

Umfelderfassung für den Nothalteassistenten – ein System zum automatischen Anhalten bei plötzlich reduzierter Fahrfähigkeit des Fahrers

Dr.-Ing. Nico Kämpchen, Dr.-Ing. Peter Waldmann, Dipl.-Inf. Florian Homm,
Dipl.-Ing. Michael Ardelt

BMW Group Forschung und Technik

Hanauer Straße 46, 80992 München, Tel.: 089 38260749

{Nico.Kaempchen, Peter.WA.Waldmann, Florian.Homm, Micheal.Ardelt}@bmw.de

Kurzfassung

Im Rahmen des BMBF geförderten Projekts SmartSenior wird von der BMW Group Forschung und Technik ein Nothalteassistent entwickelt. Primäres Ziel dieses Assistenzsystems ist es, Unfälle durch gesundheitlich bedingte Kontrollverluste ganz zu vermeiden – oder zumindest die Schwere solcher Unfälle zu mindern. Beim Erkennen einer gesundheitlichen Notfallsituation des Fahrers wird in einen automatischen Fahrmodus gewechselt und ein abgesichertes Nothaltemanöver durchgeführt. Der Beitrag erläutert die Funktion des Nothalteassistenten, gibt einen Systemüberblick und geht dann im Schwerpunkt auf die Umfelderfassung ein.

1. Einleitung

Vor allem ältere Menschen sind oft von gesundheitlichen Problemen, wie Herz- und Kreislaufstörungen, betroffen und meiden deshalb die Nutzung eines Pkws, um sich und Andere nicht unnötig zu gefährden. Die Folge ist der Verzicht auf individuelle Mobilität und damit auch auf ein erhebliches Stück Selbstbestimmung. Doch die Technik kann Abhilfe schaffen.

Moderne Assistenzsysteme wie beispielsweise Spurwechselwarnung [1] oder Adaptive Cruise Control [2] zeigen schon heute das große Potential teilautomatisierter Fahrfunktionen und bilden gleichzeitig die Basis für die Entwicklung eines Nothalteassistenten, der bei plötzlich auftretendem, körperlichen Unvermögen des Fahrers die Kontrolle über das Fahrzeug übernimmt und unter Berücksichtigung des umgebenden Verkehrs einen Nothalt durchführt. Die Kontrolle eines Fahrzeugs mit einem fahrunfähigen Fahrer stellt dabei völlig neuartige Anforderungen an die Systeme der aktiven Sicherheit.

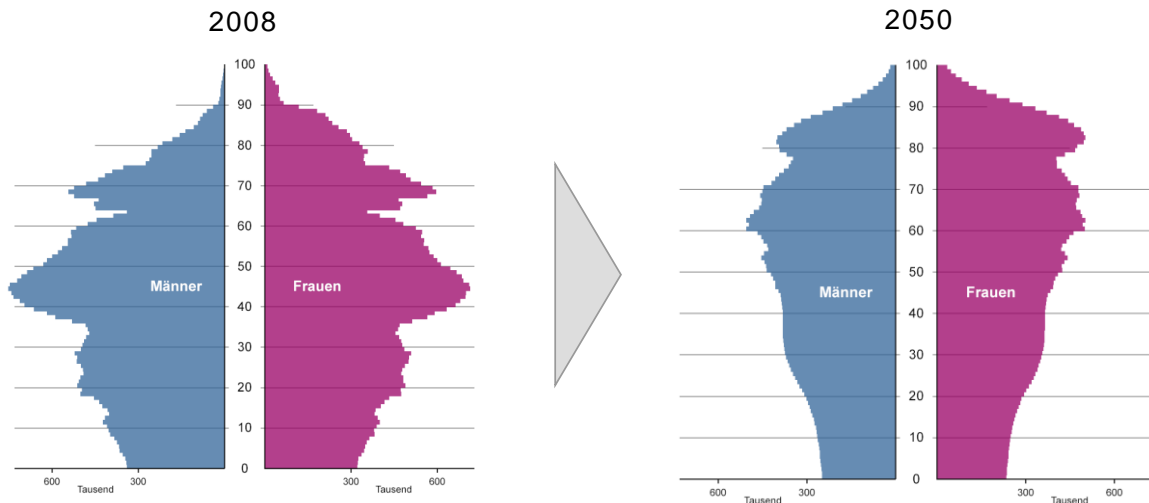


Bild 1 Prädizierte Demographische Entwicklung zum Jahr 2050 [3]

Das Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) prognostiziert einen drastisch ansteigenden Anteil älterer Menschen innerhalb der Bevölkerung Deutschlands (Bild 1). Deshalb hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung das Forschungsprojekt „SmartSenior“ ins Leben gerufen. Das Ziel dieser Initiative ist es, das alltägliche Leben älterer Menschen mittels intelligenter Dienstleistungen einfacher und sicherer zu gestalten. Im Rahmen dieses Forschungsprojekt entwickelt die BMW Group Forschung und Technik den ersten Prototypen eines Nothalteassistenten.

2. Nothalteassistent

Wird durch die Auswertung von medizinischen Indikatoren ein körperliches Unvermögen des Fahrzeugführers erkannt, besteht das primäre Ziel darin, einen Unfall zu verhindern und das Fahrzeug in einen sicheren Zustand zu überführen (Bild 2). Im Idealfall manövriert das Fahrzeug kontrolliert, unter Berücksichtigung des umgebenden Verkehrs, an den rechten Straßenrand.

