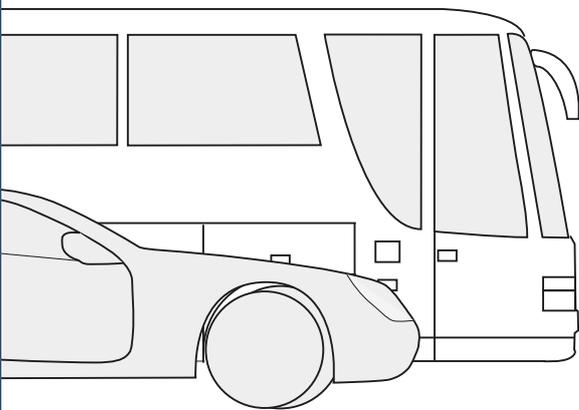
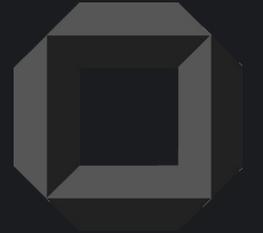


# Systemarchitekturen zur Gewährleistung sicherer und Ressourcen schonender Mobilität im Straßenverkehr



Workshop zum gleichnamigen  
Landesforschungsschwerpunktprogramm  
Baden-Württemberg

Reisensburg, 15. Juli 2005



## **Universität Ulm Fakultät für Ingenieur- wissenschaften:**

Abt. Allgemeine Elektrotechnik  
und Mikroelektronik  
Prof. A. Rothemel

Abt. Energiewandlung und  
-speicherung  
Prof. H. Kabza

Abt. Mess-, Regel- und  
Mikrotechnik  
Prof. K. Dietmayer

Abt. Organisation und Manage-  
ment von Informationssystemen  
Prof. H.P. Großmann

## **Universität Ulm Fakultät für Informatik**

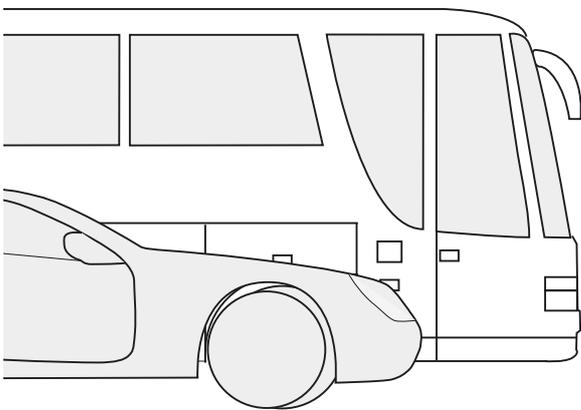
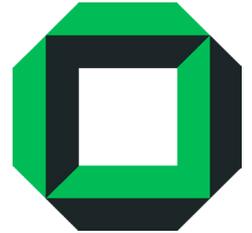
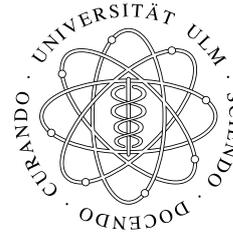
Abt. Neuroinformatik  
Prof. H. Neumann

## **Universität Karlsruhe (TH)**

Institut für Mess- und  
Regelungstechnik  
Prof. C. Stiller



# Systemarchitekturen zur Gewährleistung sicherer und Ressourcen schonender Mobilität im Straßenverkehr



Workshop zum gleichnamigen  
Landesforschungsschwerpunktprogramm  
Baden-Württemberg

Reisensburg, 15. Juli 2005

## **Universität Ulm Fakultät für Ingenieur- wissenschaften:**

Abt. Allgemeine Elektrotechnik  
und Mikroelektronik  
Prof. A. Rothermel

Abt. Energiewandlung und  
-speicherung  
Prof. H. Kabza

Abt. Mess-, Regel- und  
Mikrotechnik  
Prof. K. Dietmayer

Abt. Organisation und Manage-  
ment von Informationssystemen  
Prof. H.P. Großmann

## **Universität Ulm Fakultät für Informatik**

Abt. Neuroinformatik  
Prof. H. Neumann

## **Universität Karlsruhe (TH)**

Institut für Mess- und  
Regelungstechnik  
Prof. C. Stiller



## Vorwort

Der private PKW wird auf absehbare Zeit der dominierende Verkehrsträger im Personenverkehr bleiben. Es ist abzusehen, dass die Fahrzeugdichte in Zukunft sogar noch weiter steigen wird. Umso wichtiger ist es, durch innovative technische Lösungen einen schonenden Verbrauch der Ressourcen sicherzustellen.

Technische Ansätze zur Lösung dieser Problematik können prinzipiell in zwei Richtungen zielen, zum einen auf eine Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Fahrerassistenzsysteme und zum anderen auf Methoden zur Verbesserung des Verkehrsflusses sowie einer verbrauchsoptimierten Fahrzeugsteuerung. Diese auf den ersten Blick recht unterschiedlichen Aspekte lassen sich bei näherem Hinsehen auf ein Grundproblem zurückführen: die Gewinnung möglichst genauer Informationen über das nähere Fahrzeugumfeld, die Streckenführung und die aktuelle Verkehrslage sowie der geeigneten Zusammenführung, Verarbeitung und Repräsentation der Informationen im Fahrzeug.

Im Rahmen eines Verbundprojekts zwischen der Universität Ulm und der Universität Karlsruhe (TH) wurden die Methoden und Verfahren zur Umsetzung dieser Vision mit folgenden Schwerpunktthemen erfolgreich vorangetrieben:

- Kodierung und Repräsentation von Video- und Umgebungsdaten im Fahrzeugrechner
- Aufmerksamkeitssteuerung zur adaptiven Sensordatenverarbeitung
- Fahrzeugumfelderfassung mit Multisensorsystemen
- Systemarchitekturen und Übertragungsprotokolle zur Datenkommunikation in und zwischen Fahrzeugen
- Vernetzte Sensierung des Fahrzeugumfelds
- Strategien zur verbrauchsoptimierten Fahrweise unter Ausnutzung von Umgebungswissen

Der vorliegende Tagungsband fasst die Ergebnisse des zweijährigen Projekts zusammen, die im Rahmen des Projektabschlussworkshops am 15. Juli 2005 der Öffentlichkeit präsentiert wurden. Die Projektteilnehmer hoffen, damit manche Anregung für weiterführende Arbeiten auf diesem Gebiet geben zu können.

Der Dank der Projektteilnehmer gilt dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Baden-Württemberg, das das Projekt im Zeitraum vom 01. Juli 2003 - 30. Juni 2005 unter dem Az: 23-7532.24-12-19/3 maßgeblich gefördert hat.

Ulm, im Juli 2005

Prof. Klaus Dietmayer



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Methoden zur Kompression und Repräsentation von Videodaten in Fahrzeuganwendungen</b>	<b>7</b>
<i>R. Schreier, A. Rothermel</i>	
<b>Aufmerksamkeitssteuerung zur adaptiven Sensordatenverarbeitung</b>	<b>13</b>
<i>M. Clauss, P. Bayerl, H. Neumann</i>	
<b>Low-Level Sensorfusion von Video- und Entfernungsmessdaten zur robusten Umfelderkennung in Straßenverkehrsszenen</b>	<b>17</b>
<i>N. Kämpchen, K. Dietmayer</i>	
<b>Netzwerkarchitekturen und -protokolle zum flexiblen, selbstkonfigurierenden Datenaustausch zwischen Fahrzeugen</b>	<b>23</b>
<i>Y. Günter, H.P. Großmann</i>	
<b>Vernetzte Sensierung des Fahrzeugumfelds</b>	<b>29</b>
<i>K. Tischler, C. Stiller</i>	
<b>Strategien zum verbrauchsoptimierten Betrieb alternativer und konventioneller Fahrzeugantriebe unter Nutzung von Umgebungswissen</b>	<b>35</b>
<i>M. Stiegeler, D. Nachbauer, S. Rohr, H. Kabza</i>	



# Methoden zur Kompression und Repräsentation von Videodaten in Fahrzeuganwendungen

*Ralf M. Schreier und Albrecht Rothermel \**

**Zusammenfassung:** Bildgebende Fahrerassistenzsysteme spielen in der Fahrzeugumfelderfassung und Insassenüberwachung eine immer größere Rolle, da sie durch die hohe zeitliche und örtliche Auflösung bei moderaten Sensorkosten eine kostengünstige Realisierung vieler Funktionen ermöglichen. Die anfallenden großen Datenmengen müssen allerdings direkt am Sensor ausgewertet, oder über analoge Videoleitungen im Fahrzeug verteilt werden. Für eine digitale Übertragung mehrerer Videosignale über Bussysteme (MOST, Firewire) wäre eine zusätzliche Datenreduktion notwendig, die nach aktuellem Stand der Technik eine inakzeptable Verzögerung von mehreren hundert Millisekunden verursachen würde.

Die Ziele dieses Teilprojekts sind die Entwicklung der theoretischen Grundlagen für die komprimierte Videoübertragung mit niedriger Latenzzeit und die Realisierung eines echtzeitfähigen Demonstrators mit einer Latenzzeit unter 100 ms.

## 1 Einleitung

Prinzipiell können Videostandards in die Gruppen einzelbildbasiert (z.B. Motion-JPEG, JPEG2000 [1], MPEG intracodiert) und zeitlich prädiziert (z.B. MPEG-1/2/4, H.264 [2][3]) eingeteilt werden. Im Vergleich mit der Intracodierung ermöglicht die zeitliche Prädiktion aus dem vorhergehenden Bild (IP-Codierung) ungefähr eine Halbierung der Datenrate ohne zusätzliche Latenzzeit.

Bei allen gebräuchlichen Verfahren wird bei der Encodierung zunächst eine 2-dimensionale Transformation der Bildinformation in den Frequenzbereich durchgeführt, anschließend werden die Koeffizienten mit frequenzabhängiger Genauigkeit quantisiert (Abb. 1). Für die Transformation werden je nach Standard eine diskrete Cosinustransformation (JPEG, MPEG, H.264) oder eine Wavelettransformation (JPEG2000) verwendet.

Für die zeitliche Prädiktion wird die Verschiebung kleiner Bildbereiche mit Referenz zu vorherigen oder zukünftigen Bildern berechnet. Im Gegensatz zur Intracodierung werden in diesem Fall nur das Differenzsignal nach der Bewegungskompensation und die zugehörigen Bewegungsvektoren übermittelt.

---

\*Abt. Allgemeine Elektrotechnik und Mikroelektronik, Universität Ulm, 89081 Ulm. (e-mail: ralf.schreier@uni-ulm.de)

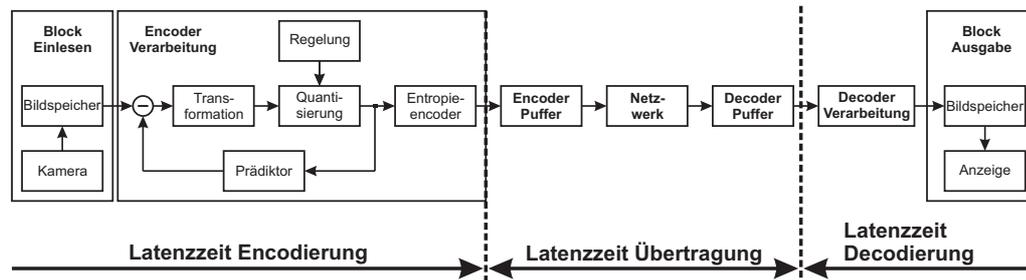


Abbildung 1: Modell komprimierte Videoübertragung.

## 2 Latenzzeitoptimierung Übertragung

Die Latenzzeit bei der komprimierten Bildübertragung kann nach Abb. 1 in die Anteile für Encodierung, Übertragung und Decodierung gegliedert werden, die größtenteils unabhängig optimiert werden können. Für die Optimierung der übertragungsbedingten Latenzzeit muss zunächst das Verhalten der Datenstrompuffer von Encoder und Decoder im Zusammenhang mit einem zeitlich variierenden Datenaufkommen betrachtet werden.

In konventionellen Systemen dominiert die übertragungsbedingte Latenzzeit, da die Schwankungen im Informationsgehalt der Bilder durch große Puffer ausgeglichen werden. Bei Standardparametern (1.8 Mbit Puffer, 4 Mbit/s Datenrate) ergibt sich z.B. eine Pufferlatenz von  $1.8 \text{ Mbit} / 4 \text{ Mbit/s} = 0.45 \text{ s}$ . Diese Latenz wird im folgenden als Ausgleichsintervall definiert, indem eine konstante Datenmenge erzeugt wird:

$$T_{\text{Ausgleich}} = \frac{\text{Puffergröße}}{\text{Datenrate}}$$

Das lange Ausgleichsintervall wird bei der konventionellen IP-Codierung benötigt, da für die Resynchronisation und Fehlerkorrektur intracodierte Stützbilder im Abstand von ca. 0.5 s eingefügt werden, deren hohes Datenaufkommen im Ausgangspuffer über die folgenden prädiktiv codierten Bilder verteilt wird, um eine konstante Datenrate zu erzielen.

