

# **Beitrag zur Robustheitssteigerung videobasierter Fahrerassistenzsysteme durch frühe Rückkopplungen zur Sensorebene**

## **Schwerpunktsitzung „Umfeldwahrnehmung für Fahrzeuge“**

Dipl.-Ing. **Florian Rattei**, Dipl.-Ing. **Matthias Goebel**,  
Prof. Dr.-Ing. **Georg Färber**,  
Lehrstuhl für Realzeit – Computersysteme (RCS), TU München

### **Kurzfassung**

Die Datenverarbeitung in technischen Wahrnehmungsprozessen, wie sie für das Automotive-Umfeld erforderlich ist, erfolgt heute meist hierarchisch über eine Folge unidirektionaler Transformationen, beginnend bei einer elementaren Verarbeitung auf Pixelebene über mehrere Merkmalsebenen hin bis zu Objekten. Das 4D-Modell [1] erlaubt darüber hinaus bei Bildfolgen eine Zustandsschätzung für Merkmale und höher aggregierte Elemente über der Zeit.

Im Gegensatz hierzu gibt es in biologischen Systemen auch Rückkopplungspfade von höheren zu elementaren Verarbeitungsebenen der Wahrnehmung (z.B. [2],[3]), durch die basierend auf Vorwissen und Erwartungsdruck die Empfindlichkeit tiefer liegender Ebenen gesteuert wird („kognitive Wahrnehmung“). Die vorliegende Arbeit überträgt Aspekte dieses Prinzips beispielhaft auf eine videobasierte Assistenzfunktionalität zum Fahrspurtracking und liefert damit Ansätze zu einer robusteren Wahrnehmung der für eine Szene relevanten Objekte. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf einer engeren Einbindung der Sensorebene in Wahrnehmungsprozesse des 4D-Ansatzes. Dies erfordert neben geeigneten Eingriffsmöglichkeiten auf die Sensorebene auch eine Softwarearchitektur, welche eine entsprechende Transparenz zwischen den einzelnen Ebenen und Prozessen ermöglicht. Erste qualitative Auswertungen ermöglichen Aussagen zu Nutzen, Aufwand und Einschränkungen dieser Erweiterung. Darauf aufbauend werden künftige, weitere Kopplungen zwischen den Verarbeitungsebenen vorgeschlagen.

### **1. Erweiterte Systemstruktur zur Wahrnehmung**

Die Struktur des 4D-Ansatzes hat sich bei videobasierten Systemen zur Detektion von Fahrspuren sowie anderen Verkehrsteilnehmern als besonders geeignet erwiesen [4], [5].

Bild 1a zeigt die für das Prinzip wesentliche Rückkopplung von der Objektebene mit Ihren räumlich/zeitlichen Modellen für Objektformen und -bewegungen in einem Zustandsraum zurück auf die Merkmalsebene, wodurch die erwartungsbasierte Positionierung von Messfenstern auf kleinen Suchbereichen im 2D-Bildraum ermöglicht wird.

