

Entwicklung sowie prototypische Realisierung  
eines neuartigen Lichtsystems im Automobil

# Das Licht machts

Eine neuartige Lichtfunktion soll Autofahrern im nächtlichen Straßenverkehr mehr Sicherheit und Komfort bieten. Dazu erkennen Bildsensoren potentiell gefährliche Objekte auf der Straße und eigens dafür entwickelte Frontscheinwerfer leuchten diese besonders aus. Im Feldtest zeigt dieses markierende Licht ein neues Bild von der nächtlichen Straße.



Foto: Breig/KIT

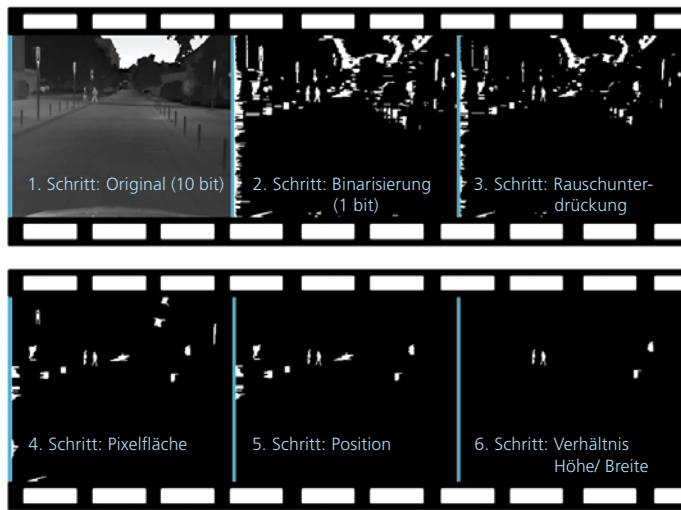
### Motivation: Statistik der Verkehrsunfälle im nächtlichen Straßenverkehr

Jüngste Zahlen aus der Datenbank des deutschen Statistischen Bundesamtes sprechen eine deutliche und klar interpretierbare Sprache: Das Jahr 2010 war das unfallreichste seit elf Jahren. Bundesweit wurden rund 2,4 Millionen Verkehrsunfälle erfasst, das waren 4,2 % mehr als noch im Jahr zuvor. Erfreulich ist jedoch, dass trotz der gestiegenen Unfallzahlen die Zahl der Verkehrstoten auf ein historisches Minimum seit 60 Jahren gefallen ist. Zwar mussten immer noch 3.648 Menschen auf deutschen Straßen ihr Leben lassen, jedoch sind dies 12 % weniger als noch ein Jahr zuvor. Bei näherer Betrachtung anhand von detaillierten Aufzeich-

*Ein potentielles Kollisionsobjekt, hier ein Fußgänger, auf der Straße wird durch das intelligente Lichtsystem besonders beleuchtet (markiert).*



Foto: Hörter/KIT



Die verschiedenen Schritte der Bildvorverarbeitung führen zur Detektion der potentiell auszu-leuchtenden Objekte.

nungen und Rekonstruktionen, wie, wann und wo sich Verkehrsunfälle ereignen, fällt stark auf, dass das Fahren bei Nacht eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit darstellt, in einen Verkehrsunfall involviert zu werden. Zudem zeigt sich, dass entgegen der allgemeinen Annahme, die Autobahn sei der gefährlichste Ort für Verkehrsteilnehmer, die Landstraße ein höheres Gefahrenpotential aufweist. Die außerhalb geschlossener Ortschaften gefahrene Geschwindigkeit, gepaart mit einer meist unangepassten Ausleuchtung der Verkehrsszenarie, sowie die hohe Wahrscheinlichkeit, gerade dort auf Fußgänger, Fahrradfahrer oder auch Wildtiere zu „treffen“, kann zu tragischen Unfällen führen.

