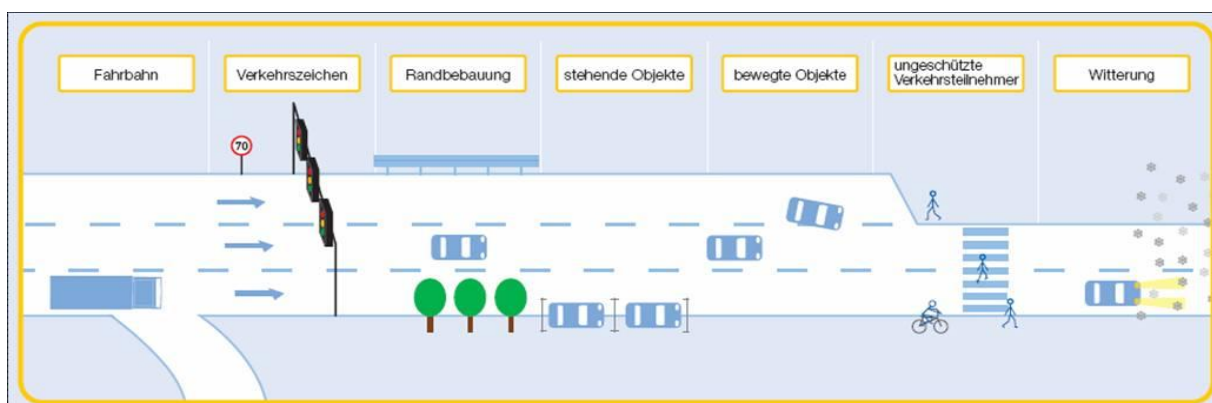


**Abbildung 5.27 Endposition (links) und Bild während der Kamerabewegung (rechts)  
[Papadopoulos 2006]**

Beim Projekt INVENT [INVENT 2005] erfolgt die Objektklassifikation im Umfeldmodell (Abschnitt 5.4). Durch die Verwendung von Multisensorik werden die Attribute wie Größe, Entfernung und Geschwindigkeit mehrfach von unterschiedlichen Sensoren gemessen und können sich ergänzen. So wird die Umgebungserfassung robuster und zuverlässiger, allerdings können auch Konfliktfälle auftreten, die berücksichtigt werden müssen. Dies sollte am besten im Bereich der Datenfusion geschehen (Abschnitt 5.1.3).

## 5.4 Umfeldmodell

Im Projekt INVENT wurde ein Umfeldmodell erstellt, hier werden alle Ergebnisse der multisensoriellen Fahrumgebungserfassung zusammengetragen und es ist die Schnittstelle zu allen Applikationen. Das Umfeldmodell beinhaltet außerdem alle möglichen Objekte der Fahrumgebung aus dem definierten Objektkatalog. Der Objektkatalog ist in Abbildung 5.28 dargestellt, dazu gehören die Fahrbahn, die Verkehrszeichen, die Randbebauung, stehende Objekte, bewegte Objekte, ungeschützte Verkehrsteilnehmer und die Witterung.



**Abbildung 5.28 Bestandteile des Objektkatalogs zur Szenarienbeschreibung [INVENT 2005]**

Jedes Objekt besitzt eine Anzahl von Eigenschaften, diese werden entweder von der Sensorik gemessen und bestimmt, wie z.B. Breite, Höhe, Entfernung, Geschwindigkeit, oder sie sind bereits in Datenbanken hinterlegt, wie z.B. Anzahl der Fahrspuren, Zuordnung von Ampeln und Geschwindigkeitsbeschränkungen. Im Objektkatalog wird zwischen statischen und dynamischen Objekten unterschieden, dabei gehören die statischen Objekte zur Infrastruktur (Fahrspur, Randbebauung etc.). Bei den dynamischen Objekten muss zusätzlich eine Bewegungsbeschreibung durchgeführt werden, dies erfolgt in Dynamikmodellen, die relativ zu den objektspezifischen Koordinatensystemen formuliert werden. Die ungeschützten Verkehrsteilnehmer, wie z.B. Fußgänger werden einzeln betrachtet. Das Erkennen dieser Objektkategorie ist wesentlich schwieriger, da sie durch die Arm- und Beinbewegungen ihre Gestalt (Form) verändern können, außerdem sind die Dynamikmodelle komplexer, da schnelle Richtungsänderungen möglich sind. Alle Daten werden im Umfeldmodell gesammelt und dienen als Grundlage für alle Applikationen. Auch die Interpretation der Verkehrssituation, die im nächsten Abschnitt beschrieben wird, greift auf diese Daten zu. [INVENT 2005]

Auch im Bericht Lidar-Sensoren zur Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen [Streller et al. 2002] für das Messtechnische Symposium wird die Architektur eines Umfeldmodells beschrieben.