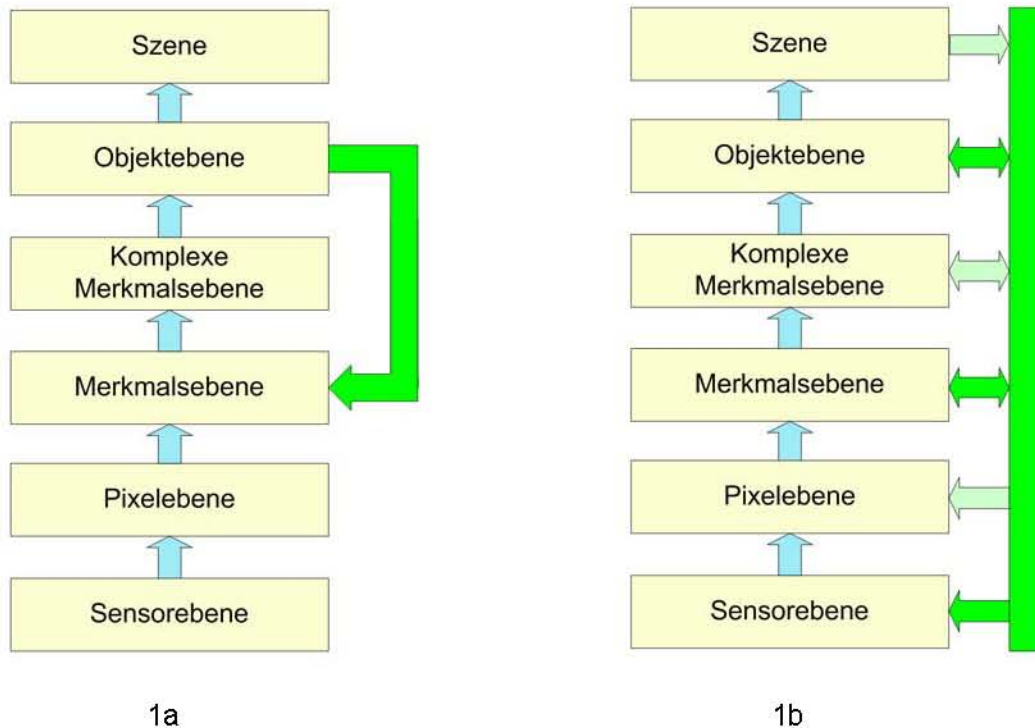


Bild 1: Systemstruktur und deren Erweiterbarkeit

Der 4D-Ansatz stützt damit zum einen eine rechenzeiteffiziente Bildauswertung und vermeidet zum anderen auch die nicht eindeutige Umkehrung der Abbildungsgleichungen, die zudem oftmals schlecht konditioniert ist. In gut strukturierten Szenarien wie Autobahn- und Landstraßenfahrten lässt sich dieses Prinzip des 4D-Ansatzes besonders effizient umsetzen.

Da in überwiegend hierarchischen Ansätzen niedrige Verarbeitungsebenen kaum Wissen über die situationsabhängig wechselnden Anforderungen höherer Ebenen haben können, lässt sich durch eine Erweiterung um zusätzliche Rückkopplungspfade die erreichbare Leistung der gesamten Verarbeitungskette zusätzlich steigern. Abbildung 1b zeigt die Systemstruktur erweitert um zusätzliche Rückkopplungspfade. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf einer Steuerung der Sensorebene durch Rückkopplungen aus der Objektebene schon auf die früheste, unterste Ebene der Wahrnehmungskette. Diese adaptive Sensorparametrierung

kann wiederum Einfluss auf die zur Merkmalsextraktion verwendeten Operatoren haben, wie im weiteren Verlauf ebenfalls diskutiert wird.

## **2. Lokal adaptierte Belichtungsregelung für Kamerasysteme im Fahrzeug**

Bei der Umsetzung eines wirbeltierähnlichen Konzeptes des Sehens im Automobil entstehen neben den Anforderungen einer foveal - peripheren Differenzierung der Bildauflösung durch Weitwinkel- und Telekameras vor allem auch Anforderungen an die Beweglichkeit des Kamerasystems, sowohl zur Realisierung einer aktiven Blickrichtungssteuerung als auch zur inertialen Blickrichtungsstabilisierung und damit zur Nachbildung des vestibulo - okularen Reflexes [6],[7].

Zum einen begrenzen die damit verbundenen hohen Anforderungen an die Bewegungsdynamik (Sakkaden des Menschen erfolgen mit Geschwindigkeiten im Bereich  $100 - 600 \text{ }^\circ/\text{s}$  [8]) das Spektrum einsetzbarer Kameras vor allem auf miniaturisierte und damit leichte CCD/CMOS - Boardlevelkameras mit ebenfalls kleinen und leichten Objektiven. Zum anderen führen eben diese Beschränkungen zu Problemen bei der Anpassung des begrenzten Dynamikumfangs von CCD-/CMOS Sensoren (ca. 55dB) an den oft weitaus größeren Dynamikumfang der Umwelt (max. 160dB, für Automotive-Szenarien relevant sind ca. 110dB). Automatisierbaren Methoden zur schnellen Adaption an wechselnde Leuchtdichten wie etwa steuerbare Irisblenden sind in diesem Kontext bauartbedingte Grenzen gesetzt.

