

# Autonomes Fahren – Erkenntnisse aus der DARPA Urban Challenge

Autonomous Driving – Insights from the DARPA Urban Challenge

Christian Berger, Bernhard Rumpe, Universität Braunschweig

**Zusammenfassung** Mit der Urban Challenge hat die DARPA Ende 2007 ihr erklärtes Ziel erreicht, nachzuweisen, dass autonomes Fahren prinzipiell möglich ist. In diesem Artikel wird skizziert, welcher Stand tatsächlich erreicht wurde und welche Herausforderungen nun bearbeitet werden wollen.

**Summary** Late in 2007, DARPA has conducted the Urban Challenge and achieved its declared goal, that autonomous driving is possible in principle. In this article, we discuss how far we actually are and what the next challenges will be.

**KEYWORDS** J.7 [Computer Applications: Computers In Other Systems]; Autonomes Fahren, Caroline, Intelligente Fahrerassistenz, CarOLO, DARPA Urban Challenge / autonomous driving

## 1 Einleitung

Die DARPA Urban Challenge 2007 war der Nachfolgewettbewerb der in den Jahren 2004 und 2005 durchgeführten Grand Challenges der DARPA, einer regierungseigenen, zielgerichteten Forschungseinrichtung in den USA. Ziel der Grand Challenges war es, in einem a priori unbekanntem Gelände GPS-gestützt einen vorgegebenen Weg abzufahren und dabei stationären Hindernissen auszuweichen [1]. Der Nachfolgewettbewerb Urban Challenge hob den Schwierigkeitsgrad der Herausforderung erneut an und erforderte das Befolgen von Verkehrsregeln, die Interpretation von Verkehrssituationen und Interaktion mit dynamischen Objekten in einer urbanen Umgebung.

Fünf Institute der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu

Braunschweig aus den Fakultäten Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik schlossen sich im Juni 2006 im CarOLO-Projekt zusammen, um interdisziplinär erstmalig an diesem Wettbewerb teilzunehmen.

Innerhalb eines Jahres entwickelten sie unter Leitung von Prof. Dr. Bernhard Rumpe vom Institut für Software Systems Engineering den Versuchsträger Caroline in Bild 1.

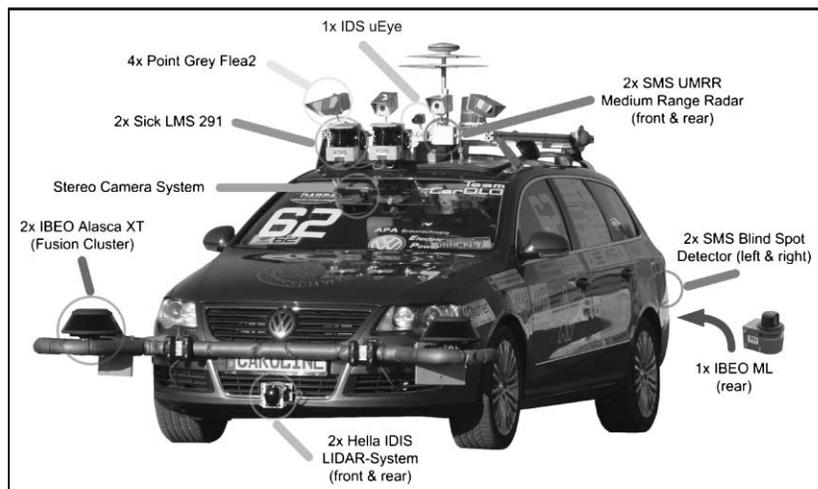


Bild 1 Sensoraufbau des Versuchsträgers Caroline.

## 2 DARPA Urban Challenge 2007

Wie bereits dargelegt war das Ziel für die DARPA Urban Challenge, einen Versuchsträger derart auszurüsten, dass er in Lage ist, basierend auf einer digitalen Straßenkarte autonom vorgegebene und in völlig unterschiedlichen Straßenzügen liegende Zielpunkte anzufahren. Hierbei gilt es, zügig voran zu kommen, Hindernisse und blockierte Straßen zu meistern und Verkehrsregeln zu beachten.

### 2.1 Der Versuchsträger Caroline

Das automatisch fahrende Fahrzeug Caroline ist ein VW Passat aus dem Jahr 2006, der mit einigem zusätzlichem Equipment ausgestattet wurde. Der Passat bietet serienmäßig Zugriff auf die elektronisch angesteuerte Aktorik, so dass er eine ideale Entwicklungsplattform bildet.

