

GTS 1
Grünstein
1.304 m

GMS
Schönau
620 m

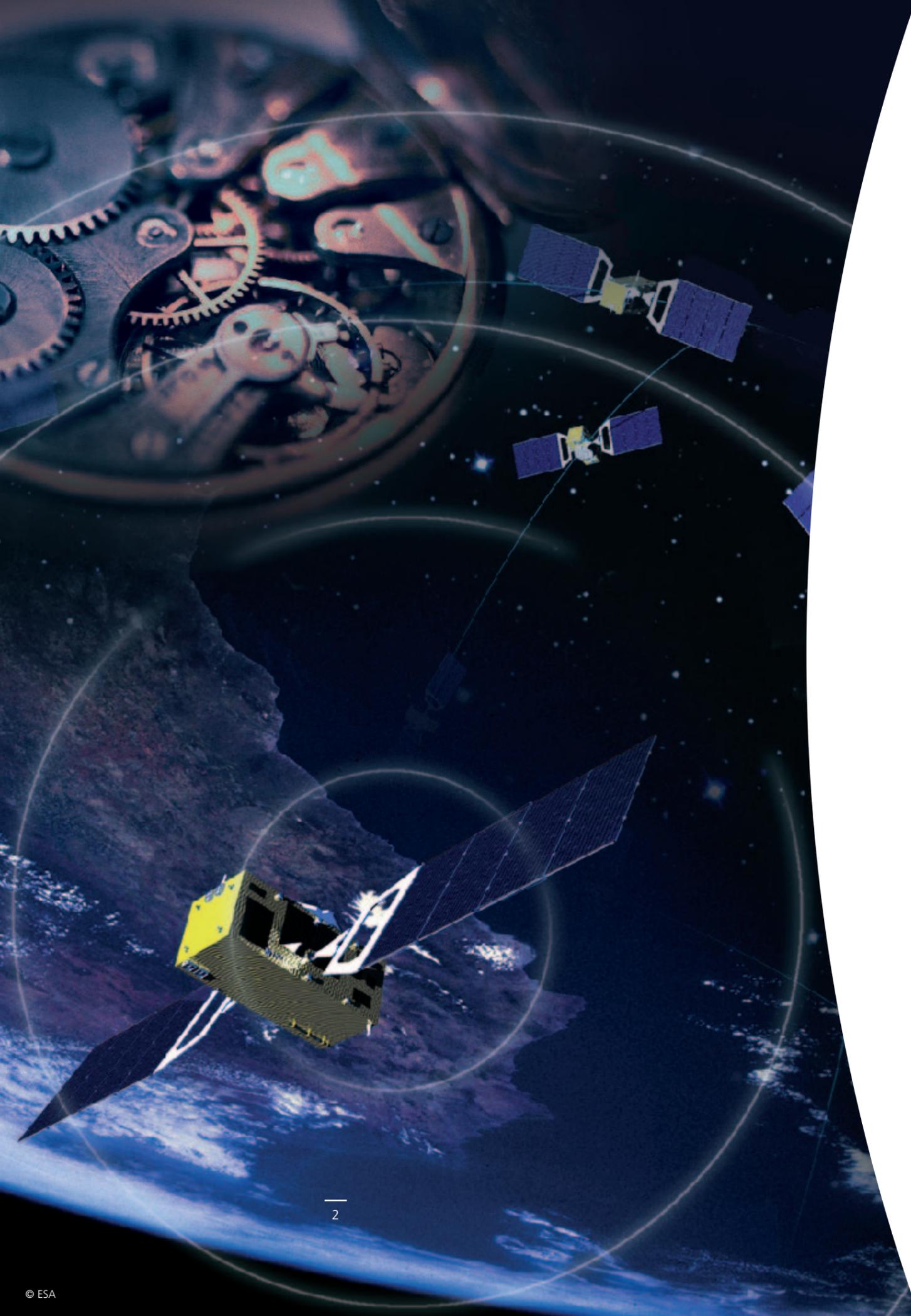
GTS 2
Hirschkaser
1.385 m

GATEs ***GATEs***

Galileo Test- und Entwicklungsumgebungen in Deutschland

Galileo Test and Development Environments in Germany





Galileo: Europas zukünftiges Satelliten-Navigationssystem *Galileo: Europe's future Satellite Navigation System*

Europas zukünftiges Satelliten-Navigationssystem Galileo soll 2014 nutzbar sein. Bis zu 14 der geplanten 30 Satelliten werden dann, gleichmäßig auf drei Bahnebenen in knapp 24.000 Kilometer Höhe verteilt, präzise Positionssignale liefern – mit größerer Zuverlässigkeit als heute. Das voll ausgebaute System wird eine globale Abdeckung garantieren. Regionale und lokale Bodensegmente werden das System ergänzen, um auch spezielle Anforderungen zu erfüllen.

