

Links

[www.rcs.ei.tum.de](http://www.rcs.ei.tum.de)  
[www.kognimobil.org](http://www.kognimobil.org)







Illustration: edlundsepp

**E**s ist spät geworden. Nach einem Besuch im Theater waren Sie mit Freunden in Ihrem Lieblingslokal. Das eine oder andere Glas Wein haben Sie auch getrunken. Eigentlich zu viel Alkohol, um selbst noch mit dem Auto nach Hause zu fahren. Doch es kommt Ihnen nicht in den Sinn, ein Taxi zu bestellen. Sie steigen selbstverständlich in den eigenen Wagen – und nehmen auf der Rückbank Platz. Der Bordcomputer begrüßt Sie mit vertrauter Stimme und fragt nach dem Fahrziel. „Nach Hause“, rufen Sie ihm zu und los geht's. Zufrieden lächelnd winken Sie den Freunden im Fond ihrer fahrerlosen Vehikel zu, die sich ebenfalls im Großstadtverkehr auf den Heimweg machen. Willkommen in der Zukunft!

### **Der Fahrer nimmt Platz – auf dem Rücksitz**

Heute klingt solch ein Szenario unrealistisch. Noch. Denn was sich liest wie ein Traum, wird in wenigen Jahrzehnten technisch machbar sein. Das Fahrzeug der Zukunft ist Teil eines intelligenten, sich selbst organisierenden Verkehrssystems, in dem sich Autos autonom bewegen und miteinander kommunizieren. Wissenschaftler der TU München arbeiten an dieser neuen Form von Mobilität, die uns mehr Komfort und Sicher-

heit verspricht und zudem umweltfreundlicher ist. Sie entwickeln „Kognitive Automobile“. So nennt sich auch der transregionale Sonderforschungsbereich (SFB) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), an dem neben der TU München die Universität der Bundeswehr in Neuburg und die Technische Universität Karlsruhe beteiligt sind.

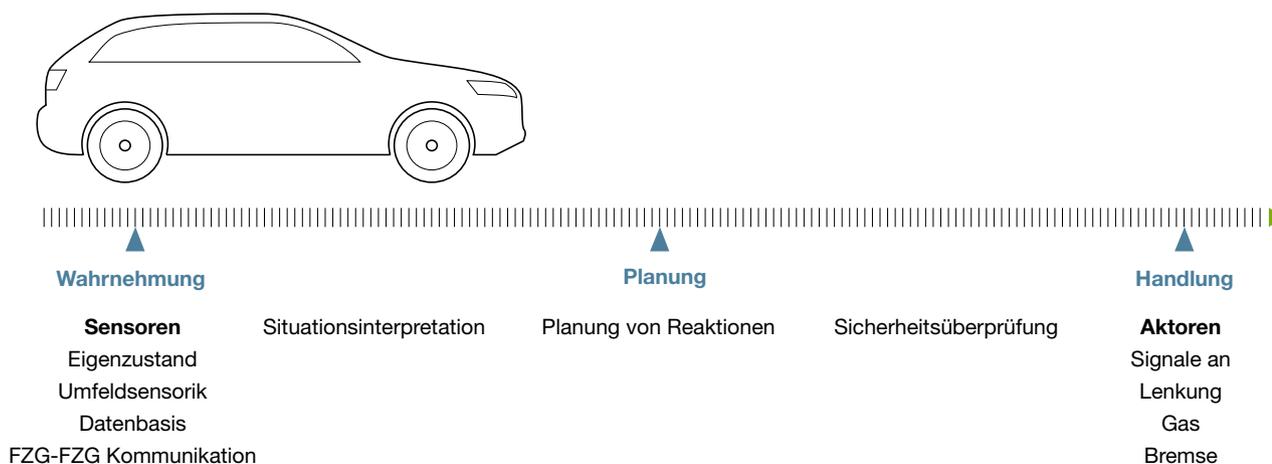
### **Vorbild Mensch**

Professor Georg Färber, Inhaber des Lehrstuhls für Realzeit-Computersysteme (RCS), koordiniert die Beiträge der TU München an dem seit Anfang 2006 laufenden Sonderforschungsbereich, kurz: SFB. Er erklärt: „Was wir machen, ist Grundlagenforschung. Ein Auto, das seinen Fahrer unterstützen oder diesen ganz ersetzen soll, muss verschiedene Dinge können.