Bei einer konstanten Datenratenmenge pro Bild kann die Länge des Ausgleichsintervalls und damit die Pufferlatenz reduziert werden. Dabei sollte das Datenaufkommen im Ausgleichsintervall bereits ohne aktive Regelung möglichst konstant sein, was z.B. bei der ineffizienten Intracodierung der Fall ist. Es ist jedoch auch möglich, die intracodierten Macroblöcke wie in Abb. 2 dargestellt in prädiktive Bilder einzubetten [4], wobei der komplette Bildaufbau innerhalb eines definierten Zeitintervalls sicherstellt werden kann. Mittels einer bewegungsadaptiven Anpassung dieses „Intra Refresh“ Verfahrens können intracodierte Schutzbereiche entlang der Kanten der prädiktiv codierten Bildbereiche vermieden werden, was im Rahmen des Projektes mit den H.264 und MPEG-2 Video-standards verifiziert wurde.

Durch die Verwendung des „Intra Refresh“ Verfahrens kann das Ausgleichsintervall auch bei einer prädiktiven Codierung auf ein Bild reduziert werden bei deutlich verbesserter

Bildqualität im Vergleich zur Intracodierung. Der klassische Ansatz einer Regelung der Datenrate über den Füllstand des Ausgangspuffers hat sich bei diesem Verfahren allerdings als unbrauchbar erwiesen. Da für die Low-Delay Übertragung möglichst kleine Datenstrompuffer im Encoder und Decoder verwendet werden müssen, wird momentan eine Regelung entwickelt, die diesen verschärften Anforderungen gerecht wird und eine konstante Datenrate bei maximaler Bildqualität sicherstellt.

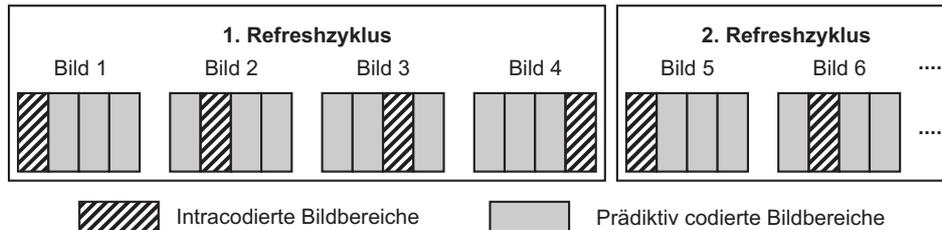


Abbildung 2: Eingebettete Übertragung von intracodierten Bildbereichen.

Eine weitere Reduktion der Übertragungslatenzzeit kann erreicht werden, indem die Datenmenge in kürzeren Zeitintervallen als einem Bild konstant gehalten wird. Da der Informationsgehalt innerhalb eines Bildes variiert, muss bei Verfahren mit minimalem Ausgleichsintervall allerdings ein Kompromiss bzgl. einheitlicher Bildqualität und Latenzzeit eingegangen werden.

### 3 Latenzzeitoptimierung Encodierung und Decodierung

Abb. 3 stellt den zeitlichen Ablauf für ein System mit einer Blockgröße von einem Vollbild bei einer Bildfrequenz von 25 Hz dar. Es werden eine konstante Datenmenge pro Bild und ein Übertragungskanal mit konstanter Bandbreite sowie vernachlässigbarer Verzögerung angenommen.

Bei diesem System ergibt sich eine Latenzzeit von 40 ms zwischen der Abtastung des ersten Pixels bis zum Beginn der Verarbeitung. Unter der Annahme eines Echtzeitsystems muss die Encodierung des Bildes im gleichen Zeitraum erfolgen. Bei einem Ausgleichsintervall von einem Bild und vernachlässigbarer Latenz des Bussystems kann die Übertragung im Zeitintervall  $t = 80 \text{ ms}$  bis  $t = 120 \text{ ms}$  erfolgen. Die Decodierung beginnt, sobald das Bild vollständig im Empfangspuffer vorliegt und muss nach weiteren 40 ms abgeschlossen sein. Für dieses einfache Verfahren resultiert folglich eine theoretische Latenzzeit von 160 ms. Durch eine Übertragung im Zeilensprungverfahren können die Zeiten prinzipiell halbiert werden, allerdings sind diese Bilder für LC-Displays und Bilderkennungssysteme nicht geeignet.

Alle folgenden Überlegungen beziehen sich auf progressive Videosignale mit 25 Bildern pro Sekunde bei D1-Auflösung (720 Pixel \* 576 aktive Zeilen).

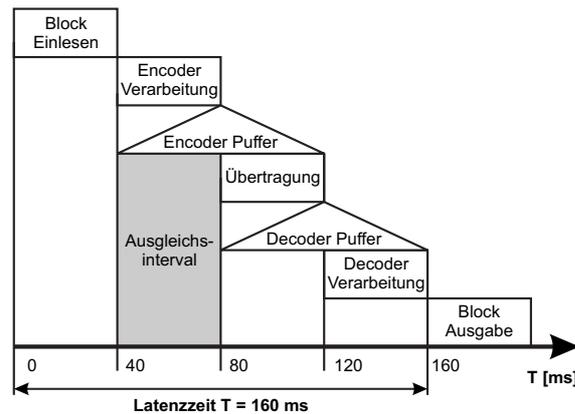


Abbildung 3: Übertragung mit 40 ms Ausgleichsintervall.

Die aktuell verfügbaren Videostandards arbeiten mit Blockgrößen von weniger als einem Bild, weshalb mit der Encodierung bereits früher begonnen werden kann. Für die MPEG-Standards ergibt sich aus den  $16 * 16$  Pixeln großen Macroblöcken eine minimale Encoderlatenz von 16 Videozeilen, entsprechend 1 ms. Bei JPEG2000 kann z.B. eine günstige Tilesize von 128 Spalten \* 32 Zeilen mit einer Latenz von 2 ms gewählt werden. Auf der Decoderseite kann durch eine blockbasierte Verarbeitung mit der Ausgabe schon während der Decodierung des Bildes begonnen werden.

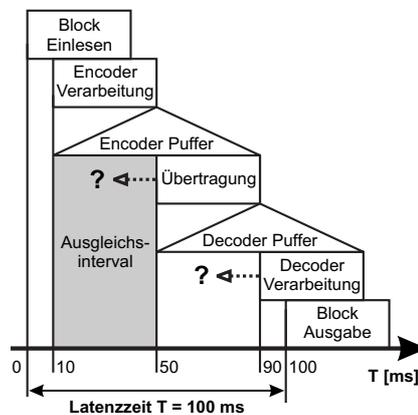


Abbildung 4: Optimierungspotentiale für die komprimierte Videoübertragung.

In Abb. 4 ist möglicher Zeitablauf für eine Übertragung mit 100ms Latenzzeit dargestellt. Potentiale für weitere Optimierungen liegen in der Verkürzung des Ausgleichsintervalls wodurch ein früherer Start der Übertragung ermöglicht wird. Durch nicht-standardgemäße Decodierung kann theoretisch sogar mit der Decodierung frühzeitig begonnen werden, bevor das Bild vollständig im Empfänger vorliegt. Dieses Verfahren stellt allerdings sehr hohe Ansprüche an die Steuerung des Encoders, welche die rechtzeitige Verfügbarkeit der Daten am Encoder gewährleistet.

## 4 Zusammenfassung der Optimierungsansätze

- Die übertragungsbedingte Latenzzeit kann durch ein kurzes Ausgleichsintervall reduziert werden, was durch eine Intra-codierung oder die Einbettung der intracodierten Macroblöcke in prädiktiv codierte Bilder erreicht werden kann. Das untere Limit für die Übertragungslatenz liegt bei ca. 40 ms für progressive 25 Hz Videosignale.
- Die algorithmische Latenzzeit der Encodierung und Decodierung können durch blockbasierte Verarbeitung jeweils auf wenige Millisekunden reduziert werden.
- Bei nicht-standardgemäßer Decodierung kann mit der Decodierung vor dem Ende der Übertragung eines Bildes begonnen werden, falls der Encoder die Verfügbarkeit der Daten gewährleistet.
- Die aktuellen Forschungsergebnisse legen den Schluss nahe, dass durch die Kombination eines Intra-Refresh Verfahrens mit einer optimierten Regelung und Algorithmen Latenzzeiten unter 100 ms für progressive 25 Hz Videosignale erreicht werden können.

## Literatur

- [1] ISO/IEC Copyright Office, International Standard ISO/IEC FCD 15444-1: JPEG 2000 Image Coding System, Genf, Schweiz, 2000
- [2] ISO/IEC Copyright Office, International Standard ISO/IEC 13818-2: Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video. First edition, Genf, Schweiz, 1996.
- [3] International Telecommunication Union ITU-T H.264: Advanced video coding for generic audiovisual video, Genf, Schweiz, 2003
- [4] T. D. Tran, Kuo Liu Lurng, P.H. Westerink: Low-delay MPEG-2 video coding. In: Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng. (USA), USA: SPIE-Int. Soc. Opt. Eng, vol. 3309, 1997 pp. 510-16.



# Aufmerksamkeitssteuerung zur adaptiven Sensordatenverarbeitung

*M. Clauss<sup>\*</sup>, P. Bayerl<sup>†</sup> und H. Neumann<sup>‡</sup>*

**Zusammenfassung:** Im Rahmen eines gemeinsamen durch das Land Baden-Württemberg geförderten Projektes der Universitäten Ulm und Karlsruhe werden Algorithmen zur komprimierten Videoübertragung, Aufmerksamkeitssteuerung, Umfelderkennung durch Sensorfusion, Inter-Fahrzeug-Kommunikation, Umfeldbeschreibung vernetzter Fahrzeuge und zur prädiktiven Fahrzeug-Steuerung untersucht.

Der Schwerpunkt unserer Arbeiten liegt im Bereich der Aufmerksamkeitssteuerung. Hierzu wurde betrachtet, wie sich auffällige Bereiche in optischem Fluss definieren und effizient detektieren lassen.

## 1 Einleitung

Im Automotive Bereich wird derzeit der binokularen Bildverarbeitung viel Forschungsinteresse gewidmet. Unsere aktuellen Arbeiten konzentrieren sich auf monokulare Graustufenbilder und die Untersuchung, wie zuverlässig relevante Daten aus dieser einfachen Datenquelle extrahiert werden können. Bereits diese simple Quelle liefert mehr Daten, als die Rechenleistung für eine vollständige Verarbeitung zulässt. Daher besteht die Notwendigkeit, die Berechnungen auf gezielte saliente Regionen zu konzentrieren, welche für ein Automotive Szenario von Bedeutung sind.

Ziel der Aufmerksamkeitssteuerung ist es, diese relevanten Regionen (ROI, Regions of interest) effizient zu detektieren, um dort gezielt mehr Rechenleistung einbringen zu können. In der Vergangenheit wurden Computermodelle [3][9] zur Berechnung von ROIs vorgestellt. Diese Modelle arbeiten jedoch vorwiegend auf Einzelbildern und beziehen keine optische Bewegungsinformation mit ein. Wir konzentrieren uns darauf, aus dem optischen Fluss [6] saliente Bildbereiche zu bestimmen. Im Fall eines sich beliebig bewegenden Beobachters, wie bei einem Fahrzeug, können saliente Bildbereiche in zwei Kategorien eingeteilt werden: Sich unabhängig bewegende Objekte (IMOs, independently moving objects) einerseits, andere Fahrzeuge beispielsweise, und feststehende Hindernisse andererseits. Für beide Problemklassen ist die Kenntnis der Eigenbewegung des Beobachters erforderlich. Viele Ansätze schränken daher zur Vereinfachung die Eigenbewegung ein [8] oder bedienen sich zusätzlicher Sensorik [10][1]. Im Rahmen unserer

---

<sup>\*</sup>Abteilung Neuroinformatik, Universität Ulm, 89081 Ulm (e-mail: martin.clauss@uni-ulm.de).

<sup>†</sup>Abteilung Neuroinformatik, Universität Ulm, 89081 Ulm (e-mail: pierre.bayerl@uni-ulm.de).

<sup>‡</sup>Abteilung Neuroinformatik, Universität Ulm, 89081 Ulm (e-mail: heiko.neumann@uni-ulm.de).

Arbeiten wird die Eigenbewegung bis auf einen dem Problem inhärenten skalaren Faktor mittels einer Unterraummethode von Heeger und Jepson [4] ebenfalls aus dem optischen Fluss bestimmt.