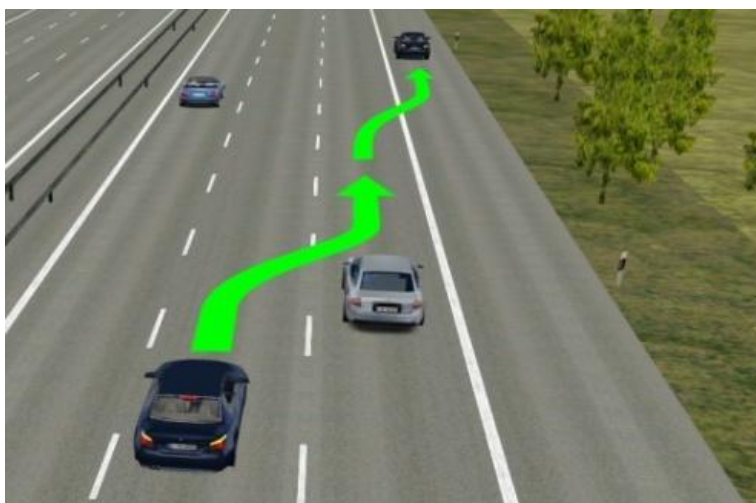


Bild 2 Das Fahrzeug übernimmt die Kontrolle und führt ein Nothaltemanöver durch

Nach der erfolgreichen Durchführung eines Nothaltemanövers wird das stehende Fahrzeug abgesichert und eine medizinische Erstversorgung des Fahrzeugführers initiiert [4].

Der automatisierte Nothalt auf dem Pannestreifen ist bei geringem Verkehrsaufkommen das optimale Vorgehen um Unfälle zu vermeiden, ohne zusätzliches Gefahrenpotential zu generieren. Bei dichter werdendem Verkehr gestaltet sich ein Spurwechsel allerdings immer schwieriger. Ab einer gewissen Verkehrsdichte ist man auf das kooperative Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer angewiesen. Durch gezieltes Ansteuern potentieller Verkehrslücken kann auch unter diesen schwierigen Bedingungen ein automatisierter Spurwechsel durchgeführt werden. Ist das Verkehrsaufkommen zu hoch oder steht man bereits in einem Stau, ist es aufgrund der geringen Relativgeschwindigkeiten nicht mehr erforderlich und auch nicht mehr sinnvoll, auf den Pannestreifen zu fahren. In dieser Situation soll das Fahrzeug innerhalb der aktuellen Fahrspur bis in den Stillstand abgebremst werden.



Bild 3 Überblick automatisierte Fahrmanöver [4]

Sollte beispielsweise aufgrund von schlechten Witterungsbedingungen die Güte der Umfelderkennung unzureichend sein, ist es zu gefährlich einen automatisierten Spurwechsel durchzuführen. In dieser Situation empfiehlt es sich, das Fahrzeug innerhalb der aktuellen Spur, unter Berücksichtigung des rückwärtigen Verkehrs, bis in den Stillstand abzubremsen.

Der Prototyp des Nothalteassistenten wird zunächst für den Einsatz auf Autobahnen und autobahnähnlich ausgebauten Straßenabschnitten entwickelt.

3. Anforderungen an die Umfelderkennung

Sobald der Nothalteassistent aktiviert ist, übernimmt er die Kontrolle über das Fahrzeug. Es wird davon ausgegangen, dass der Fahrer nicht mehr in der Lage ist das Fahrzeug zu führen. Der Nothalteassistent muss daher die Längs- und die Querführungsaufgaben übernehmen. Im Einzelnen bedeutet dies die Spur zu halten, einen Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einzuhalten und letztendlich über mehrere Spurwechsel den Standstreifen zu erreichen und bis in den Stillstand zu bremsen. Bei der Entwicklung dieser Fahraufgaben kann auf Seriensysteme wie das Adaptive Cruise Control Stop&Go [2], die Spurwechselwarnung [1] oder die Spurverlassenswarnung [5] aufgebaut werden. Die wichtigsten Anforderungen an die automatische Fahrzeugführung sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Baustellen, Unfälle oder ähnliche Situationen werden hier unter Sonderereignissen zusammengefasst, die in einem ersten Schritt erkannt werden sollen, um dann gesondert betrachtet werden zu können.

Tabelle 1 Anforderungen an die Umfelderkennung des Nothalteassistenten in Abhängigkeit der Fahraufgabe

Fahraufgabe	Umfelderkennung
Adaptive Geschwindigkeitsregelung	Objekte im Frontbereich, Verkehrszeichen
Spurhaltung	Lokalisation in der Fahrspur, Fahrspurverlauf
Durchführung von Spurwechseln	Benachbarte Fahrspuren, Objekte (Front-, Seiten- und Heckbereich).
Reaktion auf Sonderereignisse	Erkennen von Sonderereignissen

Sehr hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Systemkomponenten

3.1 Objekte im Frontraum und Verkehrszeichen

Um einen Sicherheitsabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen auch während Spurwechseln garantieren zu können, ist eine Erfassung aller vorausfahrenden Fahrzeuge auf der eigenen und den Nachbarspuren notwendig. Dabei müssen auch Fahrzeuge erkannt werden, die knapp vor dem eigenen Fahrzeug einscheren. Dafür ist ein großer horizontaler Öffnungswinkel der Sensoren Voraussetzung. Aufgabe der Längsführung ist es zudem Geschwindigkeitsbegrenzungen einzuhalten, die von der Umfelderkennung erkannt werden müssen. Auch hier

kann wieder auf ein schon bestehendes System, die Speed Limit Info des aktuellen BMW 7er zurückgegriffen werden, das auf einer Fusion von Verkehrszeichenerkennung mit einer Kamera, Informationen aus digitalen Karten und Fahrzeugdaten beruht [5].

3.2 Lokalisation in der Fahrspur und Fahrspurverlauf

Für eine sichere Spurhaltung ist eine präzise Lokalisierung des Fahrzeugs in der Fahrspur und die Kenntnis über den weiteren Fahrspurverlauf notwendig. Dabei müssen die Position des Fahrzeugs innerhalb der Fahrspurmarkierungen und die Ausrichtung in Bezug auf den Fahrspurverlauf bekannt sein. Der Krümmungsverlauf sollte für eine robuste Regelung auch mit einer gewissen Vorausschau vorliegen. Zusätzlich werden Informationen über die Existenz der Fahrspur benötigt. Endet eine Fahrspur, ist mit ausreichend Vorlauf ein Spurwechsel einzuleiten.