Zunächst einmal muss es die Umwelt wahrnehmen und sich ein realistisches Bild von der Situation machen, in der es sich bewegt. Hat das Fahrzeug diese Informationen verarbeitet, kann es seine Aktionen planen und diese schließlich ausführen. Das sind auch die drei Aufgabenbereiche, in die unser SFB aufgeteilt ist: Wahrnehmung, Planung und Ausführung.“ Färber betont, dieses auf zwölf Jahre angelegte Projekt, an dem derzeit 25

**Bei einer autonomen Fahrt laufen verschiedene Einzelprozesse ab.** Zunächst müssen Daten, die die unterschiedlichen Sensoren erfassen, zusammengeführt und ausgewertet werden, um ein realistisches Bild der Fahrzeugumgebung und Verkehrssituation zu bekommen. Daraus plant das System eine Aktion, die nach einer Sicherheitsüberprüfung von den Aktoren Lenkung, Gas und Bremse ausgeführt wird

Grafik: edlundsepp nach RCS



Wissenschaftler arbeiten, sei nicht direkt auf eine Revolution des Straßenverkehrs gerichtet: „Wir lernen vielmehr am Beispiel des Autofahrens, wie wir Menschen funktionieren, und suchen nach Wegen, den Maschinen unsere Fähigkeiten beizubringen.“

Das menschliche Gehirn ist der Ausgangspunkt der interdisziplinären Erforschung einer wissenschaftlichen Theorie der Kognition im Anwendungsbeispiel Automobil. Es kann Bewegungsabläufe erlernen, steuern, und das Verhalten des „Systems Mensch“ je nach Umgebung und Aufgabe anpassen. Das Beispiel Autofahren zeigt, welche komplexen Aufgaben wir dank der Leistung unseres Gehirns alltäglich bewältigen (siehe oben stehende Grafik). Ausgestattet mit solchen kognitiven Fähigkeiten könnten technische Systeme zuverlässiger und flexibler agieren, mit weniger Detailprogrammierung auskommen und sich selbst an neue Herausforderungen anpassen.

Denkende Maschinen, die ihre Leistung selbstständig verbessern und immer mehr Kontrolle übernehmen – das klingt nach Science-Fiction und weckt bei Menschen, die das Steuer selbst in der Hand halten möchten, ein mulmiges Gefühl. Doch es ist eine Sache des Vertrauens, wie ein Blick in die Forschungspraxis zeigt.

### Testfahrt im rollenden Labor

Ein silberfarbener Audi Q7 rollt über das Testgelände der Universität der Bundeswehr in Neubiberg. Am Steuer sitzt ein Sicherheitsfahrer. Seine Hände berühren das Lenkrad nicht. Der Wagen lenkt selbst. Auch über Gas und Bremse führt der Hochleistungsrechner im mit Elektronik vollgepackten Heck des Q7 das Kommando. Ein Bildschirm zeigt den Ingenieuren an Bord, was die Sensoren des Wagens messen und wie er reagiert. Der Mann auf dem Fahrersitz müsste nur im Notfall eingreifen.

Er fungiert mehr als eine Art Fahrlehrer, der mit seinem Schüler übt. Wenn er das Lenkrad leicht bewegt, korrigiert der Roboter sofort mit einer Gegenbewegung und bleibt in der Spur. Seit Januar 2007 fährt dieser Prototyp der TU München – eines von drei Fahrzeugen, die dem SFB „Kognitive Automobile“ zur Verfügung stehen. Seitdem entwickelt er ständig neue Fähigkeiten.

Für die Ingenieure, die öfter in diesem rollenden Labor unterwegs sind, ist der Eigensinn ihres Testfahrzeugs Normalität. „Wir haben uns schon so sehr daran gewöhnt, dass wir manchmal vergessen, ob wir gerade im autonomen Betrieb laufen oder nicht“, sagt Florian Ratte, ein Mitarbeiter des RCS. Mit einem Lächeln

## Elektrotechnik

cheln fügt er hinzu: „Wenn wir Gäste mitnehmen, sind diese meistens sichtlich beeindruckt von ihrer ersten autonomen Autofahrt.“ Die Versuchs- und Demonstrationsfahrten sind Höhepunkte in der langwierigen und diffizilen Arbeit der Wissenschaftler, die ansonsten volle Konzentration auf jedes Detail erfordert.