## 2 Sich unabhängig bewegende Objekte (IMOs)

Bereits bei einer starren Umgebung stellt die Berechnung der Eigenbewegung für einen sich beliebig bewegenden Beobachter eine nicht triviale Aufgabe dar. IMOs erschweren die Ermittlung der Eigenbewegung weiter zu einem "Henne-Ei-Problem": Die Präsenz von IMOs verfälscht die geschätzte Eigenbewegung, welche andererseits notwendig ist um IMOs zu detektieren und von der Bewegungsschätzung auszunehmen. Wir folgten dem Vorschlag von Pauwels und van Hulle [7], welcher iterativ IMOs aus dem optischen Fluss entfernt, indem wiederholt die Eigenbewegung geschätzt wird, und Ausreißer unterdrückt werden. Für jeden Flussvektor wird aus dem Winkel zwischen dem entsprechenden Flussvektor und dem Vektor, der vom geschätzten Expansionspunkt (focus of expansion, FOE) zum Ort des Flussvektors zeigt die Güte ermittelt, wie gut er zur geschätzten Eigenbewegung passt. Durch diesen iterativen Ansatz erhalten wir gleichzeitig Kenntnis über die Bewegung des Beobachters sowie auch Information über IMOs in der Szene. Der Algorithmus lässt sich als Variante des Expectation/Maximization Algorithmus (EM) [2] einordnen, welcher iterativ abwechselnd Modellzuordnung und Modellparameter schätzt. Im Unterschied zum ursprünglichen EM Algorithmus wird nur ein einziges Modell geschätzt, da die Anzahl der Modelle in diesem Szenario unbekannt ist, und in Folge dessen eine schwellwertbasierte binäre Modellzuordnung bestimmt.

Der Trennung der Tokens in Hintergrund und sich unabhängig bewegende Objekte ist ein Gruppierungsverfahren nachgeschaltet welches diejenigen Tokens, welche nicht zum Hintergrund gehören, in einzelne Objekte gruppiert. Die Gruppierung erfolgt anhand der Ähnlichkeit der Tokens hinsichtlich Position und Bewegung.

Wir erweiterten den Ansatz um Integration der Information aus Bildfolgen. Dies erlaubt es einerseits, temporal auffällige Ausreißer schon vor der Schätzung der Eigenbewegung zu entfernen. Andererseits lässt sich das erworbene Wissen um präsenste IMOs nutzen, die dazu korrespondierenden Flussvektoren im nächsten Zeitschritt a priori zu entfernen. Durch diese zeitliche Integration und Konsistenzprüfung ergeben sich signifikant bessere Ergebnisse als bei der Verarbeitung einzelner Bildpaare.

## 3 Multimodale Repräsentation

Um eine effiziente Darstellung der Eingangsinformation zu erhalten, werden die Bildinformationen zunächst zu einer multimodalen, tokenbasierten Repräsentation abstrahiert. Diese orientiert sich an dem von Krüger et al. [5] vorgeschlagenen Ansatz. Jedes Token speichert Information über seine Position, Bewegung, Bildstruktur (Kante/Ecke/Orientierung), Alter, sowie zugehörige Konfidenzwerte. Alle weiteren Arbeitsschritte operieren dann ausschließlich mit diesen Tokens.

Die tokenbasierte Darstellung ist so generalisiert, dass eine dynamische hierarchische Beschreibung der Szene erstellt werden kann. So lassen sich diejenigen Tokens der untersten Schicht, welche mittels des Gruppierungsverfahrens zusammensortiert werden (Abb. 1), in der nächsthöheren Schicht durch ein gemeinsames Token darstellen.

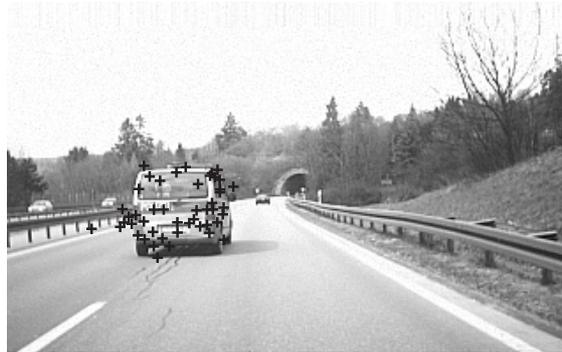


Abbildung 1: Ein Cluster von symbolischen Tokens, welche auf einem IMO gruppiert sind. Die Gruppierung basiert auf räumlicher Nähe, sowie Ähnlichkeit des optischen Flusses. Dargestellt sind nur die Positionen der Tokens, nicht deren weitere Attribute.

## 4 Zusammenfassung

Das vorgestellte Verfahren zur Aufmerksamkeitssteuerung ist in der Lage die Eigenbewegung des Fahrzeugs zu bestimmen und parallel dazu sich unabhängig bewegende Objekte zu detektieren. Die Ausgaben des Verfahrens können dazu verwendet werden, um ein Kollisionswarnsystem zu versorgen, das auf denjenigen Tokens arbeitet, welche für den aktuellen Kontext, wie etwa Autobahnfahrten, Kreuzungen, relevant sind. Dies geht über den Umfang der aktuellen Arbeiten hinaus, ist aber als weiterführende Arbeit denkbar.

## Literatur

- [1] D. Baehring, S. Simon, W. Niehsen, C. Stiller: *Detection of close Cut-In and Overtaking Vehicles for Driver Assistance based on Planar Parallax*, Proc. Intelligent Vehicles, pp. 289-294, 2005.
- [2] A.P. Dempster, N.M. Laird, D.B. Rubin.: *Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm* Journal of the Royal Statistical Soc., Ser. B 39 (1), 1977, 1-38
- [3] L. Itti, C. Koch and E. Niebur, *A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis*, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 20, no. 11, pp. 1254–1259, November 1998.
- [4] A. Jepson, D. J. Heeger, *Linear subspace methods for recovering translation direction*, Spatial Vision in Humans and Robots, Cambridge University Press, pp. 39–62, 1993.

- [5] N. Krüger, M. Lappe and F. Wörgötter, *Biologically Motivated Multi-modal Processing of Visual Primitives*, Interdisciplinary Journal of Artificial Intelligence the Simulation of Behaviours, AISB Journal, 1(5): 2004.
- [6] B. D. Lucas, T. Kanade, *An iterative image registration technique with an application to stereo vision*, International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 674-679, 1981.
- [7] K. Pauwels and M. M. Van Hulle, *Segmenting Independently Moving Objects from Egomotion Flow Fields*, Proc. Early Cognitive Vision Workshop, 2004.
- [8] S. M. Smith, J. M. Brady: *ASSET-2: Real-Time Motion Segmentation and Shape Tracking*, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 17, no. 8, pp 814-820, 1995.
- [9] J. K. Tsotsos: *Towards a Computational Model of Visual Attention*, Early Vision and Beyond, MIT Press, pp. 207-218, 1995.
- [10] F. Woelk, R. Koch: *Fast Monocular Bayesian Detection of Independently Moving Objects by a Moving Observer*, Proc. 26th DAGM Symposium, pp. 27-35, Sept. 2004.

# Low-Level Sensorfusion von Video- und Entfernungsmessdaten zur robusten Umfelderkennung in Straßenverkehrsszenen

*N. Kämpchen\* und K. Dietmayer\**

**Zusammenfassung:** In etablierten Fahrerassistenzsystemen basiert jede Applikation auf ihren eigenen Sensoren, die das Fahrzeugumfeld beobachten. Die Entwicklung zukünftiger, fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme zeigt, dass mehrere Sensorsysteme notwendig sind, um die gewünschte Zuverlässigkeit und Präzision der Assistenzfunktion zu erreichen. Es wird ein Sensorfusionssystem vorgestellt, das basierend auf einem Laserscanner und Videosystem als allgemeine Plattform für mehrere Sicherheits- und Komfortapplikationen dient. Durch die Sensorfusion wird ein weites Blickfeld erreicht und die Sicherheit und Genauigkeit der Schätzungen in den relevanten Regionen signifikant erhöht. Die Objektverfolgung zielt auf eine breite Unterstützung von Applikationen wie Automatische Notbremsung, ACC Stop&Go, PreCrash.

## 1 Einleitung

Eine weiterhin zunehmende Anzahl von Unfällen innerhalb der Grenzen der EU mit zahlreichen Verletzten und Toten erzeugen zunehmend den Wunsch nach aktiven Sicherheitssystemen, die auch das Fahrzeugumfeld in ihre Aktionsentscheidung mit einbeziehen. Gefährliche Situationen können dann vor dem tatsächlichen Eintreten eines Unfalls erkannt und frühzeitige Gegenmaßnahmen sowie Insassenschutzmaßnahmen eingeleitet werden. Kürzlich abgeschlossene Projekte, die sich mit Fahrerassistenzfunktionen beschäftigten, konzentrierten sich auf Applikationen wie PreCrash (CHAMELEON) [1], ACC Stop&Go (CARSENSE) [2] und der Erkennung von verletzlichen Verkehrsteilnehmern (PROTECTOR [3] sowie das Nachfolgeprojekt SAVE-U [4]). Diese Fahrerassistenzapplikationen benötigen verschiedene Sensoren, die nicht nur komplementär sondern auch redundant sind. Die Forschung im Automobilbereich hat sich daher mit der Fusion mehrerer Sensoren beschäftigt [5, 6]. Das Ziel ist eine aus den fusionierten Sensordaten resultierende Fahrzeugumfeldbeschreibung, die für die Fahrerassistenzapplikationen relevant, aber nicht spezifisch für eine bestimmte Applikation ist. Solch ein Fusionssystem kombiniert die unterschiedlichen Sensordaten zu einer einheitlichen, konsistenten Umfeldbeschreibung. Dadurch kann das Blickfeld eines einzelnen Sensors erweitert sowie die Sicherheit und Präzision der Schätzung erhöht werden. Ferner ist dieses Systemdesign ökonomisch effizient, da verschiedene Applikationen gemeinsam mehrere Sensoren nutzen.

---

\*Abt. Mess-, Regel- und Mikrotechnik, Universität Ulm, 89081 Ulm (e-mail: Nico.Kaempchen@technik.uni-ulm.de).

## 2 Sensoren

Ein Multi-Layer Laserscanner und eine monokulare Kamera werden kombiniert, um eine zuverlässige Umfelderkennung in Distanzen bis zu 100 m bei einem großen Winkelbereich auch vor dem Fahrzeug zu realisieren. Die Multi-Layer Laserscanner der Firma IBEO AS weisen einen horizontalen Erfassungsbereich von  $270^\circ$  auf, der sich abhängig vom Anbauort auf  $140^\circ$ – $180^\circ$  reduziert. Die Sensoren erreichen eine Winkelauflösung von  $0,5^\circ$  bei 20 Hz Scanfrequenz. Der vertikale Öffnungswinkel beträgt  $3,2^\circ$  und ist in 4 Ebenen unterteilt [8]. Die Kamera ist hinter der Windschutzscheibe neben dem inneren Rückspiegel angebracht. Sie ist mit einem  $1/2''$  CCD Chip ausgestattet, der Bilder in VGA Auflösung mit  $640 \times 480$  Bildpunkten liefert. Mit einem 12 mm Objektiv kann bei einer durchschnittlichen horizontalen Auflösung von  $0,044^\circ$  pro Bildpunkt ein horizontaler Blickwinkel von  $28^\circ$  erreicht werden.

## 3 Zeitlich-räumlicher Abgleich

Zur Synchronisierung der Sensoren wird die Kamera getriggert, wenn der rotierende Kopf des Laserscanners mit der Ausrichtung der optischen Achse der Kamera übereinstimmt. Um neben dem zeitlichen Bezug durch die Synchronisierung auch den räumlichen Bezug herzustellen, erfolgt zudem eine Kalibrierung der Sensoren. Dazu werden der Anbauort und die Ausrichtung der Sensoren sowie die inneren Parameter der Kamera bestimmt. Abb. 1 zeigt ein Kamerabild, in das die Laserscannerdaten projiziert sind. Durch eine präzise Kalibrierung und Synchronisation können Bildregionen direkt mit Laserscanner-messdaten assoziiert werden. Diese Zuordnung von Distanzen zu Bildbereichen ist ein großer Vorteil dieses Low-Level Fusionsansatzes.



Abbildung 1: Links: Laserscannerdaten und Erfassungsbereich der Kamera. Rechts: Die Daten der vier Messebenen des Laserscanners in den Bildbereich projiziert.