Der Diskrepanz zwischen Kameradynamik und dem Dynamikumfang der Außenwelt wird vor allem durch einen erweiterbaren Dynamikumfang bei speziellen CMOS-Bildsensoren begegnet. Die Ansätze erstrecken sich hierbei von nichtlinearen Quantisierungsfunktionen bei der A/D-Wandlung zur Kontrastanhebung in dunkleren Bildbereichen über stückweise lineare, parametrierbare Empfindlichkeitskurven des Sensors („Multi-Slope Kameras“) bis hin zu logarithmischen Empfindlichkeitskennlinien der einzelnen Sensorelemente bei HDR- Sensoren [9]. Grundsätzlich lässt sich auch bei linearen Sensor-Kennlinien durch Einbindung von Informationen über die auszuwertenden Bildregionen eine für diese Bereiche lokal angepasste Belichtungsregelung umsetzen. In dieser Arbeit wurden die für eine Bildfolgenauswertung nach dem 4D-Ansatz prädefinierten Suchbereiche zur korrelationsbasierten Detektion von Spurmarkierungskanten in die Belichtungsregelung eines geeigneten Sensors eingebunden.

Gegenlichtsituationen wie in den Morgen- und Abendstunden typisch oder auch indirekte Lichtquellen wie beispielsweise stark reflektierende Häuserfronten in Stadtszenarien führen zu großflächigen hellen peripheren Bildbereichen, welche eine histogrammgestützte globale Belichtungsregelung von CCD/CMOS-Kameras dominieren können. Jene Bildbereiche,

welche bei einem Spur- oder Objekttracking einer anschließenden Merkmalsextraktion unterzogen werden, sind bei diesen Regelungskonzepten oft nur anteilig ihrer Fläche am Gesamtbild gewichtet. Dies kann zu einer von der Umgebung induzierten Unterbelichtung relevanter Teilbereiche führen und damit zu einer Merkmalsextraktion in kontrastärmeren Bereichen näher an der Rauschschwelle des Sensors.



Bild 2: Die Bildpaare entstanden zeitgleich mit zwei baugleichen Kameras, die jeweils rechten Aufnahmen unter Verwendung der adaptiven Belichtungsregelung.

Bild 2 verdeutlicht diesen Zusammenhang durch Gegenüberstellung von zwei Bildpaaren. Beide Aufnahmen entstanden über den IEEE-1394 Bus synchronisiert mit zwei weitgehend parallel zueinander ausgerichteten baugleichen Kameras, wobei die Belichtungsregelung für die jeweils rechten Aufnahmen auf den für die Fahrspurerkennung relevanten Bereich dynamisch angepasst wurde. Im rechten Bild deutlich zu erkennen ist eine Überbelichtung und damit ein Detailverlust in den Bereichen mit hohen Leuchtdichten (z.B. Himmel und Häuserfronten), der im Gegenzug mit höheren Kantenkontrasten in den relevanten Bildbereichen (hier der Fahrspuren) einhergeht.

### 3. Parameter der lokalen Belichtungsregelung

Die für die Messungen verwendeten Firewire-Kameraplatten basieren auf einem CMOS – Sensor vom Typ MT9V022 [10], welche über ihre Firmware auch einen vollen Registerzugriff direkt auf den Sensor-IC bieten. Die Belichtungsregelung ist Teil des Sensors und kann von außen ebenfalls über den Firewire-Bus parametrierbar werden. Sie erfolgt histogrammbasiert, indem die Integrationszeit des Sensors über einen P-Regler derart nachgeführt wird, dass eine vorgebbare Bildpunktzahl zu Helligkeitswerten oberhalb einer definierbaren Schwelle im Histogramm führen. Sobald auch durch die längstmöglichen Integrationszeiten (Frametime) die gewünschte Helligkeitsverteilung innerhalb eines Bildes nicht erreicht werden kann, wird das analoge Signal vor der A/D-Wandlung zusätzlich verstärkt.