### Wie Autos mit Maschinen sehen lernen

Rattei befasst sich in seinem Teilprojekt mit dem Thema Wahrnehmung, gewissermaßen mit Augen und Verstand des KogniMobils. Hier ist Pionierarbeit gefordert, denn eine ideale Technik für maschinelle Wahrnehmung im Automobil gibt es noch nicht. Ultraschall eignet sich nur für den Nahbereich bei sehr langsamen Geschwindigkeiten. Solche Sensoren kommen bereits in neuen Automodellen als Einparkhilfen zum Einsatz.

Radar ist eine gute Lösung für große Vorausschauweiten, auch bei schlechter Sicht. Es kann aber nur einen kleinen Bereich erfassen. LIDAR ist eine vielversprechende, dem Radar verwandte Methode, die Entfernungen mit Laserlichtstrahlen misst. Viele Experten sind

davon überzeugt, dass vor allem Videokameras großes Potenzial für das Auto der Zukunft bieten. Diese passiven Sensoren liefern Bilder, wie sie auch das menschliche Auge sieht.

„An der Position des Rückspiegels haben wir zwei schwenkbare Weitwinkelkameras und eine Telekamera angebracht“, erklärt Rattei den Aufbau im Fahrzeug der TU München. „So können wir mit verschiedenen Brennweiten gleichzeitig Wahrnehmungsaufgaben im Nah- und Fernbereich lösen.“

Die Telekamera ist zudem inertial stabilisiert und kann damit die im Fahrzeug auftretenden Nickbewegungen weitgehend ausgleichen. Während die Telekamera einzelne Objekte fokussieren kann, beobachten die Weitwinkel-Optiken das periphere Verkehrsumfeld. Der Wagen orientiert sich an den Fahrbahnmarkierungen. Auf der Autobahn ist das noch verhältnismäßig einfach. Auf einer Landstraße mit vielen engen Kurven müssen sich die Kameras ständig in die optimale Blickrichtung drehen, genauso wie der Autofahrer den Kopf bewegen würde. Auch das funktioniert bereits gut. Rattei be-

**Ein realzeitfähiger Hochleistungsrechner** interpretiert die Daten von Kameras, Radar, Infrarot-Sensoren und dem GPS-Empfänger und steuert die autonome Testfahrt



Fotos: links oben und unten: Matthias Goebel, RCS/TUM; rechts oben: Robert Nagel, LKN/TUM; rechts unten: Florian Rattei, RCS/TUM

stätigt: „Wir können mit unserem Q7 auch auf kurvenreicher Strecke die Spur halten. Im Juni haben unsere Fahrzeuge bei Tests im Rahmen der Tagung Intelligent Vehicles in Eindhoven sogar schon Autos vor sich erkannt und überholt. Alles in sehr gemächlichem Tempo natürlich. Aber das war ein weiterer Meilenstein für uns im SFB.“