Das Fahrzeugumfeldmodell wird hier in fünf Module unterteilt:

1. Straßenverlaufsmodell
2. Sensormodell  
Modell der verwendeten Sensoren und Vorverarbeitungsschritte
3. Fahrzeugeigenmodell  
Dynamisches Modell des Ego-Fahrzeugs zur Kompensation der Eigenbewegung aus den Messungen
4. Cluster der Objektmodelle  
Dynamische Modelle aller Objekte in der Nachbarschaft des Ego-Fahrzeugs
5. Szeneninterpretation

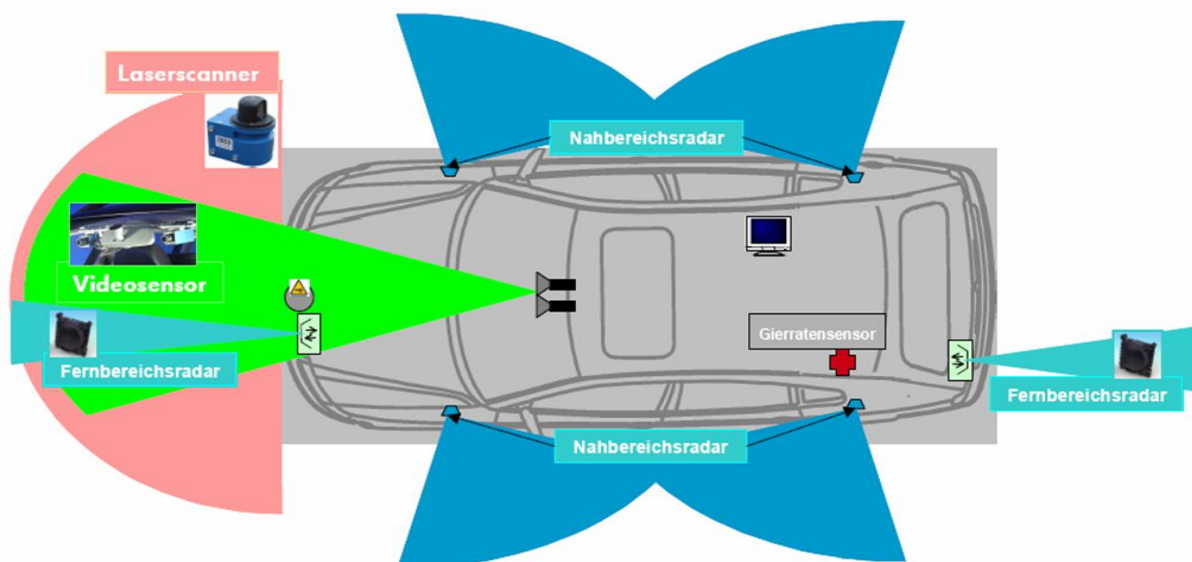
Das Fahrzeugumfeldmodell wird hier nicht näher beschrieben, aber man kann erkennen, dass die groben Inhalte in beiden Umfeldmodellen gleich sind. Im zweiten Bericht wird nur explizit erwähnt, dass nur die Objekte betrachtet werden, die sich auf der Fahrbahn oder in unmittelbarer Nähe der Fahrbahn befinden. Diese Einschränkung wird im Projekt INVENT nicht gemacht.

### **5.5 Interpretation Verkehrssituation**

Aus den detektierten, verfolgten (Abschnitt 5.2) und klassifizierten (Abschnitt 5.3) Objekten wird eine Verkehrssituation erkannt und von den Applikationen des Fahrzeugs, z.B.

Fahrerassistenzsysteme, interpretiert und bei Bedarf eingegriffen. Es könnten z.B. die Fahrbahnmarkierungen für Spurhalteassistenten erkannt werden, damit das System die Verkehrssituation „Spur wird gehalten“ oder „Spur wird verlassen“ erkennen kann.

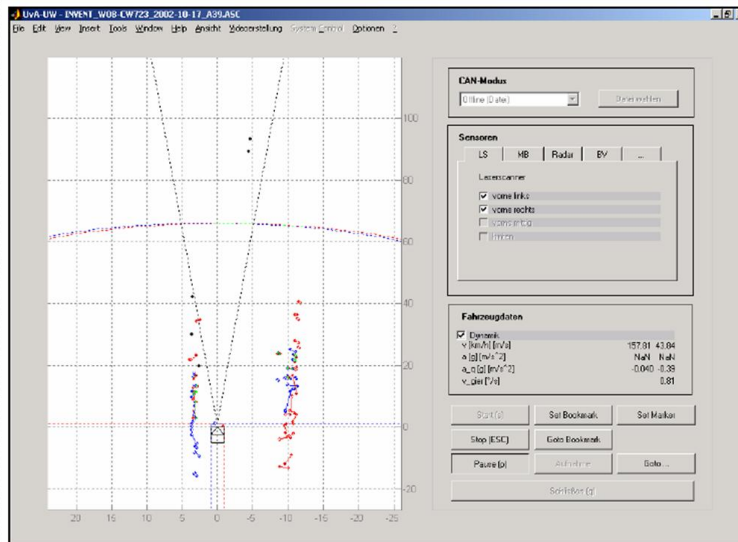
Ein Teilnehmer des Projektes INVENT war die Volkswagen AG, sie haben Folgefahrten des Fahrzeuges beobachtet und interpretiert [Volkswagen 2005]. Dazu wurde mit Hilfe eines Versuchsfahrzeuges Autobahnscenen aufgenommen. Das verwendete Versuchsfahrzeug war mit einem Bildverarbeitungssystem auf Stereo-Basis, einem 4-Ebenen-Laser-Scanner und vier Nahbereichsradarsensoren vom Typ UMRR ausgestattet. In Abbildung 5.29 sind die Sensorbereiche des Versuchsträgers schematisch dargestellt, hier sind auch zwei Fernbereichsradarsensoren zu sehen, diese werden aber im in diesem Schlussbericht für Fahrerassistenzsysteme nicht weiter erwähnt.