## 4 Sensorfusion

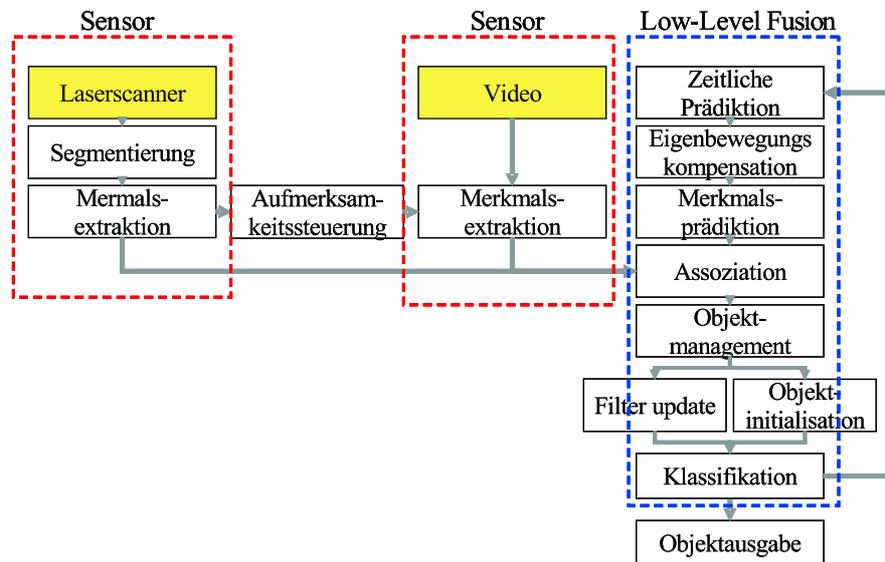


Abbildung 2: Systemüberblick der Low-Level Fusion von Laserscanner und Video.

Beide Sensoren werden in dem Sensorfusionsansatz so kombiniert, dass möglichst viele Synergieeffekte ausgenutzt werden (Abb. 2). Aus den segmentierten Daten des Laserscanners werden Merkmale von Objekten, wie Position, Orientierung, Breite und Länge extrahiert [9]. Die in den Bildbereich transformierten Merkmale des Laserscanners steuern die Merkmalsextraktion der Bildverarbeitung. Eine Laserscanner basierte Aufmerksamkeitssteuerung der Bildverarbeitung hat den Vorteil, dass eine zeitintensive und fehleranfällige Detektion von Objekten im Bild entfällt und die verfügbare Rechenzeit für eine präzise Lokalisation der Objekte im Bild genutzt werden kann.

Das Fusionsmodul assoziiert die Merkmale der Sensoren mit schon bestehenden Objekten des Umfeldmodells und führt eine auf Kalman-Filtern basierte Objektverfolgung durch. Es konnte gezeigt werden, dass Multi-Modell-Filter, die auf mehreren, für spezielle Fahr-situationen optimierten Kalman-Filtern basieren, die Zustandschätzung im Vergleich zu einem Einzelfilter verbessern [11]. Die Objektverfolgung bis zu einer Distanz von 50 m wird hauptsächlich basierend auf Laserscannermessungen durchgeführt, wobei der Laserscanner einen horizontalen Winkelbereich von bis zu  $180^\circ$  vor dem Fahrzeug erfasst (Abb. 3). In diesem Distanzbereich ist die Präzision der Positions-, Breiten- und Geschwindigkeitsschätzung von Objekten, die aufgrund der guten Winkelauflösung von  $0,5^\circ$  bei 20 Hz des Laserscanners erreicht werden kann, für ein breites Spektrum von Anwendungen ausreichend. In Entfernungen größer 50 m wird die Bildverarbeitung zur genaueren Lokalisation von Objekten hinzugenommen. Dazu werden die Breite (Winkelbereich) und lateralen Position (Blickwinkel), sowie die Geschwindigkeit (Verschiebungsgeschwindigkeit im Bild) von Pkws und Lkws in Bildfolgen bestimmt [10].

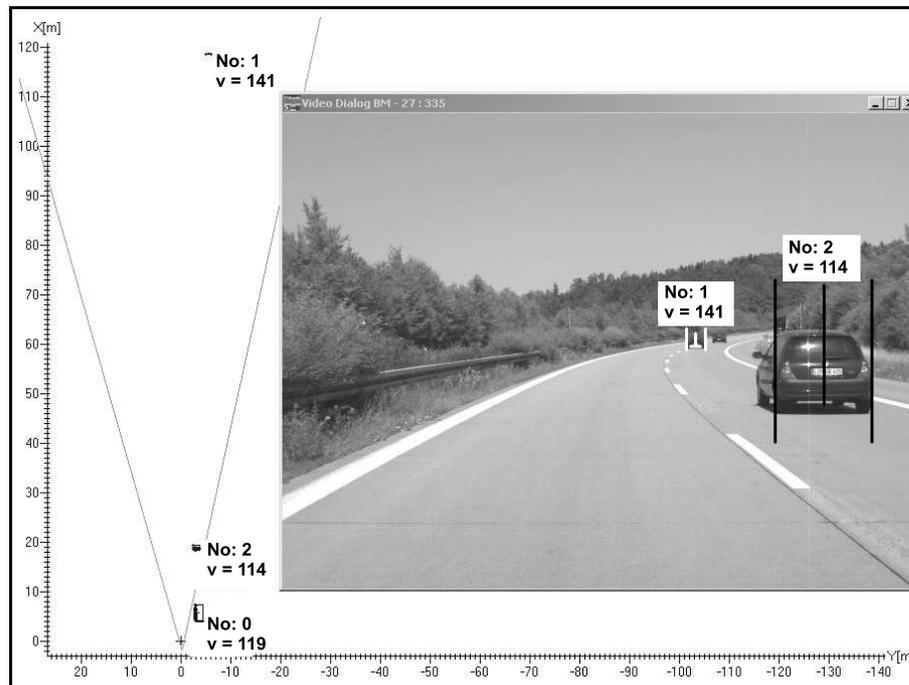


Abbildung 3: Links: detektierte Fahrzeuge aus Sicht des Laserscanners. Objektnummer und Geschwindigkeit in km/h werden angezeigt. Objekt 0 ist außerhalb des Sichtbereichs der Kamera. Rechts: das fusionierte Ergebnis im Bildbereich. Die Zustandsschätzung der Fahrzeuge 0 und 2 wird ausschließlich durch Laserscannermessungen gestützt, wobei das Objekt 1 im Fernbereich von beiden Sensorsystemen lokalisiert wird.

## 5 Zusammenfassung

Ein Sensorfusionssystem wurde präsentiert, welches die gemessenen Merkmale eines Laserscanners mit den aus Videobildern extrahierten Merkmalen kombiniert. Die Objektverfolgung im Nahbereich ( $< 50$  m) stützt sich hauptsächlich auf den Laserscanner, der einen Sichtbereich von bis zu  $180^\circ$  vor dem Fahrzeug abdeckt. Die Objekte werden mit Verfahren verfolgt, die auf Kalman-Filtern basieren. Im Fernbereich wird die Schätzung der lateralen Position und der Breite vorausfahrender Fahrzeuge durch ein Bildverarbeitungsmodul verbessert. Die Umfeldbeschreibung ist unabhängig von der Applikation und kann von mehreren aktiven Sicherheits- und Komfortfunktionen genutzt werden.

## Literatur

- [1] K. Fuerstenberg, P. Baraud, G. Caporaletti, S. Citelli, Z. Eitan, U. Lages, C. Lavergne, *Development of a Pre-Crash sensorial system - the CHAMELEON Project*, VDI Berichte 1653, Fahrzeugkonzepte für das 2. Jahrhundert Automobiltechnik, 2001, S. 289-310.

- 
- [2] J. Langheim, A.J. Buchanan, U. Lages, M. Wahl, *CARSENSE-New environment sensing for advanced driver assistance systems*, Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 2001, S. 89-94.
  - [3] R. Cicilloni, S. Deutschle, K.M. Oltersdorf, D. Gavrila, *Results of vulnerable road user protection systems in PROTECTOR*, Proceedings of ITS 2003, 10th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2003.
  - [4] P. Marchal, D. Gavrila, L. Letellier, M.-M. Meinecke, R. Morris, M. Töns, *Save-U: an innovative sensor platform for vulnerable road user protection*, Proceedings of ITS 10th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2003.
  - [5] A. Vukotich and A. Kirchner, *Sensor fusion for driver-assistance-systems. Elektronik im Kraftfahrzeug*, 2001.
  - [6] K. Dietmayer, A. Kirchner, N. Kaempchen, *Fusionsarchitekturen zur Umfeldwahrnehmung für zukünftige Fahrerassistenzsysteme*, Fahrerassistenzsysteme, Springer Verlag, 2005.
  - [7] K. Fuerstenberg, D. Linzmeier and K. Dietmayer, *Pedestrian Recognition and Tracking of Vehicles using a vehicle based Multilayer Laserscanner*, Proc. of ITS 2003, 10th World Congress on Intelligent Transport Systems, 2003.
  - [8] IBEO AS, *IBEO Automobile Sensoren GmbH*, <http://www.ibeo-as.de>, Mai 2005.
  - [9] N. Kaempchen, M. Buehler and K. Dietmayer, *Feature-Level Fusion for Free-Form Object Tracking using Laserscanner and Video*, Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Las Vegas, USA, 2005.
  - [10] N. Kaempchen and K. Dietmayer, *Fusion of laserscanner and video for advanced driver assistance systems*, in Proceedings of ITS 2004, 11th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Nagoya, Japan, Oktober 2004.
  - [11] N. Kaempchen, K. Weiss, M. Schaefer, and K. Dietmayer, *IMM object tracking for high dynamic driving maneuvers*, in Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2004, Parma, Italy, June 2004.



# Netzwerkarchitekturen und -protokolle zum flexiblen, selbstkonfigurierenden Datenaustausch zwischen Fahrzeugen

*Y. Günter\* und H.P. Großmann\**

**Zusammenfassung:** Die Ausstattung von Fahrzeugen mit geeigneten Sensoren ermöglicht die Erfassung des unmittelbaren Fahrzeugumfeldes, welches durch die Reichweite und den Erfassungswinkel der Sensoren beschränkt ist. Soll eine Beschreibung des umfassenderen Umfeldes ermöglicht werden, kann dies durch die Übermittlung der Sensor- und/oder Objektdaten benachbarter Fahrzeuge erreicht werden. Hierbei werden aufgrund der Dynamik des Straßenverkehrs hohe Anforderungen an das zugrunde liegende Übertragungsverfahren, insbesondere im Bezug auf Timing-Aspekte gestellt. Die hier vorgestellte Simulationsplattform, welche auf der Modellierung von Fahrzeugtrajektorien beruht, ermöglicht die Simulation verschiedener Datenübertragungsverfahren und ist zur Bestimmung der Netzwerkparameter eines Fahrzeug-Fahrzeug-Netzes einsetzbar.

## 1 Einleitung

Angesichts der wachsenden Zahl von Verkehrsteilnehmern und des damit verbundenen Anstiegs des Sicherheitsrisikos im Straßenverkehr, werden derzeit diverse Anstrengungen unternommen, dieses Gefahrenpotential mit Hilfe von Fahrerassistenzsystemen zu reduzieren und den Fahrer zu entlasten. Ein wesentlicher Ansatz ist hierbei die Ausstattung von Fahrzeugen mit verschiedenen Sensoren zur Umfelderkennung, die es ermöglichen, Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs zu erfassen, zu klassifizieren und daraus eine Abschätzung des Gefahrenpotentials für das Fahrzeug zu ermitteln.

In diesen Systemen basiert die Gefahrenabschätzung ausschließlich auf Daten aus der unmittelbaren Umgebung des Fahrzeugs, während Objekte, die außerhalb der Reichweite des Sensors liegen oder durch andere Gegenstände bzw. Fahrzeuge verdeckt sind, nicht erkannt werden können. Um diese Einschränkung zu überwinden, bietet es sich an, die Objektdaten nicht nur lokal zu verarbeiten, sondern sie zusammen mit den Fahrzeugeigenen Daten an die umliegenden Fahrzeuge weiterzuleiten. Dazu wird eine Datenübertragungstechnik zwischen den einzelnen Fahrzeugen benötigt, die dem hoch-dynamischen Netzwerk eine effiziente Nutzung des Kommunikationskanals ermöglicht.

---

\*Abt. Organisation und Management von Informationssystemen, Universität Ulm, 89081 Ulm (email: yvonne.guenter@uni-ulm.de, hans-peter.grossmann@uni-ulm.de)

## 2 Anforderungen

Der Straßenverkehr stellt aufgrund der Bewegung der Fahrzeuge ein hoch-dynamisches System dar, das große Anforderungen an die Datenübertragung stellt. Einerseits ergeben sich durch die Bewegung der Fahrzeuge physikalische Effekte, die von der Transporttechnologie bewältigt werden müssen. Dazu zählt die Dopplerverschiebung aufgrund von Relativgeschwindigkeiten, sowie die Mehrwegeausbreitung durch Reflexionen in der Umgebung. Hinzu kommt, dass sich das Fahrzeug-Fahrzeug-Netz schnell ändert, was dazu führt, dass die Kommunikationspartner häufig wechseln und die Verbindungszeiten in bestimmten Verkehrsszenarien sehr kurz sein können.