Diese Regelung kann erweitert werden, indem nicht die gesamte Sensorfläche, sondern von außen definierbare rechteckige Teilbereiche des Sensors („Kacheln“) zu einem pro Kachel einzeln einstellbaren Anteil reduziert zur Histogrammbildung beitragen. Bild 3 verdeutlicht das Grundprinzip bei einer Kachelung in 9 Teilbereiche. Die Koordinaten zur Festlegung der Kachelpositionen werden im Gesamtsystem abhängig von den prädierten Suchbereichen für Fahrspurkanten berechnet und an die Kamera in Form zweier Vektoren  $X_0..X_5$  und  $Y_0..Y_5$  übertragen. Sensorseitig ist die Granularität auf maximal 25 Kacheln begrenzt, demzufolge legen maximal 12 Koordinatenwerte und 25 Kachelgewichte den Beitrag der einzelnen Bildteile am Histogramm fest. Da dieses der kamerainternen Regelung zur Bestimmung der Helligkeit des aktuellen Bildes dient, wird dementsprechend auch die Integrationszeit des Sensors für die nächsten Frames stärker an diese, besonders relevanten Bildbereiche angepasst. Die von den gewählten Kachelgewichten abhängende reduzierte Gesamtpixelanzahl des Histogramms wird für eine äquivalente Festlegung der aktuellen Bildhelligkeit ebenfalls an den Sensor übermittelt.

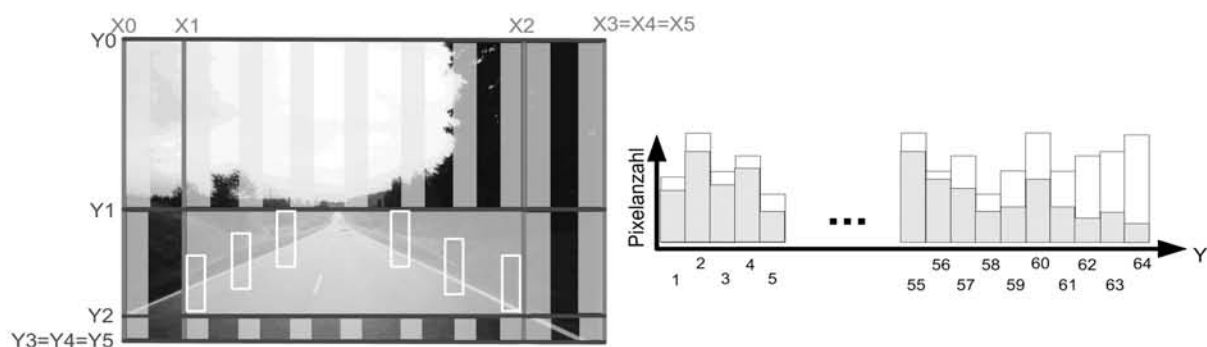


Bild 3: Grundprinzip einer Kachelung der Sensorfläche und gewichteter Histogrammbeitrag.



Während unter der Prämisse eines ebenen und kurvenfreien Fahrbahnlaufs auch eine fester Bildbereich für die Definition der Kachelkoordinaten statisch vorgegeben werden könnte, ermöglicht die umgesetzte dynamische Nachführung der Kachelpositionen grundsätzlich eine vollständig freie Anpassung an sich kontinuierlich ändernde Merkmalspositionen, auch bei Applikationen außerhalb einer Fahrspurerkennung.

#### 4. Technische Umsetzung im Rahmen einer Realzeitdatenbank

Mit einem zunehmenden Informationsfluss zwischen den Ebenen und den damit verbundenen Prozessen steigen auch die Anforderungen an die Softwarearchitektur. Wie in Bild 4 dargestellt erfolgen der Bildeinzug sowie die Kameraparametrierung über eigenständige Module an die im Forschungsprojekt SFB/TR28 „Kognitive Automobile“ [11] verwendeten Realzeit-Datenbank KogMo-RTDB [12], [13].

Die Bilddaten sowie die Kameraparameter und Zustände stehen samt ihrer Historie beliebigen Verarbeitungsapplikationen zur Verfügung. Objekte werden in der RTDB grundsätzlich mit hochgenauen Zeitstempeln gespeichert, dies erleichtert die zeitliche Zuordnung entsprechender Daten. Die Rückführung der geschätzten Fahrspurpositionen auf Objektebene an die IO - Module der Sensorebene wurde ebenfalls über Datenbankobjekte umgesetzt.

