

Thema:

**Autonome Landfahrzeuge**

**Ausarbeitung**

im Rahmen des Seminars Agentensysteme

im Fachbereich Informatik

**Themenersteller:** **Dr. Dietmar Lammers**  
**Betreuer:** Dr. Dietmar Lammers

**vorgelegt von:** Robert Bräuning  
Von-Einem-Str. 13  
48159 Münster  
Robert.Braeuning@gmx.de

**Abgabetermin:** 20.02.2006

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Geschichte.....	4
2.1	Fahrerlose Transportfahrzeuge.....	4
2.2	Shakey.....	4
2.3	VaMoRs und Co.....	5
3	Autonome Onroad-Fahrzeuge.....	6
3.1	Argo.....	6
3.1.1	Allgemeines.....	6
3.1.2	Steuerung.....	7
3.1.3	Probleme.....	7
3.2	Car-2-Car.....	8
3.3	Fazit.....	8
4	Autonome Offroad-Fahrzeuge.....	10
4.1	Road Tracking.....	10
4.2	Grand DARPA Challenge 2004.....	10
4.2.1	Allgemeines.....	10
4.2.2	Resultat.....	11
4.3	Grand DARPA Challenge 2005.....	11
4.3.1	Allgemeines.....	11
4.3.2	Resultat.....	12
4.3.3	Stanford Racing Team vs. Red Team .....	12
4.4	Fazit.....	13

# 1 Einleitung

In dieser Hausarbeit sollen die wesentlichen Aspekte der Entwicklung, sowie der aktuelle Stand der Technik zur Realisierung von autonomen Landfahrzeugen dargestellt werden.

Die Forschung an mobilen, eigenständigen Systemen ist ein noch sehr junger Forschungszweig, da die technischen Voraussetzungen für eine praktische Umsetzung erst seit wenigen Jahrzehnten gegeben sind. Dabei muss man weiterhin zwischen autonomen Onroad- und Offroad-Fahrzeugen unterscheiden. Durch die grundlegend andere Umgebung in der sie eingesetzt werden sollen, werden auch andere Anforderungen an die Hard- und Software gestellt.

Der potentielle Nutzen solcher fahrerlosen Systeme ist enorm. Zum einen gibt es industrielle und wirtschaftliche Aspekte. Der massive Einsatz von eigenständigen Transportfahrzeugen könnte beispielsweise zu einer großen Einsparung an Arbeitskräften führen und die Produktion effizienter gestalten. Die sozialen Folgen durch eine solche Rationalisierung sind vermutlich weit weniger positiv.

Der Sicherheitsaspekt ist ein weiterer Punkt. Durch eine vollständige Automatisierung des Straßenverkehrs könnte man im Idealfall Unfälle vollständig ausschließen. Sämtliche Verkehrsregeln würden eingehalten werden, selbst in sehr unübersichtlichen Verkehrssituationen in denen der Mensch oftmals überfordert ist, wäre sicheres Fahren möglich.

Ist die Verkehrsdichte sehr hoch, könnte sich die Geschwindigkeit automatisch regulieren. Die Autos könnten sich unter Umständen gegenseitig vor sehr stark befahrenen Straßen warnen und einen anderen Weg einschlagen. Dies würde zu einer effizienteren Ausnutzung des Straßennetzes führen und das Risiko, dass ein Stau überhaupt erst entsteht minimieren. So würden nicht nur der Streßlevel der Menschen, sondern auch die Umwelt- und Straßenschäden auf einem geringen Niveau gehalten werden. Auch der Energieverbrauch wäre viel geringer. Damit haben wir also auch ökologische Vorteile.

Man sollte nicht die militärische Motivation zur Entwicklung von fahrerlosen Systemen vergessen. Sowohl in der Logistik, als auch bei Kampfeinsätzen könnten automatisierte Einheiten zum Einsatz kommen. So ist vor allem das amerikanische Militär sehr daran interessiert. Die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) - Forschungsabteilung des amerikanischen Verteidigungsministeriums – hat 2004 und 2005 die Grand Challenge ausgeschrieben, bei der Fahrzeuge eine vorgegebene Strecke durch die Mojave Wüste selbstständig zurück legen sollten und keine Steuersignale von außen gegeben werden durften.

