

Autonomes Fahren

Thomas Bernd

Seminar „Mobile Systeme“ SS03

Universität Koblenz-Landau

30.05.2003

Zusammenfassung

Vollautomatisiertes Fahren heißt, dass die Spurführung (lateral = quer) und überwiegend auch die Geschwindigkeitsregelung (longitudinal = längs) im Wesentlichen vom Fahrzeug selbst ohne Einwirkung des Fahrers durchgeführt wird.

Beim PKW bedeutet das: Im Idealfall nimmt der Fahrgast im Fahrzeug Platz, gibt die Zieldaten ein und braucht sich dann eigentlich um nichts mehr zu kümmern. Das System lenkt ihn sicher durch den dichtesten Verkehr.

Bei Nutzfahrzeugen, sog. Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF), werden softwaremäßig Arbeitsaufträge erteilt, diese werden ohne weiteres Einwirken einer Person erfüllt.

Dieser Artikel soll deutlich werden lassen inwieweit sich diese Vorgaben realisieren lassen, d.h. er soll die Frage „Wie ist der Stand der Technik beim autonomen Fahren?“ beantworten und zusätzlich noch einen kurzen Einblick in die dabei verwendeten Techniken geben.

Um den aktuellen Stand der Technik beim autonomen Fahren zu verdeutlichen, werden einige schon im Einsatz befindliche autonome Systeme und zusätzlich noch zukunftsweisende Projekte vorgestellt.

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation der Forschung und Entwicklung	4
2	Fahrerlose Transportfahrzeuge	4
3	Erweiterung autonomer Fahrsysteme auf öffentliche Straßen	5
4	Technik	5
4.1	Kommunikation	6
4.2	Spurführung	6
4.2.1	Leitdraht	6
4.2.2	Transponder	7
4.2.3	Scanner (Laser)	7
4.2.4	Bildverarbeitung	7
4.2.5	Satellitennavigation (GPS)	8
4.2.6	Vor-/Nachteile der einzelnen Systeme im Überblick	8
4.3	Hinderniserkennung (Sicherheit)	8
5	Einsatz bei Nutzfahrzeugen	9
5.1	Busbahn	9
5.2	Elektronische Deichsel DaimlerChrysler	10
6	Großprojekt „autonomes Fahren“ von VW	11
7	Ausblick	14

1 Motivation der Forschung und Entwicklung

Für das Entwickeln von autonomen Fahrzeugen gibt es ganz unterschiedliche Beweggründe. Im Vordergrund steht natürlich, wie so oft, der wirtschaftliche Aspekt. Die ersten autonomen Fahrsysteme wurden in der Industrie, für Transportleistungen in Fabrikhallen, eingesetzt. Dadurch werden Lohnkosten eingespart, Arbeitsfehler reduziert und die Produktivität erhöht. Doch vorallem der Einsatz autonomer Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr bringt einige Vorteile mit sich:

Sicherheit

Der Mensch ist durch das Autofahren überfordert. Er überschätzt sich, ignoriert Verkehrsregeln, ermüdet schnell und ist zu langsam in den Reaktionen, was zu Unfällen führen kann. Sensoren und Rechner sind wesentlich zuverlässiger als Menschen. Sie sind emotionslos, ermüden nicht, können in Netzwerken vorausschauend planen, steuern und regeln.

⇒ weniger Unfälle, weniger Stress

Ökonomischer, Ökologischer Aspekt

Die Verkehrsdichte wird in den nächsten Jahren noch erheblich zunehmen. Es wurden Zahlen veröffentlicht, nach denen der volkswirtschaftliche Schaden durch Staus in Deutschland pro Jahr etwa 50 Milliarden Euro ¹ beträgt. Außerdem wird es politisch immer schwieriger, neue Straßen zu bauen. Man muß den Verkehr daher neu gestalten. Durch autonome Fahrsysteme könnten die Straßen besser ausgenutzt werden, da diese Systeme durch wesentlich kürzere Reaktionszeiten geringere Abstände einhalten können und zusätzlich noch durch konstantere Geschwindigkeiten den kontinuierlichen Verkehrsfluß fördern.