**Abbildung 5.29 Schematische Darstellung der Sensorbereiche im VW Versuchsträger [Volkswagen 2005]**

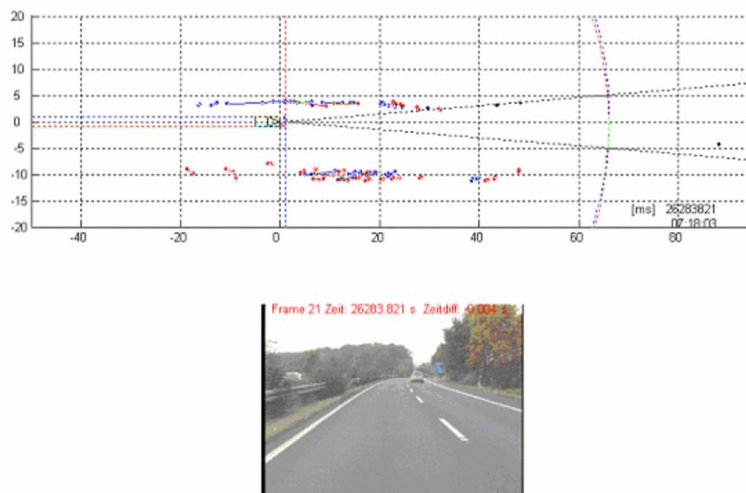
Um die gewonnenen Daten aus den Autobahnfahrten visualisieren und überprüfen zu können, wurden zwei Möglichkeiten entwickelt. In Abbildung 5.30 ist die Visualisierung im Onlinebetrieb gezeigt, es wurde dafür ein Datenrekorder entwickelt, der die Daten auch aufzeichnet.





**Abbildung 5.30 Datenrekorder zur Visualisierung und Aufzeichnung der Sensordaten im Onlinebetrieb [Volkswagen 2005]**

Die zweite Möglichkeit ist die Offline-Wiedergabe, diese ist in Abbildung 5.31 zu sehen. Hier ist es möglich parallel zu den Sensordaten ein aufgezeichnetes Video abzuspielen, um es mit den Sensordaten zu vergleichen.



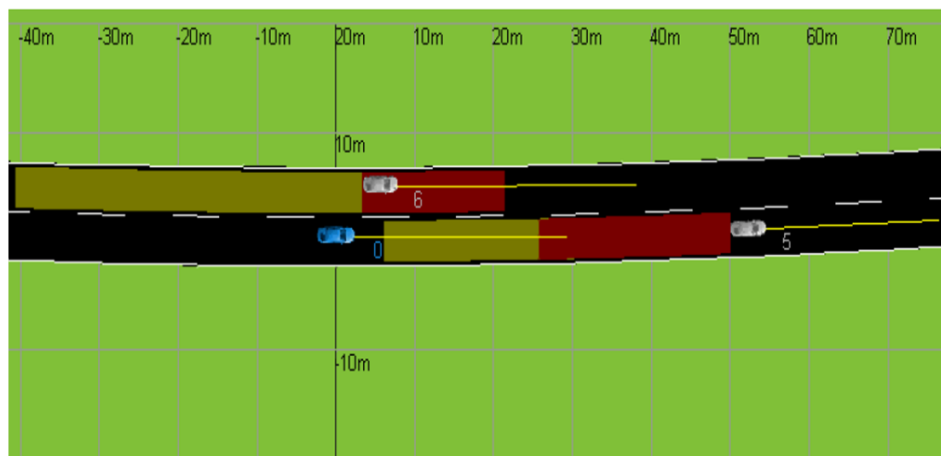
**Abbildung 5.31 Wiedergabe der Sensordaten mit synchronisiertem Videobild im Offlinebetrieb [Volkswagen 2005]**

Die aufgenommenen Daten aus den Autobahnfahrten wurden in eine Simulationsplattform implementiert. Diese Simulationsplattform basiert auf dem Umfeldmodell aus Abschnitt 5.4 und wurde zum Testen der Fahrerassistenzsysteme entwickelt. So können die Reaktionen verschiedener Fahrerassistenzsysteme auf unterschiedliche Verkehrssituationen überprüft werden, ohne dass Fehlentscheidungen dieser Systeme Auswirkungen auf den laufenden Verkehr haben. In Abbildung 5.32 ist die Simulationsumgebung dargestellt.



**Abbildung 5.32 Grafische Darstellung des Umfeldmodells in der Simulationsumgebung [Volkswagen 2005]**

Mit Hilfe dieser Plattform wurden die aufgenommenen Autobahnfahrten betrachtet, als Grundlage für die Erklärung der grafischen Darstellung wird die in Abbildung 5.33 simulierte Verkehrssituation verwendet.