#### Lebendige Objekte auf Kollisionskurs

Doch die oben aufgeführten Fakten sind kein Grund, diese nächtlichen Phänomene als gegeben hinzunehmen. Vielmehr schöpfen hieraus Wissenschaft und Industrie ihre Motivation, weiter an innovativen technischen Lösungen zu arbeiten, um das Fahren auf nächtlichen Straßen Stück

für Stück sicherer zu gestalten – solange, bis das Oberziel „unfallfreies Fahren“ zur Realität geworden ist. Ein Mosaikstein in diesem Masterplan könnte das so genannte „Markierende Licht“ oder auch „Gefahrenlicht“ darstellen. Hierbei spielt dieses neuartige Lichtsystem gerade auf den skizzierten „Hotspots“, also Landstraße gepaart mit Dämmerung oder Nacht, seine ganze Stärke aus. Lebendige Objekte, die sich auf errechnetem Kollisionskurs mit dem eigenen Fahrzeug befinden, werden mit einer eigens dafür konzipierten Lichtinstanz so angeleuchtet, oder auch „markiert“, dass der Fahrzeugführer diese früher erkennen und somit auch früher darauf reagieren kann. Dabei wurde die Markierungsstrategie so gewählt, dass sich eine markierende Phase mit einer Phase der konstanten Beleuchtung der Objekte abwechselt – dies gewährt ein Höchstmaß an Erkennbarkeitsentfernung sowie eine daraus resultierende Kollisionsvermeidung.

#### Wichtige Technikkomponenten

Als nach der Ideenfindung die technische Realisierung anstand, war

schnell klar, dass der Wunsch nach einem „erfahrbaren“ Versuchsträger in ein mechatronisches Projekt par excellence führen würde. Das Zusammenspiel der technischen Disziplinen Mechanik, Elektronik, Informatik sowie die geeignete Auswahl an technischem Equipment führten letztendlich zu einem komplexen mechatronischen Versuchsaufbau, der in einem Audi Q7 integriert wurde. Die gewählte Prototyping-Plattform dSPACE MicroAutoBox, mit ihren vielfältigen analogen sowie digitalen Ein- und Ausgängen, CAN- und Flex-Ray-Schnittstellen sowie sehr guter Rechenperformance, bildete in Kombination mit der entsprechend ausgelegten dSPACE RapidPro-Einheit, die im rauen Umfeld des Motorraums verbaut wurde, ein unschlagbares Team. Somit konnten sehr schnell und intuitiv verschiedene Reglermodelle auf die MicroAutoBox geflasht werden. Die RapidPro-Einheit sorgte dann für die Umsetzung dieser meist auf TTL-Level befindlichen Signale auf der Eingangsseite in Signale mit mehr Power auf der Ausgangsseite in Richtung der Lichtaktuatorik.

#### Echtzeitdatenbank als zentrale Synchronisierungsinstanz

Zunächst war es erforderlich, der Flut an Informationen Herr zu werden, welche die integrierte Sensorik (Wärmebildkamera, CMOS-Kamera, Inertialmessplattform, CAN-Anbindung etc.) liefert. Dazu wurde eine so genannte Echtzeitdatenbank entwickelt, die nicht nur die heterogenen Eintreffzeitpunkte der Sensorsignale durch eine zentrale Zeitbasis synchronisiert, sondern beliebige Versuchsfahrten durch eine Aufnahme-funktion jederzeit im Labor wieder rekonstruierbar macht. Diese Echtzeitdatenbank wurde aus Standardisierungsgründen auf einem externen, linuxbasierten Hochleistungsrechner implementiert, der ebenfalls mit der MicroAutoBox via CAN-Vernetzung kommuniziert.



Foto: Breig/KIT

„dSPACE stand mir von Anfang an stets mit Rat und Tat zur Seite, so dass schnell die richtige Kombination an dSPACE Produkten gefunden wurde und für uns verfügbar war.“

Marko H. Hörter, KIT

#### **Bildverarbeitung gepaart mit künstlicher Intelligenz**

Die Bildverarbeitung in der Kausalkette Bildvorverarbeitung, Detektion, Klassifikation, Objekttracking sowie anschließend abgeleiteter Warnstrategie gestaltete sich als komplexe Herausforderung, da die Gestalt der Eingangsdaten, sprich die Erscheinung und Pose der zu markierenden Objekte, sehr mannigfaltig sein kann. Bei der Bildvorverarbeitung wird versucht, den nachgelagerten Verarbeitungsschritten eine möglichst homogene Ausgangsbasis zu bereiten. Hierbei wird das vorliegende Grauwertbild (10 bit Auflösung) in ein binäres Bild (1 bit Auflösung) mittels eines dual-adaptiven Grenzwertfilters überführt, so dass als Resultat dieses Verarbeitungsschrittes die Klassen Vordergrund und Hintergrund übrigbleiben. Objekte, die weiter zu berücksichtigen sind, sollten sich zu diesem Zeitpunkt in der erstgenannten Klasse wiederfinden.