## 2 Geschichte

### 2.1 Fahrerlose Transportfahrzeuge

Die ersten fahrerlosen Systeme gab es schon in den 50er Jahren. Diese so genannten fahrerlosen Transportfahrzeuge (FFT) wurden, wie der Name schon sagt, vor allem für den Transport von Waren innerhalb von Industrieanlagen genutzt (Abb. 1). Die FFT zeichneten sich schnell durch ihre Zuverlässigkeit und die Verbesserung des Produktionsablaufes aus. So fanden sie schnell Akzeptanz und wurden vermehrt eingesetzt.

Die Steuerung der FFT erfolgte bis in die 80er Jahre vorwiegend über Leitdrähte. Diese wurden entweder in den Boden eingelassen oder an Halterungen an der Decke angebracht. Der Draht wurde dann unter Strom gesetzt und konnte so durch Magnetfeldsensoren an den Fahrzeugen erkannt und verfolgt werden. Nachteil dieser Art der Steuerung ist die geringe Flexibilität gewesen. Wollte man die Streckenführung verändern, mußte der Leitdraht neu verlegt werden, was im schlimmsten Fall mit erheblicher Arbeit verbunden war. Problematisch waren außerdem Abzweigungen. Sie mussten zunächst einmal erkannt werden und dann auch noch der richtige Draht ausgesucht werden. In den 80er Jahren konnte man dann auf flexiblere Steuerungsmechanismen wie Laser und Magnettraster setzen.



Abbildung 1: Ein FFT bei der Arbeit

Heute werden die meisten FFT von einem Rechner zentral gesteuert. So können schnell und einfach Änderungen an der Streckenführung vorgenommen werden. Weiterhin braucht jede Einheit nur noch eine minimale Sensorik (z.B. Kollisionssensoren) und keine Sensoren, um den genauen Aufbau der Umgebung wahrzunehmen, da diese Informationen vom zentralen Server bereitgehalten werden.

Klar ist, dass es sich bei den FFT um sehr dumme Vehikel handelt. Sie führen ihre Aufgaben nicht wirklich selbständig aus. Ein hoher Grad an Autonomie ist aber gerade das, was die wesentlichste Herausforderung ausmacht.

### 2.2 Shakey

Einen ersten Schritt in diese Richtung machte man am Stanford Research Institute (SRI). Dort wurde 1966-1972 Shakey (Abb. 2) entwickelt. Er war der erste mobile Roboter der seine Umgebung visuell wahrnehmen konnte und außerdem Aufgaben erledigen konnte, die ein gewisses Maß an Planung erforderten. Zur Planung nutzte er das eigens dafür entwickelte STRIPS-Verfahren. Man konnte Shakey eine Aufgabe geben, wie zum Beispiel eine Tür mit einer Kiste zu blockieren, die er dann selbständig plante und ausführte. Er zerlegte die Aufgabe in so genannte „Subgoals“ die er dann nacheinander versuchte auszuführen. Wenn irgendein



Abbildung 2: Shakey

„Subgoal“ nicht erfüllt werden kann, versucht Shakey einen neuen Plan zu entwickeln.

Shakey konnte seine Umgebung über eine Kamera, Abstandssensoren und einen Kollisionssensor wahrnehmen. Da zu der Zeit Computer mit der erforderlichen Rechenleistung einen extrem großen Raum einnahmen, konnte man Shakey nicht direkt mit Computern ausstatten ohne seine Mobilität einzuschränken. Stattdessen war er über Funk mit DEC PDP-10 und PDP-15 Computern verbunden. Shakey wurde nur im Labor eingesetzt um die Möglichkeiten der Robotik zu dieser Zeit auszuloten. Er brachte wichtige Erkenntnisse in der Forschung über künstliche Intelligenz.