**Abbildung 5.33 Darstellung einer simulierten Verkehrssituation [Volkswagen 2005]**

Das Ego-Fahrzeug, blau gekennzeichnet, fährt auf der rechten Fahrspur ca. 50 Meter hinter einem anderen Fahrzeug (grau), ein drittes Fahrzeug (ebenfalls grau) befindet sich auf der linken Fahrspur und führt einen Überholvorgang aus. Der rote Bereich ist der kritische Kollisionsbereich, die Kollisionszeit beträgt dabei fünf Sekunden. Unter der Kollisionszeit versteht man die Zeit bis zu einer Kollision mit dem Fahrzeug unter Berücksichtigung der aktuellen Zustände des Ego- und des beobachteten Fahrzeugs. Der gelbe Bereich stellt den kritischen Abstandsbereich dar, wobei die Zeitlücke auf 1,8 Sekunden festgelegt wurde. Dabei versteht man unter der Zeitlücke die Zeit bis zum Erreichen der aktuellen Position des Zielfahrzeugs. Mit Hilfe dieser Definitionen können die kritischen Fahrbereiche für das Ego-Fahrzeug geschätzt werden.



Mit Hilfe dieser Simulation können unterschiedliche Verkehrssituationen nachgestellt werden. Abbildung 5.34 zeigt einen Ausschervorgang, hier befindet sich das Zielfahrzeug noch in der Fahrspur des Ego-Fahrzeugs, führt aber einen Spurwechsel zur linken Fahrspur aus. Deshalb werden sowohl die aktuelle Fahrspur als auch die vorhergesagte Fahrspur des Zielfahrzeugs mit den kritischen Kollisions- und Abstandsbereichen gekennzeichnet. Die Verkehrssituation nach Beendigung des Ausschervorgangs ist in Abbildung 5.35 zu sehen, diese Aufnahme wurde sieben Sekunden später gemacht. Hier kann man erkennen, dass sich das Ego-Fahrzeug bereits im kritischen Abstandsbereich des vorausfahrenden Fahrzeuges befindet. Mit Hilfe der hier ermittelten kritischen Abstands- und Kollisionsbereiche könnte man z.B. ACC-Systeme realisieren.

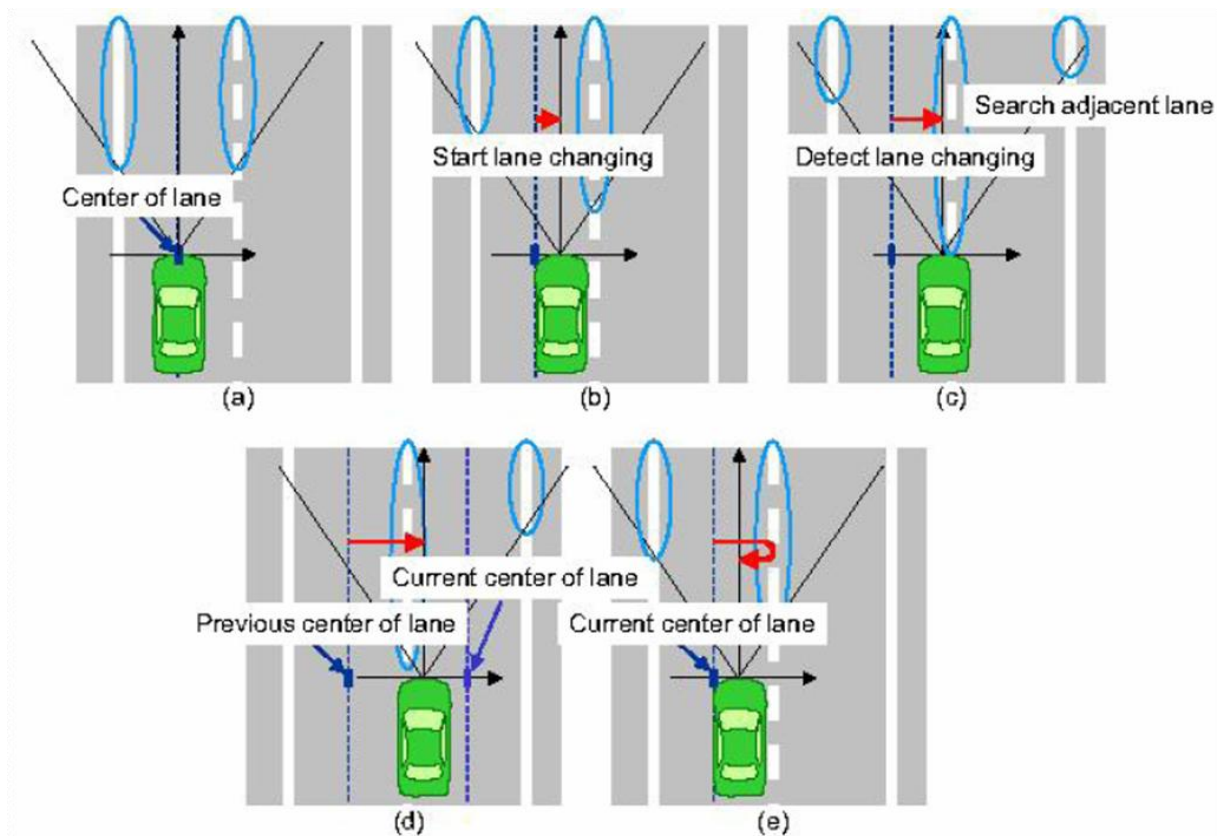


**Abbildung 5.34 Darstellung eines Ausschervorgangs [Volkswagen 2005]**



**Abbildung 5.35 Verkehrssituation nach Beendigung des Ausschervorgangs [Volkswagen 2005]**

DENSO zeigt im Bericht „Road Environment Recognition using On-vehicle Lidar“ [Ogawa et al. 2006b] wie sie mit Hilfe der relativen Positionen zwischen Ego-Fahrzeug und weißen Fahrbahnmarkierungen die Verkehrssituation „Fahrspurwechsel“ erkennen, dies ist in Abbildung 5.36 dargestellt.