Andererseits stellen die zu übertragenden Daten hohe Anforderungen an das Netzwerk. Insbesondere die Verzögerung bei der Datenübertragung ist in einem dynamischen System entscheidend, da die durch die Sensoren gewonnenen Umgebungsinformationen sehr schnell veralten. Deshalb ist es notwendig ein Transportprotokoll zu verwenden, das in der Lage ist, den verfügbaren Kanal effektiv zu nutzen.

## 3 Transportprotokolle

Betrachtet man die bekannten funkbasierten Transporttechnologien, so lassen sich diese in zwei Kategorien einteilen, und zwar in Infrastruktur- und in Ad-hoc-Netze. Infrastruktur-Netze, wie beispielsweise GSM oder UMTS sind zentral organisierte Netze, bei denen sich die Knoten an einer Basisstation anmelden müssen, über die zukünftig der gesamte Datenaustausch erfolgt. Der Nachteil solcher Netze liegt in den hohen Investitionskosten für den Aufbau eines solchen Netzes und in den hohen Latenzzeiten aufgrund des Umweges über die Basisstation.

Ad-hoc-Netze hingegen benötigen keine feste Infrastruktur und bieten so den Vorteil, dass spontan zusammentreffende Knoten Daten austauschen können. Zwei bekannte Vertreter sind Bluetooth und Wireless LAN (Local Area Network). Nachteil dieser Netze im Vergleich zu UMTS und GSM ist, dass sie nicht für den mobilen Einsatz bei hohen Geschwindigkeiten vorgesehen waren, was dazu führt, dass sie weniger robust gegen die dabei auftretenden physikalischen Einflüsse ausgelegt sind. Zudem wird z.B. bei Bluetooth zum Auffinden möglicher Kommunikationspartner ein sogenannter Inquiry-Prozess durchgeführt, der mehrere Sekunden dauern kann, was Bluetooth für ein hoch-dynamisches System ausschließt.

Im Rahmen dieses Projektes wurde deshalb WLAN als möglicher Kandidat für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen betrachtet. Untersuchungen [1] haben gezeigt, dass die physikalische Ebene des IEEE 802.11b Standards für die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation einsetzbar ist. Das verwendete Zugriffsverfahren CDMA/CA (Code Division Multiple Access with Collision Avoidance) stellte sich allerdings als ungeeignet heraus, da die Bandbreite zwischen den Knoten aufgeteilt wird, was steigende Latenzzeiten in der Datenübertragung der einzelnen Stationen zur Folge hat. Ziel ist es also, ein effizientes Verfahren zur Übertragung von Sensordaten zu entwickeln.

## 4 Simulation von Fahrzeug-Fahrzeug-Netzen

Um Verfahren für die effiziente Nutzung der verfügbaren Bandbreite zu entwickeln, ist es zum einen notwendig die Parameter des Netzwerkes, wie Verbindungsdauer, Anzahl an Kommunikationspartner u.ä. zu kennen und zum anderen eine Möglichkeit zu haben, die verschiedenen Verfahren zu vergleichen. Dazu wurde eine Simulationsplattform entwickelt, welche die Bewegung der Fahrzeuge basierend auf einer mikroskopischen Verkehrssimulation realitätsnah nachbildet. Die Grundidee dieser Modelle ist, dass jedes Fahrzeug versucht so schnell wie möglich zu fahren, Kollisionen aber durch die Anpassung der Geschwindigkeit an den Vorfahrenden vermeidet. Hier wurde das Modell des zellulären Automaten von Nagel und Schreckenberg [3] gewählt, bei dem die Bestimmung von Position und Geschwindigkeit der einzelnen Fahrzeuge durch eine Aufteilung der Straße in Zellen erfolgt, wobei die Zellennummer die Position und die Anzahl an vorgeführten Zellen pro Zeitschritt die Geschwindigkeit angibt. Durch Erweiterung dieses Grundprinzips können auch mehrspurige Straßen und ganze Verkehrsnetze beschrieben werden. Dabei ist es notwendig, Regelungen für Überholvorgänge zu definieren [4] und Routing-Algorithmen für Fahrzeuge einzuführen, die deren Weg durch das Straßennetz beschreiben.

Aufbauend auf dieser Verkehrssimulation wird nun ein Kommunikationsnetz implementiert, welches aus einem Kanalmodell und den notwendigen Kommunikationsprotokollen besteht. Die Realisierung des Kanalmodells kann verschiedene Aspekte berücksichtigen. Hier wurde ein vereinfachter Ansatz gewählt, der nicht die physikalischen Effekte selber nachbildet, sondern nur die resultierenden Effekte auf OSI (Open Systems Interconnection) Ebene 2. Das heißt, auf dem Kanal kommt es stochastisch zu Bitfehlern, und der gleichzeitige Zugriff mehrerer Stationen in einem gemeinsamen Sendebereich führt zu Kollisionen bei den Empfängern. Die Bestimmung des Sendebereiches erfolgt abhängig von der Umgebung des Fahrzeugs. Befindet sich das Fahrzeug auf freiem Feld, so wird die maximale Reichweite der Funktechnologie angenommen, wohingegen bei der Simulation von städtischen Szenarien die Dämpfung des Signals durch Reflexion und Beugung an Häuserwänden berücksichtigt werden muss. Dazu wurde das in [5] vorgestellte Modell verwendet.

Mit Hilfe dieser Simulation ist es möglich, Parameter wie Verbindungszeiten und Anzahl direkter bzw. erreichbarer Kommunikationspartner eines aus Fahrzeugen bestehenden Kommunikationsnetzes für verschiedene Verkehrssituationen zu erfassen. Als Grundlage dazu dient ein Straßennetz, das vereinfacht die Stadt Ulm repräsentiert. Simuliert wurden dabei verschiedene Verkehrsdichten basierend auf Verkehrszählungen der Stadt Ulm, die in den Hauptverkehrswegen vorgenommen wurden.

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Verbindungszeiten für verschiedene Verkehrsdichten. Dabei erkennt man, dass ein Großteil der Verbindungen nur eine sehr geringe Dauer hat. Ungefähr jede 8. Verbindung hat demnach weniger als eine Sekunde Zeit für den Datenaustausch mit dem Kommunikationspartner.

Betrachtet man die Anzahl der Fahrzeuge mit denen ein Auto zu einer bestimmten Zeit direkt kommunizieren kann, so lässt sich aus Abbildung 2 eine annähernd gaußförmige Verteilung erkennen, deren Mittelwert und Varianz von der Verkehrsdichte abhängig sind. Bei hoher Verkehrsdichte, wie sie während des Berufsverkehrs zu erwarten ist, ergeben

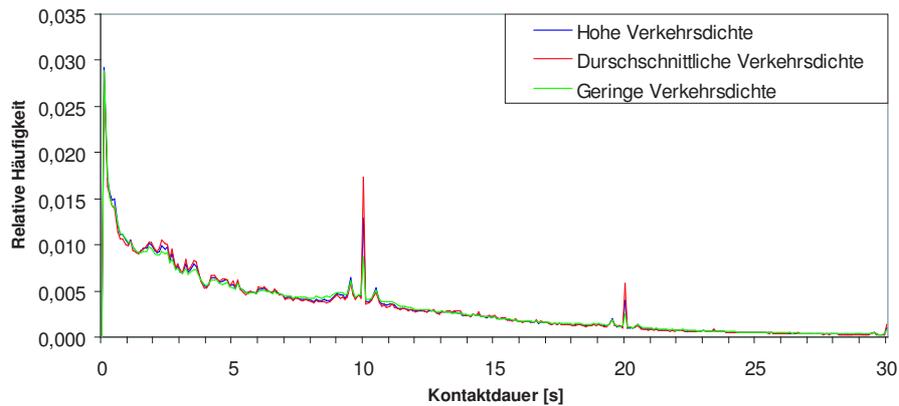


Abbildung 1: Kontaktdauer

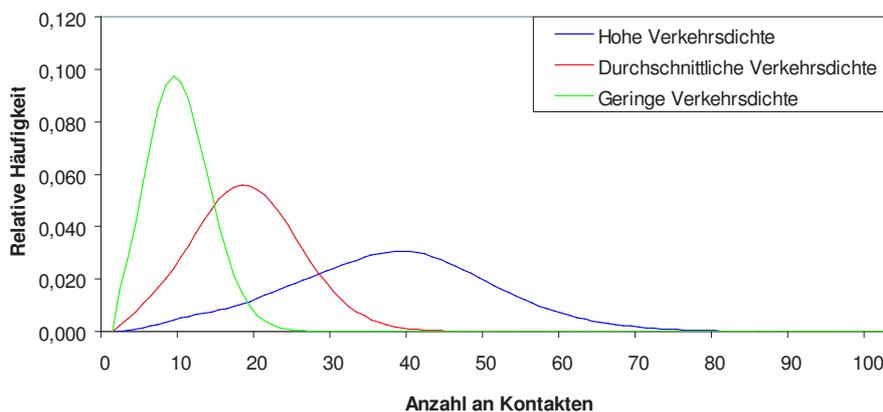


Abbildung 2: Kontaktzahl

sich durchschnittlich 40 Kontakte, wobei die Verteilung eine große Varianz aufweist, da hier die Kontaktzahl durch die Kapazitäten der einzelnen Straßen beeinflusst wird. Neben der Anzahl direkter Kontakte ist auch die Größe einer Kommunikationszelle interessant. Darunter versteht man die Gesamtzahl von Kommunikationspartnern, an die ein bestimmtes Fahrzeug Daten übermitteln kann. Dies setzt voraus, dass die einzelnen Knoten in der Lage sind, die erhaltenen Informationen jeweils an ihre direkten Nachbarn weiterzuleiten. In Abbildung 3 sieht man, dass die Anzahl insgesamt erreichbarer Knoten für hohe Verkehrsdichten ebenfalls eine gaußförmige Verteilung aufweist. In dieser Situation bilden alle Fahrzeuge eine große Zelle, so dass die Zellgröße nur von der Gesamtzahl der simulierten Fahrzeuge abhängig ist. Bei geringem Verkehrsaufkommen ist die Dichte der Fahrzeuge nicht mehr groß genug, um mit allen Fahrzeugen kommunizieren zu können. Hier bilden sich auch kleinere Zellen, so dass es Fahrzeuge gibt, die nur eine geringe Zahl an Kommunikationspartnern besitzen.

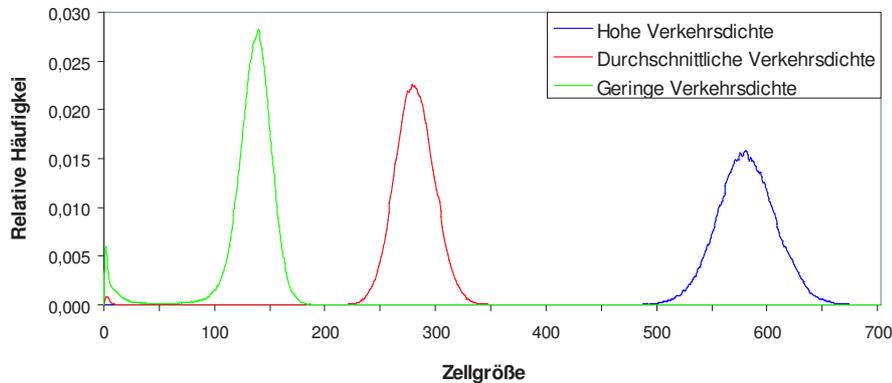


Abbildung 3: Zellgröße

## 5 Zusammenfassung

Die Übertragung von sensierten Objektdaten zwischen Fahrzeugen stellt hohe Anforderungen an die Übertragungstechnologie, denen die gängigen Systeme nicht genügen. Deshalb sind neue Verfahren nötig, die eine effizientere Ausnutzung der Bandbreite unter Berücksichtigung von Timing-Aspekten ermöglichen. Um verschiedene Ansätze vergleichen zu können, wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches die Bewegung von Fahrzeugen realitätsnah nachbildet und außerdem eine Schnittstelle zur Datenübertragung integriert hat. Diese Simulation ermöglicht auch die Erfassung der wesentlichen Netzwerkparameter der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation.