## 2.3 VaMoRs und Co.

Ab Mitte der 80er Jahren entstanden viele Forschungsprojekte in denen autonome Fahrzeuge entwickelt werden sollten, die am normalen Straßenverkehr teilnehmen können. Grund für die vielen Projekte ist der schnelle Fortschritt im Bereich der Computertechnik. Computer wurden bei gesteigerter Leistung immer kleiner, so dass die Rechner jetzt in das Fahrzeug integriert werden konnten.

Nennen sollte man vor allem das VaMoRs Projekt (1987) der Bundeswehr Universität München, das mit einer erfolgreichen Testfahrt über 1600 km (nur Autobahn) endete. 95% dieser Strecke hat kein Mensch gesteuert. Der umgebaute Mercedes (Abb. 3) beherrschte automatisches Spurhalten, adaptive Geschwindigkeitskontrolle und automatisches Überholen, wobei der Überholvorgang noch manuell angestoßen werden musste.



*Abbildung 3: VaMoRs.  
Entwickelt von der  
Bundeswehruniversität  
München.*

Begeistert durch diesen Erfolg initiierte man das europäische Förderprogramm Prometheus (1987-1994) mit einem Budget von 800 Mio. €. Aus diesem Topf sollten Vorhaben wie VaMoRs unterstützt werden. Daraus ging unter anderem VAMP hervor, der Nachfolger von VaMoRs sowie andere erfolgreiche Fahrzeuge.

Weiterhin muss man das Argo Projekt (1998) der Universität Parma erwähnen, auf das gleich näher eingegangen wird. Darüber hinaus ist die Carnegie Mellon University mit mehreren erfolgreichen Versuchen sehr erfahren auf dem Gebiet der unbemannten Vehikel.

### 3 Autonome Onroad-Fahrzeuge

Möchte man fahrerlose Fahrzeuge entwickeln gibt es einige grundsätzliche Eigenschaften, die eine Umsetzung erschweren:

- Da man in einer akzeptablen Zeit am Ziel ankommen möchte sind relativ hohe Geschwindigkeiten nötig. Dies erfordert wiederum eine schnelle Verarbeitung von Informationen aus der Umgebung um auf Änderungen angemessen reagieren zu können.
- Die Wahrnehmung von Hindernissen wie Fahrzeuge oder anderen potentiell gefährlichen Gegenständen auf der Fahrbahn ist nicht so einfach wie in Industriehallen. Die Umwelt ist wesentlich dynamischer und angesichts der hohen Geschwindigkeit muss die Erkennung sehr zuverlässig sein. Kollisionen hätten schlimme Folgen.
- Je nach Wetterlage kann die Qualität der Sensordaten stark variieren. Bei Regen beispielsweise liefern einige Sensoren kaum noch verwertbare Informationen. Bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen könnten Informationen fehl interpretiert werden.

#### 3.1 Argo

##### 3.1.1 Allgemeines

Argo war ein Projekt der Universität Parma. Ziel war es mit minimalen finanziellen Mitteln ein Auto so zu modifizieren, dass es sich möglichst selbständig auf Autobahnen bewegen kann (Abb. 4).

Ausgestattet war Argo lediglich mit zwei schwarz/weiß Kameras, die zu der Zeit einen Wert von 200 DM hatten und einem Geschwindigkeitssensor. Die Kameras waren in den oberen äußeren Ecken der Windschutzscheibe angebracht und wurden genau justiert. Die gesamte notwendige Rechenleistung stellte ein Intel Pentium MMX Prozessor mit 200 MHz bereit.



*Abbildung 4: Argo.  
Entwickelt von der  
Universität Parma.*

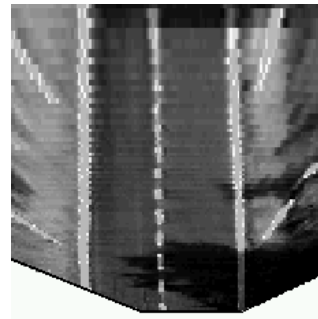
Argo konnte aufgrund seiner Sensorik bis zu 50m voraus schauen. Dies ermöglichte eine maximale Geschwindigkeit von ca. 100 km/h.