Dem Detektor kommt eine wichtige Rolle zu: Er spürt Bildausschnitte (s.g. Blobs) in der vorverarbeiteten Bildszenerie auf, welche die Gestalt einer vorher parametrisierten Geo-

metrie aufweisen. Mittels einfachen und somit echtzeitfähigen Filteroperationen (vgl. Verhältnis Länge x Breite, Anzahl Pixel, Position im Bild etc.) lässt sich die Anzahl der potentiellen Bildausschnitte minimieren, die anschließend dem Klassifikator weitergereicht werden.

Bevor der Klassifikator jedoch sein Votum abgeben kann, ob nun im gefundenen Bildausschnitt ein potentielles Objekt (vgl. ein Mensch, ein Fahrradfahrer, ein Reh etc.) vorliegt, muss dieser Bildausschnitt so technisch beschrieben werden, dass eine numerische Operation einen Vergleich zu einem vorher trainierten Datensatz durchführen kann. Eine Transformation des ursprünglichen Bildausschnittes in ein so genanntes Gradientenbild sowie anschließende Segmentierung in kleine Quadrate ermöglichen es, Bildinformationen so zuverlässig zu beschreiben, dass diese maschinell interpretierbar werden.

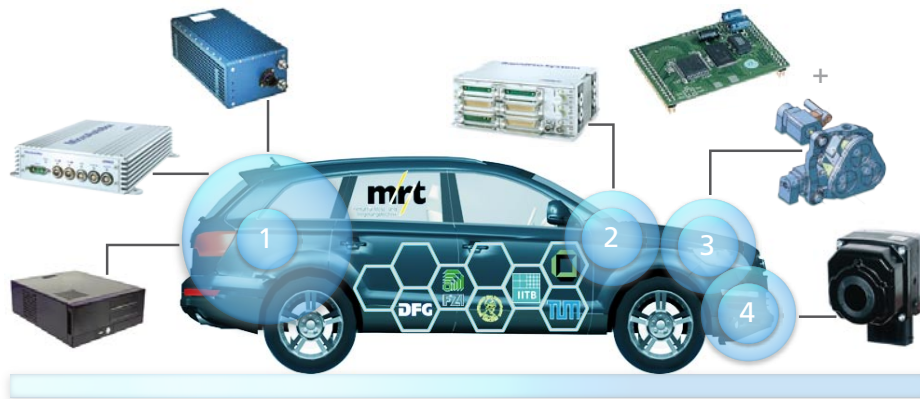
#### **Ausgelagerte Objektverfolgung dank Performanzreserven**

Dank der sehr großzügig dimensionierten Hardwareressourcen der MicroAutoBox lag die Entscheidung

nahe, rechenintensive Operationen, z. B. das Verfolgen von Objekten über die Zeit mittels Bayes'schen Minimum-Varianz-Schätzern, dorthin auszulagern. Im Zuge einer Optimierung konnten sogar mehrere dieser Filterinstanzen parallel zur Ausführung gebracht werden, um die anfänglich nicht bekannte Objektgröße (vgl. Körpergröße eines Menschen) zu schätzen und somit genauer auf die Distanz zwischen Objekt und dem eigenen Fahrzeug schließen zu können. Zudem konnten mittels der schier unbegrenzten Möglichkeiten der MATLAB®/Simulink®-Modellierung sehr einfach und anschaulich die Koordinatensystemtransformationen zwischen der Kamera (2D), dem Fahrzeug (3D) sowie den Lichtaktuatoren (polar) implementiert werden, um letztendlich die gesamte Funktionskette, angefangen von der Sensorseite bis zur finalen lichtbasierten Objektmarkierung, darstellen zu können.

