

# FAHRZEUGFÜHRUNG MIT GALILEO – ANWENDUNGEN UND TESTGEBIETE

T. Engelhardt, A. Katriniok, B. Schäfer, D. Abel  
RWTH Aachen, Institut für Regelungstechnik, Aachen, Deutschland

## Zusammenfassung

Von der Einführung des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo werden einige Vorteile hinsichtlich Genauigkeit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit im Vergleich zu heutigen Systemen wie GPS erwartet, die für sicherheitskritische Anwendungen entscheidend sind. Zukünftige Fahrerassistenzsysteme im Automobilbereich haben das Potenzial durch aktive Unfallvermeidung den Fahrer in kritischen Situationen zu entlasten und die Sicherheit im Straßenverkehr weiter zu erhöhen. Die satellitenbasierte Ortung wird hier eine wichtige Rolle für die Fahrzeugsteuerung spielen. Der Einführung von Satellitennavigationssystemen in die Sicherungssysteme der Bahn ist eine technologische Herausforderung, die aber eine Steigerung der Netzauslastung und eine Reduktion der Infrastrukturkosten verspricht. Die RWTH Aachen baut zurzeit im Rahmen des Projektes Galileo above – Anwendungszentrum für bodengebundenen Verkehr – zwei Testzentren für die Entwicklung von Anwendungen im Automobil- und Schienenfahrzeugbereich auf, die schon vor der Betriebsbereitschaft von Galileo die Entwicklung und den Test innovativer Galileo-basierter Applikationen ermöglichen. Erste Initialprojekte werden die Möglichkeiten und Herausforderungen der Galileo-basierten Fahrzeugführung aufzeigen.

## 1. EINLEITUNG

Während noch vor einigen Jahren Satellitennavigation vorwiegend zur Navigation in Luft- und Schifffahrt eingesetzt wurde, ist sie heutzutage aus vielen Bereichen des Geschäfts- und Privatlebens nicht mehr wegzudenken. Neben der Erweiterung um den Navigationsmassenmarkt für Automobil- und Fußgängernavigation haben GNSS (Global Satellite Navigation Systems) auch Geschäftsfelder wie Logistik, Landwirtschaft und Tourismus erreicht.

Heute sind das amerikanische und russische Satellitennavigationssystem GPS und Glonass in Betrieb. Die Nutzung von GPS ist wesentlich weiter verbreitet als die von Glonass, GPS wird fast schon als Synonym für Satellitennavigationssysteme verwendet. Aber erst das Abschalten der künstlichen Verschlechterung des GPS-Signals (Selective Availability) im Jahr 2000 sorgte für die enorme Erweiterung der zivilen Nutzungsmöglichkeiten. Sowohl GPS als auch Glonass wurden zu militärischen Zwecken entwickelt. Das europäische Satellitennavigationssystem Galileo, dass zurzeit aufgebaut wird, wird das erste zivile Satellitennavigationssystem sein. Galileo, dessen vollständige Inbetriebnahme (FOC) ab 2016 zu erwarten ist [14], wird im Vergleich zu heutigen Systemen einige Vorteile hinsichtlich Genauigkeit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit aufweisen. Parallel zu Galileo wird auch von China ein Satellitennavigationssystem aufgebaut (Compass), regionale Systeme für Indien (IRNSS) und Japan (QZSS) sind in Planung.

In der Luftfahrt hat sich GPS als Sensor für die Flächennavigation etabliert. Der Einsatz in Situationen mit hohen Genauigkeitsanforderungen wie der Landeanflug ist zurzeit nur mit Ground Based Augmentation Systems (GBAS) möglich und befindet sich noch in der Entwicklung. Bei GBAS werden Korrektursignale und Integritäts-

informationen, über die GPS alleine nicht verfügt, von Bodenstationen für die Umgebung des Flughafens zur Verfügung gestellt. Das von der amerikanischen Federal Aviation Administration geförderte Local Area Augmentation System (LAAS) ist bisher nur an ausgewählten Flughäfen weltweit im Einsatz und ermöglicht Genauigkeiten für einen CAT-I Landeanflug [5]. Ziel des LAAS-Programms ist es, einen CAT-III Landeanflug zu realisieren. Um GNSS in sicherheitsrelevanten Straßen- und Schienenfahrzeugapplikationen einsetzen zu können, sind ähnliche Anforderungen wie für den Endanflug zu erfüllen.