## Literatur

- [1] Y. Günter, H.P. Großmann, *Usage of Wireless LAN for Inter-vehicle Communication*, wird erscheinen auf der IEEE Intelligent Transport System Conference, 2005.
- [2] Y. Hörmann, H. P. Großmann, W. H. Khalifa, M. Salah and O.H. Karam, *Simulator for Inter-Vehicle Communication Based on Traffic Modeling*, Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma, 2004.
- [3] K. Nagel and M. Schreckenberg, *A cellular automaton model for freeway traffic*, J. Physique I, pp. 2221–2229, 1992.
- [4] M. Rickert, K. Nagel, M. Schreckenberg, A. Latour, "Two Lane Traffic Simulations using Cellular Automata", *Physica A231*, pp. 534-550, 1996.
- [5] Q. Sun, Y. Tan und K.C. Teh, *Explicit Formula for Path Loss Prediction in Urban Streets for Microcellular Communications*, European Wireless, 2002.



# Vernetzte Sensierung des Fahrzeugumfelds

*Karin Tischler und Christoph Stiller\**

## Zusammenfassung:

Eine vernetzte Sensierung des Fahrzeugumfelds erweitert den Sichtbereich eines Fahrzeugs beträchtlich durch die Nutzung der Informationen anderer Verkehrsteilnehmer. Wir schlagen vor, Daten aus zwei Bereichen auszutauschen: Den Eigenzustand der Fahrzeuge sowie die von ihnen wahrgenommenen Objekte der Umgebung. Nach einem räumlichen und zeitlichen Alignment können die Objekte getrackt und zu einer gemeinsamen Beschreibung der Umgebung fusioniert werden. Dieser Artikel zeigt Ergebnisse des Austauschs von Radarsensordaten.

## 1 Einleitung

Fahrerassistenzsysteme werden eingesetzt, um den Fahrer zu entlasten, um ihm zusätzliche Informationen sowie Sicherheit zu bieten. Für einen aktiven Eingriff in das Fahrzeug bei kritischen Situationen ist allerdings eine umfangreiche Kenntnis der Fahrzeugumgebung Voraussetzung. Die Umgebungserfassung eines Fahrzeugs wird durch den Sichtbereich der Sensorik begrenzt und bei Verdeckung möglicherweise weiter reduziert. Die großen Fortschritte im Kommunikationsbereich ermöglichen eine Vernetzung mehrerer Fahrzeuge, die Daten über ihren eigenen Zustand und ihre Umgebung austauschen können. Mit diesem verteilten Sensornetz lassen sich Objekte bzw. Situationen detektieren, die sonst nicht erfassbar wären (Abb. 1). Dabei kann es sich um die Verkehrslage im Abstand von mehreren 100 m handeln, aber auch um die Erkennung von – möglicherweise unvernetzten – Verkehrsteilnehmern an unübersichtlichen Kreuzungen oder im toten Winkel.

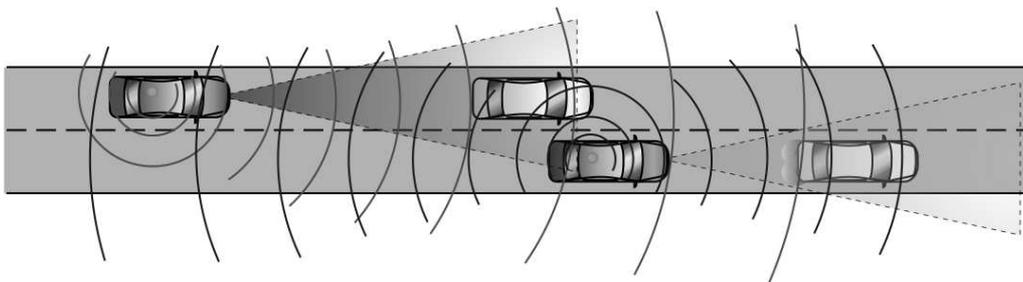


Abbildung 1: WLAN-Vernetzung zweier Fahrzeuge mit Umfeldsensorik.

---

\*Institut für Mess- und Regelungstechnik, Universität Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe (e-mail: {tischler, stiller}@mrt.uka.de).

Eine kooperativ abgestimmte Wahrnehmung der jeweiligen Verkehrssituation bildet die Basis für kooperative Verhaltensentscheidungen [5]. Seit einigen Jahren beschäftigen sich mehrere Projekte mit dem Thema der Vernetzung, insbesondere mit dem Austausch von Fahrzeugeigenschaften ([2], [4] und [8]).

## 2 Voraussetzungen des Datenaustauschs

Die Kommunikation der Versuchsfahrzeuge erfolgt über ein ad-hoc Netzwerk auf Basis von W-LAN (Wireless Local Area Network), dessen Eigenschaften im Artikel *Netzwerkarchitekturen und -protokolle...* genauer analysiert werden. Eine weitere Voraussetzung, um von anderen Fahrzeugen übermittelte Objektdaten in die eigene Umgebungsrepräsentation integrieren zu können, ist eine gemeinsame Orts- und Zeitbasis der Fahrzeuge. Hierzu dient die Ausrüstung mit D-GPS (Differential Global Positioning System), das eine globale Positionsbestimmung mit 2–3 m Genauigkeit liefert. Zur zeitlichen Ausrichtung werden die Uhren der Computer in beiden Fahrzeugen über UTC-Zeit des GPS synchronisiert. Alle Objektinformationen der Umgebungssensoren werden mit einem Zeitstempel des Aufnahmezeitpunkts versehen, der die zeitrichtige Einordnung in die Umweltdarstellung anderer Fahrzeuge erlaubt.

Aus den GPS-Daten lassen sich die Positionen und über ein zeitliches Tracking auch die Orientierungen der Fahrzeuge in Weltkoordinaten bestimmen. Zur übergeordneten Darstellung bietet sich eine Differenz-Berechnung in erdfesten kartesischen Koordinaten an, bei der ein konstanter Erdradius zwischen den gefundenen Positionen angenommen wird. Diese Vereinfachung darf getroffen werden, da jeweils nur geringe Abstände betrachtet werden. Über das kartesische Koordinatensystem kann die Relation der Fahrzeuge zueinander mit Translation  $t$  und Rotation  $\varrho = \varphi_B - \varphi_A$  gemäß Abb. 2 bestimmt werden. Dies ermöglicht die Übertragung der Objektinformationen eines Fahrzeugs  $B$  in das Fahrzeugkoordinatensystem eines Fahrzeugs  $A$ , das sich in Richtung  $x_A$  bewegt. Zur Messunsicherheit der transformierten Objektdaten ist dabei die Messunsicherheit durch die unsicherheitsbehafteten Transformationsparameter  $t$  und  $\varrho$  hinzuzurechnen.

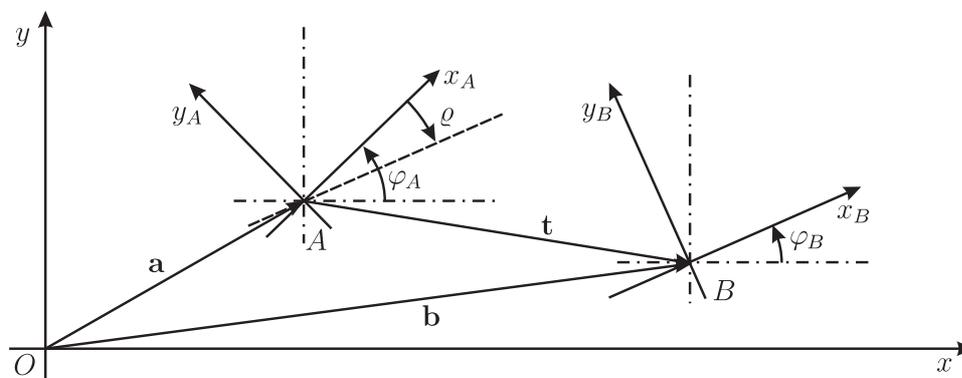


Abbildung 2: Zusammenhang der Koordinatensysteme von Fahrzeug  $A$  und  $B$  in kartesischen Weltkoordinaten mit Translation  $t$  und Rotation  $\varrho$ .

Da die GPS-Daten nur mit einer Frequenz von ca. 1 Hz ausgewertet werden, ist eine Extrapolation der Positionsdaten nötig. Dies lässt sich auf elegante Weise im Prädiktionsschritt eines Kalman-Filters realisieren. Die Berücksichtigung der Fahrzeugeigenbewegung durch Geschwindigkeit oder Lenkwinkel im Systemmodell erhöht die Genauigkeit und ermöglicht zu jedem Zeitpunkt Aussagen zu Positionen und Fahrtrichtungen der Fahrzeuge.

### 3 Möglichkeiten der Vernetzung

Wenngleich die Datenregistrierung einheitlich erfolgt, variiert die Relevanz der erhaltenen Informationen beträchtlich. Grundsätzlich unterscheidet sich die Vernetzung von Fahrzeugen mit gleicher Fahrtrichtung, entgegenkommenden und sich kreuzenden Fahrzeugen. Fahrzeuge in gleicher Richtung bewegen sich – abgesehen von einer Zeitverschiebung – in ähnlicher Weise und tauschen möglicherweise über einen längeren Zeitraum Daten aus. Die Vernetzung bewirkt somit eine mittelfristige Erweiterung des internen Messbereichs um eine extern erfasste, überwiegend in Fahrtrichtung verschobene Region. Diese Erweiterung kann als „telematischer Erfassungsbereich“ bezeichnet werden. Aufgrund der vergleichbaren Messanordnung lässt sich auch ein Übergang der Objekte zwischen den Erfassungsbereichen erkennen. Dies ermöglicht eine Initialisierung erwarteter Objekte für die eigene Sensorik. Ein geringerer Abstand führt zur Überlappung der Messbereiche. Redundante Informationen können über eine Plausibilitätsprüfung die Sicherheit einer Aussage erhöhen, aber auch Mehrdeutigkeiten ergeben. Zur Beurteilung dieser Mehrdeutigkeiten müssen die Sensorcharakteristiken betrachtet werden. Außerdem ist eine mögliche Verdeckung von Objekten zu berücksichtigen. Bestimmte Konstellationen der Überlappung ermöglichen eine Überprüfung des Übertragungsprozesses und der internen Sensorik.

Entgegenkommende Fahrzeuge lassen sich bei höheren Geschwindigkeiten schwierig mit eigener Sensorik verfolgen, da sie häufig verdeckt werden und nur im Sensorrandbereich erfassbar sind. Übertragene Informationen des Gegenverkehrs können die Umfeldbeschreibung durch eine umfassendere Sicht der Gegenfahrbahn ergänzen. Da solche Daten immer nur kurzzeitig ausgetauscht werden, setzt dies allerdings einen schnellen Verbindungsaufbau voraus. Bei getrennten Fahrbahnen liefert eine solche Vernetzung keine relevanten Informationen und sollte vermieden werden.

Werden zwei Fahrzeuge vernetzt, die sich auf unterschiedlichen Straßen befinden und einer gemeinsamen Kreuzung nähern, stellt dies an die Kommunikation sowie Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung erhöhte Ansprüche. Zur eindeutigen Bestimmung einer Situation können zusätzliche Straßeninformationen, beispielsweise aus einer digitalen Karte, wertvolle Unterstützung bei der Interpretation bieten. Langfristig eröffnet die vernetzte Sensierung gerade für Kreuzungsszenarien interessante Funktionalitäten der kooperativen Wahrnehmung und Verhaltensentscheidung.

## 4 Tracking detektierter Objekte

Das Verfahren zum Tracking detektierter Objekte lässt sich in verschiedene Komplexitätsstufen gliedern. Positionen und Geschwindigkeiten mehrerer selbst gemessener Objekte werden jeweils mit Kalman-Filtern getrackt [1]. Die Zuordnung neuer Messwerte zu den Tracks erfolgt wie in [3] über ein cJPDA-Filter (cheap Joint Probabilistic Data Association). Mit den gleichen Algorithmen können extern erfasste Objekte in das eigene Umfeldmodell integriert werden. Die Koordinatentransformation erhöht allerdings durch Abweichungen in der Positions- und Orientierungsbestimmung die Unsicherheit im Vergleich zu selbst gemessenen Objekten. Die Sensoren mehrerer Fahrzeuge messen zeitlich versetzt, und ihre Daten erfahren durch die Übertragung eine zusätzliche Verzögerung. Deshalb werden sie unter der Annahme konstanter Geschwindigkeit auf den nächsten internen Kalman-Filter-Schritt prädiert. Detektionen im Überlappungsbereich der Sensoren werden gesondert behandelt [7].

Abb. 3 zeigt das Ergebnis des Objekttrackings für den Fall einer Vernetzung zweier Fahrzeuge, die hintereinander auf derselben Straße fahren und ihre Umgebung mit einem Radarsensor erfassen. Von dem vorderen Fahrzeug *B* detektierte Objekte werden in das Koordinatensystem des folgenden Fahrzeugs *A* übertragen. Auf diese Weise vergrößert sich der auf 150 m begrenzte Messbereich von Fahrzeug *A* um die Sensierung durch *B*. Insbesondere die Daten in lateraler Richtung *y* können Aufschluss über den weiteren Straßenverlauf geben. Der große laterale Abstand in Abb. 3 entstand beispielsweise durch eine Linkskurve. Die Charakteristik des verwendeten Radarsensors wurde in [6] untersucht.