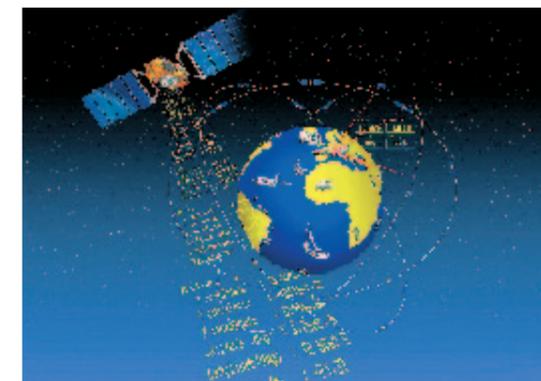
Bei gleichzeitiger Nutzung zweier Galileo-Frequenzen ist weltweit eine Positionsgenauigkeit zwischen acht und vier Metern erzielbar, durch ergänzende Bodensysteme lokal sogar bis zu einem Meter. Galileo wird seine Funktionsfähigkeit ständig selbst überwachen. Diese Integritätsinformation wird mit den Navigationssignalen gesendet. Die Zeit bis zur Information der Anwender über eine mögliche Fehlfunktion des Systems soll global weniger als sechs Sekunden betragen, lokal weniger als eine Sekunde. Hierdurch kann Galileo – im Unterschied zum amerikanischen GPS und dem russischen GLONASS – auch in sicherheitskritischen Bereichen für eine garantiert genaue Positionierung genutzt werden. In Deutschland erfolgt derzeit der Aufbau verschiedener Testgebiete, innerhalb derer Galileo-konforme Signale abgestrahlt werden. Hier können bereits heute Empfängertechnologien und Anwendungen für Galileo entwickelt und unter realen Bedingungen getestet werden.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages die Testumgebungen GATE und SEA GATE errichten lassen. Drei weitere GATES werden im Rahmen von Förderungen mit Mitteln des BMWi errichtet, wovon das aviationGATE bereits im Dezember 2010 den Betrieb aufnehmen konnte.

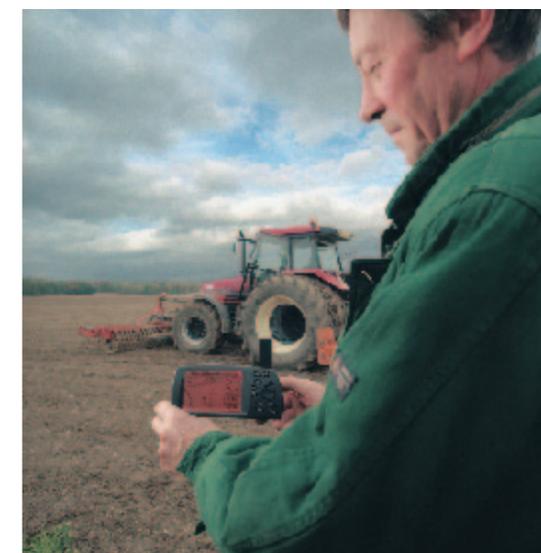
Galileo, Europe's future satellite navigation system, is scheduled to become available with up to 14 of the planned 30 satellites in 2014. These satellites, evenly distributed among three orbits at an altitude of nearly 24,000 kilometers, will provide precise positioning signals more reliably than today. The fully deployed system will guarantee full global coverage. Moreover, the system will be complemented by regional and local ground segments to meet special requirements.

By using two Galileo frequencies simultaneously, a positioning accuracy anywhere in the world between eight and four meters can be obtained. Supplementary ground-based systems will enhance that precision to one meter on a local basis. Galileo will constantly monitor its own functionality. This integrity information will be transmitted with the navigation signals. The time before a user is informed about any malfunction within the system is to be less than six seconds worldwide, on a local scale less than one second. The purpose is to ensure that Galileo – unlike the American GPS and the Russian GLONASS – can guarantee a degree of positioning precision that warrants its use even in security-relevant fields. A variety of test facilities within which Galileo-conformable signals are transmitted are being set up in Germany. Here, innovative receiver technologies and applications are now being investigated and developed.