3.3 Nachbarfahrspuren und Rundum-Objekttracking

Das Ziel des Nothalteassistenten ist es, das Fahrzeug sicher auf den Seitenstreifen zu manövrieren und dort zum Stehen zu kommen. In der Regel sind zum Erfüllen dieser Aufgabe Spurwechsel notwendig. Grundvoraussetzung zur Entscheidungsfindung, ob und wie viele Spurwechsel durchgeführt werden müssen, ist die Kenntnis über Anzahl und Typ der Nachbarspuren. Es muss zwischen normalen Fahrstreifen und dem Standstreifen unterschieden und die Existenz der Nachbarfahrstreifen und des Standstreifens auch für einen gewissen Horizont garantiert werden können. Ist eine Nachbarspur vorhanden, wird überprüft, ob der umliegende Verkehr einen Spurwechsel erlaubt. Für diese Spurwechselabsicherung müssen Fahrzeuge auf der Nachbarspur erkannt werden. Der relevante Erfassungsbereich schließt sowohl den direkten Seitenbereich, als auch weit entfernte Fahrzeuge ein, wenn diese aufgrund ihrer hohen Relativgeschwindigkeit in naher Zukunft in den Seitenbereich eintreten werden. Die Nachbarspur muss unter Berücksichtigung von Sicherheitsabständen während des gesamten Spurwechselforgangs frei sein. Ist die Nachbarspur nicht frei, muss aufgrund der Position und Geschwindigkeit der relevanten Fahrzeuge entschieden werden, ob durch Bremsen, Beschleunigen oder einfaches Warten eine Situation erzeugt werden kann, die einen Spurwechsel zulässt.

3.4 Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Der Nothalteassistent übernimmt die Kontrolle über das Fahrzeug, falls der Fahrer seiner Aufgabe nicht mehr nachkommen kann. Das Fahrzeug fährt somit bei Aktivierung des Nothalteassistenten vollständig automatisch. Der Fahrer kann weder das System überwachen, noch beim Erreichen von Systemgrenzen die Fahraufgabe wieder übernehmen. Das System

muss somit die Fahraufgabe mit sehr hoher Zuverlässigkeit erfüllen und nach der Systemaktivierung durchgängig verfügbar sein. Diese hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gelten für alle Teilfunktionalitäten der Quer- und Längsführung und die zugrunde liegende Umfelderkennung.

4. Systemüberblick

Zur prototypischen Realisierung des Nothalteassistenten ist ein Versuchsträger aufgebaut worden, der mit umfelderfassender Sensorik, Rechnern zur Datenverarbeitung und Aktuatorik ausgestattet ist.

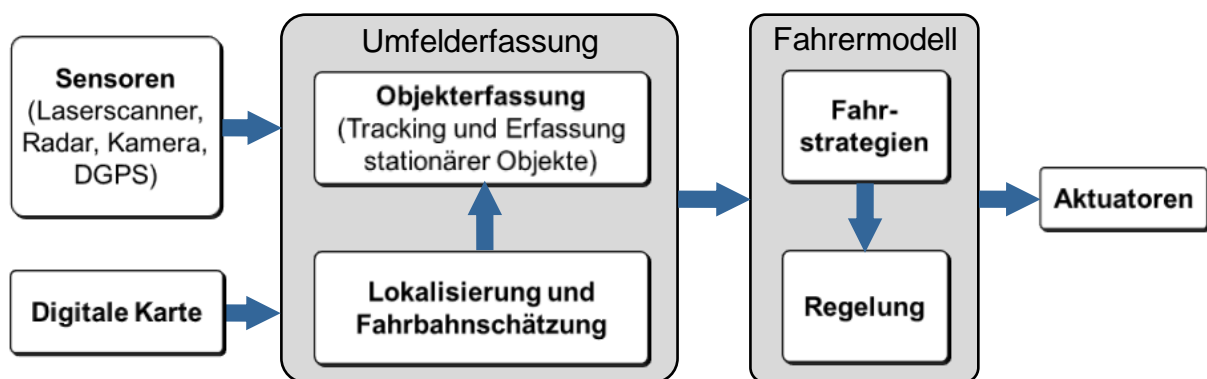


Bild 3 Funktionale Systemarchitektur

In Bild 3 ist die funktionale Systemarchitektur dargestellt, die sich grob in die Bestandteile Umfelderkennung und Fahrermodell aufteilen lässt. Die Umfelderkennung verarbeitet die Sensordaten und die Informationen der digitalen Karte. Zu ihren Aufgaben zählen die Erfassung des umgebenden Verkehrs und der stationären Hindernisse. Desweiteren bestimmt sie die Position und Lage des eigenen Fahrzeugs und ermittelt den weiteren Verlauf der Fahrbahn. Die gewonnenen Informationen werden dem Fahrermodell zur Verfügung gestellt, welches daraus Strategien ableitet, um das Fahrzeug möglichst zügig und sicher an den rechten Straßenrand zu manövrieren. Hauptbestandteile des Fahrermodells sind die Situationsinterpretation, das Herleiten der Fahrstrategien und die Ansteuerung der Aktuatoren.

Um den hohen Anforderungen an Robustheit und Güte nachzukommen, ist der Versuchsträger mit mehrfach redundanter und diversitärer Sensorik ausgestattet (Bild 4). Die folgenden Abschnitte erläutern im Einzelnen, wie die verschiedenen Sensortechnologien für die unterschiedlichen Aufgaben der Lokalisierung, Fahrbahnschätzung und Objekterfassung genutzt werden können.