### Das Ziel: Orientierung auch bei Nacht

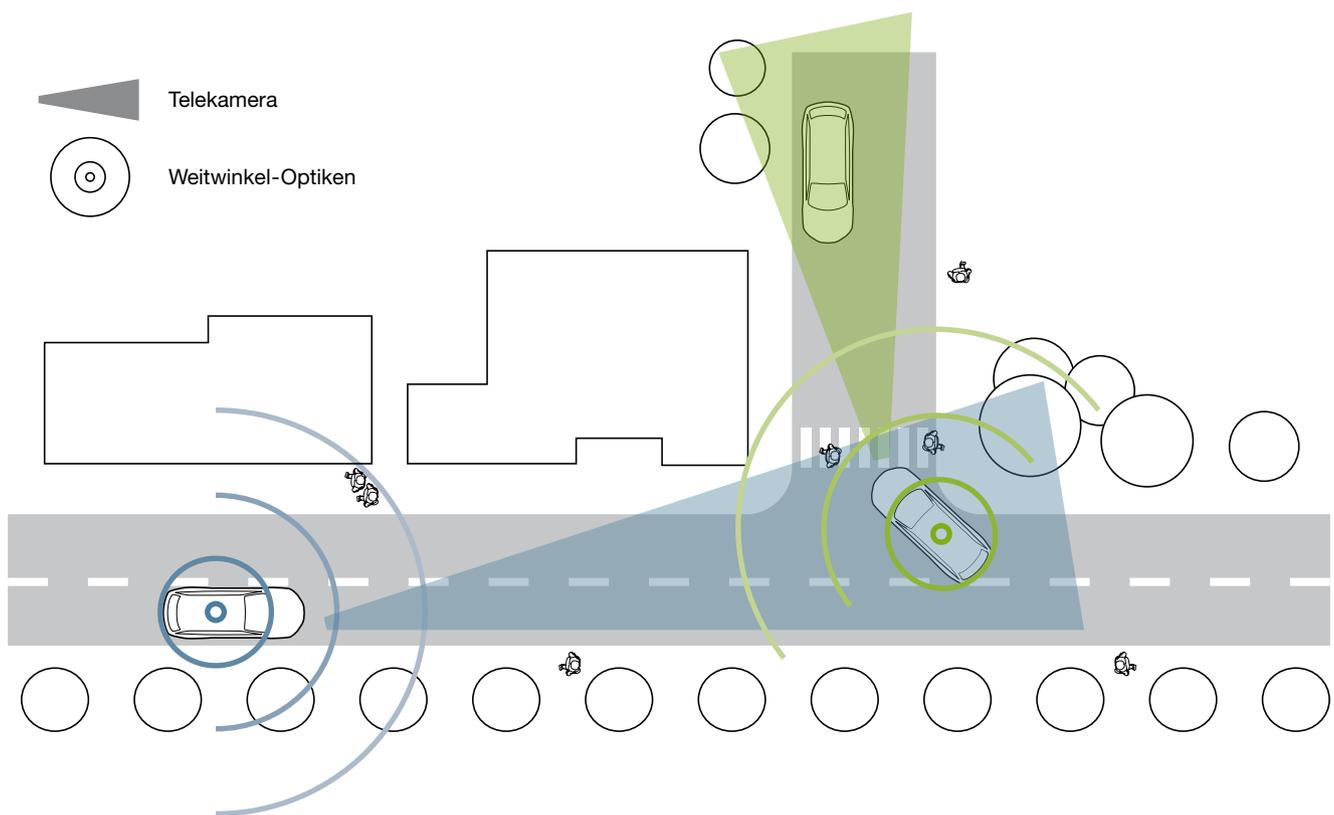
Eine große Herausforderung sieht der Forscher darin, die verschiedenen Informationen und Informationsquellen des KogniMobils, zu denen auch ein GPS-Empfänger und ein Infrarot-Nachtsichtgerät gehören, zu integrieren und intelligent zu kombinieren. Dazu arbeitet er mit weiteren Projektgruppen zusammen, die sich mit der Fusion von Daten befassen.

„Insgesamt muss die Wahrnehmung noch viel robuster werden“, sagt Rattei. „Wir haben zum Beispiel noch Probleme, mit unseren visuellen Sensoren alle Lichtverhältnisse richtig abzubilden.“ Die Suche nach den besten Lösungen organisiert der SFB „Kognitive Automobile“

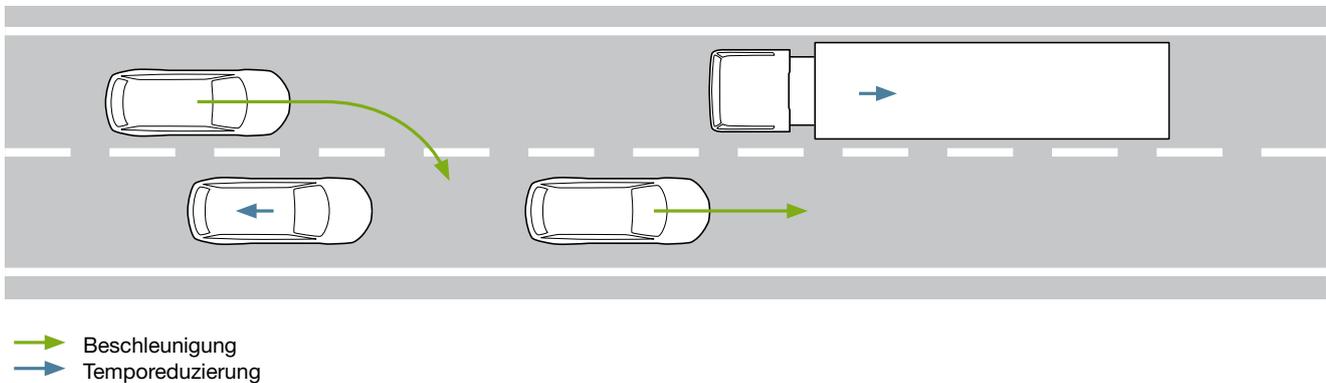
mit sich ergänzenden Beiträgen aus den Teilprojekten, aber auch im Wettbewerb seiner Forscherteams. Professor Färber erklärt: „Die Kollegen in Karlsruhe haben beim Thema Wahrnehmung einen Ansatz, der das Stereosehen betont. Das bringt gute Ergebnisse bei der räumlichen Tiefe. Wir konzentrieren uns auf die bioanaloge Interpretation. Das heißt, wir geben dem Auto möglichst viel gespeichertes Vorwissen und Erfahrungswerte zur Hilfe beim Verstehen von Situationen und der Zuordnung von Objekten.“