Zur Erkennung der Umgebung wurden verschiedene Messprinzipien eingesetzt. Zur Detektion von stationären und dynamischen Objekten wird aktive Sensorik (Laser und Radar) verwendet. Fahrspuren und fahrbare Bereiche werden hingegen kamerabasiert erkannt. Die Sichtbereiche und Reichweiten von Caroline sind in Bild 2 dargestellt.

Die Lokalisierung des Fahrzeugs wird durch GPS unter Ergänzung eines satellitengestützten Korrektursignals durchgeführt. Hiermit gelingt eine Genauigkeit im Bereich unter 1 m.

Die Verarbeitung der Daten wird im Kofferraum von Caroline auf automotive-tauglichen Fahrzeugrechnern der Desktop-PC-Leistungsklasse durchgeführt (siehe Bild 3). Hierbei wurde Wert auf ein einheitliches Rechnerkonzept gelegt, um Austauschbarkeit und Verlagerung von Prozessen zu ermöglichen.

Das modulare Konzept findet sich auch in der Software-Architektur wieder. Bild 4 stellt überblicksartig die grundsätzliche Struktur dar. Die Aufgabe der autonomen Fahrfunktion im innerstädtischen Bereich wurde als Pipeline-Verarbeitungskonzept realisiert, das

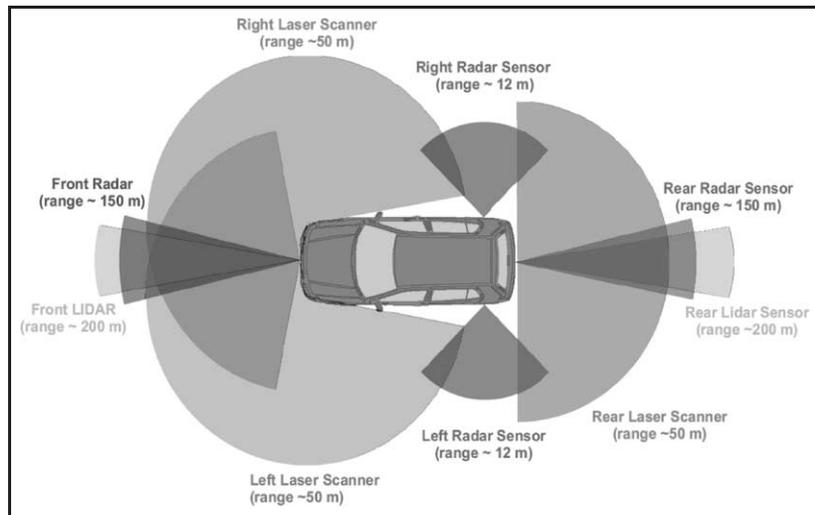


Bild 2 Sensorabdeckungsgebiete von Caroline.

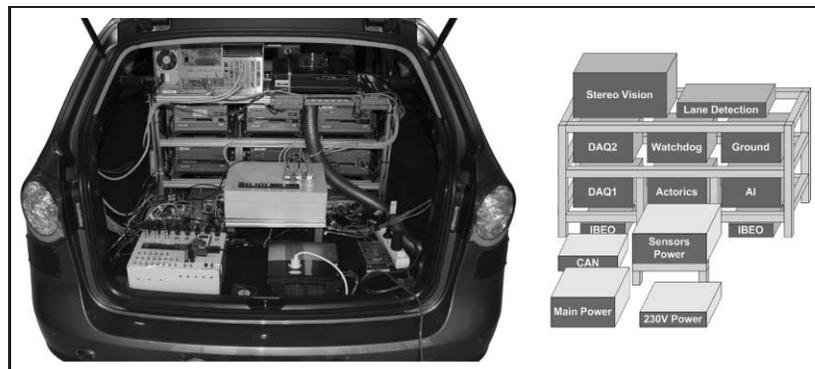


Bild 3 „Gehirn“ von Caroline.

auf unabhängige Module parallelisiert wurde. Alle Module laufen auf einer teilweise eigenimplementierten, schnellen, auf Durchsatz optimierten und sehr schlanken Middleware, in der einerseits grundsätzliche Softwarefunktionen wie Nebenläufigkeit, Kommunikation und Echtzeitverarbeitung gekapselt wurden, andererseits aber auch Software-Architektur-Muster zur Modulerstellung bereitgestellt wurden [2].