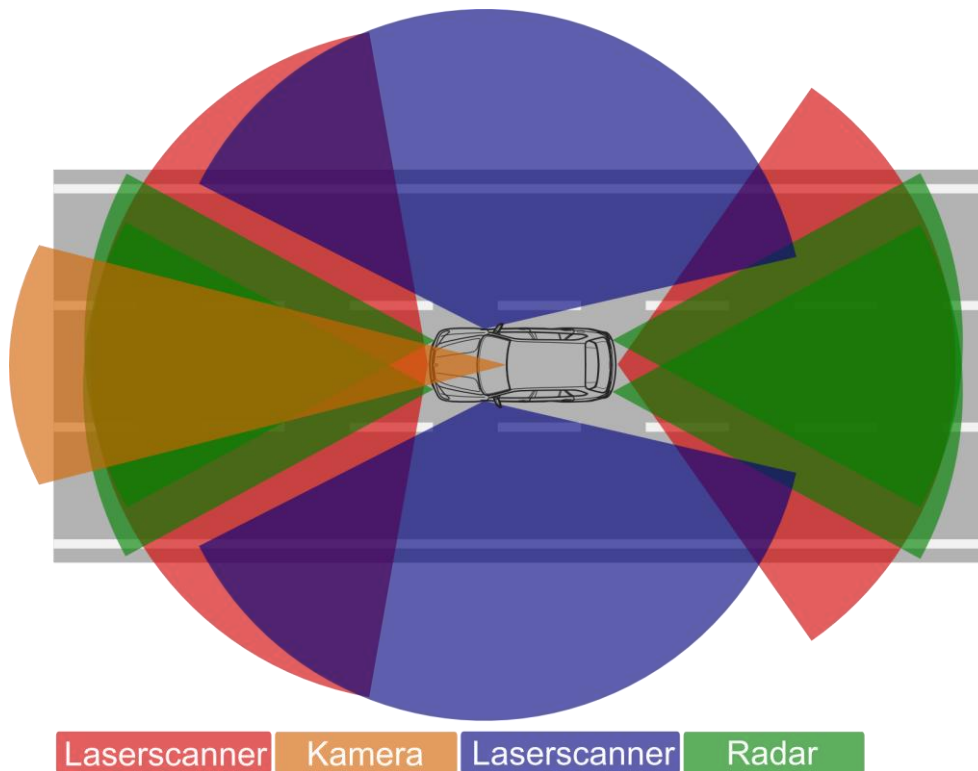


Bild 4 Erfassungsbereiche der Sensoren des Versuchsträgers

5. Lokalisierung und Fahrbahnschätzung

Der Prototyp des Nothalteassistenten wird für Autobahnen und autobahnähnliche Straßenabschnitte entwickelt. Deshalb wird hier davon ausgegangen, dass die Fahrstreifen der Fahrbahn durch Markierungen getrennt sind. Geänderte Verkehrsführungen wie in Baustellen werden zunächst nicht betrachtet. Es wird eine Erkennung solcher Sondersituationen angestrebt, damit entsprechend darauf reagiert werden kann.

5.1 Lokalisierung innerhalb der Fahrspur

Für die Spurhaltung ist es zunächst wichtig, die Position und Ausrichtung des Fahrzeugs in Bezug auf die Fahrspur zu kennen. Konkret müssen Ablage und Gierwinkeldifferenz ermittelt werden.

Für eine komfortable und zuverlässige Querregelung ist außerdem der Kurvenradius der Fahrspur von Interesse. In aktuellen Fahrzeugen wie dem BMW 7er kommen bereits Fahrspurerkennungssysteme, die mit einer Kamera arbeiten als Basis für die Fahrspurverlassenswarnung zum Einsatz [5]. Bild 5 zeigt beispielhaft die erkannte Fahrspur eines solchen Systems. Vorteil des kamerabasierten Ansatzes ist die hohe Verfügbarkeit und Genauigkeit. Nachteilig können sich kaum sichtbare Markierungen, extrem widrige Wetterbedingungen oder sehr ungünstige Lichtverhältnisse auswirken.



Bild 5 Fahrspurerkennung mit einer Kamera

Auch mit einem mehrzeiligen Laserscanner können Fahrspurmarkierungen erkannt werden. Der Laserscanner kann aufgrund der höheren Reflektivität Messungen auf Fahrspurmarkierungen erkennen und diese von den benachbarten Messungen auf den Bodenbelag von niedriger Reflektivität unterscheiden. Mit einem speziellen Verfahren können über die Zeit die Fahrspuren ermittelt werden [6]. Wie in Bild 6 beispielhaft dargestellt, ist es aufgrund des hohen Öffnungswinkels des Laserscanners möglich, gleichzeitig mehrere Fahrspuren zu erfassen. Die Genauigkeit ist mit der einer kamerabasierten Fahrspurerkennung vergleichbar. Fahrbahnmarkierungen werden bis etwa 30 m vor dem Fahrzeug erkannt. Da Laserscanner aktive Sensoren sind, zeigen sie sich resistent gegenüber Lichtverhältnissen. Allerdings können kaum sichtbare Markierungen und Witterungseinflüsse die Verfügbarkeit und Güte der Fahrspurerkennung beeinträchtigen.



Bild 6 Fahrspurerkennung mit einem mehrzeiligen Laserscanner

Eine weitere alternative Möglichkeit besteht darin, digitale Karten in Verbindung mit einer genauen DGPS Positionsbestimmung zu nutzen [7]. Die georeferenzierte digitale Karte beinhaltet Informationen über den Verlauf aller Fahrspurmarkierungen, die mit einer Genauigkeit im cm-Bereich vorliegen müssen. Zusammen mit einer cm-genauen DGPS-Position kann die notwendige relative Position des Fahrzeugs in Bezug auf die Fahrspur errechnet werden (Bild 7). Mit dieser Technologie kann die notwendige Genauigkeit mit einer hohen Verfügbarkeit erreicht werden, unabhängig von Witterungseinflüssen, Lichtverhältnissen oder Güte der Markierungen. Allerdings ist eine GPS-Ortung in Tunneln nicht möglich und wird durch Abschattungen unter Brücken oder von Bäumen beeinträchtigt. Die digitalen Karten aktueller Navigationssysteme weisen nicht die notwendige Genauigkeit auf, so dass die cm-genauen digitalen Karten zunächst erstellt werden müssen.