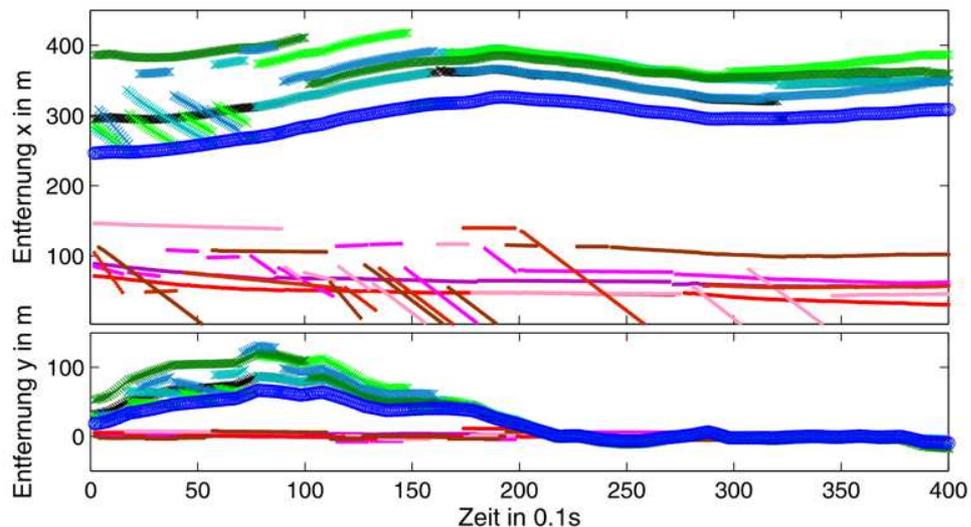


Abbildung 3: Tracking der Objektpositionen in Fahrtrichtung *x* und lateraler Richtung *y* aus Sicht des Fahrzeugs *A*. Die breite Kurve zeigt durchgehend – da von Fahrzeug *B* selbst gemessen – die Position von *B*. Durch den Radarsensor von *A* gemessene Objekte sind als schmale Linien eingezeichnet, übertragene Objekte vor *B* als breite Linien in größerer Entfernung.

## 5 Zusammenfassung

Das räumliche und zeitliche Alignment der vernetzten Fahrzeuge erlaubt die Übertragung von Daten in das Koordinatensystem eines anderen Fahrzeugs. Für die Verarbeitung der detektierten Objekte wurden grundlegende Tracking-Algorithmen implementiert, die für unterschiedliche Fahrsituationen ausgebaut werden können. Erste Untersuchungen mit realen Daten zeigen, dass sich durch die vernetzte Sensierung der Sichtbereich eines einzelnen Fahrzeugs erheblich erweitern lässt.

## Literatur

- [1] Y. Bar-Shalom, *Multitarget-Multisensor-Tracking: Applications and Advances*, Boston Artech House, 2000.
- [2] D. de Bruin, J. Kroon, R. van Klaveren und M. Nelisse, *Design and Test of a Cooperative Adaptive Cruise Control System*, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma, S. 392–396, 2004.
- [3] C. Hoffmann, T. Dang und C. Stiller, *Vehicle detection fusing 2D visual features*, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma, S. 280–285, 2004.
- [4] D. Reichardt, M. Miglietta, L. Moretti, P. Morsink und W. Schulz, *CarTALK 2000 - Safe and Comfortable Driving Based Upon Inter-Vehicle-Communication*, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Versailles, Bd. 2, S. 545–550, 2002.
- [5] C. Stiller, *Fahrerassistenzsysteme – Von realisierten Funktionen zum vernetzt wahrnehmenden, selbstorganisierenden Verkehr*. In M. Maurer und C. Stiller (Hg.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*, Springer Heidelberg, S. 1–20, 2005.
- [6] K. Tischler, *Charakterisierung und Verarbeitung von Radardaten für die Informationsfusion*, XVIII. Messtechnisches Symposium der Hochschullehrer für Messtechnik e.V. (AHMT), Freiburg, S. 3–12, 2004.
- [7] K. Tischler und B. Hummel, *Enhanced Environmental Perception by Inter-Vehicle Data Exchange*, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Las Vegas, S. 313–318, 2005.
- [8] S. Tsugawa, *Inter-Vehicle Communications and their Applications to Intelligent Vehicles: An Overview*, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Versailles, Bd. 2, S. 564–569, 2002.



# Strategien zum verbrauchsoptimierten Betrieb alternativer und konventioneller Fahrzeugantriebe unter Nutzung von Umgebungswissen

*M. Stiegeler, D. Nachbaur, S. Rohr, H. Kabza\**

**Zusammenfassung:** Um den Kraftstoffverbrauch zukünftiger Hybridfahrzeuge weiter zu reduzieren als dies mit aktuellen Energiemanagementverfahren möglich ist, müssen Fahrzeugumfeldinformationen in zukünftigen Betriebsstrategien berücksichtigt werden. Die hier vorgestellte Methode verwendet den Höhenverlauf einer Fahrstrecke und die für Streckenabschnitte festgelegten Durchschnittsgeschwindigkeiten um einen Ladezustandsverlauf zu ermitteln, der als zusätzliche Führungsgröße den Online-Regler derart beeinflusst, dass sich der Verbrauch des Fahrzeuges um bis zu 5,5% bezogen auf den unmodifizierten Online-Regler verringern lässt.

## 1 Einleitung

In Hybridfahrzeugen wird die geforderte Fahrleistung von mindestens zwei Energiequellen zur Verfügung gestellt. Hierbei lässt sich durch geschickte Kombination dieser Quellen eine erhebliche Verbrauchsminderung erzielen. Die hier betrachtete Hybridstruktur geht von einem Mild Hybrid aus, der mit 42V Bordnetzspannung betrieben wird. Abb. 1 zeigt die verwendete Struktur. Die elektrischen Komponenten beim Mild Hybrid haben im Vergleich mit dem Verbrennungsmotor eine geringe Leistung. Bei den gewählten Komponenten beträgt der elektrische Leistungsanteil ca. 8% der Gesamtantriebsleistung.

## 2 Online-Energiemanagement

Das Energiemanagement hat die Aufgabe dafür zu sorgen, dass beide Energiequellen so eingesetzt werden, dass der Kraftstoffverbrauch so gering wie möglich ausfällt. Heutige Hybridfahrzeuge (z. B. Honda Civic, Toyota Prius) benutzen hierfür nur die Daten der aktuellen Fahrsituation. Hierzu zählen der aktuelle Ladezustand der Batterie (SOC) und die Leistungsanforderung des Fahrers. Damit lässt sich der Energieverbrauch nur für die augenblickliche Information optimieren. Ein weiteres Absenken des Kraftstoffverbrauchs

---

\*Abt. Energiewandlung und -speicherung, Universität Ulm, 89081 Ulm (e-mail:markus.stiegeler@uni-ulm.de)

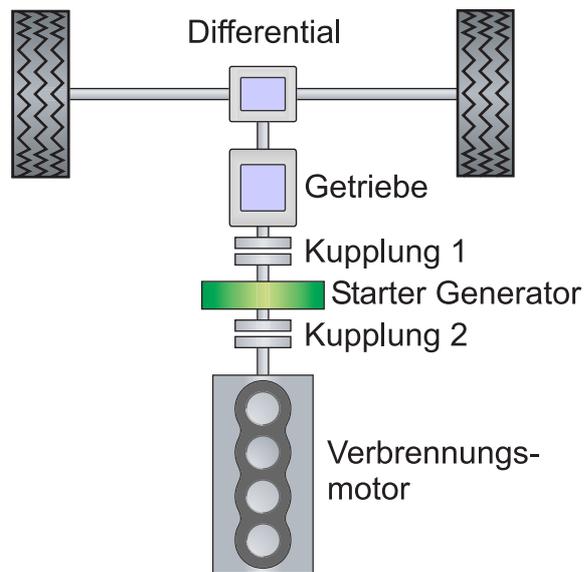


Abbildung 1: Mild Hybrid mit zwei Kupplungen

lässt sich für Online-Energiemanagementsysteme nur durch die Berücksichtigung weiterer Informationen erreichen. Zwei Freiheitsgrade sind für das Onlineenergiemanagement unbestimmt. Zum einen ist es das Fahrverhalten des Fahrers zum anderen der Streckenverlauf des zurück zu legenden Weges. Die Kenntnis dieser beiden Freiheitsgrade würde eine optimale Regelung der Energiequellen über die gesamte Fahrt erlauben. Da insbesondere das Fahrverhalten nicht vorhergesagt werden kann, ist ein globales Optimum für den Einsatz der Hybrid-Komponenten bezüglich der Senkung des Kraftstoffverbrauches nicht zu erreichen. Die Benutzung von Abstandsdaten zwischen dem Hybrid Fahrzeug und einem vorausfahrenden Fahrzeug lassen die Schätzung des zukünftigen Beschleunigungsverhaltens des Fahrers für die nächsten ca. drei Sekunden zu. Aus Sicht der Kraftstoffersparnis fällt diese Prädiktion nicht ins Gewicht. Mit ihr kann allerdings das Schaltverhalten eines Automatikgetriebes für Hybridfahrzeuge verbessert und so die Akzeptanz beim Fahrer erhöht werden [1], [2].

Eine Streckenkenntnis und damit vor allem der Höhenverlauf der Strecke kann mittels Navigationssystemen, welche digitale Karten der zweiten Generation verwenden, als zukünftig realisierbar angesehen werden. Aus diesem Grund und wegen der eindeutig höheren Relevanz für die Verringerung des Kraftstoffverbrauches wurde diese Art der Prädiktion zur Verbesserung des Online-Energiemanagements ausgewählt.

Das an der Universität Ulm entwickelte kostenfunktionsbasierte Online-Energiemanagement eignet sich aufgrund seiner guten Verbrauchswerte und der einfachen Möglichkeit zum Eingreifen durch übergeordnete Strukturen besonders als Basis für eine das Gesamtfahrzeug umfassende Betriebsstrategie. Zum Verständnis des Verfahrens soll zunächst auf das unmodifizierte Online Energiemanagement eingegangen werden. Für eine parallele Struktur, wie die des Mildhybrides aus Abb. 1 mit einem automatisierten Schaltgetriebe ergeben sich viele Kombinationsmöglichkeiten, um die aktuell angeforderte Fahrleistung zu befriedigen. Abb. 2 zeigt die Wirkungsgradflächen eines Verbrennungs- und eines

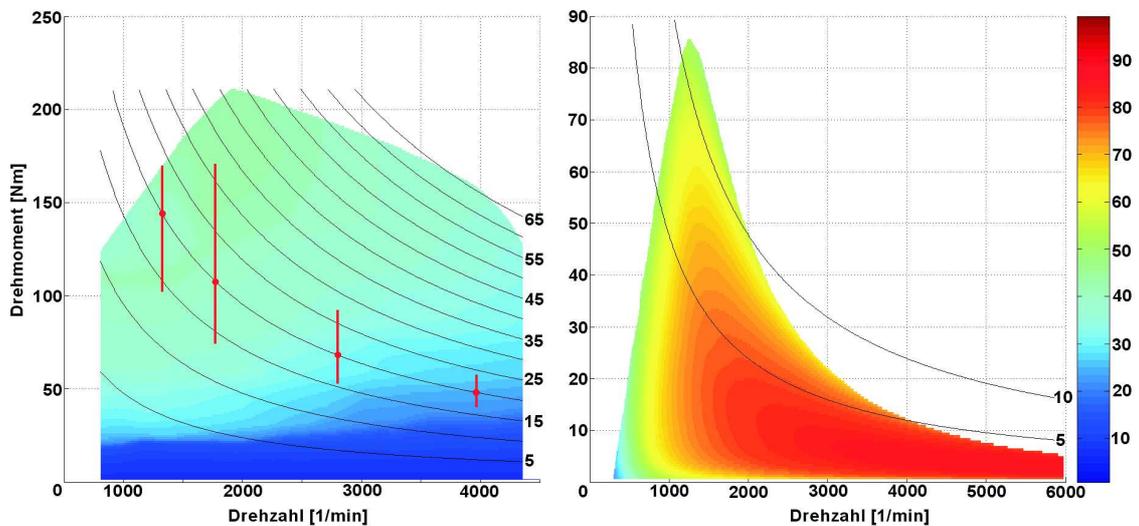


Abbildung 2: Wirkungsgradkennfelder: Links Verbrennungsmotor, rechts Elektromaschine im Generatorbetrieb