### 2.2 Der Wettbewerb

Die DARPA Urban Challenge 2007 ist der Nachfolgewettbewerb der Grand Challenges 2004 und 2005. Der Teilnahmeprozess gliederte sich in zwei verschiedene Tracks A und B, von denen der erste direkt von der DARPA mit 1 Mio US\$ gefördert wurde. Caroline hat im Track B eigenfinanziert teilgenommen. Dazu

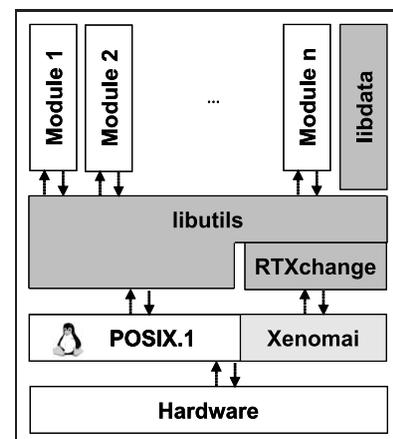
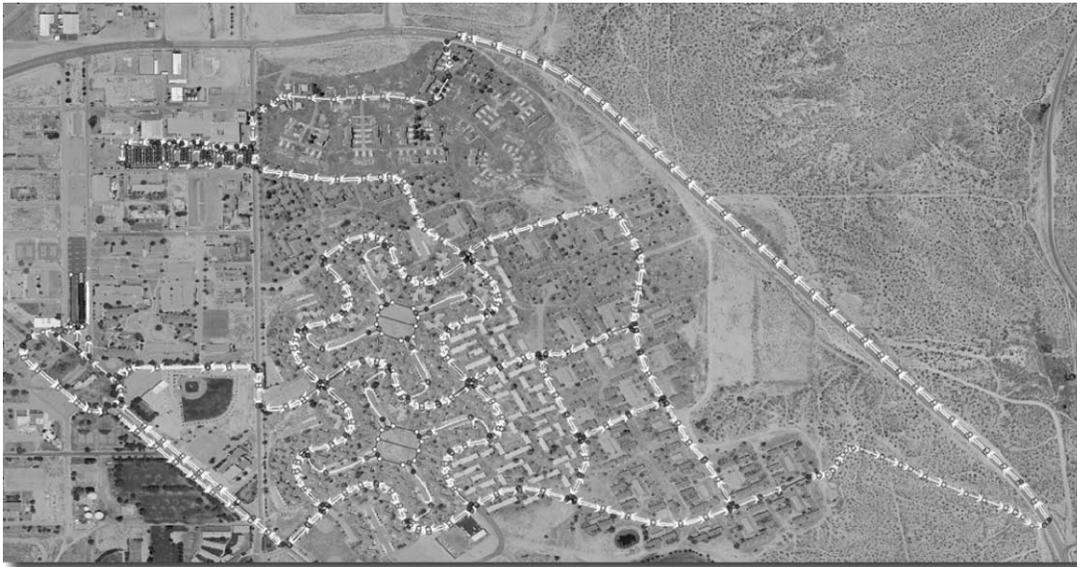


Bild 4 Software Architektur von Caroline.

musste im April 2007 eine Videobewerbung eingereicht werden, in der das Fahrzeug erklärt und in einer Fahrdemonstration ein stehendes Fahrzeug überholt wurde. Neben dieser Bewerbung hat ein detaillierter technischer Bericht das



**Bild 5** Digitale Karte des Finales der Urban Challenge.

Fahrzeug erläutert [3; 4]. Basierend auf diesen Informationen wurde das Team CarOLO im Juni 2007 zum Vorausscheid in die USA eingeladen [5].

Im Vorausscheid, der in San Antonio, Texas am Southwest Research Institute durchgeführt wurde, musste die Sicherheit des Versuchsträgers demonstriert werden, sowie das fahrspurgestützte Abfahren eines Rundkurses und das korrekte Verhalten an Kreuzungen nach amerikanischer Verkehrsregelung.

### 2.3 Das Rennen in Victorville, CA

Basierend auf den Ergebnissen wurde das Team neben 34 weiteren Teilnehmern im August 2007 zum Halbfinale in Victorville, Kalifornien zugelassen [6]. Das Halbfinale dauerte fünf Tage und bestand neben einer Sicherheitsüberprüfung aus drei unabhängigen Teilprüfungen.

In der ersten Prüfung musste das Einfädeln in eine mindestens zehn Sekunden große Lücke im fließenden Verkehr demonstriert werden. Die zweite Teilprüfung bestand aus einer längeren autonomen Fahrt inklusive Einparken und Ausweichen vor stationären Hindernissen. In der letzten Prüfung musste erneut das korrekte Verhalten an

Kreuzungen sowie die Durchführung eines U-Turns demonstriert werden. Am 30. Oktober 2007 qualifizierte sich das Team CarOLO bereits vorzeitig neben zwei renommierten Eliteuniversitäten aus Stanford und Pennsylvania für das Finale.