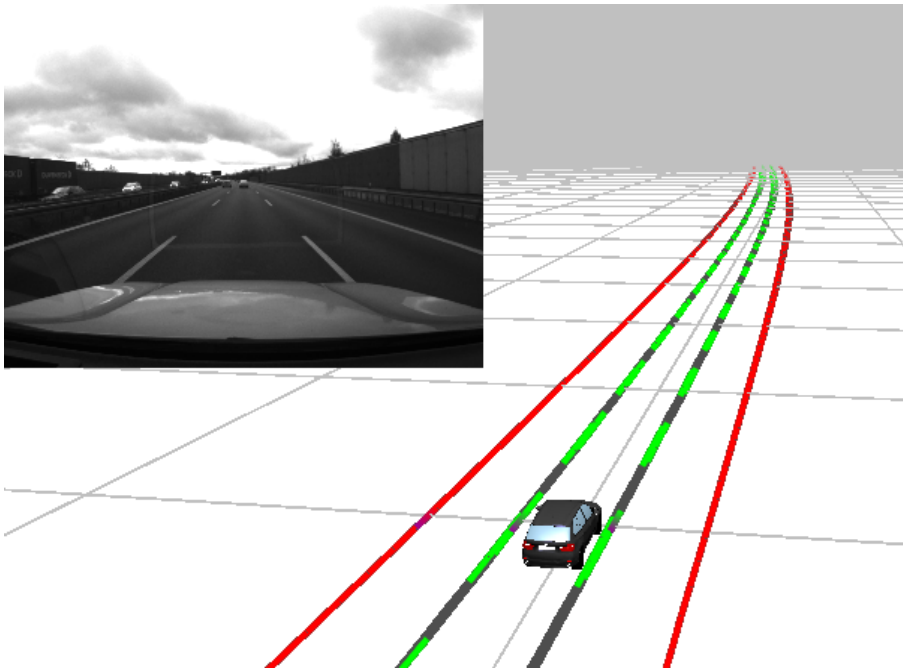


Bild 7 Hochgenaue digitale Karte kombiniert mit einer Lokalisierung mittels DGPS und Inertialsensoren

Da der Laserscanner einen großen Erfassungsbereich aufweist, detektiert er in vielen Fällen Leitplanken, Betonabweiser und ähnliche Randbebauung [6]. In Bild 8 ist die geschätzte Position der Randbebauung zusätzlich zu den Fahrspuren eingezeichnet. Liegt nun eine cm-genauere digitale Karte vor, in der solche Landmarken verzeichnet sind, ist es denkbar, das Fahrzeug in der digitalen Karte zu lokalisieren. Sind zusätzlich die Fahrspuren in der digitalen Karte abgelegt, kann die Position und Ausrichtung des Fahrzeugs relativ zu den Fahrspuren berechnet werden.

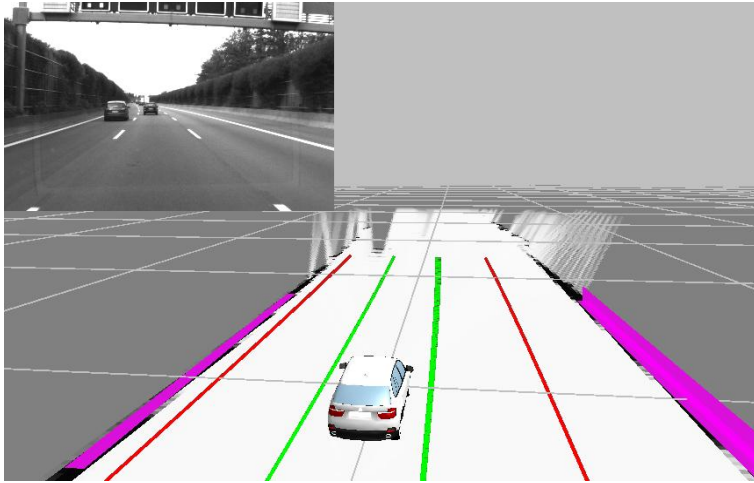


Bild 8 Randbebauungserkennung mit einem Laserscanner basierend auf Occupancy Grids. Zusätzlich sind die vom Laserscanner erkannten Fahrspuren eingezeichnet.

Analog ist eine Randbebauungserkennung auch mit einem Radar möglich. Bild 9 zeigt beispielhaft den mit Hilfe eines Occupancy Grids erkannten Verlauf der Randbebauung. Auch hier könnte mittels einer hochgenauen digitalen Karte auf die Position des Fahrzeugs in der Fahrspur zurückgeschlossen werden.

Die vorgestellten Einzelsysteme haben ihre sensorspezifischen Charakteristiken bezüglich Genauigkeit und Verfügbarkeit. Ziel ist die Fusion der redundanten und diversitären Sensoren, um eine maximale Robustheit und Güte der Lokalisation in der Fahrspur zu erreichen. Die Fusion von digitaler Karte, DGPS, Inertialsensorik und kamerabasierter Fahrspurerkennung wurde bereits erfolgreich für Querregelungsaufgaben eingesetzt [8].

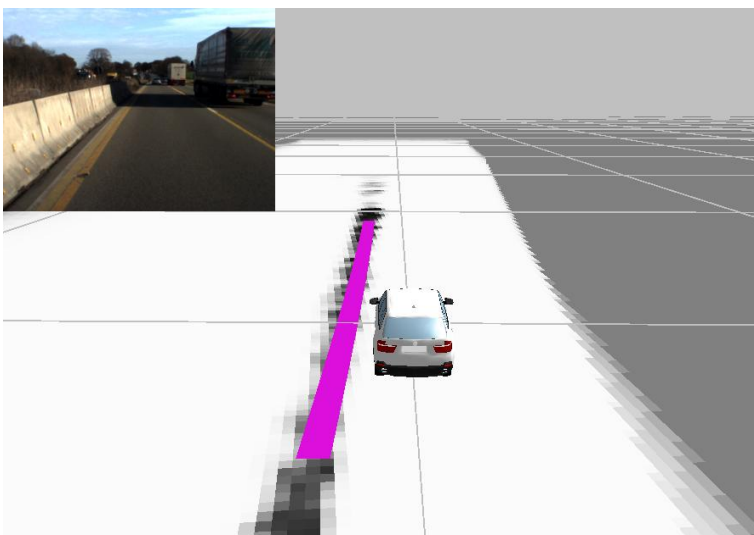


Bild 9 Randbebauungserkennung mit einem mechanisch scannenden Radarsensor basierend auf Occupancy Grids.

5.2 Lokalisierung auf der Fahrbahn und Fahrbahnschätzung

Ziel des Nothalteassistenten ist es, möglichst schnell und sicher das Fahrzeug auf den Standstreifen zu manövrieren. Unter Umständen müssen dafür mehrere Spurwechsel durchgeführt werden. Damit das Fahrermodell entscheiden kann, wie viele Spurwechsel notwendig sind, müssen Informationen über die Nachbarspuren vorliegen. Es muss bekannt sein, ob eine Nachbarspur rechts vom Fahrzeug vorhanden ist und ob es sich dabei um eine Fahrspur oder den Standstreifen handelt. Auch für diese Aufgabe sind mehrere Sensoren geeignet.