Elektromotors. Beide Darstellungen benutzen die gleichen Farben für gleiche Wirkungsgrade. Dabei ergibt sich der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotor aus dem Verhältnis aus Brennwert des Kraftstoffes und dem im Verbrauchskennfeld angegebenen Verbrauch pro kWh. Der elektrische Wirkungsgrad ergibt sich aus der von der Batterie abgegebenen Leistung und der um die Stromwärmeverluste in der Elektromaschine und der dazugehörigen Leistungselektronik reduzierten Leistung. Die Hyperbeln stellen Linien gleicher Leistung dar. Für eine bestimmte Geschwindigkeit ergeben sich für die Motordrehzahl bei einem Fünfganggetriebe maximal fünf verschiedene Werte. Meist befinden sich jedoch nur drei oder vier davon im zulässigen Drehzahlbereich. In Abb. 2 auf der linken Seite sind für 20 kW und 50km/h die vier möglichen Betriebspunkte, mit denen der Verbrennungsmotor diese Leistung allein zur Verfügung stellen kann, mit roten Punkten markiert. Die roten Balken an diesen Punkten zeigen an, in welchen Bereichen das Verbrennungsmotormoment variiert werden kann, wenn die Elektromaschine ihr volles Drehmomentspektrum sowohl generatorisch wie auch motorisch zum Antriebsmoment hinzuaddiert. Dementsprechend stehen in einem Hybridfahrzeug viele mögliche Betriebspunkte zur Verfügung, um die geforderte Leistung zu erzeugen. Die Aufgabe des Energiemanagements ist es nun, den günstigsten Betriebspunkt und damit auch den günstigsten Gang zu finden. Hierbei werden die Kosten pro kWh sowohl elektrisch als auch beim Verbrennungsmotor mit den jeweiligen Maschinenwirkungsgraden des zu überprüfenden Betriebspunktes gewichtet und so die Gesamtkosten für diesen Betriebspunkt ermittelt. Näheres siehe [3]. Dies geschieht für alle möglichen Kombinationen von Elektro- und Verbrennungsmotordrehmoment. Die kostengünstigste wird dabei ausgewählt. Wird elektrische Energie für die Bewältigung eines Betriebspunktes ausgegeben, so berechnen sich die Energiekosten in der Batterie neu. Werden diese Grundkosten hoch - durch ständigen Energieabfluss - so wird der Elektromotor seltener zur motorischen Unterstützung des Verbrennungsmotors herangezogen. Werden jedoch die

Energiekosten der Batterie niedrig - z.B. durch Nutzbremsen - so wird der Elektromotor häufiger eingesetzt. Diese Grundkosten  $k_{Batt,0}$  eignen sich besonders, um von einer übergeordneten Logik aus auf das Energiemanagement Einfluss zu nehmen, da über sie die Einsatzhäufigkeit des elektrischen Zweiges beeinflusst werden kann.

### 3 Verbessertes Energiemanagement

Als Ausgangspunkt für eine Verbesserung des Online-Reglers dienen offline optimierte Fahrzyklen. Diese werden mittels der Optimierung nach Bellmann [4] berechnet. Dieses Verfahren stellt sicher, dass die Drehmomentaufteilung der beiden Maschinen stets so gewählt wird, dass über die ganze Fahrt gesehen der geringste Kraftstoffverbrauch zustande kommt. Der Einsatz des elektrischen Pfades schlägt sich im Ladezustand der Batterie nieder. Der so gewonnene optimale Ladezustandsverlauf über die gesamte Fahrt wird nun dem Online-Regler aufgezwungen, um nachzuweisen, dass sich dieser mittels eines so berechneten SOC-Verlaufes verbessern lässt.

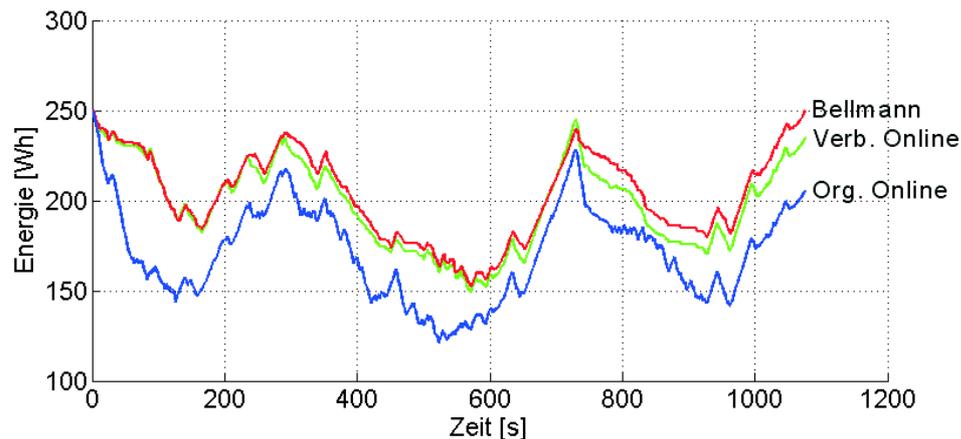


Abbildung 3: Ladezustandsverlauf für Online-Regler, Offline-Optimierung, Verbesserter Online-Regler

Abb.: 3 zeigt die drei Ladezustandsverläufe. Der verbesserte Online-Regler (grün) wird dem mit Bellman berechneten Verlauf (rot) nachgeführt. Dabei ist zu beachten, dass eine exakte Nachführung keine wesentliche Verbesserung des Verbrauchs bringt. Nur wenn dem Online-Regler ein SOC-Toleranzband um den optimalen Verlauf herum vorgegeben wird stellt sich die erwartete Beeinflussbarkeit ein. Abb. 4 zeigt den Kraftstoffverbrauch für die gewählte Fahrt. Daraus lässt sich eine Verbrauchseinsparung von 6,5% ablesen. Berücksichtigt man jedoch, dass der Batterie nach Abschluss der Online-Reglung ca. 45 Wh bezüglich des Batterieladezustandes am Ende der Offline-Optimierung fehlen, ergibt sich ein anhand mittlerer Wirkungsgrade abgeschätzter Verbrauchsvorteil von ca. 8%. Hierbei wird anhand des mittleren elektrischen Wirkungsgrades von 55% die Energiemenge berechnet, welche auf der Antriebswelle durch die 45Wh Batterieenergie erzeugt worden ist. Über den mittleren Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors von 33% wird

die Kraftstoffenergie berechnet, welche die gleiche mechanische Energie auf der Welle zur Verfügung gestellt hätte. Mittels des unteren Brennwertes von Diesel lässt sich die Treibstoffmenge angeben die dazu nötig gewesen wäre. Diese kann zum Verbrauch des Online-Reglers hinzuaddiert werden und so die Differenz der Batterieladezustände beider Verfahren ausgleichen.

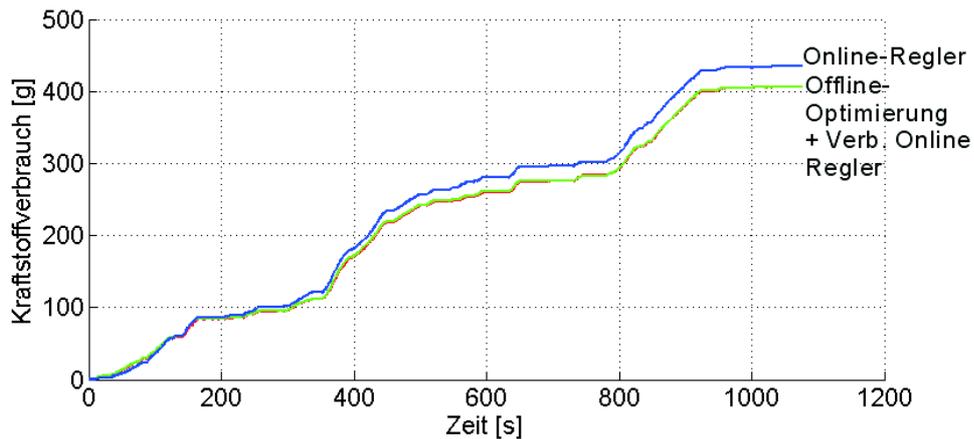


Abbildung 4: Vergleich des absoluten Kraftstoffverbrauchs der unterschiedlichen Verfahren

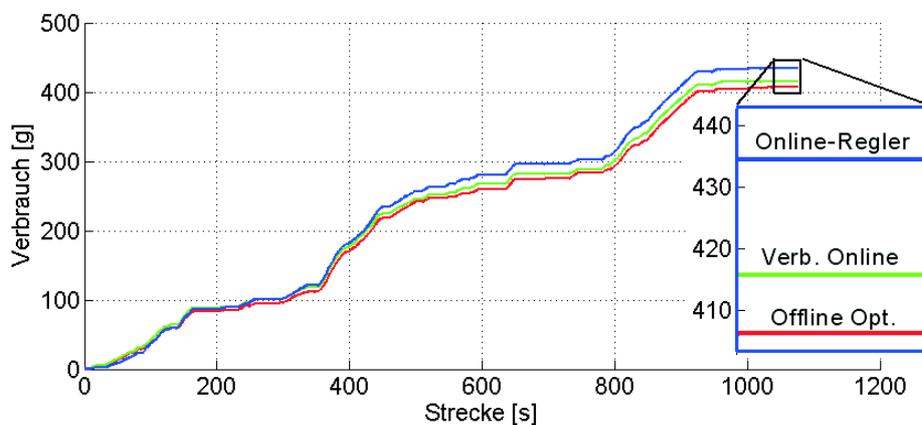


Abbildung 5: Verbrauchsvergleich bei verrauschter Durchschnittsgeschwindigkeit

Da im Fahrzeug lediglich der Streckenverlauf aber noch nicht das Fahrverhalten des Fahrers bekannt ist, muss die optimierte Ladezustandskurve auf andere Weise erzeugt werden. Eine Möglichkeit, diese Kurve zu ermitteln, bedient sich der in einem Navigationsgerät vorhandenen Durchschnittsgeschwindigkeiten für bestimmte Streckenarten. Werden diese Geschwindigkeitsdaten mit einem Rauschen überlagert und als Vorgabe für die Optimierung verwendet, ergeben sich Ladezustandsverläufe, die Verbesserungen im Verbrauch von bis zu 4% bei Anwendung auf eine neue Fahrt auf dieser Strecke erbringen, siehe Abb. 5. Berücksichtigt man wie beim obigen Beispiel den niedrigeren

SOC des Online-Reglers, ergibt sich eine abgeschätzte Verbrauchsreduzierung von ca. 5,5%. Andere Möglichkeiten zur Erzeugung von Ladezustandskurven als Führungsgröße für den Online-Regler sind denkbar, wurden aber noch nicht untersucht.

## 4 Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass sich ein optimaler SOC-Verlauf für die Verbesserung eines Online-Reglers in einem Hybridfahrzeug eignet. Die Erzeugungsmöglichkeiten eines solchen SOC-Verlaufes sind vielfältig, wobei sich für SOC-Kurven, die mit verrauschten Durchschnittsgeschwindigkeiten und dem Optimierungsalgorithmus erzeugt wurden, bereits gute Ergebnisse zeigen. Eine Absenkung des Kraftstoffverbrauches um bis zu 5,5% - gegenüber dem unmodifizierten Online-Regler - bei geeigneten Fahrstrecken kann deshalb als realisierbares Ziel angesehen werden. Der Nachweis, dass es möglich ist, die SOC-Vorgabekurven auf Prozessoren, die im Automobilbau eingesetzt werden, in ausreichend kurzer Zeit zu erzeugen, muss noch erbracht werden.

## Literatur

- [1] Tischler, K.; Clauss, M.; Guenter, Y.; Kaempchen, N.; Schreier R.; Stiegeler M.: *Networked Environment Description for Advanced Driver Assistance Systems*, 8. International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Vienna, Austria, September 2005 (zur Veröffentlichung angenommen).
- [2] N.Kaempchen, M. Clauss, Y. Guenter, R. M. Schreier, M. Stiegeler, K. Tischler, K. Dietmayer, H. P. Grossmann, H. Kabza, H. Neumann, A. Rothermel, C. Stiller: *Vernetzte Fahrzeug- Umfeelderfassung für zukünftige Fahrerassistenzsysteme*, Fahrerassistenz-Workshop , Walting, April 2005
- [3] Markus Stiegeler, Stephan Rohr, Herbert Kabza: *Basic Gear Shifts Method for Automatic Gear Box in Mild-Hybrid Vehicles Using Cost Functions*, 21st Electric Vehicle Symposium, Monte Carlo, 2005
- [4] M. Papageorgiou: *Optimierung*, Statische, dynamische, stochastische Verfahren für die Anwendung, R. Oldenbourg Verlag München Wien 1996