Als ziviles System wird Galileo erstmals eine auf europäischem Recht basierende Verfügbarkeit schon im Open-Service (OS) Dienst aufweisen. Spezielle Anforderungen der kommerziellen Nutzer sollen mit dem Commercial Service (CS) von Galileo bedient werden. Durch die hohe Verbreitung von GPS würde ein Abschalten des Signals aus militärischen Gründen schon heute erheblichen wirtschaftlichen Schaden anrichten und zu weitreichenden Störungen führen. Eine garantierte zivile Verfügbarkeit wird ein wichtiger Vorteil von Galileo gegenüber den bestehenden militärischen Systemen sein, der bestimmte Anwendungen erst denkbar und auch wirtschaftlich planbar macht.

Entscheidend für anspruchsvolle GNSS-Applikationen sind neben der eigentlichen Positionsbestimmung Informationen über die Integrität des Signals. Galileo wird diesbezüglich nicht zwingend von zusätzlichen Augmentierungssystemen abhängig sein, sondern mit dem Safety-of-Life (SoL) Dienst eigene Integritätsinformationen über das System liefern.

Diese Vorteile machen Galileo attraktiv für einen Einsatz in zukünftigen Fahrerassistenz- und Sicherungssystemen auf Schiene und Straße. Zukünftige Fahrerassistenzsysteme haben das Potenzial, durch aktive Unfallvermei-

dung den Fahrer in kritischen Situationen zu entlasten und die Sicherheit im Straßen- und Schienenverkehr weiter zu erhöhen. Der Einführung von Satellitennavigationssystemen in die Sicherungssysteme der Bahn ist eine technologische Herausforderung, die aber eine Steigerung der Netzauslastung und eine Reduktion der Infrastrukturkosten verspricht. Im Abschnitt 2 sollen die Möglichkeiten durch den Einsatz von GNSS-Sensoren im Bahn- und Automobilbereich untersucht werden.

Die RWTH Aachen hat sich zum Ziel gesetzt, einen Beitrag zum Einsatz von Satellitennavigation in sicherheitsrelevanten Anwendungen zur Fahrzeugsteuerung zu liefern. Mit ihren beiden Galileo-Testzentren automotiveGATE und railGATE wird sie Galileo-Applikationen für Straßen- und Schienenverkehr schon vor der Einsatzbereitschaft von Galileo erforschen und testen (vgl. Abschnitt 3). Mit ersten Initialprojekten im Bahn- und Automotivebereich soll an der RWTH die Machbarkeit der Galileo-gestützten Fahrzeugführung nachgewiesen und die technologischen Herausforderungen aufgezeigt werden (vgl. Abschnitt 4).

## 2. ORTUNG IN DER FAHRZEUGFÜHRUNG

### 2.1. Potenzial für Automotive-Anwendungen

Der Einsatz von Sensoren zur Verortung jeglicher Art beschränkt sich heute auf Komfort- und Assistenzfunktionen im Automobil. Hier sollen vier Beispiele erläutert werden, die zur Motivation der weiteren Entwicklung und der Einsatzpotenziale von Galileo dienen: *Straßennavigation*: GPS-Sensoren in Kombination mit einer digitalen Straßenkarte werden heute zur Navigation im Auto verwendet. Die Genauigkeit von 10-20m sowie die Verfügbarkeit von GPS sind ausreichend, um kreuzungsgenau Abbiegeinformationen zu liefern. *ESP*: Beschleunigungs- und Drehratensensoren werden zur Fahrzustandsschätzung eingesetzt. Damit können zuverlässig kritische Fahrsituationen wie Über- oder Untersteuern erkannt und vom Fahrzeug selbstständig abgemildert werden. Das System kann dabei nur den eigenen Fahrzustand zur Festlegung der Radbremseingriffe einbeziehen, das Halten der Spur oder die Kollisionsvermeidung mit anderen Verkehrsteilnehmern werden nicht beachtet. *Spurhalteassistent*: Durch Einsatz einer Kamera können Fahrbahnmarkierungen erkannt und vor einem Verlassen der Fahrspur gewarnt werden. Das System kann nur dann gut funktionieren, wenn die Sicht der Kamera nicht z.B. durch Regen eingeschränkt wird und die Fahrbahnmarkierungen eindeutig sind. *Geschwindigkeits- / Abstandsregler*: Durch den Einsatz von Radar-Sensoren können ACC-Systeme im Fahrzeug selbstständig einen geschwindigkeitsabhängigen Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einregeln. Radarsensoren können Pkws und Lkws zuverlässig erkennen, sie haben bei anderen Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern und Fahrradfahrern Schwierigkeiten. Daher ist das System nur als Komfortsystem bis zu einer maximalen Verzögerung bis 2-3 m/s<sup>2</sup> und nicht als Sicherheitssystem nutzbar.