⇒ weniger/keine Staus, geringerer Kraftstoffverbrauch, kein zusätzlicher Platzbedarf (an neuen Straßen)[1]

2 Fahrerlose Transportfahrzeuge

Erste automatische Transportsysteme existieren in der Industrie schon seit den 50er Jahren. Sie dienen dem Transport von Gütern innerhalb von Fabrikgebäuden (indoor) und werden deshalb Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) genannt. Die ersten Systeme waren jedoch noch recht primitiv. Das erste FTF war ein umgebauter Traktor der einem Leitdraht (dazu später mehr) an der Decke der Fabrik folgte, um so eine vorgegebene Spur einzuhalten. Auf dem Anhänger wurden Produkte für den Transport gesammelt. Diese Technik erfreute sich Ende der 50er und Anfang der 60er Jahre großer Beliebtheit. Die Leitdrahtführung wurde später von der Decke zum Boden verlegt. Doch schnell wurden auch Nachteile des Systems, wie z.B. die Inflexibilität, sichtbar: Die Fahrzeuge waren an die durch den Leitdraht vorgegebene Strecke gebunden und sehr schwer an neue Bedingungen anzupassen (z.B. Umbauten).

¹statistische Forschung der Götting KG

In den folgenden Jahrzehnten wurde stark an der Verbesserung der FTF gearbeitet. So wurde z.B. versucht, den Nachteil der Inflexibilität auszumerzen. Um dies zu realisieren wurden völlig neue Techniken zur Spurführung entwickelt, die später genauer vorgestellt werden.

Der Einsatz von FTF im Indoor-Bereich ist heute gängige Praxis zur flexiblen und kostengünstigen Verkettung der Produktionsbereiche. Mehr als 50000 FTF sind europaweit im Einsatz, meist durch Leitdraht geführt und in Kombination mit anderen Techniken, die eine freiere Führung der Fahrzeuge ermöglichen.

Seit den 90er Jahren wird daran gearbeitet den Einsatz der FTF auf Bereiche außerhalb von Gebäuden (outdoor) zu erweitern, vorallem die FTF verkehrstauglich für die öffentliche Straße zu machen.[2]

3 Erweiterung autonomer Fahrsysteme auf öffentliche Straßen

Die Erweiterung autonomer Fahrsysteme auf öffentliche Straßen bringt ganz neue und anspruchsvolle Probleme mit sich:

- Längere Strecken fordern höhere Geschwindigkeiten. Dies führt zu einem höheren Anspruch an die Sensorik. Zusätzlich wird das Fahrzeug durch die hohen Geschwindigkeiten zu einer größeren Gefahr.
- Es können unerwartet eine Vielzahl von Hindernissen auftreten, die im Indoor-Bereich und in abgesperrten Arealen ausgeschlossen werden können.
- Der unterschiedliche Straßenbelag, bzw. die verschiedenen Witterungsverhältnisse bereiten Probleme bei der Berechnung des Bremsweg (Haftreibung).
- Äußere Faktoren wie Witterungsverhältnisse (Feuchtigkeit, Staub, Nebel) beeinträchtigen die Sensorik und damit die Sicherheit.

Im voraus: Automatisches Fahren ist z. Z. nur auf nicht öffentlichen Arealen rechtlich möglich. Wenn Personen Zugang haben, dürfen die Fahrzeuge in der Regel nicht schneller als 6 km/h fahren.

Trotzdem nimmt die Zahl der Outdoor-Fahrzeuge deutlich zu, es werden Milliarden Dollar in Forschung und Entwicklung gesteckt (besonders für Fahrassistenzsysteme; diese Technik kann dann auch in FTF und autonomen Fahrsystemen eingesetzt werden).[1]

4 Technik

Automatisches Fahren wäre heute schon zumindest auf einigen öffentlichen Straßen technisch (nicht gesetzlich) möglich. Voraussetzung für sichere autonome Fahrzeuge im Outdoor-Bereich ist, dass:

- die Fahrzeuge untereinander direkt **kommunizieren** können, d.h. ihre Daten austauschen, so dass jedes Fahrzeug jederzeit von dem anderen weiß, welche Fahrabsicht es hat (Richtung, Geschwindigkeit, usw.);
- die Fahrzeuge immer präzise in der gewünschten Spur bleiben. (**Spurführung**);
- die Fahrzeuge ausreichend schnell Fahrtrichtungsänderungen und Geschwindigkeitsänderungen durchführen können (**Traktion**);
- frühzeitig **Hindernisse erkannt** werden, um auf diese angemessen reagieren zu können.

Sowohl für die Kommunikation, als auch für die Spurführung und die Traktion gibt es Lösungen. Wesentlich problematischer ist jedoch die Sicherheitsbetrachtung im Hinblick auf die Erkennung von Hindernissen.

Realisierungsmöglichkeiten für die einzelnen Punkte werden im folgenden vorgestellt.