**Abbildung 5.36 Fahrspurwechsel [Ogawa et al. 2006b]**

Abbildung 5.36 a) zeigt die Spurhaltung, das Fahrzeug befindet sich in der Fahrbahnmitte. Das Andeuten des Fahrbahnwechsels ist in Abbildung 5.36 b) zu sehen, das Fahrzeug verlässt die Fahrbahnmitte und fährt nach rechts. Der Fahrbahnwechsel ist in Abbildung 5.36 c) dargestellt, das Fahrzeug überquert die mittlere Fahrbahnmarkierung und eine neue Fahrbahnmarkierung wird erkannt. In Abbildung 5.36 d) wird die neue Fahrbahnmitte berechnet und in Abbildung 5.36 e) wird der Fahrbahnwechsel abgebrochen und die alte Fahrbahnmitte wird beibehalten. Diese Methode der Interpretation einer Verkehrssituation könnte z.B. für Spurhalteassistenten verwendet werden (Abschnitt 3.3.4).

## 5.6 Anwendungen in Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme sollen den Fahrer bei seiner Fahraufgabe unterstützen und häufig die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer erhöhen. Es muss ausgeschlossen werden, dass eine Gefahr für den Fahrzeugführer oder andere Verkehrsteilnehmer vom Fahrerassistenzsystem ausgeht. Nicht jede Sensorik ist für jedes Fahrerassistenzsystem gleichermaßen geeignet, teilweise ist auch der kombinatorische Einsatz notwendig. In Tabelle 5.4 sind die am häufigsten verwendeten Sensoren für einige Fahrerassistenzsysteme aufgeführt.

**Tabelle 5.4 Beispiele für verwendete Sensorik in Fahrerassistenzsysteme**

Fahrerassistenzsystem	Am häufigsten Verwendete Sensorik			
	Radar	Lidar	Ultraschall	Kamera
ACC-Systeme	X	X		
Stop & Go Systeme	X	X		
Lane Change Assistent (LCA)	X		X	X
Lane Departure Warning (LDW)				X
Lane Keeping Support (LKS)				X
Einparkassistent			X	
Night Vision				X

Fahrerassistenzsysteme beeinflussen den Verkehrsablauf durch ihre Systemeigenschaften. Hierdurch ergibt sich ein eigenständiges Forschungsfeld, welches diesen Einfluss untersucht. Dafür wird das Fahrer- und Fahrzeugverhalten mit und ohne Assistenzsystem untersucht und verglichen. Beispielhaft für ACC-Systeme wurde dies in den Veröffentlichungen „Simulationsuntersuchungen zum Einfluss von Fahrerverhalten und technischen Abstandsregelsystemen auf den Kolonnenverkehr“ [Witte 1996] sowie „Close following on the motorway: Initial findings of an instrumented vehicle study“ [McDonald et al. 1997] betrachtet.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Als Grundlage für diese Arbeit wurden zunächst einige Fahrerassistenzsysteme (Abschnitt 3.3) und die Fahrzeugsensoren (Abschnitt 4.2), die zur Umfelderkennung verwendet werden, mit den grundlegenden Messprinzipien (Abschnitt 4.1) vorgestellt. Auch das am häufigsten für die Objektverfolgung eingesetzte Auswerteverfahren, das Kalman-Filter (Abschnitt 4.3), wurde beschrieben.

Im Hauptteil (Abschnitt 5) wurden der Systemaufbau eines Laser-Scanners mit seinen technischen Besonderheiten (Abschnitt 5.1.1) und die spezielle Ansteuerung für ein Kamerasystem (Abschnitt 5.1.2), das dem menschlichen Auge nachempfunden ist, vorgestellt. Mit Hilfe der in Abschnitt 5.1.3 erläuterten Datenfusion, dabei werden mehrere Messwerte unterschiedlicher Sensoren zusammengefasst, kann eine robustere Objektdetektion und –klassifikation gewährleistet werden. Außerdem können Entfernungen und Geschwindigkeiten mit verschiedenen Sensoren einfacher und schneller erkannt werden.

Im Bereich der Objektdetektion und –verfolgung (Abschnitt 5.2) wurden Verfahren mit Kamerasystemen und mit Lidar-Sensoren beschrieben. Bei den Kamerasystemen wurden Kantenschablonen, der Farbregionenfluss und der Farbclusterfluss zum Detektieren von Objekten eingesetzt. Beim Kantenschablonenverfahren werden charakteristische Formen vom Objekt allgemein beschrieben und im Rahmen der Arbeit am Beispiel stationärer Kombi-Pkws durchgeführt. Beim Farbregionen- und Farbclusterfluss können alle Objekte, die eine signifikante Relativbewegung zur Kamera haben, zuverlässig detektiert werden. Der Farbregionenfluss liefert exaktere Bewegungsinformationen, allerdings erweist sich der Farbclusterfluss als robusteres Verfahren beim Erkennen von formveränderlichen (z.B. Fußgänger) oder teilweise verdeckten Objekten.