GNSS-Sensoren können nur dann in Zukunft stärker in solchen Systemen eingesetzt werden, wenn die Verfügbarkeit der Satellitensignale hoch ist. Dies ist bei Galileo zunächst schon auf Grund der Rechtslage zu erwarten (vgl. Abschnitt 1). In Zukunft wird die Verfügbarkeit von GNSS-Signalen dadurch gesteigert, dass mehrere Satellitennavigationssysteme am Himmel sein werden. Natürlich

kann man aus technischer Sicht bei Satellitensignalen niemals von uneingeschränkter Verfügbarkeit ausgehen, da immer schlechte Empfangsbedingungen oder ein komplettes Abbrechen des Signals z.B. in Tunneln auftreten können. Daher können GNSS-Sensoren immer nur in Kombinationen mit andern Sensoren eingesetzt werden, so dass eine Basisfunktionalität auch bei einem Signalausfall gewährleistet werden kann.

Von Galileo wird eine höhere Genauigkeit im Vergleich zu GPS erwartet. Solange GPS nicht künstlich verschlechtert wird, ist dies vor allem darauf zurückzuführen, dass Galileo eine neuere Entwicklung ist als GPS. Es ist davon auszugehen, dass GPS mit den geplanten Systemupdates diesbezüglich nachziehen wird. Um eine genauere Ortung zu erreichen, als allein mit GPS oder Galileo möglich ist, können mehrere GNSS gleichzeitig und/oder Augmentierungsdienste wie EGNOS genutzt werden. An Orten, die eine höhere Genauigkeit erfordern, könnten außerdem durch lokale Elemente Augmentierungsinformationen bereitgestellt werden. Vor allem sollte jedoch die GNSS-Ortung mit den vielfältigen Sensoren im Fahrzeug wie Inertialsensorik, Kamera, Radar und digitaler Karte fusioniert werden. Durch die Fusion der Informationen kann ein entscheidender Mehrwert wie eine Genauigkeitssteigerung in Bezug auf die Fahrspur und eine Signal-Plausibilisierung erreicht werden. Bisher haben die einzelnen Funktionalitäten im Auto oft unabhängige Sensoren. Für eine Fusion der Informationen müssen die Zustandserfassung des Fahrzeugs stärker zusammengefasst und integriert werden.

Für die oben eingeführten Beispiele könnten durch die Integration einer fusionierten Ortungsinformation folgende Weiterentwicklungen erreicht werden: Bei der Straßennavigation könnte eine spurgenaue Führung ermöglicht werden. Ein Spurhalteassistent müsste sich nicht allein auf das Kamerabild stützen sondern könnte auch die GNSS-Ortung in Kombination mit einer genauen digitalen Karte nutzen. Die Funktionen ESP und Abstandsregler könnten zusammengefasst und um einen Lenkaktuator erweitert werden, um so neben der Fahrzustandsstabilisierung und Komfort-Abstandsregelung auch ein Spurhalten in Extremsituationen und Verzögerungen bis zur Notbremsung zu erreichen. Weitere mögliche Anwendungen wie ein Kollisionsvermeidungsassistent, ein Kurvengeschwindigkeits-Warnsystem, ein adaptives Kurvenlicht und die Weiterentwicklung eines Abstandsreglers werden bereits an der RWTH Aachen entwickelt und in Abschnitt 4.2 näher beschrieben.

### 2.2. Potenzial für den Schienenverkehr

Ebenso wie in anderen Bereichen des Verkehrs hat die Einführung von Galileo auch im Schienenverkehr Potenzial für die Entwicklung von sicherheitskritischen Anwendungen. Typische Anwendungen für satellitengestützte Ortung im Bahnbereich sind bisher nur nicht-sicherheitsrelevante Anwendungen, wie beispielweise Fahrgastinformations- und Verkehrsleitsysteme, Energie- sowie Flotten-Managementsysteme [9].

Wenn im Schienenverkehr GNSS-Sensoren für sicherheitskritische Funktionen eingesetzt werden sollen, müssen ebenfalls hohe Anforderungen an Genauigkeit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit wie im Automobilbereich erfüllt werden. Für viele Anwendungen ist eine Gleisselek-

tivität der Ortung entscheidend. Für einen üblichen Gleisabstand von 4 m ist daher eine Genauigkeit von 2 m zu erreichen, was nur wie zuvor beschrieben durch Augmentierungsverfahren und Sensorfusion erreicht werden kann. In Verbindung mit einem digitalen Streckenatlas kann auf der Schiene insbesondere ausgenutzt werden, dass die Bewegung des Zuges nur eindimensional entlang der Strecke erfolgen kann. Ein Wechsel der „Fahrspur“ ist nur an Weichen möglich.