Im Juni 1998 testete man das Fahrzeug auf einer 1800 km langen Strecke quer durch Italien, allerdings nur auf Autobahnen. Der größte Teil dieser Strecke konnte Argo autonom zurücklegen.

### 3.1.2 Steuerung

Die nahe liegendste Methode um ein Fahrzeug auf befestigten Straßen selbstständig fahren zu lassen ist zunächst einmal, die Fahrbahnmarkierungen als Orientierungshilfe zu nutzen. Genau dies macht Argo. Dabei hat man sich allerdings eines kleinen Tricks beholfen:

Die schwarz/weiß Kameras liefern pro Sekunde 25 Bilder mit jeweils 450 000 Pixeln, was schon alleine eine große Datenmenge darstellt. Nun kommt aber noch der perspektivische Effekt hinzu, das heißt, dass die äußeren Fahrbahnmarkierungen am Horizont in einem Fluchtpunkt zusammen laufen. Dieser Effekt müsste bei der Analyse der Bilder berücksichtigt werden und weiter komplizieren. Durch eine Methode aus der Bildverarbeitung, der Inverse Perspective Mapping (IPM) wird das Bild so manipuliert, dass die Fahrbahnmarkierungen parallel verlaufen (Abb. 5). Dann kann einfacher nach den charakteristischen Helligkeitsunterschieden zwischen Markierung und Fahrbahn gesucht werden. Diese Methode ist relativ zuverlässig, Probleme können jedoch bei starken Helligkeitsschwankungen auftreten.



*Abbildung 5: Durch IPM manipuliertes Bild. Jetzt verlaufen die Fahrbahnmarkierungen parallel zueinander.*

Natürlich muss Argo auch Hindernisse erkennen können. Dazu nutzt es die durch IPM manipulierten Bilder und geht von einer grundsätzlich flachen Straße aus. So entstehen durch einen pixelweisen Vergleich der Bilder, der rechten und linken Kamerabilder charakteristische Cluster, die auf Hindernisse auf der Fahrbahn hindeuten.

Für die Fahrzeugerkennung wird ein anderer Algorithmus verwendet. Dazu geht Argo davon aus, dass Fahrzeuge im Allgemeinen eine rechteckige, symmetrische Form haben. Genutzt werden die nicht manipulierten Bilder der Kameras in denen zunächst interessante Bereiche identifiziert werden. In diesen Bereichen könnte sich ein anderes Auto befinden, wobei schon der perspektivische Effekt berücksichtigt wird. In diesen Bereichen sucht es nach vertikalen Symmetrien und versucht dann die weiteren Grenzen des Fahrzeugs auszumachen (Abb. 6).



*Abbildung 6: Letzter Schritt zur Erkennung eines vorausfahrenden Fahrzeugs: Die obere Grenze wird in dem markierten Bereich gesucht.*

### 3.1.3 Probleme

Wie man an der erfolgreichen Testfahrt gesehen hat, kann man schon mit einem äußerst geringem Budget ein Fahrzeug so verändern, dass es sich, zumindest auf Autobahnen, selbständig durch den Straßenverkehr bewegen kann. Es traten allerdings auch Probleme bei der Testfahrt auf. So war Argo bei Pfeilen auf der Fahrbahn, die auf eine Ausfahrt hinweisen, kurzzeitig desorientiert und konnte aufgrund von andersfarbigen Linien in Baustellenbereichen gar nicht mehr eigenständig fahren. Dort musste der menschliche Fahrer das Steuer übernehmen. Außerdem konnte man nur bei Tag fahren und bei

Tunnelausfahrten war Argo aufgrund des plötzlichen und starken Lichtwechsels kurz geblendet. Auch eine nasse Fahrbahn reichte aus um die Fahrt gefährlicher zu machen.