Aus einer cm-genaue digitalen Karte kombiniert mit DGPS können alle Anforderungen im Rahmen der DGPS-Verfügbarkeit erfüllt werden. Die Anzahl und der Typ der Fahrspuren können in der Karte hinterlegt sein und über eine Lokalisierung mittel DGPS kann die Fahrspurzuordnung durchgeführt werden. Aus der digitalen Karte kann der Fahrbahnverlauf auch mehrere hundert Meter vor dem Fahrzeug abgerufen werden (Bild 7). Wichtige Informationen wie das Wegfallen einer Fahrspur sind so verfügbar.

Alternativ bietet der Laserscanner reichhaltige Informationen bezüglich Anzahl und Typ von Fahrspuren und Fahrspurmarkierungen sowie die Position der Randbebauung (Bild 9). Es ist denkbar, dass die meisten notwendigen Informationen bezüglich Typ und Existenz von Nachbarspuren allein mit einem Laserscanner ermittelt werden können [6]. Allerdings ist die Vorausschau im Gegensatz zu der Reichweite digitaler Karten eingeschränkt. Vielversprechender ist daher die Kombination von Laserscanner und digitaler Karte. Ist in der hochgenauen Karte die Randbebauung verzeichnet, könnte das Fahrzeug mittels der Randbebauungserkennung in der digitalen Karte lokalisiert werden. Diese Art der Fahrspurzuordnung des eigenen Fahrzeugs wäre insbesondere in solchen Situationen sinnvoll, in denen aufgrund verringerter Genauigkeit der DGPS-Lösung eine fahrspurgenaue Lokalisation mittels DGPS nicht möglich ist. Analog könnte die Randbebauungserkennung des Radarsensors genutzt werden.

Auch hier erscheint eine Fusion der redundanten und diversitären Informationen zur Erreichung der gesetzten Anforderungen zielführend.

6. Objekterfassung

Sind die Position und Ausrichtung des eigenen Fahrzeugs sowie der weitere Verlauf der Fahrspuren und der Fahrbahn bekannt, kann der Nothalteassistent das Fahrzeug zunächst in der Spur halten und es dann über Spurwechsel auf den Standstreifen manövrieren, wo das Fahrzeug in den Stillstand abgebremst wird.

Um während des gesamten Manövers, Kollisionen mit anderen Fahrzeugen zu vermeiden, müssen diese erkannt und sowohl bei der Abstandsregelung als auch bei der Planung von

Spurwechseln berücksichtigt werden. Hierbei wird zwischen Verkehrsteilnehmern (Pkw, Lkw) und stationären Hindernissen (Baustelle, Unfallstelle) unterschieden. In Rahmen dieses Projektes wird davon ausgegangen, dass sich keine Personen oder Tiere auf der Fahrbahn aufhalten.

6.1 Rundum-Objekttracking

Zur Einhaltung eines komfortablen Sicherheitsabstandes muss der vorausfahrende Verkehr erkannt und getrackt werden. Im Fokus steht dabei das in der eigenen Spur vorausfahrende Fahrzeug. Beim Spurwechsel sind zusätzlich auch Fahrzeuge auf den Nachbarspuren von Interesse. Als klassischer Sensor für Abstandsregelaufgaben bietet sich ein Radar an, der durch seine weitestgehende Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen und direkte Messung von radialen Relativgeschwindigkeiten besticht. Laserscanner weisen einen deutlich größeren Öffnungswinkel auf und haben den Vorteil einer hohen Winkelauflösung, unterliegen jedoch den bekannten Randbedingungen optischer Systeme bei ungünstigen Wetterbedingungen [9]. Eine zuverlässige Detektion von Fahrzeugen ist auch mit einer monokularen Kamera möglich [10]. Vorteil dieses Ansatzes ist die Klassifikation von Fahrzeugen und damit die Unterscheidung von anderen nicht relevanten Hindernissen. Zudem weist die Kamera eine hohe Winkelauflösung in Azimut und Elevation auf.

Zur Absicherung von Spurwechseln müssen insbesondere Fahrzeuge im direkten Seitenbereich erkannt werden. Hierfür werden rechts und links je ein Laserscanner mit einem horizontalen Öffnungswinkel von etwa 160° eingesetzt (Bild 4).

Aber nicht nur andere Verkehrsteilnehmer, die neben dem eigenen Fahrzeug auf der Nachbarspur fahren, verhindern einen Spurwechsel, sondern auch Fahrzeuge mit großer Relativgeschwindigkeit, die in absehbarer Zeit in den Seitenbereich eintreten. Daher ist zudem eine rückwärtige Erfassung von Fahrzeugen auch auf Nachbarspuren notwendig. Hierfür eignen sich grundsätzlich die gleichen Sensortechnologien wie für den Frontbereich.

Im Versuchsträger sind im Frontbereich alle drei diversitären Sensortechnologien (Radar, Laserscanner, Kamera), im rückwärtigen Bereich zwei Radare und ein Laserscanner integriert. Eine Fusion der redundanten Objektlisten wird angestrebt, um maximale Verfügbarkeit und Genauigkeit zu erzielen. Im Seitenbereich wird die Erkennung nur von einem Sensor gestützt.