Eine interessante sicherheitsrelevante Zielanwendung für Galileo im Bahnbereich ist die Leit- und Sicherungstechnik. Das moderne, grenzüberschreitende Zugleitsystem ETCS (European Train Control System) bedarf in den höheren Ausbaustufen einer bordautonomen Selbstortung eines jeden Zuges, die hohen Anforderungen an Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit genügen muss. Insbesondere auf Regionalstrecken kann eine Kombination aus Galileo und anderen GNSS sowie einer Koppelsensorik (Odometrie) eine sinnvolle Alternative zu bestehenden Verfahren sein [11]. Gefördert durch die europäische GNSS-Aufsichtsbehörde GSA hat das GRAIL Konsortium 2005 bis 2008 eine Strategie zur Einführung von GNSS in Bahnsteuerung- und Sicherungssysteme – insbesondere ETCS – entwickelt [13]. Anwendungspotenzial für GNSS sahen die beteiligten Firmen und Institutionen ebenfalls in der Möglichkeit der Odometrie-Genauigkeitssteigerung und außerdem als Alternative für die Zugvollständigkeitsprüfung.

Die Überwachung von Rangierbereichen ist ein Teilbereich des Systems Bahn, in dem Satellitennavigation die Sicherheit erhöhen kann. Durch Ausrüstung von Rangierlokomotiven mit GNSS-Empfängern und einer digitalen Karte können Rangiervorgänge überwacht und bei Missachtung der Rangierbereichsbeschränkung eine Notbremsung ausgelöst werden.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sieht eine weitere Anwendungsmöglichkeit für Satellitennavigation speziell für Nebenbahnen: Im Mai 2010 stellte es ein Railway Collision Avoidance System (RCAS) in Wegberg-Wildenrath vor [1]. An der RWTH soll die Machbarkeit eines automatischen Rangiersystems auf Basis von Satellitenortung nachgewiesen werden [7], die ersten Schritte dazu werden in Abschnitt 4.1 beschrieben.

### 3. GALILEO TESTGEBIETE

Bevor sich GNSS-Sensoren in sicherheitskritischen Anwendungen in der Praxis etablieren werden, ist noch einiges an Forschungs- und Entwicklungsarbeit nötig. Für die dazu notwendigen Tests werden in Deutschland zurzeit Testgebiete errichtet, die im Folgenden beschrieben werden.

Die Raumfahrtagentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. fördert den Aufbau von Galileo Test- und Entwicklungsumgebungen (GATEs) in Deutschland mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Mit unterschiedlichen Anwendungsschwerpunkten sollen fünf Testgebiete die Nutzung von Galileo insbesondere im Luft-, Schiffs-, Schienen- und Straßenverkehr vorbereiten [34]. In den Testgebieten werden Galileo-Satellitensignale von Pseudoliten – terrestrischen Pseudo-Satelliten – ausgesendet und ermöglichen so eine Ortung.

Das GATE in Berchtesgaden ist das erste seiner Art und nahm 2008 den Betrieb auf. Es richtet sich vor allem an Empfänger- und Anwendungsentwickler, die dort die Möglichkeit haben, ihre Hard- und Software mit Signalen nach Galileo Spezifikation (Galileo SIS ICD) zu testen, die im Virtual-Satellite-Modus die zukünftigen Satellitensignale vollständig emulieren [3]. Im Seehafen Rostock werden mit dem SEA GATE Applikationen für Schifffahrt in Häfen und Seewasserstraßen getestet. Als Referenzanwendung wurde hier ein Anlegeassistent entwickelt, der für den Anlegevorgang der Fähre „Mecklenburg-Vorpommern“ Positionsinformationen mit einer Genauigkeit von unter 0,5 m liefert. Im Forschungsflughafen Braunschweig wird zurzeit das aviationGATE aufgebaut und soll Ende 2010 den regulären Betrieb aufnehmen. Hier werden vor allem der Einsatz von Galileo-Pseudoliten für die sicherheitskritische Start- und Landephase erforscht. Die beiden Testgebiete railGATE und automotiveGATE gliedern sich in die Reihe der bestehenden Testgebiete ein und ergänzen sie um die Verkehrsträger Schiene und Straße (siehe folgender Abschnitt).