Ein autonomes Fahrzeug muss während der Fahrt beispielsweise zwischen einem Baum und einem Menschen unterscheiden können. Bei Letzterem ist Vorsicht angebracht. Er könnte die Straße überqueren! Färber: „Unser SFB trifft sich regelmäßig zu Leistungsvergleichen. Mindestens einmal im Jahr präsentieren die Teams ihre Ergebnisse anhand bestimmter Aufgaben, die ihre Fahrzeuge erfüllen müssen. Die beste Lösung gewinnt und wird von allen weiterverfolgt.“

Hinter diesem Streben nach intelligenten Fahrzeugen stehen natürlich auch wirtschaftliche Interessen. ▷



**Das KogniMobil „sieht“ mit mehreren Kameras:** Die Telekamera erfasst das weiter entfernte Fahrzeug, die schwenkbaren Weitwinkelkameras hingegen das nahe Fahrzeugumfeld und die Fahrbahnmarkierung



**Die Wissenschaftler wollen den Fahrzeugen auch beibringen**, miteinander zu kommunizieren. So können vielleicht in Zukunft Unfälle vermieden werden – zum Beispiel, wenn's beim Überholen eng wird

Der SFB hat einen Beirat, in dem Entwicklungsingenieure führender Vertreter der deutschen Automobilindustrie und ihrer Zulieferer sitzen: Audi, BMW, Bosch, VDO und VW. Diese Unternehmen unterstützen den SFB finanziell und hoffen auf eine baldige Anwendung der Forschungsergebnisse im Verkehr. Färber ist überzeugt, dass sich der Einsatz vieler Assistenzsysteme wirtschaftlich lohnen wird. Er sagt: „Das Argument der Gegner, die meinen, der Kontrollverlust des Fahrers bedeute auch den Verlust der Freude am Fahren, mit der ja die meisten Autohersteller werben, greift zu kurz. Denken Sie nur daran, dass die Gesellschaft älter wird und mit ihr auch die Autofahrer. Für ältere Menschen bedeutet Freude am Fahren auch Erleichterungen zu genießen, zum Beispiel, wenn auf der Autobahn der Automat das Lenken übernimmt.“

### **Sicher unterwegs – mit dem virtuellen Copiloten**

Mehr Verkehrssicherheit ist das beste Argument für den Einsatz der neuen Technik. Schließlich ist der Mensch die Unfallursache Nummer eins. In Deutschland fordern Verkehrsunfälle jährlich rund 5 000 Tote, viele davon Autofahrer. Die Kosten gehen in die Milliarden Euro. In 20 bis 30 Jahren könnten kognitive technische Systeme die meisten Unfälle vermeiden. Zum Beispiel könnte ein Auto, das hinter einer Kurve im Stau steht, nachkommende Fahrzeuge warnen, damit diese rechtzeitig brem-

sen können. Nebenbei würden selbstständig fahrende, miteinander kommunizierende Autos den Verkehrsfluss verbessern. Studien sagen zudem zehn bis 15 Prozent Energieersparnis durch automatisches Konvoi- und Windschattenfahren voraus.