4.1 Kommunikation

Unter der Voraussetzung, daß die anderen Fahrzeuge gleichwertig ausgestattet und in Reichweite sind, können sie durch ein asynchrones Nachrichtensystem kommunizieren. Dadurch können Annahmen über Aktionen im Voraus zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden und die Gefahr von Kollisionen verringert werden. Für die Datenübertragung zwischen den Fahrzeugen gibt es 3 Realisierungsmöglichkeiten: die induktive Übertragung, Übertragung durch Infrarot und die Datenfunkübertragung. Durchgesetzt hat sich der **Datenfunk**, aufgrund der Verfügbarkeit des Systems sowohl innerhalb als auch außerhalb von Gebäuden, der geringen Störempfindlichkeit, der fast uneingeschränkten Reichweite und der hohen Übertragungsgeschwindigkeit (4800 Bit/sec.).

So können z.B. vorausfahrende Fahrzeuge nachfolgende vor schlechten Witterungsverhältnissen, unebener Fahrbahn, beabsichtigter Spurwechsel, etc. warnen.[3]

4.2 Spurführung

4.2.1 Leitdraht

Der Leitdraht wird ca. 5 mm in den Boden eingelassen und mit einem sinusförmigen Strom gespeist. Das daraus resultierende induzierte elektrische Feld wird durch einen, am fahrerlosen Fahrzeug montierten, hochgenauen Sensor abgetastet und durch eine Sensor-Elektronik ausgewertet und die Querabweichung des Fahrzeuges berechnet. Je nach Abweichung von der Fahrspur muß die Korrektur entsprechend erfolgen.

Die Leitdrahtführung hat sich als besonders zuverlässig und genau (Spurabweichung +/- 2 mm) erwiesen. Das System wird nicht durch Schmutz, Witterung und dergleichen gestört. Negativ anzumerken ist, wie schon erwähnt, die Inflexibilität des Fahrzeuges. Es kann nur auf der vorgesehenen Strecke navigieren. Doch dieses Problem wurde durch Kombination der Leitdrahttechnik mit anderen Spurführungstechniken behoben.

Die meisten FTF werden mit induktivem Leitdraht zur Spurführung ausgerüstet. Die Technik eignet sich vorwiegend für den Indoor-Bereich oder für kürzere Strecken im Outdoor-Bereich (Busse).[4]

4.2.2 Transponder

Transponder (aus *Transmitter* = Messumformer u. *Responder* = Antwortgeber) werden, als eine Art zylinderförmige Magnete, im Abstand von ca. 3 Metern im Boden eingelassen. Vom Lesegerät am Fahrzeug wird permanent ein magnetisches Wechselfeld zur Energieversorgung des Transponders abgestrahlt. Sobald ausreichend Energie vorhanden ist, sendet der Transponder seinen, je nach Position und beabsichtigter Fahrzeughaltung, programmierten Code an das Fahrzeug zurück. Das Lesegerät wird sowohl für das Senden der Energie als auch für das Empfangen der Daten benutzt. Mit Hilfe der Empfangsspannungen werden die Abstände des Transponders in Quer- und Längsrichtung zum Antennenmittelpunkt berechnet.[5]

4.2.3 Scanner (Laser)

Der am Fahrzeug angebrachte Laserscanner orientiert sich an „künstlichen“ (z. B. extra angebrachte Marken oder Leitplanken) oder an „natürlichen“ Reflektoren (z. B. Wände, Bordsteine).

Dabei rotiert der Scanner um seine senkrechte Achse und erfasst den Winkel der Reflektionsmarke in Bezug auf seine Fahrzeughängsachse und die Entfernung zur Marke. Das Verfahren bietet eine Genauigkeit von +/- 10 mm und zeichnet sich durch niedrige Installationskosten und hohe Flexibilität aus. So kann z. B. ein durch Leitdraht geführtes System seine vorgegebene Bahn verlassen und mit Lasertechnik in einem nicht vorgesehenen Bereich frei navigieren.

Laser messen zwar sehr genau, sind aber wegen der Empfindlichkeit bei Schmutz, Regen etc. nicht immer störungsfrei und oft nur sinnvoll mit zusätzlichen Sensoren einzusetzen.[5] [6]

4.2.4 Bildverarbeitung

In vielen Forschungsprojekten versucht man mit Kameras aufgenommene Objekte zu erkennen und zu bewerten. Die Spurführung orientiert sich dann z. B. an den Begrenzungslinien auf der Fahrbahn oder den Leitplanken, Bordsteinen usw..