#### **Zusammenspiel dank einheitlicher Sprache**

Um neben der bestehenden Fahrzeugvernetzung via CAN-Bus alle

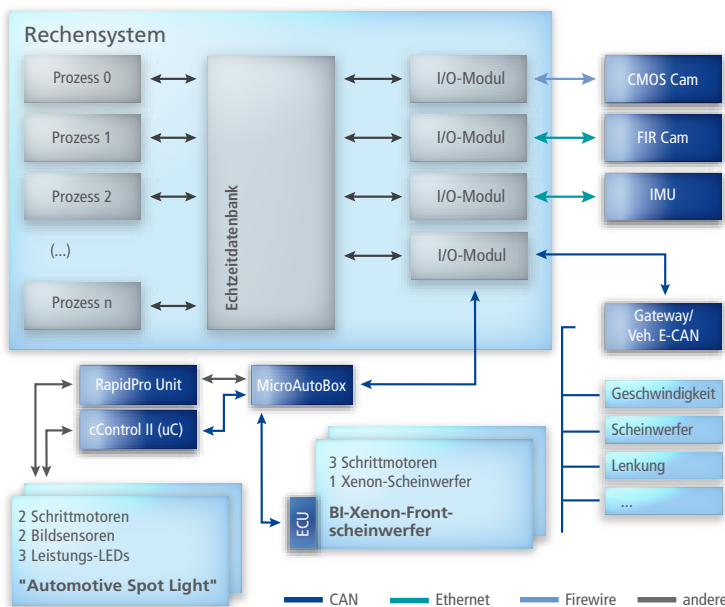


Die im Versuchsträger, einem Audi Q7, verbauten Technikkomponenten. 1) Bildverarbeitung, MicroAutoBox, Inertialmessplattform, 2) Signal-konditionierung (RapidPro), 3) Lichtaktuatorik, 4) FIR-Kamerasystem.

dezentralisierten Komponenten miteinander in Kommunikation zu bringen, wurden alle verfügbaren CAN-Kanäle der MicroAutoBox ausgeschöpft. Ob es die Lichtaktuatoren sind, die jeweils über einen dedizierten Mikrocontroller (der ebenfalls CAN spricht) verfügen, oder ob es die

aktuelle Geschwindigkeit, Position oder Drehrate von der Inertialmess-plattform ist oder gar die zyklisch aktualisierte Objektliste des linux-basierten Hochleistungsrechners – alle diese Nachrichten trafen im Kommunikationsknotenpunkt Micro-AutoBox ein und wurden dort ver-

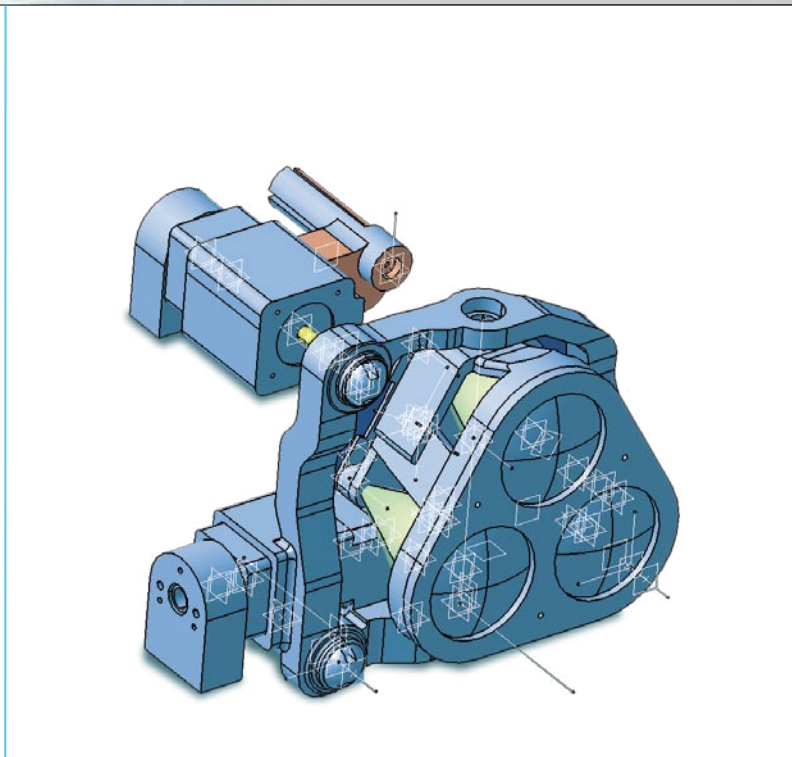
lässlich verarbeitet und gegebenenfalls an einen entsprechenden Kom-munikationspartner weitergeleitet. Diese sehr wertvolle technische Möglichkeit sowie die sehr intuitive Modellierung der Kommunikations-bausteine in MATLAB/Simulink garantierten einen modularen Aufbau sowie eine flexible Anpassung des Gesamtsystems an neue technische Gegebenheiten im Projekt.