The construction of the testbeds GATE and SEA GATE is funded by the Space Agency of Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) by order of the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), according to a decision of the German Federal Parliament. Moreover, the construction of three other GATES will be funded by the BMWi, too. One of this testbeds – the aviationGATE – has started its operations in December 2010.



Galileo – eines der Flaggschiffprojekte der europäischen Raumfahrt (ESA)
Galileo – one of the flagship projects of the European space activities (ESA)



Präzisionslandwirtschaft – eines der zahlreichen Anwendungsbeispiele für Galileo-Navigation (ESA)
Precision Farming – one of the manifold Galileo navigation application examples (ESA)



Astrolabium, ein Vorläufer des Sextanten
(dpa picture alliance)
Astrolabium, a forerunner of the sextant
(dpa picture alliance)

Navigation im Wandel der Zeit

Gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung

Navigation war über viele Jahrhunderte hinweg besonders eng mit der Seeschiffahrt verknüpft. Der Begriff „Navigation“ leitet sich vom lateinischen „navem agere“ ab und bedeutet „ein Schiff führen/lenken“. Die herausragende Bedeutung der Navigation für die Seefahrt beruht auf dem Umstand, dass es im Unterschied zum Land auf hoher See keine weithin sichtbaren Landmarken gibt, die der Orientierung dienen können. Bereits in der Frühzeit der Seefahrt orientierten sich Seeleute daher an der Position der Gestirne: tagsüber am Sonnenstand, nachts an den Positionen der Fixsterne. Bei schlechten Sichtverhältnissen mussten sich Seefahrer jedoch allein auf ihre seemannischen Instinkte verlassen.

Im Lauf der Jahrhunderte erleichterten clevere Erfindungen die Navigation zunehmend. Bereits vor über 2.000 Jahren war in China der Kompass im Gebrauch, der auch heute noch Seefahrern zu jeder Tages- und Nachtzeit unabhängig von der herrschenden Witterung die Fahrtrichtung anzeigt. In Europa war bereits seit der Antike das sogenannte Astrolabium in Verwendung, ein Vorläufer des im 18. Jahrhundert entwickelten Sextanten. Mit Hilfe des Astrolabiums bestand die Möglichkeit, die lokale geographische Breite annähernd zu bestimmen. Für eine genaue Positionsbestimmung auf der Erdkugel ist allerdings zusätzlich die Kenntnis des Längengrads erforderlich.

Eine genaue Messung des Längengrads erwies sich lange als große Herausforderung. Erst im Jahr 1735 gelang es dem Engländer John Harrison, eine genaue Methode zur Längengradbestimmung zu entwickeln: das Chronometer. Diese seefahrttaugliche Uhr wurde zu Beginn einer Reise auf die Ortszeit entlang eines bekannten Längengrads, zum Beispiel des