Zur Objektklassifikation (Abschnitt 5.3) wurden hauptsächlich Laser-Sensoren verwendet. Es wurden Methoden vorgestellt, bei denen Bounding-Boxen, Kantenoperatoren und der Reflexionsgrad benutzt wurden. Bei einer Kombination dieser drei Methoden ist zu erwarten, dass die detektierten Objekte eindeutig klassifiziert werden können. D.h. es kann unterschieden werden, ob es sich um einen Pkw, einen Lkw, eine Person, einen Radfahrer, ein Randelement (z.B. Busch, Hecke oder Straßenbegrenzungspfosten) oder ein Verkehrszeichen handelt. Nachdem die Objekte eindeutig klassifiziert sind, können auch Aussagen über den Verlauf der Fahrbahn sowie den Geschwindigkeiten von Fahrzeugen und Ego-Fahrzeug gemacht werden.

Der Aufbau eines Umfeldmodells wurde in Abschnitt 5.4 beschrieben. In dem Umfeldmodell werden alle Ergebnisse der multisensoriellen Fahrumgebungserfassung zusammengetragen, diese

dient allen Applikationen als Schnittstelle. So ein Umfeldmodell ist eine Lösung, die es erlaubt schnell weitere Sensoren und neue Applikationen (Fahrerassistenzsysteme) in ein System zu integrieren.

Im Bereich der Interpretation der Verkehrssituation (Abschnitt 5.5) wurde gezeigt, wie aus Folgefahrten die kritischen Abstands- und Kollisionsbereiche ermittelt werden und wie ein Fahrspurwechsel erkannt werden kann.

Mit Hilfe dieser Arbeit kann das Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig ihr weiteres Vorgehen im Bereich der Fahrzeugumfeldererkennung des Versuchsfahrzeugs CarLa planen. Es wurden insbesondere Verfahren zur Objektdetektion und -klassifikation mit Lidar-Sensoren beschrieben, die zur Umfelderkennung in die vorhandene Referenzplattform implementiert werden können, da bereits ein Laser-Scanner vorhanden ist. Die Darstellung der Möglichkeiten zur Interpretation von Verkehrssituation kann bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen als Grundlage verwendet werden.

Im Automobilbereich geht der Trend über zur multisensoriellen Umfelderkennung. Anfangs wurde mit Hilfe eines Radarsensors ein schmaler Bereich vor dem Ego-Fahrzeugs beobachtet, um z.B. ein Komfortsystem wie ACC zu realisieren. Mittlerweile ist es möglich mit Hilfe unterschiedlichster Sensorik das komplette Umfeld des Ego-Fahrzeugs zu erfassen, wobei für sicherheitskritische Assistenzsysteme die Verfügbarkeit und die Verlässlichkeit erhöht werden muss.

Es werden immer mehr Fahrerassistenzsysteme entwickelt, die entweder in das Fahrgeschehen eingreifen (vgl. ACC-Systeme Abschnitt 3.3.1) oder sogar schon komplett autonom Fahrsituationen meistern können (vgl. Einparkassistent Abschnitt 3.3.5). Bis heute gilt allerdings noch das „Wiener Weltabkommen“ von 1958, in dem definiert ist, dass der Fahrer grundsätzlich für die Fahraufgabe verantwortlich ist und somit auch eingreifen können muss. Wie in der Arbeit gezeigt wurde, können Fahrerassistenzsysteme einen Sicherheitsgewinn bringen. Das steigende Verkehrsaufkommen in Deutschland [Schnieder 2007b] erfordert einen weiteren Ausbau des Straßennetzes oder eine Optimierung des Verkehrsablaufes. Es ist daher zu erwarten, dass auf lange Sicht teil- oder vollständig autonom fahrende Fahrzeuge auf den öffentlichen Straßen fahren dürfen. Vor der Einführung autonomer Fahrzeuge müssen aber zuvor noch viele, insbesondere zuverlässigkeits- und haftungsrechtliche Fragen beantwortet werden.