### **3.2 Car-2-Car**

Ende 2004 gründeten namhafte Automobilhersteller wie BMW, Daimler Chrysler, Audi, VW, Fiat und Renault das Car-2-Car Communication Consortium. Ziel dieses Konsortiums ist die Entwicklung eines europäischen Industriestandards zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen. Dieses Ziel soll bis 2010 erreicht werden.

Basierend auf der WLAN-Technik sollen sich die Fahrzeuge im 5 GHz Bereich miteinander über die Verkehrslage unterhalten indem sie ein Ad-Hoc-Netzwerk bilden. Dabei ist jedes Fahrzeug sowohl Sender, als auch Empfänger, sowie Vermittler von Nachrichten. Das Netzwerk hat keinen zentralen Server und ist somit sehr flexibel. Der Datendurchsatz hängt stark von der Anzahl der Fahrzeuge ab und kann nach Expertenmeinung unter günstigen Umständen 6 Mbit/s erreichen. Um eine Flächendeckende Informationsversorgung zu erhalten, müssten lediglich etwa 10% aller Fahrzeuge kommunikationsfähig sein.

Dieses System soll den Fahrer nicht ersetzen, es ist nur als Assistenzsystem geplant. Es gibt unzählige Möglichkeiten in denen ein solches System sehr nützlich wäre. So könnte es vor Stauenden warnen, bei nebligem Wetter die Position des eigenen Fahrzeugs durchgeben oder auf besonders glatte Stellen hinweisen.

Problematisch ist hierbei neben dem stark schwankenden Datendurchsatz, wenn sich die Anzahl der am Netzwerk teilnehmenden Fahrzeuge verändert, auch die Sicherheit. Man muss durch geeignete Maßnahmen verhindern, dass die Kommunikation manipuliert werden kann und damit unter Umständen Unfälle erst produziert werden.

### **3.3 Fazit**

Wie man an Argo sehen konnte sind automatisierte Fahrten auf Autobahnen mit einfachen Mitteln schon gut möglich. Würde man etwas mehr investieren, könnte die Zuverlässigkeit noch stark gesteigert werden.

Die Einschränkung auf die Autobahnen ist sehr wichtig. Man steht noch weit davon entfernt, autonome Fahrzeuge im Stadtverkehr zu sehen. Zu komplex sind die Situationen die erkannt werden müssen. Es gibt die unterschiedlichsten Straßen und Kreuzungen, Ampeln und die verschiedenen Abbiegespuren sowie eine Unzahl an Verkehrsschildern. Diese müssten erstmal identifiziert werden und dann noch entschieden werden ob es in der aktuellen Situation überhaupt von Bedeutung ist. Eine enorme Datenflut müsste in Realzeit verarbeitet werden. Um diese Datenflut zu verringern, wären Maßnahmen wie Sender an Verkehrsschildern oder im Straßenbelag denkbar, jedoch aufgrund des enormen Aufwandes nur schwer umsetzbar.

Durch das große industrielle und politische Interesse an Systemen, die es dem Menschen



erleichtern oder gar abnehmen sich im Straßenverkehr zurechtzufinden und somit sicherer zu machen, könnte es schon in nicht allzu ferner Zukunft den vollständig automatisierten Straßenverkehr geben.

Nicht zu vergessen sind die juristischen Folgen einer Automatisierung. Wer ist Schuld wenn es doch mal zu einem Unfall kommt? Man kann nicht ausschließen, dass eine Software fehlerhaft ist, was in diesem Fall schlimme Folgen haben könnte.

## 4 Autonome Offroad-Fahrzeuge

Autonome Offroad-Fahrzeuge sind wesentlich schwieriger zu realisieren als Onroad-Fahrzeuge. Abseits von befestigten Straßen ist die Umgebung wesentlich heterogener. Auf Straßen kann man davon ausgehen, daß es auch Fahrbahnmarkierungen gibt an denen man sich orientieren kann (Abb. 7). Wie kann man also eine unbefestigte Straße erkennen?



Abbildung 7: Zwei Beispiele für eine unbefestigte Straße.