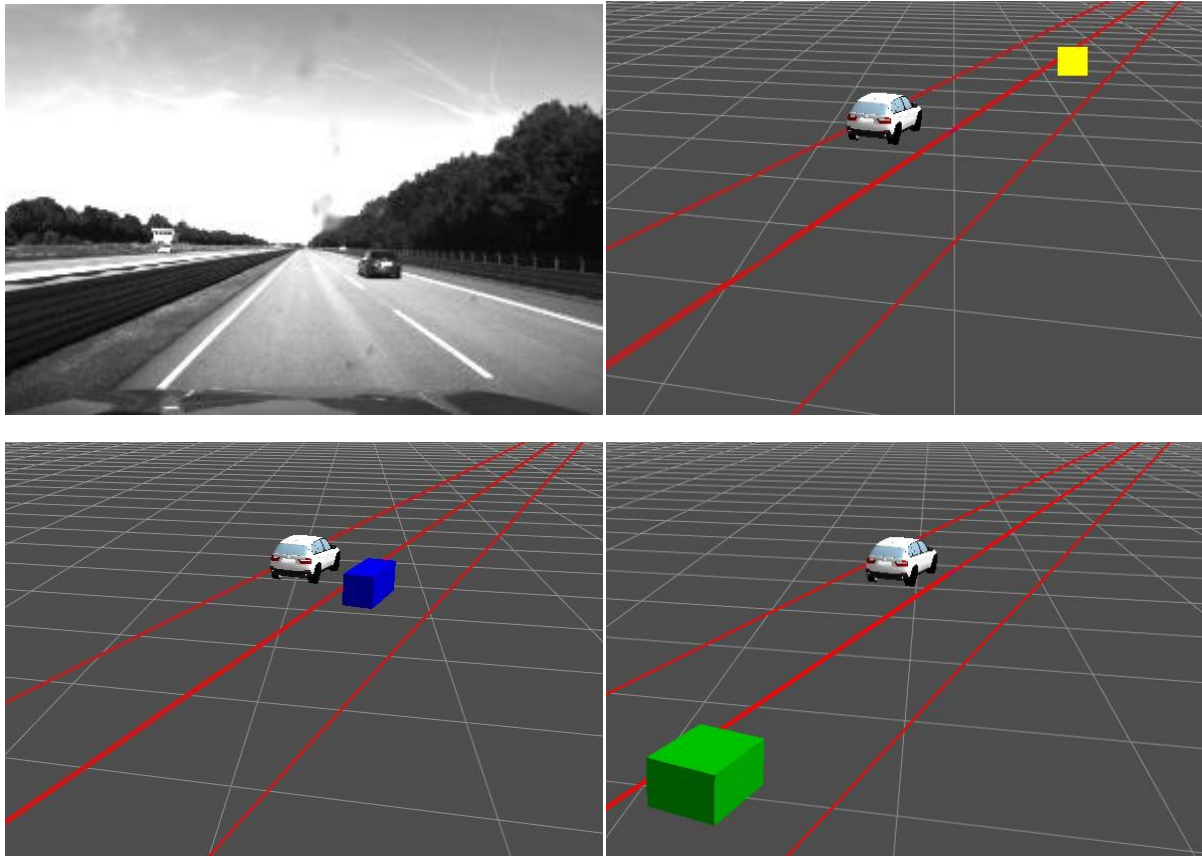


Bild 10 Rundum-Objekttracking. Das Beispiel zeigt das erkannte Fahrzeug während eines Überholvorgangs in den verschiedenen Erfassungsbereichen (Front, Seite, Heck).

Bild 10 zeigt beispielhaft drei Zeitschritte während eines Überholvorgangs. Das vorausfahrende Fahrzeug wird zunächst von der Frontsensorik erfasst, dann von dem Laserscanner im Seitenbereich und schließlich von der rückwärtigen Sensorik. Wichtig bei der Wahl der Sensoren war eine möglichst komplette 360° Abdeckung um das Fahrzeug herum. Wie in Bild 4 zu sehen ist, konnte sogar eine ausreichend große Überlappung sichergestellt werden.

6.2 Modellfreie Erfassung unbewegter Objekte

Während beim Tracking von Verkehrsteilnehmern Quader- oder Punktmodelle zur Approximation der Form eines Fahrzeugs zum Einsatz kommen, bietet sich zur Erkennung stationärer Hindernisse die modellfreie und damit robustere Repräsentation der Occupancy Grids an [11]. Hierbei werden die Messungen eines Sensors abhängig von Sensormodell und Signatur der einzelnen Messung den Zellen des Grids zugeordnet. Jede Zelle speichert die Existenzwahrscheinlichkeit, mit der sich an dieser Stelle ein Hindernis befindet (Bild 11). Ist eine Zelle schwarz eingefärbt, ist dort mit hoher Sicherheit ein Objekt. Weiße Bereiche kennzeichnen hindernisfreie Flächen. Graue Bereiche drücken Unsicherheit über die Existenz eines Objekts aus.