Die meisten Bildverarbeitungssysteme zur Spurführung orientieren sich an einer extra auf der Fahrbahnmitte angebrachte optischen Spur (Linie). Die unter dem Fahrzeug montierte Kamera erfasst die optische Spur. Der Fahrzeugrechner wertet die Bildinformationen aus und erkennt die Abweichung von der Spur. Da durch eine zu starke Verschmutzung der Fahrbahn Fehler auftreten können, ist die Spurführung durch Bildverarbeitung nur für FTF in sauberer Umgebung geeignet.[7]

4.2.5 Satellitennavigation (GPS)

Durch das Militär in den USA wurde ein weltweit verfügbares Satellitennavigationssystem aufgebaut: GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem). Mit der heute üblichen Satellitennavigation lässt sich eine Ortungsgenauigkeit von typisch 10 m erreichen. Um diese Genauigkeit noch zu verbessern wird differentiell GPS verwendet. Hierzu werden zusätzliche GPS-Empfänger an einem genau vermessenen Ort als Referenzstation genutzt, wodurch sich die Genauigkeit des Systems auf bis zu 1cm korrigieren lässt.

Es ist ganz sicher, dass GPS eine große Verbreitung finden wird. GPS ist heute schon in vielen PKWs vorhanden (Navigationssystem). GPS wird von Schmutz bzw. Witterungsverhältnissen nicht beeinflusst. Aber auch GPS hat Schwächen. Reflexionen und Abschattungen an Gebäuden oder sogar Bäumen führen zu Einschränkungen oder zum Versagen des Systems. Dadurch ist der Einsatz von GPS auf den Outdoor-Bereich beschränkt.[5]

4.2.6 Vor-/Nachteile der einzelnen Systeme im Überblick

System → Kriterium ↓	Leitdraht	Transponder	Laser	Bildverarbeitung	GPS
indoor/outdoor	ind. & outd.	ind. & outd.	ind.	ind. & outd.	outd.
Eignung für schmutzige Umgebungen	++	++	-	/	++
Zuverlässigkeit	++	+	+	+	+
Installationskosten	-	/	++	++	++
Flexibilität	-	/	++	++	++
Genauigkeit +/- mm	2	3-20	10	≤ 50	≤ 50

Eignung	++ = sehr gut	+ = gut	/ = durchschnittlich	- = schlecht
---------	---------------	---------	----------------------	--------------

4.3 Hinderniserkennung (Sicherheit)

Eingesetzte Techniken zur Hinderniserkennung sind Radar, Bildverarbeitung und Laser. Grundsätzlich sind zur Hinderniserkennung folgende Aufgaben zu lösen:

- Objekte erkennen und verfolgen
- Hintergrund identifizieren
- Objekte klassifizieren und
- Verkehrssituationen erfassen.

Radar

Typischerweise werden drei Radarstrahlen abgeschickt, um die Entfernung zu einem Hindernis zu erkennen. Des Weiteren werden die Radarstrahlen miteinander verglichen, um die Richtung des Hindernisses zu bestimmen.

Bildverarbeitung

Für die Vermessung einer 3D-Szene mit einer Kamera werden im fortlaufenden Betrieb die aufgenommenen Bilder digitalisiert. Die Videoverarbeitung detektiert mit Hilfe spezieller Auswertalgorithmen relevante Hindernisse und vermißt sie. Für die Visualisierung der Objekte wird eine Tiefenkarte berechnet, die die Entfernung und Lage der detektierten Objekte darstellt. Videokameras im Fahrzeug haben es mit ständig wechselnden und sehr unterschiedlichen Lichtverhältnissen zu tun (Dunkelheit im Tunnel ↔ Gegenlicht bei tief stehender Sonne). Gegenwärtig verfügbare Videokameras kommen mit diesem Spektrum wechselnder Lichtverhältnisse im Straßenverkehr noch nicht zufriedenstellend zurecht.

Laser

Laser werden vorwiegend zur Nahfeldüberwachung eingesetzt. Bei einem Winkelerfassungsbereich von bis zu 270° werden bei jedem Scan ca. 1000 Winkel- und Abstandswerte generiert. Diese Werte werden mit bestimmten Algorithmen zur Objektdetektion und -verfolgung ausgewertet. Jedes Objekt wird durch eine Vielzahl von konfigurierbaren Parametern (Objektabstand, -abmessung, relative Position, laterale und longitudinale Geschwindigkeit, Priorität) beschrieben.