---

**Literaturverzeichnis**

- [ADAC 2007] Homepage ADAC: **Nachtsicht-Systeme.**  
<[http://www.adac.de/Auto\\_Motorrad/Technik\\_Zubehoer/fahrerassistenzsysteme/Nachtsichtsysteme/default.asp?ComponentID=158256&SourcePageID=134828](http://www.adac.de/Auto_Motorrad/Technik_Zubehoer/fahrerassistenzsysteme/Nachtsichtsysteme/default.asp?ComponentID=158256&SourcePageID=134828)> Rev. 2007-11-20
- [Auto-Reporter 2007] Homepage Auto-Reporter: **Conti sucht 1000 Ingenieure für neue Fahrerassistenzsysteme.** < <http://www.auto-reporter.net/artikel.las?katsearch=4&subkatsearch=146&subsubkatsearch=&artikel=16248>>  
Rev. 2007-11-20
- [Bester Beifahrer 2007a] Bester Beifahrer: **Immer sicher Kurs halten – Spurverlassenswarner (LDW - Lane Departure Warning) und Spurwechselassistent (LCA – Lane Change Assistent) warnen vor dem unbeabsichtigten Verlassen der Fahrspur und unterstützen beim Fahrspurwechsel.** < <http://www.bester-beifahrer.de/spurassistenten.html>> Rev. 2007-11-20
- [Bester Beifahrer 2007b] Bester Beifahrer: **Einparkassistent - Funktion und Technik.**  
<<http://www.bester-beifahrer.de/einparkassistent-technik.html>> Rev. 2007-11-20
- [Bester Beifahrer 2007c] Bester Beifahrer: **Nachtsichtsysteme – Funktion und Technik.**  
<<http://www.bester-beifahrer.de/nachtsichtsysteme-technik.html>> Rev. 2007-11-20
- [BMBF 2007] Homepage Bundesministerium für Bildung und Forschung:  
**Hochleistungs-Diodenlaser – Licht für die Produktion.**  
<<http://www.bmbf.bund.de/de/3601.php>> Rev. 2007-11-20
- [Braunschweig 2008a] Homepage Braunschweig: **Die Ersterwähnung von „Brunesguik“ und die Gründungssage.**  
<<http://www.braunschweig.de/stadtportrait/geschichte/gruendungssage.html>> Rev. 2008-01-10
- [Braunschweig 2008b] Homepage Braunschweig: **Heinrich der Löwe und die Stadtwerdeung.** <<http://www.braunschweig.de/stadtportrait/geschichte/stadtwerdung.html>>  
Rev. 2008-01-10
- [CarOLO 2007] Homepage The CarOLO Project : **Vehicle - Technical Information.**  
<<http://carolo.tu-bs.de/>> Rev. 2007-12-05
- [Continental 2003] Continental Sicherheitsforum Arvidsjaur: **Adaptive Cruise Control (ACC) von Continental Temic.** Februar 2003, <[http://www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/portal/themen/presse\\_services/pressemitteilun](http://www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/portal/themen/presse_services/pressemitteilun)

- gen/produkte/automotive\_systems/elektronik/pr\_2003\_03\_11\_10\_0\_de.html> Rev. 2007-11-20
- [Cordoba 2007] Cordoba, Cyril: **Videoverarbeitung erhöht Verkehrssicherheit**, in: Elektronik automotive, 2007, Heft 1, S. 51
- [Daimler 2007] Homepage Daimler Chrysler: **Nachtsicht-Assistent: Mit Infrarot-Scheinwerfern besser und weiter sehen**. <<http://www.daimlerchrysler.com/dccom/0-5-7165-49-638565-1-0-0-638546-0-0-135-7165-0-0-0-0-0-0.html>> Rev. 2007-11-20
- [DAT-Report 2000-20007] Homepage DAT: **DAT-Report – Markt- und Konsumforschung für die Automobilwirtschaft**. 2000 bis 2007, <<http://www.dat.de/showmessage.jsp;jsessionid=D2651265C9B5D344D499AA0E63E65BB9?mesid=3120&mentitid=2030>> Rev. 2007-11-20
- [Flickr 2008a] Homepage Flickr: **Braunschweig-Altstadt 034** <<http://www.flickr.com/photos/hansdieterboeseke/212552514/>> Rev. 2008-01-10
- [Flickr 2008b] Homepage Flickr: **Burg Dankwarderode**. <<http://www.flickr.com/photos/graef/1085801292/>> Rev. 2008-01-10
- [Flickr 2008c] Homepage Flickr: **Main Buliding of the TU Braunschweig**. <<http://www.flickr.com/photos/dini44/55682774/>> Rev 2008-01-10
- [Fürstenberg et al. 2004] Fürstenberg, Kay; Dietmayer, Klaus.: **Fahrzeugumfelderfassung mit mehrzeiligen Laser-Scanner**, in: Technisches Messen, 2004, 71, s. 164-172.
- [Fürstenberg 2005] Fürstenberg, Kay: **Fußgängerschutz unter Nutzung mehrzeiliger Laser-Scanner**, in: Workshop Fahrerassistenzsysteme, 2005, S. 111-120
- [Heisele 1998] Heisele, Bernd: **Objektdetektion in Straßenverkehrsszenen durch Auswertung von Farbbildfolgen**, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Physikalische Elektronik, 1998
- [Hella 2007] Homepage Hella KGaA Hueck & Co.: **Elektronik – Fahrerassistenz-Systeme**. <[http://www.hella.com/produktion/HellaDE/WebSite/MiscContent/Download/AutoIndustrie/Elektronik/TI\\_ADAS\\_D\\_TT\\_07.pdf](http://www.hella.com/produktion/HellaDE/WebSite/MiscContent/Download/AutoIndustrie/Elektronik/TI_ADAS_D_TT_07.pdf)> Rev. 2007-11-20
- [Infohamster 2005] Homepage Infohamster: **Auto-News: Einparken mit Park Mate**. <<http://infohamster.net/news/artikel-243.html>> Rev. 2005-08-05
- [INVENT 2005] INVENT-Büro: **INVENT „erfahren“ – mobil mit 8 Sinnen**, Ergebnisbericht, Laufzeit: 2001-2005
- [iVA 2008] Homepage Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik: **Institutsentwicklung**. <[http://www.iva.ing.tu-bs.de/?iT=1\\_6\\_10](http://www.iva.ing.tu-bs.de/?iT=1_6_10)> Rev. 2008-01-11