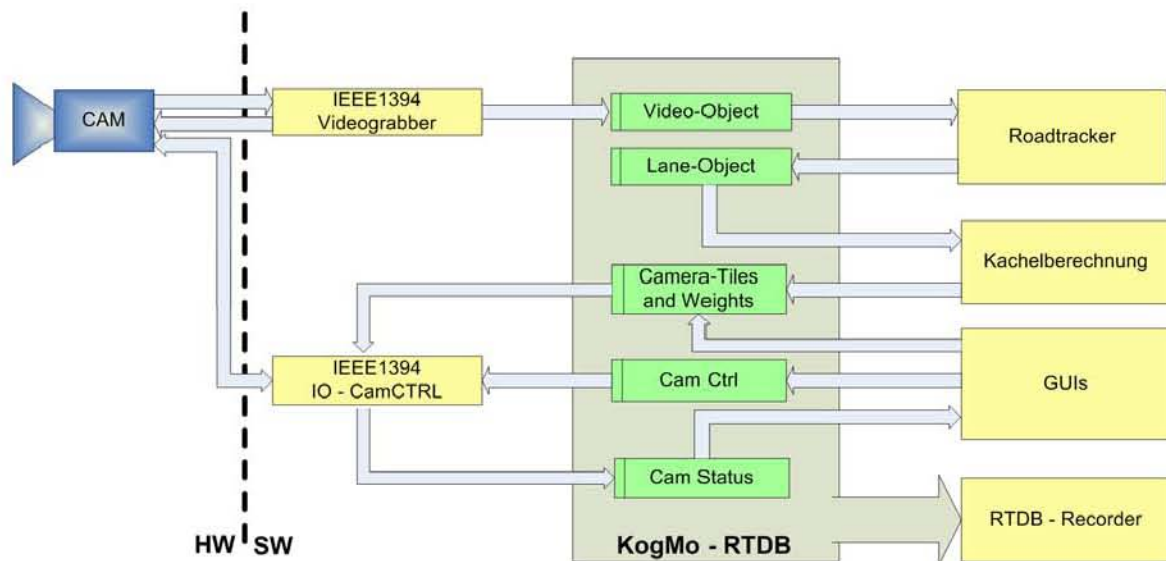


Bild 4: Kommunikation der Verarbeitungsprozesse über die Realzeitdatenbank KogMo-RTDB. Prozesse zur Ansteuerung der beweglichen Kameraplattform im Versuchsträger sowie der Kalibration sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Bei der Entwicklungsarbeit erweist sich vor allem die vollständige Beobachtbarkeit aller Systemzustände in der RTDB sowie die Möglichkeit zur Aufzeichnung und spätere vollständige Reproduzierbarkeit im Labor als zielführend. So sind neben den Bilddaten auch wesentliche Zustände und Parameter der Belichtungsregelung mit deren Historie nicht nur anderen Teilprozessen z.B. zur Online-Qualitätsbeurteilung und Überwachung zugänglich, sondern auch nachträglich analysierbar. Die vollständige Trennung von Benutzerinterface (GUI) und Applikation ermöglicht es, aufgezeichnete Daten mit den selben Werkzeugen zu begutachten. Die reinen Applikationen können zudem in einem Realzeitkontext ausgeführt werden, in dem die KogMo-RTDB die Schnittstelle darstellt.

## 5. Auswertung und Einordnung der Ergebnisse

Qualitative Auswertungen über mehrere Testfahrten haben bisher gezeigt, dass diese Form der lokal-adaptiven Belichtungsregelung im Mittel den Kantenkontrast für die anschließende Spurkantervermessung erhöht. Besonders deutlich wird dies während Messfahrten bei tiefstehender Sonne, welche bei den verwendeten Sensoren ohne Adaption in Grenzfällen eine Lokalisation der Fahrspurmarkierungen gänzlich verhindert. Auch in Szenen geringeren Dynamikumfangs kann ein auf die Belichtungsregelung im Sinne der anschließenden Merkmalsextraktion störend wirkender Einfluss peripherer Bildbereiche reduziert werden.