Insgesamt erreichten von anfänglich über hundert Teams nur elf das Finale am 3. November 2007, in dem ursprünglich 20 Plätze vorgesehen waren [7]. Bild 5 zeigt die digitale Karte des Finalkurses. Die Fahrzeuge fuhren zeitlich versetzt aber gemeinsam auf dem Kurs und hatten unterschiedliche Aufgaben zu bewältigen. Nach einem Zusammenstoß mit dem Team MIT, dessen Ursachen trotz Analyse der Sensorrohdaten bis heute ungeklärt sind, belegte das Team CarOLO als bestes nicht-amerikanisches Team den siebten Platz.

### 3 Lessons learned und offene Fragen

Die DARPA hatte den Auftrag nachzuweisen, dass autonomes Fahren im Stadt-ähnlichen Bereich sowie auf Überlandwegen wie Autobahnen und Landstraßen prinzipiell möglich ist. Dieser Nachweis ist durch die Grand Challenges in der Wüste 2004 und 2005 einerseits und

in einer urbanen Umgebung 2007 andererseits grundsätzlich erbracht worden.

Es stellt sich also die Frage, was tatsächlich bereits erreicht wurde? Wie kann das Erreichte nachhaltig in die Automobilentwicklung eingebracht und umgesetzt werden? Und vor allem: Was ist in diesem Kontext noch zu tun?

Zunächst ist zu evaluieren, was wirklich erreicht wurde:

- Einige wenige der insgesamt 89 Teilnehmer sind tatsächlich die gesamte Wettkampfzeit robust und sicher gefahren. Das bedeutet jedoch noch bei weitem nicht, dass die so entwickelten Systeme bereits dauerhaft robust und abgesichert sind.
- Die Szenarien der Challenges waren deutliche Vereinfachungen realer Fahrsituationen: So waren keine Fußgänger, Fahrräder und weder statische noch dynamische Verkehrszeichen zu detektieren.
- Die Fahrten haben darüber hinaus bei gutem Wetter tagsüber stattgefunden. Es hat nicht geregnet, geschneit oder gehagelt und es war nicht neblig. Weiterhin war nicht durch einen Tunnel oder durch stark abgeschattete Bereiche zu fahren.

Konsequenterweise ist der Weg zum automatischen Fahren auf öffentlichen Straßen noch weit. Um dabei zielführend in Forschung und Entwicklung voran zu kommen, ist eine Zerlegung des Themenkomplexes und eine Analyse der einzelnen Teilthemen notwendig. Dabei ist aber gleichzeitig zu beachten, dass das Ziel eine robust integrierte Gesamtlösung ist. Notwendig ist eine Modularisierung und präzise Zerlegung des Aufgabenkomplexes, um die Vergleichbarkeit von Lösungsansätzen, Austauschbarkeit von Komponenten durch Innovationen, flexible Skalierbarkeit und Konfigurierbarkeit und insbesondere nachhaltige Wiederverwendung einzelner Komponenten zu ermöglichen. Die wichtigsten dieser System-Komponenten sollen nachfolgend einzeln besprochen werden.

### 3.1 Umfeldwahrnehmung

Die grundlegend wichtigste Aufgabe für alle intelligenten Fahrfunktionen ist die korrekte und konsistente Wahrnehmung des Umfelds vom Fahrzeug und die Einschätzung, wie gut diese Wahrnehmung gerade ist (z. B. die „Sichtweite“). Hierbei spielen einerseits robuste und günstige Detektionstechnologien eine wichtige Rolle wie auch echtzeitfähige Algorithmen, die verschiedene Datenquellen miteinander fusionieren und über die Zeit verfolgen. Radar ist grundsätzlich nicht gut geeignet zur Objekterkennung. Wesentlich feingranularer erlauben Laser die Abtastung von Objekten, sind aber in Bezug auf Staub noch stör anfällig, haben noch nicht den für schnelle Fahrten notwendigen Weitblick und sind noch deutlich zu teuer. Kameras bieten heute noch keine ausreichende Auflösung bei gleichzeitiger Stabilität der Erkennung bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen.

Vor dem Finallauf bei der Urban Challenge gab es eine Generalprobe, bei der alle Teilnehmer gleichzeitig aus den Startboxen starten sollten. Dabei wurde zum ersten Mal erkannt, dass sich die Senso-

riken gegenseitig störten sowie von einer Anzeigetafel gestört wurden. Als Ergebnis fuhr keiner der Teilnehmer los. Innerstädtische Kreuzungen oder Stausituationen wären mit heutiger Sensorik somit nicht zu bewältigen.