Problematik

Um die Erkennung ganzer Verkehrssituationen zu ermöglichen, sind Verfahren / Systeme nötig, mit denen während der Fahrt, in Echtzeit, die relevanten Objekte (z. B. Fahrbahnmarkierungen, Hindernisse, überholende Fahrzeuge, von hinten kommende Fahrzeuge) erkannt und klassifiziert werden.

Um Hindernisse zu erkennen wird im Indoor-Bereich gern mit Laserscannern gearbeitet. Im Outdoor-Bereich jedoch haben optische Systeme Probleme mit Schmutz, Schnee, Nebel, Regen und dergleichen (wie auch bei Spurführung). Deshalb setzt die Automobilindustrie überwiegend auf Radarsysteme. Aber auch Radar ist noch so unzuverlässig, dass es zur Zeit nicht für eine sichere Erkennung von Personen oder anderen Hindernissen verwendet werden kann.[7]

5 Einsatz bei Nutzfahrzeugen

5.1 Busbahn

Die sog. Busbahn ist der Straßenbahn sehr ähnlich. Die Spurführung wird automatisch übernommen (z.B. durch Leitdrahtsystem). Der Fahrer muß lediglich noch die Geschwindigkeit regeln oder in Notsituationen bremsen. Die aufwendige überirdische Infrastruktur (Schiene) entfällt dabei. Solche Systeme sind weltweit schon vielerorts im Einsatz:

Eurotunnel

Im Eurotunnel sind derzeit 24 Leitdraht geführte Spezialfahrzeuge in der sog. „Serviceröhre“ in ständigem Einsatz. Bei Geschwindigkeiten von bis zu 80 km/h beträgt der Abstand zwischen den Fahrzeugen, in der relativ engen Röhre, im Begegnungsverkehr weniger als 100 mm. Das wäre von Personen nicht sicher zu realisieren.[4]

CIVIS

CIVIS ist ein von Siemens und Irisbus (Frankreich) entwickeltes Personentransportfahrzeug mit automatisierter Spurführung. Es folgt zwei extra auf der Straße aufgemalten parallelen, gestrichelten Linien. Diese werden von einer an der inneren Windschutzscheibe befestigten Kamera gelesen. Mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems wird die Abweichung von den Linien festgestellt und automatisch korrigiert. Der Bus kann so millimetergenau an Bushaltestellen heranfahren, um den bequemen Einstieg auch für behinderte Menschen zu ermöglichen.

CIVIS werden im Stadtverkehr auf einer extra reservierten Fahrbahn schon in mehreren Städten eingesetzt (Rouen, Las Vegas,...). Für das System ist keine teure Infrastruktur notwendig. Zudem ist das System sehr flexibel: Fahrrouten können durch einfaches abändern der aufgemalten Linien geändert und neuen Bedingungen angepasst werden.[8] [9]

5.2 Elektronische Deichsel DaimlerChrysler

Auf Initiative von DaimlerChrysler wurde das Projekt „Promote Chaffeur“ ins Leben gerufen. DaimlerChrysler propagiert dieses Projekt als die Zukunft des Güterverkehrs. Ziel des Projekts war die Optimierung des Fernverkehrs und die Entlastung der LKW-Fahrer. Grundlage des Projekts ist die Technik der sog. „elektronische Deichsel“ die in der Lage ist, zwei Fahrzeuge elektronisch zu einer Einheit zu koppeln. Dabei wird das vorausfahrende Fahrzeug gelenkt wie gewohnt. Das zweite Fahrzeug folgt dem ersten fahrerlos und wird automatisch mit allen Daten über den Fahrzustand des Führungsfahrzeugs versorgt. Es lenkt, bremst und beschleunigt wie dieses und hält dabei einen variablen, geschwindigkeitsabhängigen Abstand zwischen sechs und 15 Metern (Gesetz mind. 50m). Ist das Ende des gemeinsamen Streckenabschnitts erreicht, kann sich der Fahrer im folgenden Lkw jederzeit wieder abkoppeln. Realisiert wird die elektronische Deichsel durch Sensoren, Datenübertragungssysteme und Fahrzeugregelsysteme. Das Herzstück der umgebauten LKWs vom Typ Mercedes Benz Actros (gut geeignet weil sie über CAN-Bus[ControllerAreaNetwork] verfügen; bringen also passende elektronische Infrastruktur mit) sind die Bordrechner in beiden Fahrzeugen, die alle relevanten Daten zueinander in Beziehung setzen. Zwischen den Fahrzeugen existiert eine dauernde 2,4 Gigahertz Funkverbindung. Zusätzlich besteht ein optischer Kontakt: Zwei Videokameras im Folgefahrzeug behalten ständig ein spezielles Erkennungsmuster aus Infrarotlampen am Heck des ersten Fahrzeugs „im Auge“. Die Bildverarbeitung errechnet anhand der Informationen, die die Kameras liefern, nicht nur den Abstand zwischen den Lastwagen; auch die Richtungsänderungen des ersten Fahrzeugs werden durch die Verzerrung des Musters wahrgenommen. Der Bordrechner im zweiten Fahrzeug errechnet auf Grundlage der erhaltenen/ausgewerteten Daten die nötigen Stellbefehle und gibt sie an das hydraulische Lenksystem, die elektrisch geregelte Bremsanlage und den elektr. geregelten Antrieb weiter. So kann der zweite LKW ohne große Zeitverzögerung auf die Aktionen des ersten LKW reagieren. Vorteile, die sich durch diese Technik ergeben, sind:

- bessere Straßenauslastung (durch geringen Abstand, kontinuierlichen Verkehrs-

fluß) \Rightarrow weniger Staus

- 15% weniger Spritverbrauch (durch Windschatten) \Rightarrow geringere Umweltbelastung
- immense Entlastung des Fahrers

Notwendigkeit des Systems:

- in den Ländern der EU wird sich das Transportaufkommen in den nächsten 15 Jahren verdoppeln (Stand 1999) ²
- dies führt zu einer hohen Verkehrsdichte und hat beträchtliche Auswirkungen auf die Umwelt
- was wiederum zu längeren Fahrzeiten und steigenden Kosten führt.

Die „elektronische Deichsel“ wurde am 1. Juni 1999 bereits auf einem Autobahnstück der A81 erfolgreich unter Anwesenheit der Presse getestet und vorgeführt. Doch Voraussetzung das die „elektronische Deichsel“ Realität auf deutschen Autobahnen wird, ist „...bestehende rechtliche und verkehrspolitische Rahmenbedingungen dem technischen Fortschritt anzupassen...“ . ³

Rechtlich verboten sind z. B. elektrisch ansteuerbare Räder und geringerer Abstand als 50 m zwischen zwei LKW.[10] [11]

6 Großprojekt „autonomes Fahren“ von VW

Motivation und Ziele des Projekts

Ende 1996 rief VW das Projekt „autonomes Fahren“ unter Kooperation mit der TU Braunschweig ins Leben. Grund dafür war, die Dauererprobung von Serienfahrzeugen zu automatisieren. Denn bevor ein Fahrzeug bei VW in Serie geht, muß es erst etliche Kilometer auf einem extra dafür angelegten Testparcour überstehen. Auf diesem Testparcour werden die Fahrzeuge extrem zeitkomprimiert gealtert. Die Testfahrten sind für den Fahrer extrem belastend, sodaß für ihn besondere Arbeitsbestimmungen (höchstens 1 Stunde am Stück fahren, höchstens 4 Stunden am Tag) gelten.

Zusätzlich zu den wirtschaftlichen Einsparungen für VW sollten durch das Projekt Erkenntnisse gewonnen werden über

- die erforderliche Präzision der Positionsbestimmung und Navigation;
- die erforderlichen Sensoren zur Erkennung des Fahrzeugumfeldes;
- die Möglichkeit mit unterschiedlichen Sensoren die Sicherheit der Objekterkennung zu erhöhen;
- die Möglichkeiten einer präzisen Längs- und Querregelung, und

²Forschung der DaimlerChrysler AG

³Dr.Hartmut Marwitz, Leiter Entwicklung LKW bei DaimlerChrysler

- die Überführung der gewonnenen Erkenntnisse in Fahrassistenzsysteme wie z.B. automatische Abstandsregelung, Bremsassistentz, Hinderniswarnsysteme.

Auch wurde darauf geachtet, dass das System auf andere Fahrzeuge und Strecken übertragbar ist.

Die Ausstattung des Fahrzeugs

Da heutige Großserienfahrzeuge noch nicht über elektrisch ansteuerbare Bedienelemente - sog. X-by-Wire Systeme - verfügen, muss die Fähigkeit des Testfahrers, ein beliebiges Fahrzeug zu bedienen, durch einen **Roboter** ersetzt werden. Für die **Spurführung** bzw. absolute/relative Ortung des Fahrzeugs ist ein DGPS System und zusätzlich eine Kamera verantwortlich. Zur **Objekterkennung** in der Fahrzeugumgebung wurden am Fahrzeug 3 Laserscanner, 1 Radarsensor und eine Stereokamera installiert.