- 
- [Kapp et al. 2004] Kapp, Andreas; Brugger, Daniel.: **Miniaturisierter Laserscanner zur Umfelderkennung im Fahrzeugbereich**, in: VDI-Berichte, 2004, 1864, S. 239-249.
- [kfztech 2007] Kfz-Technik Wiesinger: **Adaptive Cruise Control von Bosch**.  
<<http://www.kfztech.de/kfztechnik/sicherheit/acc1.gif>>, Rev. 2007-11-20
- [McDonald et al. 1997] McDonald M., Brackstone M.A., Sultan B., Roach C.: **Close Following on the Motorway: Initial Findings of an Instrumented Vehicle Study**, in: 7th Vision in Vehicles Conf., S. 381 – 389, Marseilles, 1997
- [Mobil und Sicher 2007] Homepage Mobil und Sicher: **Verkehrssicherheit – Fahrerassistenzsysteme erweitern den Horizont des Fahrers**.  
<[http://www.mobilundsicher.de/archiv/sich\\_23.html](http://www.mobilundsicher.de/archiv/sich_23.html)> Rev. 2007-11-20
- [Nischwitz et al. 20004] Nischwitz, A.; Fischer, M.; Haberäcker, P.: **Computergrafik und Bildverarbeitung**. Vieweg, 2004.
- [Ogawa et al. 2006a] Ogawa, Takashi; Takagi, Kiyokazu.: **Lane Recognition using On-vehicle Lidar**, in: Bericht IEEE Tagung Intelligent Vehicles Symposium, 2006, S. 540-545.
- [Ogawa et al. 2006b] Ogawa, Takashi; Takagi, Kiyokazu.: **Road Environment Recognition using On-vehicle Lidar**, in: Bericht IEEE Tagung Intelligent Vehicles Symposium, 2006, S. 120-125.
- [Papadopoulos 2006] Papadopoulos, Konstantinos: **Blickrichtungssteuerung für kognitive Automobile**, Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, Institut für Technische Informatik, 2006
- [Poliak et al. 2007] Poliak, J.; Hübner, M.; Hänsel, F.; Becker, U.; Schnieder, E.: **Ansätze zu mobilen Referenzplattformen für sicherheitsrelevante Ortung**, in: GZVB e. V., Hrsg.: Tagungsband des 8. Braunschweiger Symposiums "Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel - AAET", S. 60 - 71, Braunschweig, 2007
- [Rath 2001] Rath, Toni M: **Spezialisierung generischer Modelle von Straßenverkehrsszenen für die Bildfolgenauswertung**, Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme der Fakultät für Informatik, 2001
- [Ritter 2001] Ritter, Hanno S.: **Adaptive Cruise Control ACC von Bosch im Fiat Stilo**. <<http://www.autokiste.de/index.htm?site=/psg/archiv/a.htm?id=0618>> Rev. 2001-08-05
- [Schnieder 2007a] Schnieder, E.: **Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik – Einführungsabend**. PowerPoint-Präsentation, Braunschweig, 2007-1-04
-

- [Schnieder 2007b] Schnieder, E., Hrsg.: **Verkehrsleittechnik - Automatisierung des Straßen- und Schienenverkehrs.**, Springer Verlag, Berlin u.a., 2007
- [Streller et al. 2002] Streller, Daniel; Dietmayer, Klaus.: **Lidar-Sensoren zur Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen**, in: Messtechnisches Symposium des AHMT e.V., 2002, 16, S. 163-176
- [TU Braunschweig 2007] Homepage Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig: **Geschichte**. <<http://www.tu-braunschweig.de/wirueberuns/fakten/geschichte>> Rev. 2007-11-30
- [Volkswagen 2005] Volkswagen AG: **Schlussbericht FAS**, Laufzeit: 1.Juli 2001 bis 30.September 2005
- [Volkswagen 2007a] Volkswagen Techniklexikon: **Spurwechselassistent „Side Assist“**. 2007, <[http://www.volkswagen.de/vwcms\\_publish/vwcms/master\\_public/virtualmaster/de3/unternehmen/Innovation/Technik\\_Lexikon/spurwechselassistent.popup.html](http://www.volkswagen.de/vwcms_publish/vwcms/master_public/virtualmaster/de3/unternehmen/Innovation/Technik_Lexikon/spurwechselassistent.popup.html)> Rev. 2007-11-20
- [Volkswagen 2007b] Volkswagen Techniklexikon: **ParkPilot (Parkdistanzkontrolle)**. 2007, <[http://www.volkswagen.de/vwcms\\_publish/vwcms/master\\_public/virtualmaster/de3/unternehmen/Innovation/Technik\\_Lexikon/parkdistanzkontrolle.index.html](http://www.volkswagen.de/vwcms_publish/vwcms/master_public/virtualmaster/de3/unternehmen/Innovation/Technik_Lexikon/parkdistanzkontrolle.index.html)> Rev. 2007-11-20
- [Witte 1996] Witte, Stefan: **Simulationsuntersuchungen zum Einfluss von Fahrerverhalten und technischen Abstandsregelsystemen auf den Kolonnenverkehr**, Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, 1996
- [Zechnull 2006] Zechnull, Wolf: **Fahrzeugautonome und infrastrukturgestützte Lösungen zur Verbesserung der Sicherheit im Verkehr**, PowerPoint-Präsentation der Robert Bosch GmbH