Aber der Weg dorthin ist noch weit. „Wir werden das Problem der gemischten Verkehrssituationen haben“, gibt Färber zu bedenken. „Moderne, mit virtuellen Copiloten ausgestattete Fahrzeuge bewegen sich zwischen herkömmlichen Autos. Es kommt zum Crash. Wer haftet dann? Der Hersteller des Assistenzsystems?“ Autofahren ist und bleibt gefährlich, auch aus juristischer Sicht. Heutige Bremsassistenten sind deshalb so programmiert, dass sie bei Gefahr helfen, selbsttätig aber keine Vollbremsung auslösen. Die Gesellschaft muss entscheiden, wie viel Kontrolle und Verantwortung sie letztlich an intelligente technische Systeme abgeben möchte. Das „Gehirn“ aktueller KogniMobile füllt noch den Kofferraum eines Kombis, aber es kann bereits verblüffend viel. Das System muss lernen, große und häufig wechselnde Informationsmengen aus den Sensoren ohne jede Verzögerung zuverlässig zusammenzuführen und zu interpretieren – und das alles in dynamischen Situationen, wie sie der Verkehr mit sich bringt. Matthias Goebels Teilprojekt aus dem Bereich Infrastruktur/Architektur liefert die Voraussetzungen dafür. Goebel erklärt: „Wir haben am RCS für unseren SFB eine einheitliche



**Die drei kognitiven Fahrzeuge des Sonderforschungsbereichs nach einer internen Leistungs-Demonstration im April 2008:** Links der Q7 „MUCCI“ (Munich’s Cognitive Car Innovation) der TUM, in der Mitte der Karlsruher Passat „AnnieWAY“ und rechts das Fahrzeug der Universität der Bundeswehr München „MuCar3“ (UniBW Munich Cognitive Autonomous Car)

Rechnerarchitektur entwickelt, sowohl die genutzte Hardware als auch die installierte Software ist standardisiert. In einer Echtzeit-Datenbank auf dem Fahrzeugrechner werden sämtliche Informationen – bis hin zu den vollständigen Kamerabildern – gesammelt, so dass sich alle Softwaremodule aller Teilprojekte bei der gemeinsamen Umgebungswahrnehmung optimal ergänzen können. Die Daten werden zudem zeitgenau mitprotokolliert und nach der Testfahrt auf unserem Simulationsrechner archiviert. Alle Beteiligten an allen Standorten können so zu jeder Zeit darauf zugreifen und bereits in der Simulation das Zusammenspiel neuer Wahrnehmungs- und Verhaltensalgorithmen testen.“ Die Vorbereitung einer Testfahrt dauert oftmals Tage im Labor. Erst auf dem Testgelände sehen die Ingenieure dann, ob sich die Arbeit gelohnt hat und sich das Fahrzeug auch in der rauen Wirklichkeit korrekt verhält. „Bei technischen Systemen muss alles perfekt funktionieren, alle Parameter müssen stimmen. Wenn wir testen, fangen wir in der Frühe an zu arbeiten, und bis alles fehlerfrei funktioniert, wird es meistens Nacht“, sagt Goebel.

### **Gesucht: Das Superhirn**

Im vergangenen November war Goebel Teil eines Teams des SFB „Kognitive Automobile“, das bei einer prestigeträchtigen Veranstaltung in den USA antrat: der mit 3,5 Millionen US-Dollar dotierten Urban Challenge der

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), einer Forschungsbehörde des US-Verteidigungsministeriums. Auf einem ehemaligen Militärflugplatz in Kalifornien trafen sich die international führenden Autoroboterbauer. Die Aufgabe für die KogniMobile lautete, in weniger als sechs Stunden unfallfrei 60 Meilen in einem Stadtparkkurs zurückzulegen, dabei Verkehrsregeln zu beachten, Hindernisse zu vermeiden und Einparkübungen zu bestehen. Mit dem vergleichsweise geringen Budget von 100 000 Euro für die gesamte Veranstaltung feierte der von der TU Karlsruhe ausgerüstete Passat „AnnieWay“ einen beachtlichen Erfolg und stand sogar im Finale. Dass es am Ende nicht fürs Siegerpodium reichte, lag daran, dass sein Zentralrechner einmal kein für die Verkehrssituation geeignetes Verhalten errechnen konnte. Färber erklärt: „Es kommt vor, dass so ein Auto einfach stehen bleibt und nichts mehr macht. Denn zum Nachdenken hält es sicherheitshalber an. Bei der Urban Challenge war die Bedenkzeit auf zehn Sekunden begrenzt und das wurde unserem AnnieWay zum Verhängnis. Aber das spornt uns natürlich an, unsere Autos weiter zu verbessern.“ Dank der hervorragenden Arbeit der Münchner, Karlsruher und anderer Forscher lernt das KogniMobil schnell. Der Tag scheint nicht mehr fern, an dem das Automobil seinem Namen endlich wirklich gerecht werden wird: als „Selbstbeweger“. Freuen Sie sich auf ein völlig neues Fahrgefühl! *Karsten Werth*