Weiterhin muss die Algorithmenik derart verbessert werden, dass neben den Primitiva Größe, Ort und Bewegungsform, echte Semantik in die Erkennung gelegt werden kann. In den Messdaten erscheinen Fußgänger und Bäume nahezu identisch, ihr potentiell Verhalten und damit auch die notwendige Reaktion eines Fahrers ist jedoch sehr unterschiedlich. Solange das Umfeld nicht zuverlässig erkannt wird, wird jegliche intelligente Fahrfunktion lediglich assistieren, nicht jedoch im Mischverkehr den Fahrer substituieren können.

### 3.2 Architektur und Middleware

Einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg des CarOLO-Projekts leistete eine klar strukturierte und schlanke, auf den Verwendungszweck hin optimierte Middleware zur Einkapselung und Bereitstellung von grundlegenden Funktionen. Hierbei wurden vor allen Dingen Nebenläufigkeit, Kommunikation und Software-Architekturkonzepte für paralleliertes Pipelining bereitgestellt und Diagnostik und Robustheitscharakteristika verteilter Systeme integriert. [8]

Eine Middleware abstrahiert von heterogenen Hardware-Bussen und bietet einen einheitlichen „Software-Bus“, über den Module miteinander transparent kommunizieren können. Die Kommunikation selbst ist rückwirkungsfrei aufnehmbar, um parallel zur Software automatisierte Testfälle zu entwickeln und nach geeigneten Gütekriterien zu bewerten, ob die Architektur robust und zuverlässig ist. Verschiedene Mock-Konfigurationen erlauben automatisierte Tests in unterschiedlichsten Konstellationen.

Mit Autosar entsteht derzeit eine automotive-taugliche Infrastruktur,

um Architekturen und Middleware für automobiler Anforderungen zukünftig systematischer zu realisieren.

### 3.3 Fahrzeugintelligenz

Die zur autonomen Fahrt notwendige Intelligenz muss zunächst die Straßenverkehrsordnung beherrschen, aber darüber hinaus den dem jeweiligen Kulturraum angemessenen Verhaltensnormen entsprechen.

Die Intelligenz zerfällt in eine strategische Komponente, die ein Navigationssystem beinhaltet und die Fahrrouten festlegt, sowie eine taktische Komponente, die in der jeweils aktuellen Fahrsituation kurzfristige Fahrentscheidungen trifft und diese an die ausführende Aktorik weiterleitet.

Die Verkehrsregeln eines Landes sind überschaubar und in der taktischen Komponente umsetzbar. Komplexität entsteht durch die Problematik, dass viele länderspezifische Straßenverkehrsordnungen robust und in einem System integriert umzusetzen sind, da Autos auch zu Fernreisen eingesetzt werden.

Eine weitere Komplexitätsstufe entsteht durch die vielfältigen möglichen Fahrsituationen, zum Beispiel bei komplexen Kreuzungen, Baustellen oder unkonventionellen Verhaltensweisen anderer Verkehrsteilnehmer.

Es ist heute davon auszugehen, dass eine adaptive künstliche Intelligenz eventuell für das Training im Simulator eingesetzt wird, aber dynamische Adaptivität der Intelligenz im ausgelieferten Fahrzeug nicht zum Tragen kommen wird. Statische, kontrollierte Adaptivität wird nur durch das Nachladen neuer Softwarestände zum Beispiel bei Änderungen von Verkehrsregelungen notwendig.

### 3.4 Integration und Qualitätssicherung

Für eine serienreife Entwicklung eines solchen Systems sind selbstverständlich dieselben Qualitätsstandards wie für alle anderen kri-



tischen Funktionen im Fahrzeug anzuwenden. Allerdings erfordert die hohe Komplexität dieser Funktionalität neue Herangehensweisen an die Entwicklung. Die Softwarelastigkeit, die vielen verschiedenen Verkehrsregelungen und möglichen Fahrsituationen erlauben keine adäquate Absicherung durch ausreichend Fahrkilometer mehr, sondern erfordern notwendigerweise einen intensiven Einsatz einer Simulationskomponente im Entwicklungsprozess [9; 10].

Nur eine solche Simulation erlaubt es, die Intelligenz im Fahrzeug ausreichend zu erproben, je nach Ansatz auch zu trainieren, und ihr Verhalten auch in gefährlichen Situationen sowie Unfallszenarien zu analysieren.