#### 3.1. Galileo above – Anwendungszentrum für den bodengebundenen Verkehr

Die RWTH Aachen baut zurzeit im Rahmen des Projektes „Galileo above“ – Anwendungszentrum für bodengebundenen Verkehr – zwei Testzentren für die Entwicklung von Anwendungen im Automobil- und Schienenfahrzeugbereich auf<sup>1</sup>. Für das railGATE und das automotiveGATE werden in der Region Aachen zwei baugleiche Pseudoliten-systeme aufgebaut, die eine genaue Ortung in den Testgebieten ermöglichen werden. Für beide Systeme wurden Genauigkeiten von mind. 0,8 m (1 $\sigma$ , Trägerphasenlösung) und Updateraten von bis zu 20 Hz spezifiziert. In den Testgebieten können komplexe Verkehrssituationen dargestellt werden, da mehrere Fahrzeuge gleichzeitig ihre Position bestimmen können. Die Pseudoliten-Sender werden auf teilweise vorhandenen, teilweise neu zu errichtenden Masten mit bis zu 60 m Höhe installiert, die eine optimale Ausleuchtung der Testgebiete gewährleisten. Mit den Testgebieten können schon vor der Betriebsbereitschaft von Galileo aber auch nach dessen Start Applikationen unter flexibel definierbaren und reproduzierbaren Testbedingungen entwickelt werden.

#### 3.2. railGATE

Das railGATE wird auf dem Gelände des Siemens Prüf- und Validationcenter Wegberg-Wildenrath (PCW) errichtet. Im PCW, das von vielen europäischen Herstellern genutzt wird, können sowohl Fahrzeuge als auch Infrastruktursysteme auf einem Gleisnetz von 28 Kilometern Länge [10] getestet werden. Das Testcenter ermöglicht eine Vielzahl von Prüfungen für Fahrzeuge von Straßenbahn bis Fernverkehr unter realistischen Bedingungen und unabhängig vom Verkehr auf regulären Strecken und damit auch ideale Testbedingungen für die Forschung.

<sup>1</sup> Das Vorhaben Galileo above wird von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 50 NA 0902 gefördert.





BILD 1. Prüf- und Validationcenter Wegberg-Wildenrath, © Siemens AG

BILD 2 zeigt das Gleisnetz des PCW und die Positionen der acht Pseudoliten-Masten. Eine besondere Herausforderung für den Signalempfang stellt die zum Teil starke Bewaldung des Testzentrums dar. Für das railGATE müssen sechs der acht Masten neu errichtet werden. Erste Systemtests sind für das Frühjahr 2011 geplant, die volle Systemverfügbarkeit des railGATE ist für den Herbst 2011 zu erwarten [6].

Die Webseite [www.railgate.de](http://www.railgate.de) enthält weiterführende Informationen über das railGATE.

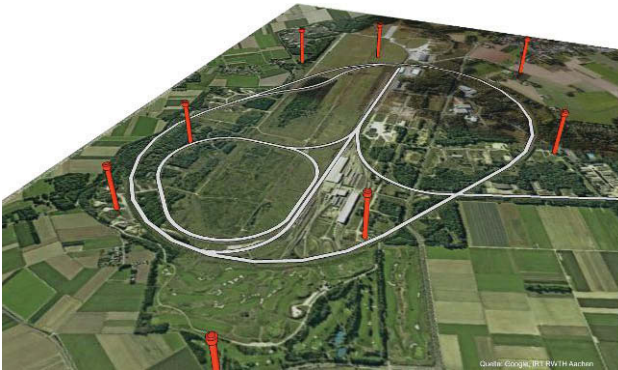


BILD 2. Illustration der Pseudoliten im railGATE

### 3.3. automotiveGATE

Das automotiveGATE wird auf dem Gelände des „Aldenhoven Testing Centers“ (ATC) der RWTH Aachen errichtet [8]. Für das ATC wurden bereits in einem ersten Bauabschnitt eine kreisförmige Fahrdynamikfläche mit einem Durchmesser von 210 Metern und eine Beschleunigungsspur realisiert (BILD 3). Auf der Fahrdynamikfläche können durch virtuelle Straßen beliebige Verkehrssituationen dargestellt werden.

Es ist geplant in einem zweiten Bauabschnitt das ATC 2011 um eine ovale Umfahrung mit Steilkurven, einen Handling-Kurs, eine Schlechtwegstrecke und einen Steigungshügel zu ergänzen. Außerdem kann eine angrenzende Filmautobahn mitgenutzt werden.

Für das automotiveGATE können im ATC fünf Pseudoliten an bestehenden Masten von Hochspannungsleitungen sowie an einem Schornstein angebracht werden. Hier



BILD 3. Aldenhoven Testing Center erster Bauabschnitt (blau) mit Illustration der Pseudoliten-Masten (rot)

muss nur ein Mast neu errichtet werden. Der reguläre Betrieb des automotiveGATEs ist für Sommer 2011 geplant.

Weiterführende Informationen zum automotiveGATE sind auf der Webseite [www.automotivegate.de](http://www.automotivegate.de) zu finden.