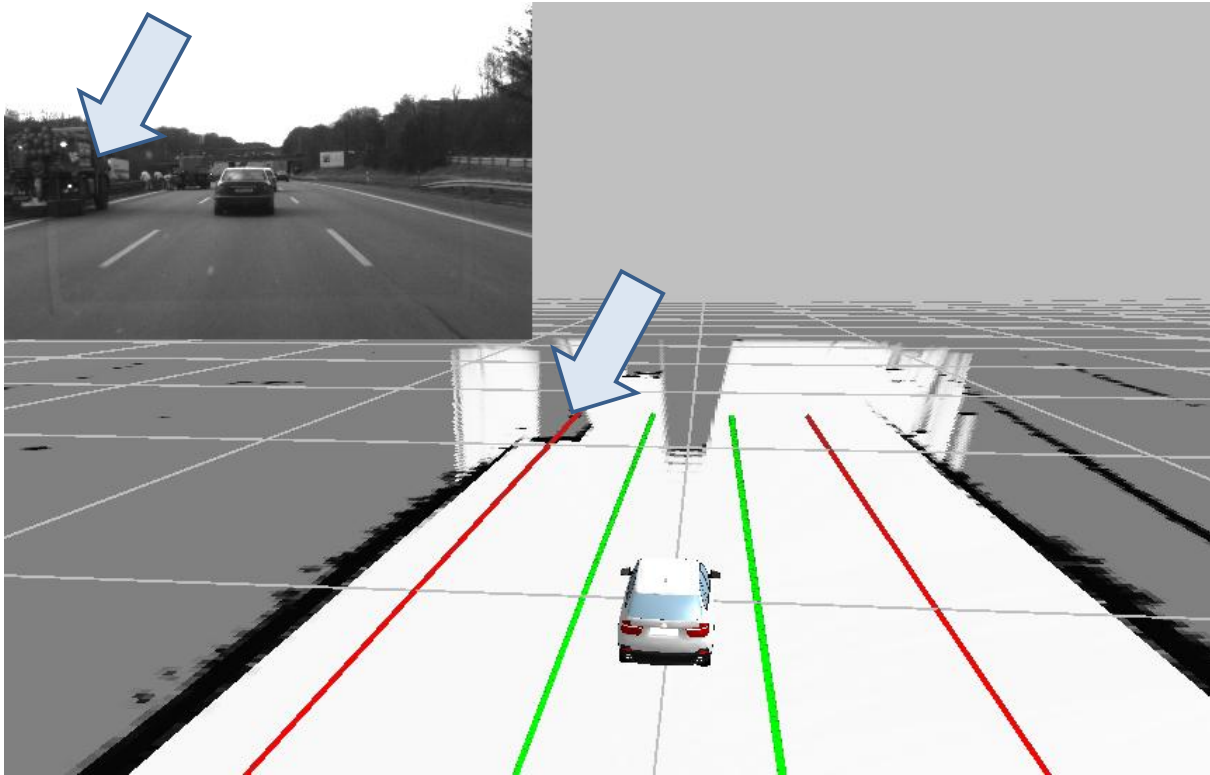


Bild 11 Erfassung stationärer Hindernisse mittels Occupancy Grids hier mit einem Laserscanner. Liegt zusätzlich die Information über Fahrspuren vor, können die Hindernisse den Fahrspuren zugeordnet werden.

Occupancy Grids lassen sich grundsätzlich unabhängig von der Sensortechnologie erstellen. Beliebte sind der Einsatz von Laserscannern und Radarsensoren. Die Anwendung von Radarsensoren hat den Vorteil, dass störende Messungen auf bewegte Objekte vor Integration in das Occupancy Grid herausgefiltert werden können, da der Radar zumindest die radiale Komponente der Geschwindigkeit misst. Transversal bewegte Objekte lassen sich natürlich nicht auf Rohdatenebene unterdrücken. Beim Laserscanner kommen spezielle Verfahren zum Einsatz, um das Occupancy Grid von störenden Effekten aufgrund bewegter Objekte zu bereinigen. Beispielsweise kann die Objektliste aus dem Rundum-Tracking genutzt werden.

Ist der Verlauf der Fahrspuren bekannt, können die belegten (schwarzen) Zellen des Occupancy Grids den Fahrspuren zugeordnet werden. Auf Autobahnen werden bei fließendem Verkehr in der Regel nur Leitplanken und Randbebauung, die außerhalb der Fahrspuren liegen, als stationär im Occupancy Grid verzeichnet. Hat sich ein Unfall ereignet oder stehen Baustellenfahrzeuge auf der Fahrbahn, erscheinen diese wie in Bild 11 zu sehen im Occupancy Grid als Hindernisse auf einer Fahrspur. So kann bestimmt werden, welche Fahrspuren aufgrund stationärer Hindernisse nicht befahrbar sind.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Der Nothalteassistent stellt neue Anforderungen an die Umfelderkennung. Sowohl das Verkehrsgeschehen um das Fahrzeug als auch die Fahrbahn mit ihren Fahrstreifen müssen umfassend erkannt werden. Zur Spurhaltung ist zudem die genaue Position und Ausrichtung des Fahrzeugs innerhalb der Fahrspur Voraussetzung. Die aufgrund des hohen Automatisierungsgrads geforderte Güte und Zuverlässigkeit lässt sich nur mit redundanten diversitären Sensoren und Informationsquellen erreichen. Aktuelle Technologien zur Umfelderkennung wurden aufgezeigt und ein Vorschlag motiviert, mit dem im Rahmen des Projektes die Anforderungen an die Umfelderkennung sichergestellt werden sollen.

8. Literatur

- [1] Donges, E.; Naab, K.: Regelsysteme zur Fahrzeugführung und –stabilisierung in der Automobiltechnik, at Automatisierungstechnik Heft 44, S.226 -236, R. Oldenbourg Verlag, 1996
- [2] Adiprasito, S.: Fahrzeuglängsführung im Niedergeschwindigkeitsbereich, Technische Universität Carlo- Wilhelmina zu Braunschweig, 2004
- [3] destatis, Statistisches Bundesamt Deutschland, 2009
- [4] Waldmann, P; Kaempchen, N.; Ardelt, M.; Homm, F.: Der Nothalteassistent – abgesichertes Anhalten bei plötzlicher Fahrunfähigkeit des Fahrzeugführers, Ambient Assisted Living Forum, Wien, 2010, angenommen
- [5] Ehmanns, D.; Aulbach, J.; Strobel, T.; Mayser, C.; Kopf, M.; Discher, C.; Fischer, J.; Oszwald, F.; Orecher, S.: Aktive Sicherheit und Fahrerassistenz, in „Der neue BMW 7er“, ATZExtra, 2008
- [6] Homm, F.; Duda, A.; Kaempchen, N.; Waldmann, P.; Ardelt, M.: Lidarbasierte Fahrstreifen- und Randbebauungserkennung mit Occupancy Grids für Spurhalte- und Spurwechselfunktionen, 4. Tagung Sicherheit durch Fahrerassistenz, München, 2010, angenommen
- [7] Waldmann, P.: Entwicklung eines Fahrzeugführungssystems zum Erlernen der Ideallinie auf Rennstrecken, Shaker Verlag, Band 1,2009
- [8] Waldmann, P.; Niehues, D.: Der BMW TrackTrainer – automatisiertes Fahren im Grenzbereich auf der Nürburgring Nordschleife, 4. Tagung Sicherheit durch Fahrerassistenz, München, 2010

- [9] Kaempchen, N.: Feature-Level Fusion of Laser Scanner and Video Data for Advanced Driver Assistance Systems, Dissertation, University Ulm, http://vts.uni-ulm.de/docs/2007/5958/vts_5958_7991.pdf , 2007
- [10] Stein, G. P.; Mano, O.; Shashua, A.: Vision-based ACC with a Single Camera: Bounds on Range and Range Rate Accuracy, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2003
- [11] Thrun, S.; Burgard, W.; Fox, D.: Probabilistic Robotics, The MIT Press, Cambridge, MA, 2005