Die beschriebene Zerlegung in einzelne Systemkomponenten gestattet die Fokussierung der Teilaufgaben, erfordert aber eine noch zu explorierende robuste Definition der Schnittstellen zwischen den Komponenten und zur Middleware. Damit kann dann aber etwa Software ausgetauscht werden, bessere Sensorik sobald verfügbar eingebaut werden und insbesondere verschiedene Fahrfunktionen, wie Einparken, intelligente Warnfunktion bis hin zum autonomen Fahren, bei gleicher Hardware realisiert werden.

### 3.5 Serienreife

Neben grundsätzlichen Herausforderungen zur Vollständigkeit der Situationsbehandlung und zur Robustheit und Qualität des Systems stellt sich die Frage nach den Einzelkosten der notwendigen Hardware sowie der Energiebilanz.

Die in Caroline verwendete Hardware besteht zu großen Teilen aus modernen und daher noch sehr teuren Sensoren. Einigermaßen geeignete Laser-basierte Messsysteme sind derzeit in der Größenordnung von 15 000–100 000 Euro zu bekommen. Hier ist aber eine signifikante Kostenreduktion zu erwarten, wenn eine Massenproduktion für die Serie aufgelegt wird.

Kameras sind aufgrund ihres massenhaften Einsatzes zum Beispiel in Handys heute bereits preisgünstig, aber für die unterschiedlichen, oft schnell wechselnden Lichtverhältnisse wie z. B. Schatten oder Tunnel noch nicht einsatzbereit. Radare sind grundsätzlich ungeeignet, komplexere Situationen zu erkennen. Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit beim befahrbaren freien Raum leisten sie aber einen nennenswerten Beitrag, wie im CarOLO-Projekt evaluiert werden konnte.

Gleichzeitig muss sich auch die für Sensorfusion, Intelligenz und Aktorik notwendige Rechenleistung noch preisgünstiger und vor allem energieärmer in das Fahrzeug integrieren lassen. Gerade der Stromverbrauch wird den Energiehaushalt eines Fahrzeugs sonst zu stark belasten.

## 4 Gesellschaftliche und rechtliche Fragen

Selbstverständlich sind – auch oder sogar insbesondere in Deutschland – gesellschaftliche und rechtliche Aspekte zu beachten. Autonome Fahrzeuge dürfen sinnvollerweise erst zugelassen werden, wenn sie mindestens die Sicherheit des aktuellen Straßenverkehrs übertreffen oder zumindest erhalten.

Die Gesellschaft muss eine derartige Selbständigkeit von Robotern allgemein akzeptieren und unterstützen.

Die rechtliche Frage nach der Schuld bei potentiellen Unfällen muss zuverlässig geklärt werden. Muss ein Fahrer anwesend sein? Hat er die Verantwortung und daher notwendigerweise auch letztendlich die Kontrolle? In diesem Fall ist zu klären, wie der Fahrer trotz Untätigkeit beim Fahren die Aufmerksamkeit in Bezug auf den Verkehr beibehält, um notfalls eingreifen zu können. Was darf ein Fahrer dann Ablenkendes unternehmen? Und: Ist autonomes Fahren dann eigentlich noch von Interesse?

Trotz vieler möglicher Beispiele zu autonomen Fahrzeugen in Industrie, Handel und im Privatleben

fragt sich, was letztlich damit anzufangen ist. Viele Menschen haben durchaus Freude am Fahren und andere geben ungern die Kontrolle ab. Für bestimmte Zwecke würde sich eine Teilautonomie jedoch sicher anbieten. Beispielhaft ist das „Parkplatzszenario“: Der Fahrer steigt direkt vor dem Einkaufszentrum aus und weist das Auto an, sich selbst einen Parkplatz zu suchen, vorher aber noch zu tanken und durch die Waschstraße zu fahren. Später wird eventuell an ganz anderer Stelle das Auto per Handy wieder angefordert.

Es ist gut vorstellbar, dass für eingeschränkte Aufgabenstellungen zeitnah autonomes Fahren eingeführt werden kann. Teilweise sind autonome Fahrzeuge bereits heute Realität, zum Beispiel in der Landwirtschaft oder im Containerterminal in Häfen [11].

Weitere Beispiele für autonomes Fahren sind möglicherweise:

- Fabrikgelände mit stark eingeschränktem Zugang z.B. ohne Fußgänger oder sogar mit vorgegebenen Fahrwegen.
- Große abgesperrte Gelände, wie etwa Flugfelder und Flughäfen.
- Kolonnenbildung, wobei nur das erste Fahrzeug zu besetzen ist.
- Langstrecken in besonders leeren oder verkehrarmen Gegenden, wie etwa in manchen Teilen Australiens.
- Baulich separierte Fahrspuren für autonomen Gütertransport.