## 4. INITIALPROJEKTE

Initialprojekte, die parallel zum Aufbau der Testzentren gefördert werden, werden die Möglichkeiten und Herausforderungen der Galileo-basierten Fahrzeugführung aufzeigen. Sie sollen im Folgenden dargestellt werden:

### 4.1. Initialprojekt Rail

Das Initialprojekt Rail hat im Rahmen des Projekts Galileo above einerseits die Aufgabe, die Funktionsfähigkeit des railGATE unter Beweis zu stellen und andererseits erste Schritte zum Einsatz von Galileo in der Bahnsystemtechnik zu gehen. Konkret befasst sich das Initialprojekt mit dem Thema „satellitengestützte Zielbremsung“, das im Kontext eines automatischen Zug-Rangierassistenten behandelt wird. Zwecks Steigerung der Attraktivität des Gütertransports auf der Schiene ist eine Effizienzerhöhung des Prozesses der Zugbildung wünschenswert. Die Bildung von Güterzügen wird im Wesentlichen über hochautomatisierte und daher hochgradig rationelle Verfahren in wenigen großen Rangierbahnhöfen abgewickelt. Beim Transport geringerer Gütermengen im Einzelwagenverkehr schränken jedoch lange Aufenthaltszeiten in Rangierbahnhöfen die Attraktivität dieses Transportmodus ein. Die Zugbildung in kleinen, dezentralen Rangieranlagen verspricht in bestimmten Konstellationen Vorteile. Diese Vorteile ließen sich noch steigern, wenn die Personalintensität dieser Rangieviorgänge mittels Automatisierung reduziert würde. Berücksichtigt man, dass sich schienengebundene Systeme aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften gut für eine Automatisierung eignen, so liegt die Entwicklung eines Rangierassistenten nahe. Ein solches (teil-) automatisches System besteht im Wesentlichen aus einem Dispositionssystem und einer Steuerung auf einer Rangierlokomotive. Beide Systemkomponenten sind per Funk miteinander verbunden. Die Rangierlokomotive erhält Fahrbefehle, die durch eine fahrzeuginterne Brems- und Fahrsteuerung umgesetzt werden.



BILD 4. Erprobungsfahrzeug des IFS

Die Sicherheit und Leistungsfähigkeit eines Rangierassistenten hängt ganz wesentlich von der Fähigkeit der Lokomotive ab, möglichst genau bestimmte Positionen anzufahren und dort sicher anzuhalten. Die präzise Bremssteuerung eines Schienenfahrzeugs steht daher im Mittelpunkt des Initialprojekts Rail. Die Umsetzung und Untersuchung der Zielbremssteuerung erfolgt derzeit in Zusammenarbeit mit dem Institut für Schienenfahrzeuge und Fördertechnik (IFS) der RWTH Aachen auf dessen Erprobungsfahrzeug (BILD 4). Dieses ist ein Schienenfahrzeug mit eigenem dieselmotorischem Antrieb und einem Steuergerät, das die automatischen Steuerbefehle umsetzt. Nach der Methode des Rapid Control Prototyping kann das Steuergerät kurzfristig umprogrammiert werden, auf umfangreiche Sensorik zurückgreifen und anhand interner Algorithmen die Fahrzeugbewegung beeinflussen. Zu der Sensorik gehören neben einem GNSS-Empfänger (derzeit noch GPS, künftig Galileo) u.a. auch ein optischer Geschwindigkeits- und Weg-Referenzsensor sowie Beschleunigungs- und Abstandssensoren. Wichtige Fragestellungen sind hierbei, ob mittels der Satellitensignale eine gleisselektive Ortung durchgeführt werden kann, ob die satellitenbasierte Geschwindigkeitsinformation ein Gleitschutzsystem (Rad-Anti-Blockier-System) unterstützen kann und welche Genauigkeit der Positionsbestimmung notwendig ist, um im Verbund mit der übrigen Sensorik eine ausreichende Systemperformance zu gewährleisten. In der railGATE-Umgebung soll die Robustheit bzw. Ausfallsicherheit des Systems in unterschiedlichen Fehlerszenarien untersucht werden. Die Zielbremssteuerung wird dann einen wichtigen Teil des Rangierassistenten darstellen, der am Institut für Regelungstechnik der RWTH entwickelt wird.