Beide Aufgaben, also sowohl Objekterkennung als auch Spurführung, werden redundant und unter Verwendung verschiedener Sensortechnologien („heterogenes Sensornetzwerk“) realisiert. Dadurch wird sowohl die Verfügbarkeit und die Sicherheit des Systems immens gesteigert, als auch die Funktionalität des Systems unter verschiedenen Umweltbedingungen gewährleistet.

Spurführung

Eines der Fahrspurerkennungssysteme basiert auf einer absoluten, das andere auf einer relativen Ortung des Fahrzeugs.

Das erste Verfahren zur Fahrspurerkennung zur **absoluten Ortung** basiert auf einem DGPS-Empfänger und einer digitalen Karte. Das System erreicht Genauigkeiten von 2 cm. In der digitalen Karte ist die Straßengeometrie mit ihrer Fahrbahnberandung exakt gespeichert. Dadurch kann zusammen mit der absoluten Ortsinformation (ermittelt durch GPS) auf die relative Lage zwischen Fahrzeug und Fahrbahn geschlossen werden. Die zweite Methode der Fahrspurerkennung basiert auf einer **relativen Ortung** und geschieht in ähnlicher Weise wie die menschliche Spurerkennung durch rein visuelle Wahrnehmung. Das dazu von der Robert Bosch GmbH entwickelte stereoskopische Bildverarbeitungssystem erlaubt eine visuelle Erfassung der Fahrspurbegrenzungen und die anschließende Ermittlung der relativen Position des Fahrzeuges zur Spur.

Objekterkennung

Die Objekterkennung basiert auf drei unterschiedlichen Sensorsystemen mit unterschiedlichen Erfassungsbereichen. Die Sensoren sind so angeordnet, dass sie alle relevanten Bereiche um das Auto abdecken.

Der kommerzielle **Radarsensor** (1) an der vorderen Stoßstange des Fahrzeuges erkennt Objekte in weiter Entfernung, aber mit einem schmalen Sichtwinkel. Der Weitbereichsmikrowellensensor ermöglicht eine sichere Erfassung von Objekten bis 150 Meter Entfernung. Dabei ist der Radarsensor nicht so stark auf die Reflektivität der Objekte angewiesen wie die Laserscanner.

Die augensicheren **Laserscanner** der Firma IBEO Lasertechnik GmbH an den äußersten Rändern (2, 3) der vorderen Stoßstange tasten je einen 270-Grad-Sektor ab, sodass

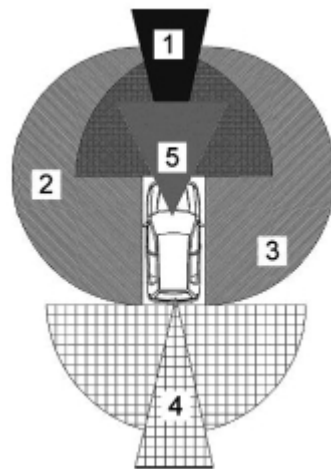


Abbildung 1: Sensoranordnung am Fahrzeug

im wichtigen Bereich vor dem Fahrzeug eine 180-Grad-Überlappung entsteht. Ein weiterer Laserscanner (4), auf der hinteren Stoßstange montiert, dient der Objektdetektion hinter dem Fahrzeug mit einem Öffnungswinkel von 180 Grad. Die Laserscanner können sehr stark reflektierende Objekte bis 250 Meter Entfernung sicher erkennen. Nimmt der Grad der Reflektion ab, so auch die Entfernung der zu erkennenden Objekte. Die gemessenen Abstands- und Winkelwerte werden, mit Hilfe eines Signalprozessors, aufgrund ihrer geometrischen Merkmale zu Objekten gruppiert. Durch bestimmte Algorithmen können die Laserscanner die Geschwindigkeiten der Objekte ermitteln.

Die **videobasierte Objekterkennung** (5) wird durch eine monochrome, nicht bewegliche Stereokamera, die von innen mittels Saugnäpfen an der Windschutzscheibe befestigt ist, ermöglicht. Diese Kamera erfährt einen sehr kurzen Bereich vor dem Auto. Die von den unterschiedlichen Sensoren erfassten Daten müssen nun gesammelt und synchronisiert werden. Diese Aufgabe löst die sog. **Sensorfusion** mittels einer Vielzahl von Algorithmen. Ziel der Sensorfusion ist die Erzeugung einer einheitlichen Beschreibung der Objekte in der Fahrzeugumgebung und die Nutzung des Synergieeffektes durch Kombination sich ergänzender Informationen.