In solchen Situationen ist durch vereinfachte Randbedingungen mit einer schnelleren Realisierung robuster autonomer Fahreigenschaften zu rechnen.

## 5 Intelligente Fahrerunterstützung

Möglicherweise ist aber nicht das im engeren Sinn „autonome Fahren“ die Herausforderung, sondern eher die intelligente Unterstützung des eigenverantwortlichen Fahrers. Intelligenz heißt, dass die unterstützenden Systeme beispielsweise in der

Lage sind, gefährliche Situationen zu erkennen und darauf adäquat zu reagieren. Dazu gehört die Kontrolle der Aufmerksamkeit des Fahrers ebenso wie das Verständnis des Verkehrskontexts.

Angemessene Reaktionen bestehen etwa in visuellen, akustischen oder haptischen Hinweisen und Warnungen, um auf Gefahrensituationen frühzeitig aufmerksam zu machen, bis hin zum direkten Eingriff in das Fahrverhalten, etwa die Notbremsung, um einen Unfall zu verhindern.

Bei aktiven Eingriffen dieser Art ist aber das Überwachungsprinzip genau umgekehrt: Das Auto übernimmt im Gefahrenfall zumindest einen Teil der Kontrolle und entzieht so dem Fahrer einen Teil der Verantwortung. Um dies robust und rechtlich sicher realisieren zu können, sind entweder nur sehr einfache Verhaltensregeln umzusetzen, oder ein sehr ausgefeiltes Verständnis und eine robuste Erkennung von Gefahrensituationen und Fahrerintention zu entwickeln. Einfache Regeln sind serienreif etwa im Pre-Crash realisiert, der erst eingreift, wenn ein Crash nicht mehr verhindert, aber durch Abbremsen gemildert werden kann.

Ein Verständnis für Gefahrensituationen zu entwickeln, erscheint auf Basis der DARPA Urban Challenge Erfahrungen machbar. Allerdings ist eine selbstfahrende Intelligenz grundsätzlich anders und weniger komplex aufgebaut als eine prüfende Intelligenz, die sich nicht einfach einen Idealweg aussuchen darf, sondern die Menge aller möglichen Trajektorien auf Gefahrenpotential bewerten muss, um den Fahrer gegebenenfalls zu warnen, bevor er ein gefährliches Fahrverhalten zeigt.

Die Erfassung der Fahrerintention ist dabei der komplexere Faktor. Das inkludiert das klassische Dilemma des ängstlichen Beifahrers: Hat der Fahrer die Gefahr erkannt? Wird er richtig reagieren? Oder muss ich etwas unternehmen?

Die Frage nach der Intention ist bei vorausschauendem Fahren auch für andere Verkehrsteilnehmer zu behandeln. Die Signale, an denen wir erkennen, wie sich ein anderer Verkehrsteilnehmer verhalten will, sind oft subtil. Augenkontakt wird da genau so genutzt wie kurzes Winken. Auch lässt sich der Wunsch Auszuscheren des voranfahrenden Fahrzeugs oft daran erkennen, dass das Fahrzeug leicht nach links zieht, noch bevor der Blinker gesetzt wird [12].

In diesen Bereichen ist also ebenfalls noch sehr viel Forschungsarbeit zu leisten, wenn tatsächlich autonom agierende Fahrzeuge und normaler Straßenverkehr gemischt oder intelligente Unterstützungs-, Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen in das Fahrzeug gebracht werden sollen.

## 6 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass trotz eines prinzipiellen Nachweises, dass autonomes Fahren möglich ist, auf rechtlicher, gesellschaftlicher und vor allem technischer Ebene noch eine ganze Reihe von Aufgabenstellungen zu klären sind.

Zu deren nachhaltiger und flexibel weiterentwickelbarer und in Serienreife industrialisierbarer Lösung sind die einzelnen Aufgabenkomplexe zunächst separiert robust zu lösen, um regelmäßig zum Beispiel in weiteren Challenges oder beim Fahrzeughersteller in Demonstratoren integriert und nach ihrem Entwicklungsstand evaluiert zu werden.

Leider hat die DARPA angekündigt keine weiteren Challenges abzuhalten, da sie ihren Auftrag grundsätzlich als gelöst betrachtet.

## Danksagung

An unsere Sponsoren, allen voran der Volkswagen AG und der IAV GmbH für die deutliche Unterstützung bei der Teilnahme an der DARPA Urban Challenge 2007, gilt besonderer Dank. Wir bedanken uns auch bei allen beteilig-

ten und unterstützenden Studenten und Kollegen dieses herausfordernden und spannenden Projekts, die auf der Webseite [13] zu finden sind.