Auch die auftretenden Hindernisse können vielfältiger sein. Neben Personen und anderen Fahrzeugen könnte es Felsbrocken oder Bäume geben, die den Weg unpassierbar machen. Wie soll darauf reagiert werden?

### 4.1 Road Tracking

Es gibt drei verschiedene Verfahren um visuell eine Straße zu erkennen, die hier nur kurz erwähnt werden sollen:

- Die kantenbasierten Methoden werden häufig genutzt um Fahrbahnmarkierungen und Straßengrenzen zu erkennen. Sie werden meistens auf befestigten Straßen verwendet.
- Regionenbasierte Methoden versuchen aufgrund von Farbe und Textur zu berechnen wie wahrscheinlich ein Bereich zur Straße gehört. Diese Methoden werden meist für nicht asphaltierte Straßen genutzt.
- Regionenbasierte Methoden können schlechte Ergebnisse liefern, wenn die Umgebung sehr homogen aussieht. Dann ist meist nur wegen der Spuren von anderen Fahrzeugen erkennbar wo man lang fahren sollte. Anhand dieser Spuren kann ein Fluchtpunkt berechnet werden an dem die Spuren zusammenlaufen und somit die Richtung anzeigt in die sich das Fahrzeug bewegen sollte.

### 4.2 Grand DARPA Challenge 2004

#### 4.2.1 Allgemeines

2004 schrieb die Forschungsabteilung des Pentagon erstmals einen Wettbewerb aus in dem unbemannte, autonome Landfahrzeuge eine 150 Meilen lange Strecke durch die Mojave Wüste innerhalb von zehn Stunden zurücklegen sollten. Als Preis für das Sieger Team waren 1 Mio. Dollar angesetzt.

Dabei gibt es ein Regelwerk, das eingehalten werden muss und unter anderem beschreibt welche Eigenschaften die Autos haben dürfen und welche nicht.

Die zu fahrende Strecke wird durch eine Reihe von GPS-Wegpunkten vorgegeben. Zwischen diesen Punkten soll das Fahrzeug vollkommen autonom navigieren, wobei es keine Restriktionen bezüglich der Untergrundbeschaffenheit gab. Asphaltierte Straßen waren ebenso möglich wie unbefestigte Wüstenpisten.

106 Teams haben sich für die erste Challenge angemeldet und mussten vor der eigentlichen Fahrt durch die Mojave Wüste eine Qualifikation über sich ergehen lassen. Dabei sollten Teams ausgesiebt werden, die offensichtlich keine Chance auf einen Sieg haben. Nur 15 Teams kamen durch die Qualifikation und durften am Rennen teilnehmen.

#### **4.2.2 Resultat**

Das Fahrzeug des erfolgreichsten Teams legte 7,4 Meilen zurück was einem Anteil von 5% an der Gesamtstrecke entspricht.

Die Kilometer acht bis zwölf stellten sich als unüberwindbares Hindernis für die meisten Teams dar. Das beste Auto kam bei Kilometer zwölf von der Fahrbahn ab, durchbrach einen Begrenzungszaun und fing Feuer. Andere verfangen sich in der Böschung, blieben irgendwann einfach stehen oder drehten sich im Startbereich um 180 Grad und mußten deaktiviert werden.

Man konnte beobachten, dass einige Fahrzeuge den GPS-Wegpunkten sehr gut folgen konnten, aber bei der Hinderniserkennung starke Schwächen hatten. Bei Anderen war es genau umgekehrt. Es handelte sich aber vor allem um Softwareprobleme, als um Hardwareprobleme. Insgesamt brachte die Challenge also ein sehr enttäuschendes Ergebnis.

### **4.3 Grand DARPA Challenge 2005**

#### **4.3.1 Allgemeines**

Da es weder einen Sieger, noch ein zufrieden stellendes Ergebnis gab, wurde 2005 ein weiterer Wettbewerb veranstaltet. Diesmal über 132 Meilen, die unter zehn Stunden zurückgelegt werden sollten. Von 195 angemeldeten Teams schafften es diesmal 23 bis zum Rennen. Der Sieger sollte jetzt 2 Mio. Dollar bekommen.