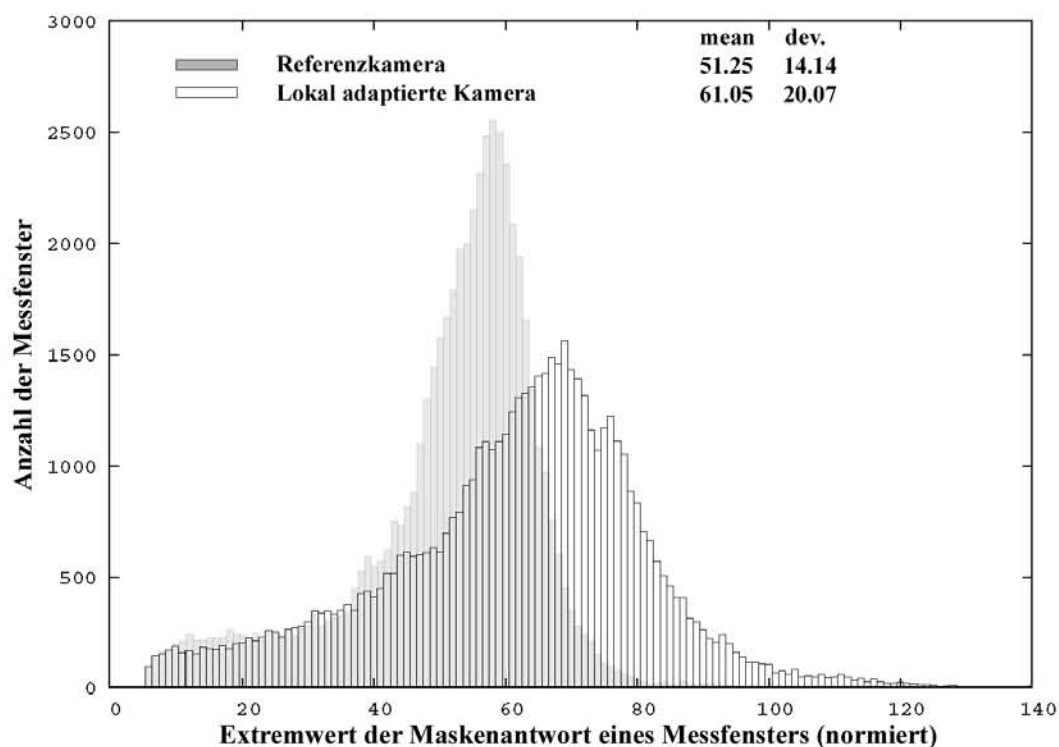


Bild 5: Statistik über die (normierten) Maskenantworten (Basis > 50.000 Messfenster, 10-Bit Sensorauflösung, Merkmalsextraktion in 8-Bit Grauwertbildern).

Das Diagramm aus Bild 5 stellt die in der Spurerkennungsapplikation zur Kantenlokalisierung herangezogenen Extremwerte der Maskenantworten einer Messfahrt bei bedecktem Himmel mittels zweier baugleicher und kalibrierter Kameras in Ihrer Statistik gegenüber. Das der zweiten Verteilung zu Grunde liegende Bildmaterial wurde mit dynamischer Kachelpositionierung bei einer statischen Kachelgewichtung erstellt. Die Bildverarbeitung erfolgt mit identischer Parametrierung zweier parallel betriebener Instanzen des Fahrspurtrackers aus [4]. Die Positionen für die einzelnen Kacheln werden mit jedem Frame neu berechnet, zur Begrenzung der Änderungsdynamik aber in einer zeitlich geglätteten Form an den Bildsensor übermittelt. Nebeneinander liegende Bildbereiche müssen auf Grund der sensorseitigen Begrenzung auf maximal 25 Kacheln aggregiert werden. Nebenbedingungen sorgen dafür, dass die am stärksten gewichteten Bildbereiche definierbare Mindestflächen nicht unterschreiten und eine Mindestanzahl an Pixel im Gesamthistogramm gewährleistet bleibt. Die Gewichtung der einzelnen Kacheln erfolgte einmalig vor Beginn der Messfahrt basierend auf empirisch gefundenen Werten.

Bei der Messfahrt wurden je Kamera ca. 50.000 Messfenster ausgewertet. Die Korrelationsmasken des Spurtrackers werden in ihrer Breite entfernungsabhängig parametrieren, da die Spurmarkierungen mit zunehmenden Abstand zum Eigenfahrzeug kleiner in den Bildraum abgebildet werden. Um dennoch die Vergleichbarkeit der Maskenantworten sicherzustellen, wurden diese in Abhängigkeit der jeweiligen Maskengröße normiert ausgegeben. Betrachtet man die Mittelwerte beider Verteilungen, so zeigt sich bei der betrachteten Messfahrt ein im Mittel um 10 Grauwertstufen erhöhter Kontrast zwischen den eine Spurkante begrenzenden Flächen. Die absoluten Werte mehrerer Testfahrten sind in hohem Maße szenenabhängig, weshalb explizit auf die qualitative Natur der Ergebnisse hingewiesen sei.