#### 4.2. Initialprojekte Automotive

Im Rahmen des vom DLR geförderten Initialprojekts Automotive wird die Entwicklung eines Galileo-basierten Kollisionsvermeidungsassistenten (Collision Avoidance System, CAS) verfolgt, der sowohl unbewegte als auch bewegte Fahrzeuge in gleicher und entgegengesetzter Fahrtrichtung, die ein potenzielles Kollisionsrisiko darstellen, erkennt und bei ausbleibender adäquater Reaktion des Fahrers die Fahrzeugführung übernimmt. Der Eingriff des Assistenzsystems erfolgt dabei durch eine Notbremsung oder ein Ausweichmanöver, das auch als kombiniertes Lenken und Bremsen ausgeführt werden kann. Als Anwendungsszenarien lassen sich beispielsweise ein Stauende (siehe BILD 5), ein plötzlich einscherendes Fahrzeug sowie ein Überholvorgang mit Gegenverkehr nennen. Aus den Unfallstatistiken des Statistischen Bun-

desamts geht hervor, dass mehr als 50 % aller Unfälle mit Personenschaden und Getöteten aus Zusammenstößen zwischen Fahrzeugen resultieren [12]. Mit dem Ziel die Anzahl der Verkehrstoten und Verletzten im Straßenverkehr zu reduzieren bilden Systeme, die den Fahrer vor Kollisionen warnen (Collision Warning), Kollisionen abmildern (Collision Mitigation) oder Kollisionen vermeiden (Collision Avoidance) den Schwerpunkt vieler Forschungsprojekte und stellen die Zukunft der Fahrerassistenzsysteme dar [4]. Die Herausforderung bei der Entwicklung eines CAS-Systems besteht insbesondere in der zuverlässigen und genauen Erkennung des Fahrzeugumfelds sowie der exakten Verortung des eigenen Fahrzeugs. Dies soll innerhalb des Initialprojekts durch die Fusion von Galileo-basierter Ortung in Verbindung mit Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation und bordautonomer Sensorik erreicht werden. So kann beispielsweise der vorausliegende Straßenverlauf und dessen relevante Parameter (Kurvenradien, Anzahl der Fahrspuren, Fahrtrichtung) durch die Verwendung einer digitalen Karte wesentlich weitreichender erfasst werden. Des Weiteren können auch stehende Fahrzeuge, sofern diese ebenfalls über einen entsprechenden Ausrüstungsgrad verfügen, detektiert werden. Unter ausschließlicher Verwendung eines Radars ist dies nicht zuverlässig möglich. Durch die Verfügbarkeit dieser zusätzlichen Daten ergeben sich weitere entscheidende Vorteile: So kann die Beobachtung der relevanten Fahrzeugzustände (z.B. des Schwimmwinkels) zusätzlich durch die hochgenaue Galileo-Geschwindigkeitsinformation gestützt und somit die Beobachtungsgüte verbessert werden. Da in Regelungsansätzen, die auf einer Zustandsrückführung beruhen, diese Fahrzeugzustände verwendet werden, geht damit in der Regel auch eine Verbesserung der Regelgüte einher.

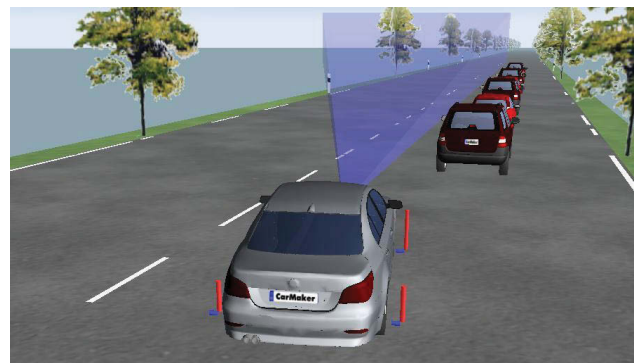


BILD 5. Simulation eines Ausweichmanövers am Stauende (2 Fahrspuren mit gleicher Fahrtrichtung)

Auch das Land Nordrhein Westfalen fördert parallel drei Anwendungsprojekte im Bereich der Galileo-basierten Fahrerassistenzsysteme. So wird im ersten Anwendungsprojekt ein Kurvengeschwindigkeits-Warnsystem (Curve Speed Warning, CSW) entwickelt, das auf Basis des vorausliegenden Straßenverlaufs (im Wesentlichen sind hier die Kurvenradien entscheidend) und der Fahrzeuggeschwindigkeit den Fahrer warnt, wenn sich dieser mit zu hoher Geschwindigkeit einer Kurve nähert. Das zweite Anwendungsprojekt verfolgt die Entwicklung eines Adaptiven Frontbeleuchtungssystems (Adaptive Front Lighting, AFL), das den Lichtkegel automatisch dem Kurvenverlauf anpasst. Hier besteht insbesondere in S-Kurven ein entscheidender Vorteil gegenüber Lenkwinkel-basierten Ansätzen, so dass bereits vor dem Wechsel der Krüm-



mungsrichtung der Lichtkegel korrekt ausgerichtet werden kann. Die Entwicklung eines Galileo-basierten Abstandsregeltempomaten (Adaptive Cruise Control, ACC) stellt das Ziel des dritten Anwendungsprojekts dar. Durch die Galileo-Ortungsinformation und Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation kann zum einen eine zusätzliche Plausibilisierung der bordautonomen Sensordaten erfolgen, zum anderen können auch die Fahrzustände der weiter vorausfahrenden Fahrzeuge im Regelungskonzept verwendet werden, und damit z.B. Ziehharmonika-Effekte vermieden werden.