### 4.3.2 Resultat

Es zeigte sich eine enorme Verbesserung im Gegensatz zu 2004. Fünf Autos schafften es bis ins Ziel, allerdings brauchte eins mit 12:51 Stunden länger als zehn Stunden.



Abbildung 8: VW Touareg. Siegerfahrzeug des Stanford Racing Teams.

Die restlichen Teams waren relativ nah beieinander (Tab. 1). Sieger war das Stanford Racing Team mit einem VW Touareg (Abb. 8).

<i>Platz</i>	<i>Team</i>	<i>Zeit (Std:Min)</i>
1	Stanford Racing Team	6:54
2	Red Team	7:05
3	Red Team Too	7:14
4	The Gray Team	7:30
5	Team Terra Max	12:51

Tabelle 1: Ausschnitt des Ergebnisses der zweiten Grand Challenge 2005. Fünf Teams kamen ins Ziel. Sieger war das Stanford Racing Team mit 6:54 Stunden, was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 30,6 km/h entspricht.

Alles restlichen Teams schafften im Schnitt 25 Meilen, was ebenfalls eine beträchtliche Verbesserung war.

### 4.3.3 Stanford Racing Team vs. Red Team

Im Folgenden sollen die Eigenschaften der Fahrzeuge des erst und zweit platzierten gegenübergestellt werden.

Das Red Team von der Carnegie Mellon University hatte von allen Teams mit 12 Mio. Dollar das größte Budget, da es Sponsoren wie Boeing und Caterpillar hatte. Es brachte allerdings auch zwei Autos an den Start.

Insgesamt schrieb das Red Team 80 Softwaremodule mit insgesamt 1,5 Millionen Zeilen Code für ihren Hummer (Abb. 9). Als Programmiersprache wurde C/C++ gewählt. Sieben Pentium M Rechner und vier Pentium III PC/104 Stacks lieferten die nötige Rechenleistung um 5 MB/s Rohdaten verarbeitet zu können. Als Betriebssystem wurde Linux ausgewählt.



Abbildung 9: Hummer des zweit platzierten Red Team.

Das Stanford Racing Team hatte mit gut 500 000 Dollar ein viel geringeres Budget und mit 31 Softwaremodulen und insgesamt 100 000 Zeilen Code C/C++ auch die wesentlich schlankere Softwarelösung. Sechs ebenfalls mit Linux ausgestattete Pentium M Computer analysierten, wenn die Kamera eingeschaltet ist, über 12 GB Daten in der

Sekunde.

Neben der obligatorischen GPS Antenne waren beide Autos mit RADAR Sensoren ausgestattet, die bis in eine Entfernung von ca. 200 m verwertbare Informationen liefern und auch unempfindlich gegenüber Regen und anderen Wetterlagen sind. Des weiteren verfügen beide über LIDAR Sensoren, die im Nahbereich bis 25 m für die Hinderniserkennung und die Erkennung der Terraintopologie genutzt wurden. Da diese Sensoren einen Laserstrahl aussenden und die Reflektionen in Entfernungsangaben umsetzen sind sie unbrauchbar bei starkem Regen oder Nebel, denn dann streuen die Wassertröpfchen das Licht zu stark. Der VW Touareg ist noch mit einer Kamera ausgestattet, die im Nahbereich dichtere Informationen liefert, als RADAR und LIDAR.

Das Red Team ist im Vorfeld 3200 km durch die Mojave Wüste gefahren und hat Informationen gesammelt. Die durch die DARPA kurz vor dem Rennen angegebene Datei mit den Wegpunkten wurde dann mit Hilfe der gesammelten Daten analysiert und eine Path Definition File erstellt, die weitere Angaben über die zu fahrende Strecke enthält.

Das Stanford Racing Team ging anders vor. Während des Rennens wurden nur die in Echtzeit gewonnenen Daten verwendet um zu navigieren. Allerdings hat man das System vorher in Testfahrten durch die Wüste dazu gebracht, von einem menschlichen Fahrer zu lernen. So konnte die Fehlerrate bei der Interpretation von Sensordaten von 12% auf 0,02% gesenkt werden.