### Systemtest im Labor

Um die wertvolle Arbeitszeit in der Entwicklung des Gesamtsystems effizient auszunutzen, kam den Systemtests im Labor eine bedeutende Rolle zu. Hier wurden zum Beispiel zu regelnde Strecken der Lichtaktua-toren identifiziert, um anschließend offline einen geeigneten Regler zu finden und zu parametrisieren. Zudem konnten dank der Aufnahmemög-lichkeit der Echtzeitdatenbank komplette Testfahrten mit allen relevanten Informationen im Labor wiedergegeben werden, was die Abstimmungs-arbeit an den Komponentenschnitt-stellen sehr vereinfachte.

*Prototypischer Aufbau der Systeme für die Objekterfassung, Auswertung und Aktuatorik.*



Mechanischer Aufbau des im Frontscheinwerfer integrierten Aktuators für das markierende Licht.

sche Komplikationen, alle Teilkomponenten verrichteten stabil ihre Dienste. Die freiwilligen Testfahrer waren größtenteils begeistert und sehen einem möglichen Serieneinsatz dieses neuen Lichtsystems bereits heute mit Freuden entgegen. Somit gehört der am KIT realisierte Versuchsträger auf akademischer Ebene zu den ersten seiner Art, der sowohl die Sensorseite als auch die lichtbasierte Markierung der Objekte im Verkehrsfeld anschaulich leisten kann. So wurde schlussendlich aus der ursprünglichen Idee eine „erfahrbare“ Realität. ■

Marko H. Hörter  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Deutschland

### Systemtest an realen Probanden

Wie es in der forschenden Lichttechnik üblich ist, kann nur eine finale Feldstudie über die Sinnhaftigkeit und den Nutzen einer neuen Lichtapplikation entscheiden. Hierzu wird auf das kritischste und feinfühligste aller Messinstrumente zurückgegriffen: den Menschen selbst. 35 freiwillige Probanden kamen so in den Genuss, den bis unter die Dachreling mit Technik ausgestatteten Versuchsträger auf einer abgesperrten Landstraße durch den Pfälzerwald zu bewegen. Messtechnisch ermittelt wurden die so genannte Erkennbarkeitsentfernung sowie ferner die optimale Markierungsstrategie. Die erstgenannte Größe beschreibt die Wegstrecke zwischen Erkennungspunkt des Testobjektes durch den Probanden sowie die Position des Testobjektes im Verkehrsraum. Die zweitgenannte Größe spiegelt das

Verhältnis zwischen periodischmarkierender sowie statischer Anteile der Ausleuchtung der Objekte vor dem Fahrzeug wider.

### Erkenntnis aus der Empirie

Nach statistischer Auswertung aller Daten, die durch die Probanden in das System durch Betätigen der Schaltwippen am Lenkrad eingegeben wurden, kann resümiert werden, dass eine Erhöhung der mittleren Erkennbarkeitsentfernung über alle Testobjekte von bis zu 35 Metern erreicht wurde. Dies bedeutete bei einer Reisegeschwindigkeit von 70 km/h einen Zugewinn an Reaktionszeit für den Fahrer von nahezu 2 Sekunden, gemittelt über alle Testobjekte.

### Markierendes Licht

Die Durchführung der Feldstudie verlief ohne nennenswerte techni-

## Fazit

- Technische Realisierung eines erfahrbaren Gesamtsystems
- Einfache Gesamtsystemintegration dank kompatibler Schnittstellen
- Erfüllte Realzeitanforderung durch Dezentralisierung

### MBE Marko H. Hörter

MBE Marko H. Hörter entwickelte als wissenschaftlicher Mitarbeiter ein erfahrbares Gesamtsystem im Bereich der lichtbasierten Fahrerassistenzsysteme am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Mess- und Regelungstechnik (MRT, Prof. Christoph Stiller) in Karlsruhe, Deutschland.



„Die dSPACE MicroAutoBox bietet enorme Flexibilität und Rechenleistung, um vielfältige Signale zuverlässig zu verarbeiten.“

Marko H. Hörter, KIT