## 5. AUSBLICK

Bevor GNSS-Sensoren in sicherheitskritischen Anwendungen eingesetzt werden können, müssen noch einige technische Herausforderungen gelöst werden. Die Systeme werden niemals nur auf dem Satellitensignal basieren können, sondern müssen auch bei Empfangsverlust sicher bleiben. Es bleibt abzuwarten, ob Galileo die Erwartung an Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit erfüllen wird. Wahrscheinlich können die diesbezüglichen Anforderungen sicherheitsrelevanter Funktionen in der Mehrzahl der Fälle nur durch Fusion der Satellitenortung mit anderen Sensorsignalen erreicht werden. Wenn es gelingt, die Informationen sinnvoll zusammenzuführen, sind für die Zukunft interessante Weiterentwicklungen von Fahrerassistenz- und Sicherungssystemen zu erwarten, die Fahrkomfort erhöhen und Leben retten können. Schon die aktuellen Weiterentwicklungen können als Schritte hin zum automatischen Fahren gesehen werden. Ist nicht das automatische Fahren – im Automobilbereich zumindest auf der vollen Autobahn im Berufsverkehr – ein erstrebenswertes Ziel?

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: *RCAS – Railway Collision Avoidance System*. [www.collision-avoidance.org/rcas/](http://www.collision-avoidance.org/rcas/)
- [2] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: *GATES: Galileo Test- und Entwicklungsumgebungen in Deutschland*. Projektbroschüre, 2010, [www.dlr.de/rd/GATES](http://www.dlr.de/rd/GATES)
- [3] G. Heinrichs, E. Löhnert, H. Mundle: *GATE - the German Galileo test & development environment for receivers and user applications*. Proceedings of the 2nd ESA Workshop on Satellite Navigation User Equipment Technologies, NAVITEC, 2004
- [4] R. Isermann, R. Mannale, K. Schmitt: *Collision avoidance systems PRORETA: situation analysis and intervention control*. IFAC Symposium Advances in Automotive Control, Munich 2010
- [5] RTCA Inc.: *Minimum Aviation System Performance Standards for The Local Area Augmentation System (LAAS)*. RTCA/DO-245, 28 September 1998.
- [6] R. Rütters, M. Baier: *Freie Fahrt für das railGATE (Go-ahead for railGATE)*. In: COUNTDOWN, Aktuell aus der DLR Raumfahrt-Agentur, Heft 2/09, Juli 2009, S. 49-53, ISSN 1864-6123
- [7] R. Rütters, B. Schäfer, M. Baier, D. Abel: *Validation of Satellite-based Railway Application Systems Using the GALILEO Testbed railGATE Exemplified by Automated Train Formation Facilities*. In: The 9th International Conference on Intelligent Transport System Telecommunications - ITST 2009, October 20/22, 2009, Lille, France, pp. 337-342, ISBN 978-1-4244-5347-4
- [8] RWTH Aachen: *Aldenhoven Testing Center*. [www.atc.rwth-aachen.de](http://www.atc.rwth-aachen.de)
- [9] M. Schmidt; J. Winter: *Anforderungen der GPS-basierten Ortung an den digitalen Streckenatlas*. SIGNAL + DRAHT, 2000, Heft 4.
- [10] Siemens AG: *Prüf- und Validationcenter Wegberg-Wildenrath*. [www.transportation.siemens.com/mobility/de/pub/schienenverkehr/pruef\\_und\\_validationscenter.htm](http://www.transportation.siemens.com/mobility/de/pub/schienenverkehr/pruef_und_validationscenter.htm)
- [11] B. Stadlmann, H. Zwirchmayr: *Einfaches Zugleitsystem für Regionalstrecken*. SIGNAL + DRAHT, 2004, Heft 6.
- [12] Statistisches Bundesamt: *Verkehrsunfälle – Unfallentwicklung im Straßenverkehr 2009*, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009
- [13] A. Urech, INECO: *GRAIL: GNSS Introduction in the RAIL sector*. Final Activity Report, Dezember 2008, gefördert durch European GNSS Supervisory Authority (GSA) GJU/05/2409/CTR/GRAIL
- [14] P. Verhoef: *Ohne Titel*. Vortrag Munich Satellite Navigation Summit, 2010