Keine Verbesserungen gegenüber einer globalen Belichtungsregelung können prinzipbedingt bei einem hohen Dynamikumfang bereits innerhalb der für die Bildverarbeitung relevanten Bildbereiche erzielt werden. Bei Dämmerungsfahrten hat sich gezeigt, dass Bremslichter dicht vorausfahrender Fahrzeuge ebenso wie Scheinwerfer des Gegenverkehrs eine auf verkehrsrelevante Bereiche adaptierende Belichtungsregelung in hohem Maße negativ beeinflussen. Die zunehmende Modulation der Lichtsignale modernerer Fahrzeugtypen sind für das menschliche Auge per se nicht wahrnehmbar, wirken sich im Wechselspiel mit der Bildfrequenz einer Kamera aber deutlich auf die histogrammbasierte Belichtungsregelung aus.



Zudem muss berücksichtigt werden, dass die Wirkung einer nach lokalen Kriterien angepassten Kameraempfindlichkeit das Gesamtbild stets global verändert. Die evaluierte Methode kann den Dynamikumfang einer Kamera nicht ausweiten, sie trägt lediglich dazu bei, einen für die anschließende Merkmalsextraktion relevanten Teilbereich einer Szene stärker zu gewichten. Der Dynamikumfang der Bildbereiche zur Fahrspurverfolgung hat sich in vielen Szenen als deutlich geringer als jener des Gesamtbildes herausgestellt und wird durch Adaption der Sensorempfindlichkeit auf diesen Bereich besser erfassbar. Mehrkamerasysteme ermöglichen grundsätzlich auch eine vom biologischen Vorbild dann allerdings abweichende Funktionsaufteilung zwischen der meist globalen Suche nach neuen Merkmalen zur Erstellung von Objekthypothesen und deren anschließenden lokalen Verfolgung über der Zeit.

## **6. Zusätzliche Kopplungen zwischen den Verarbeitungsebenen / Ausblick**

Stützen sich videobasierte Assistenzfunktionalitäten zur Kantenvermessung vor allem auf korrelationsbasierte Verfahren, so ermöglicht eine engere Kopplung von Objektebene, Merkmalsebene und Sensorebene eine Adaption sowohl der Kameraparameter als auch der Korrelationsmasken. Grundsätzlich gilt, dass der Korrelationsoperator bei einem „Matched Filter“ den maximalen Korrelationswert erzeugt. Da die erwartete Merkmalsform aber auch von der Belichtungsregelung abhängt, können diese Kameraparameter auch bei der Maskengenerierung berücksichtigt werden.

Abhängig von der eingeregeltten Integrationszeit eines Bildes in der RTDB können ternäre Korrelationsmasken zur Kantenvermessung durch die Variation ihrer Nullspalten an eine erwartete Unschärfe der Bildkanten angepasst werden. Diese Bewegungsunschärfe wiederum hängt neben der Integrationszeit des Sensors von der Kantenorientierung, der Eigenbewegung des Fahrzeug sowie der (schätzbaren) Bewegung von nichtstatischen Fahrbahnobjekten ab. Dominierende Einflüsse durch das Fahrzeugnicken können entweder abhängig von der Ableitung eines ebenfalls geschätzten Fahrzeugnickenwinkels berücksichtigt werden, oder bei Einsatz einer inertial stabilisierten Kameraplattform schon bei der Bildentstehung deutlich reduziert werden.

Falls die maximal mögliche Integrationszeit des Sensors in der aktuellen Szene nicht ausreicht, die Empfindlichkeit an die Lichtverhältnisse einer Szene anzupassen, bewirkt ein analoger Verstärkungsfaktor eine bessere Ausnutzung des Eingangsbereichs bei der sensorseitigen A/D - Wandlung. Da dabei auch das Rauschen mitverstärkt wird, können von diesem Verstärkungsfaktor abhängig größere und damit weniger rauschensitive Korrelationsmasken aufgesetzt werden.