## Literatur

- [1] Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., Fong, P., Gale, J., Halpenny, M., Hoffmann, G., Lau, K., Oakley, C., Palatucci, M., Pratt, V., Stang, P., Strohband, S., Dupont, C., Jendrossek, L.-E., Koelen, C., Markley, C., Rummel, C., van Niekerk, J., Jensen, E., Alessandrini, P., Bradski, G., Davies, B., Ettinger, S., Kaehler, A., Nefian, A., and Mahoney, P.: Winning the DARPA Grand Challenge, 2006.
- [2] Rauskolb, F. W., Berger, K., Lipski, C., Magnor, M., Cornelsen, K., Effertz, J., Form, T., Graefe, F., Ohl, S., Schumacher, W., Wille, J.-M., Hecker, P., Nothdurft, T., Doering, M., Homeier, K., Morgenroth, J., Wolf, L., Basarke, C., Berger, C., Rumpe, B.: Caroline: An Autonomously Driving Vehicle for Urban Environments, 2008 (submitted).
- [3] DARPA, Urban Challenge Rules, 2007.
- [4] DARPA, Urban Challenge Technical Evaluation Criteria, 2007.
- [5] DARPA, Site Visit Teams Announcement, 2007.
- [6] DARPA, Semi-Finalist Announcement, 2007.
- [7] DARPA, Finalist Announcement, 2007.
- [8] Berger, C., and Rumpe, B.: Intelligent Simulations for Quality Assurance, 2008 (submitted).
- [9] Basarke, C., Berger, C., Homeier, K., and Rumpe, B.: Design and quality assurance of intelligent vehicle functions in the Virtual Vehicle. In: Proc. of Virtual Vehicle Creation, 2007.
- [10] Basarke, C., Berger, C., and Rumpe, B.: Software & Systems Engineering Process and Tools for the Development of Autonomous Driving Intelligence. In: Journal of Aerospace Computing, Information and Communication, 2007.
- [11] Strassmann, B.: Der digitale Kopilot, Die Zeit, 27/2007.
- [12] Rojas, R.: Forschungsaktivitäten beim Urban Challenge Team Berlin. In: Proc. der AAET 2008.
- [13] www.carolo.tu-bs.de, Nov. 2007



1

**1 Dipl. Wirt.-Inf. Christian Berger** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Software Systems Engineering. Im CarOLO-Projekt war er verantwortlich für die Teamleitung, die Software Architektur und die Systemsimulation. Sein Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich verteilter Software Architekturen und Systemsimulationen.



2

Adresse: Technische Universität Braunschweig, Institut für Software Systems Engineering, Mühlentordstraße 23, 38106 Braunschweig, E-Mail: berger@sse-tubs.de

**2 Prof. Dr. Bernhard Rumpe** ist Institutsleiter des Instituts für Software Systems Engineering. Forschungsschwerpunkte am Institut umfassen die Verbesserung der Entwicklung verteilter, eingebetteter Systeme, modellbasierte Software Entwicklung und Fundierung modellbasierter Sprachen. Prof. Dr. Rumpe leitete das CarOLO-Projekt. Adresse: Technische Universität Braunschweig, Institut für Software Systems Engineering, Mühlentordstraße 23, 38106 Braunschweig, E-Mail: b.rumpe@sse-tubs.de



## Im richtigen Moment das Richtige tun.



Richard Vahrenkamp

### **Logistik**

Management und Strategien

6., überarbeitete und erweiterte Auflage 2007

XIV, 485 S. | gb. | € 34,80

ISBN 978-3-486-58467-7

Dem Leser werden eine Fülle gut recherchierter und anschaulich erklärter Informationen zu den wesentlichen Aspekten der Logistik erklärt. Fallbeispiele aus der Logistik-Praxis ergänzen den Fachinhalt auf sinnvolle Weise.

Aus dem Inhalt:

**Grundlagen der Logistik.**

**Distributionslogistik.**

**Beschaffungs- und Entsorgungslogistik.**

**Transportnetzwerke der Logistik.**

**Kooperationen in der Logistik.**

**Methoden des Logistikmanagements.**

Oldenbourg



150 Jahre  
Wissen für die Zukunft  
Oldenbourg Verlag

Bestellen Sie in Ihrer Fachbuchhandlung oder direkt bei uns:  
Tel: 089/45051-248, Fax: 089/45051-333, verkauf@oldenbourg.de