Beide Teams nutzten die Sensordaten um intern eine Karte zu erstellen, die die befahrbaren Bereiche enthält. Beim Stanford Racing Team war es die so genannte „Drivability Map“ in der unterschieden wurde zwischen befahrbaren, nicht befahrbaren und unbekanntem Bereichen. Der Hummer des Red Team erstellte erst zwei Karten. Die „Obstacle Map“ und die „Terrain Cost Map“. Die „Obstacle Map“ enthält alle erkannten Hindernisse und die „Terrain Cost Map“ enthält Informationen über extreme Höhenunterschiede. Eine Fusion beider Karte ergab das Welt Modell.

#### **4.4 Fazit**

Mit großem technischem Aufwand, relativ viel Geld und unter guten äußeren Bedingungen sind schon jetzt autonome Offroad Fahrzeuge möglich. Allein zwischen den zwei DARPA Challenges sind enorme Fortschritte gemacht worden. Wenn die Forschung in diesem Bereich weiter so gefördert wird, könnten schon bald erste autonome Fahrzeuge in Serie gehen. Der erste Verwendungszweck wird aber vermutlich eher im militärischen Sektor liegen als im zivilen.

## Quellen

Stanford Racing Team, Stanford Racing Team's Entry In The 2005 DARPA Grand Challenge, 2005

Red Team, DARPA Grand Challenge 2005 Technical Paper, 2005

Christopher Rasmussen, Texture-Bases Vanishing Point Voting

Luisa Andreone, Michele Provera, Inter-Vehicle Communication and Cooperative Systems

Marco Bader, Autonomous Land Vehicle, 2005

Jan D. Gehrke, Qualitative Szenenrepräsentation für intelligente Fahrzeuge, 2005

H.-H. Götting, Automatisiertes Fahren mit Nutzfahrzeugen, 2001

Stefan Heuer, „Stanley“ siegte mit schlanker Software, 22.11.2005, auf SpiegelOnline:  
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,385685,00.html>

Marsha Walton, Robots Fail To Complete Challenge, 06.05.2004, auf CNN online:  
<http://edition.cnn.com/2004/TECH/ptech/03/14/darpa.race/>

DARPA Grand Challenge 2004 Website (15.01.2006):  
<http://www.darpa.mil/grandchallenge04/index.htm>

DARPA Grand Challenge 2005 Website (15.01.2006):  
<http://www.darpa.mil/GRANDCHALLENGE/>

Wikipedia (15.01.2006):  
[http://de.wikipedia.org/wiki/DARPA\\_Grand\\_Challenge](http://de.wikipedia.org/wiki/DARPA_Grand_Challenge)

Argo Website (15.01.2006):  
<http://www.argo.ce.unipr.it/ARGO/english/index.html>

Heise Online (15.01.2006):  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/54351>  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/64736>

SRI International Website (15.01.2006):  
<http://www.sri.com/about/timeline/shakey.html>  
<http://www.ai.sri.com/movies/Shakey.ram>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ein FFT bei der Arbeit.....	4
Abbildung 2: Shakey.....	4
Abbildung 3: VaMoRs. Entwickelt von der Bundeswehruniversität München.....	5
Abbildung 4: Argo. Entwickelt von der Universität Parma.....	6
Abbildung 5: Durch IPM manipuliertes Bild. Jetzt verlaufen die Fahrbahnmarkierungen parallel zueinander.....	7
Abbildung 6: Letzter Schritt zur Erkennung eines voraus fahrenden Fahrzeugs: Die obere Grenze wird in dem markierten Bereich gesucht.....	7
Abbildung 7: Zwei Beispiele für eine unbefestigte Straße.....	10
Abbildung 8: VW Touareg. Siegerfahrzeug des Stanford Racing Teams.....	12
Abbildung 9: Hummer des zweit platzierten Red Team.....	12