Grundsätzlich bietet der verwendete Sensor durch eine über Kniepunkte parametrierbare stückweise lineare Empfindlichkeitskennlinie auch die Möglichkeit, den Dynamikumfang der Kamera auszuweiten. Ein geeignetes Verfahren zur Belichtungsregelung bei stückweise linearen Kennlinien wurde in [14] vorgestellt. Auch hier ist eine Erweiterung des Ansatzes durch selektivere Gewichtung relevanter Bildbereiche bei der Histogrammerstellung denkbar.

Um die Robustheit und Verlässlichkeit eines Kognitiven Automobils zu steigern, werden Zuverlässigkeitsmaße für alle generierten Daten von der Wahrnehmung über die Planung bis hin zur Handlungsebene des Fahrzeugs erforderlich. Auch hierbei kann die Sensorebene einbezogen werden, beispielsweise ermöglicht eine an den Grenzen Ihrer jeweiligen Stellgrößen arbeitende Belichtungsregelung eine Aussage über die mögliche Erkennungsleistung und damit auch des Vertrauens, welches man neu detektierten Merkmalen für eine Innovation interner Systemzustände entgegenbringen kann.

Für eine systematische Auswertung der Wahrnehmungsgüte bei verschiedenen Tageszeiten und Witterungsverhältnissen werden aktuell weitere Messfahrten durchgeführt und mittels der RTDB protokolliert und ausgewertet.

### **Danksagung**

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Sonderforschungsbereich/Transregio 28 „Kognitive Automobile“ und allen Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit.

### **Literaturverzeichnis:**

- [1] E.D. Dickmanns: „The 4d-approach to dynamic machine vision“, in 33<sup>rd</sup> IEEE Conf. on Decision and Control, Lake Buena Vista, Florida, 1994
- [2] Majid Mirmehdi, Phil. L. Palmer, Josef Kittler, and Homan Dabis: “Feedback control strategies for object recognition”, in IEEE Transactions on Image Processing, 8 (8), August 1999
- [3] P.S. Sastry, S. Shah, S. Singh, K.P. Unnikrishnan: “Role of feedback in mammalian vision: a new hypothesis and a computational model”, in “Vision Research”, Volume 39, page 131-148, 1999
- [4] Stephan Neumaier und Georg Färber: „Videobasierte Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen“, in *2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*, München, TÜV Akademie, April 2006.

- [5] Stephan Neumaier, Philipp Harms, und Georg Färber: „Videobasierte Umfelderkennung zur Fahrerassistenz“, in *4. Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS2006*, Löwenstein, Oktober 2006.
- [6] M. Pellkofer, M. Lützel, and E.D. Dickmanns. „Vertebrate-type perception and gaze control for road vehicles“. In R.A. Jarvis and A. Zelinski, editors, *Robotics Research, The Tenth International Symposium*, pages 271 - 288, Springer-Verlag, 2003.
- [7] J. Schiehlen. „Kameraplattformen für aktiv sehende Fahrzeuge“. Dissertation, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Universität der Bundeswehr München (UniBwM), 1995.
- [8] Kömpf, D. und Heide, W. „Zentralnervöse Strukturen – two goals, two modes, six systems. Eine Einführung“. In A. Huber und D. Kömpf (Eds.), *Klinische Neuroophthalmologie* (pp. 48-57). Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1998.
- [9] B. Hoefflinger. "High-Dynamic-Range (HDR) Vision". Springer Series in Advanced Microelectronics 26. Springer-Verlag, 2007
- [10] Micron Technology, Inc. <http://www.micron.com>
- [11] Sonderforschungsbereich Transregio 28: "Kognitive Automobile". <http://www.kognimobil.org>
- [12] Matthias Goebel and Georg Färber: "A Real-Time-capable Hard- and Software Architecture for Joint Image and Knowledge Processing in Cognitive Automobiles". In *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pages 734 - 740, 2007.
- [13] Matthias Goebel and Georg Färber. "Eine realzeitfähige Softwarearchitektur für kognitive Automobile". In *Autonome Mobile Systeme 2007*, im Druck. Springer Verlag, 2007
- [14] Simon Schulz, Marcus Grimm, Rolf-Rainer Grigat. „Using Brightness Histogram to perform Optimum Auto Exposure“. In *WSEAS Transactions on System and Control*, Volume 2, Issue 2, February 2007.