Bahnplanung

Die Bahnplanung gliedert sich nun in vier Punkte:

1. Die **ideale Routenplanung** generiert unter Verwendung der digitalen Karte einen Fahrkorridor (Idealbahn) zwischen vorgegebenem Start- und Zielpunkt.
2. Parallel dazu ermittelt die **Objektsensorfusion** die Umgebung des Fahrzeuges.
3. Die **Fahrzeugführung** ermittelt nun, durch Kombination der gewonnen Daten aus Spurführung, Objekterkennung und Idealbahn, einen kollisionsfreien Weg (Sollbahn) für die laterale Fahrzeugführung.

4. Die **Fahrzeugregelung** sendet schließlich die Stellwerte an den Fahrroboter, in den die longitudinale Regelung integriert ist.

Ergebnisse und Perspektiven

Das Projekt wurde von allen Kooperationspartnern als äußerst erfolgreich bezeichnet. Es wurden viele Erkenntnisse über Sensoren und Signalverarbeitung gewonnen, die auch in die Entwicklung von zukünftigen Fahrassistenzsystemen und Automatisierung von Nutzfahrzeugen einfließen werden. Die TU Braunschweig hat weitere Forschungsgruppen gegründet um die verschiedenen Techniken weiterzuentwickeln.[12] [13]

7 Ausblick

Wir setzen uns in das Auto und geben über die Tastatur oder sprachgesteuert das Ziel ein. Der Rest wird vom Fahrzeug, Verkehrsleitrechnern und Infrastruktur erledigt. Der Fahrzeugnutzer kann sich entspannen, Zeitung lesen usw.

Von dieser Vision sind wir aus genannten Gründen - wie Sicherheitsaspekten, mangelnde Zuverlässigkeit bei der Hinderniserkennung - noch weit entfernt. Für Zukunftsvisionäre ist der Traum des autonomen Fahrens mit PKW auf öffentlichen Straßen jedoch innerhalb der nächsten 20 Jahre realisierbar.

Der Einsatz automatischer Nutzfahrzeuge ist, wie man an einigen vorangegangenen Beispielen erkennen konnte, schon weit verbreitet und wird auf immer mehr Bereiche ausgeweitet.

Im Allgemeinen wird vorausgesetzt, dass Technik nur dann eingesetzt werden darf, wenn sie wesentlich sicherer als der menschliche Fahrer ist. Automatisches Fahren ist z. Z. nur auf nicht öffentlichen Arealen möglich. Wenn Personen Zugang haben, dürfen die Fahrzeuge in der Regel nicht schneller als 6 km/h fahren. Es sind nur Fahrbahnen geeignet, auf denen wir keine plötzlich auftretenden Hindernisse oder fremde Verkehrsteilnehmer erwarten müssen.

In einigen Jahren könnte das Konvoifahren von LKWs auf Autobahnen sowohl technisch als auch rechtlich möglich sein. In den Niederlanden denkt man bereits jetzt darüber nach, LKWs nachts automatisch auf einer reservierten Spur fahrerlos fahren zu lassen (Combiroad). Die technische Entwicklung hat bereits und wird auch weitere große Fortschritte machen, so dass automatisches Fahren auch sicher ist. Diese neue Technik muss in einem geeigneten Umfeld erprobt werden. Hier ist die Politik in Deutschland gefordert, die Weichen richtig zu stellen und einige Richtlinien dem technischen Fortschritt anzupassen. [1]

Literatur

- [1] www.goetting.biz/ftp/de/firma/vortrag_autom_fahren.pdf
- [2] <http://www.frog.nl/dui/companyinfo/inside/background/agv/agv.html>
- [3] <http://www.sep-ag.de/deutsch/download/funk.pdf>
- [4] www.biblio.tu-bs.de/ediss/data/20020627b/20020627b.pdf
- [5] <http://www.goetting.biz/de/>
- [6] <http://www.iml.fraunhofer.de/1020.html>
- [7] <http://www.fh-hannover.de/amis/Fahrzeug.html>
- [8] <http://www.siemens-ts.com/pagesUS/produits/Civis.htm>
- [9] <http://www.lvrj.com/lvrj-home/2002/Sep-09-Mon-2002/news/19579780.html>
- [10] http://www.daimlerchrysler.com/specials/drawbar/drawbar1_g.htm
- [11] http://www.daimlerchrysler.com/index_g.htm?/specials/drawbar/drawbar3_g.htm
- [12] <http://www.tu-bs.de/pressestelle/cwmit/022001/Varchmin.pdf>
- [13] http://www.ifr.ing.tu-bs.de/de/becker_af.html