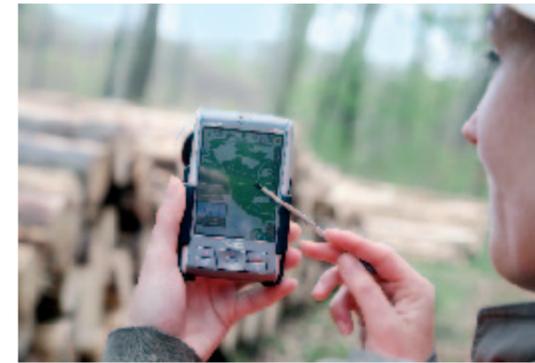
Navigation through the Ages

The story of its Economic and Political Relevance

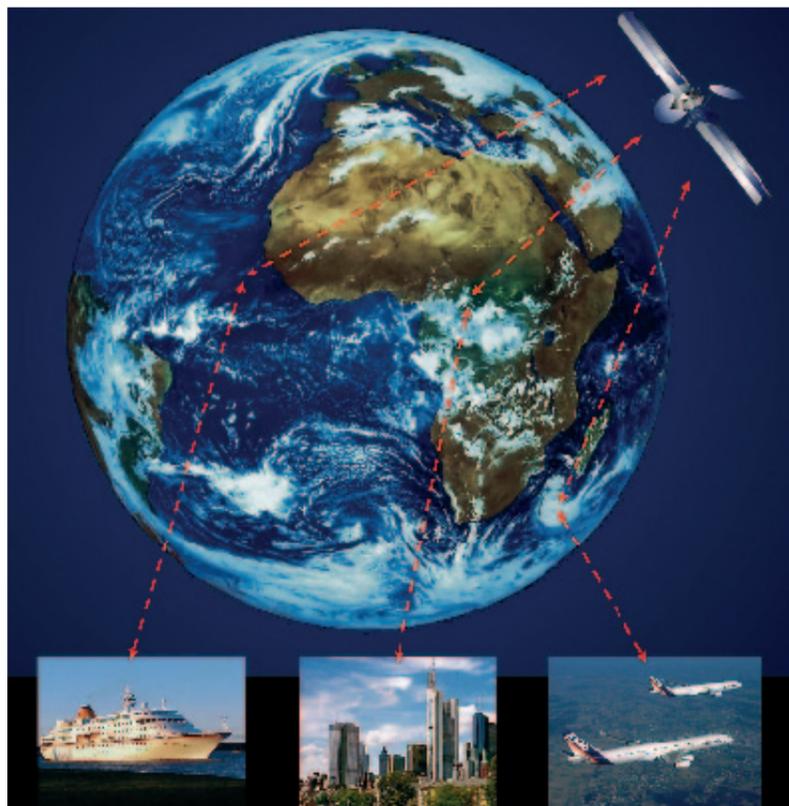
For many centuries, navigation has been typically associated with ocean shipping. The term “navigation” derives from the Latin “navem agere”, meaning “to steer a ship”. What makes navigation so extremely important for shipping is the fact that unlike dry land, the open ocean offers no visible landmarks for orientation. In the early days of shipping, people used the stars to guide them: the position of the Sun during the daytime, and that of the fixed stars by night. In periods of poor visibility, however, sailors had only their nautical instincts to rely on.

In the course of the centuries, clever inventions made navigation easier. As long as 2000 years ago, the Chinese used the compass, an instrument that has served seamen to this date, by day and by night, to mark out their course, in any weather conditions. The so-called astrolabium, the precursor of the sextant invented in the 18th century, has been used in Europe since the days of Antiquity. With the aid of the astrolabium it was possible to roughly determine one’s local degree of geographical latitude. To define an exact location on the globe, however, one needs to know its degree of longitude as well.

The exact measurement of longitudes proved to be a major challenge. It was not until the year 1735 that England’s John Harrison succeeded in developing an accurate method to define the degree of longitude, based on the chronometer. At the beginning of a voyage, this instrument, which as a sea-going time-piece, was set at the local time of the port of departure, a time which applied to all places located along that port’s degree of longitude, say the prime meridian defined for Greenwich. As the Earth



Navigationsanwendung
(V. Kühne/Fraunhofer IFF)
Navigation application
(V. Kühne/Fraunhofer IFF)



Navigation zu Wasser, auf der Straße und in der Luft (ESA)
 Maritime, road-traffic and air-traffic navigation (ESA)

in Greenwich definierten Null-Meridians, eingestellt. Da die Erde für eine Rotation von 360 Grad 24 Stunden benötigt, dreht sie sich in einer Stunde entsprechend um 15 Grad. Entlang des Null-Meridians erreicht die Sonne um 12 Uhr Ortszeit ihren höchsten Stand, entlang des fünfzehnten Längengrads nach Greenwich-Ortszeit erst eine Stunde später. Durch genaue Messung des Sonnenstands – beziehungsweise der Position von Sternen – sowie Kenntnis des Zeitpunkts der Messung nach einer Referenzzeit konnte so der Längengrad am Ort des Beobachters berechnet werden. Mit der Erfindung des Chronometers wurde die Fähigkeit erlangt, neben der Kursrichtung die genaue Position des Schiffs auf der Erdoberfläche zu bestimmen. Harrisons Lösung zur genauen Bestimmung des Längengrads durch präzise Messung der Zeit ist auch heute für die moderne Satelliten-Navigation eine wichtige Grundlage.

Mit dem Beginn des Raumfahrtzeitalters wurden auf dem Gebiet der Navigation weitere bahnbrechende Neuerungen geschaffen. Im sich verschärfenden Ost-West-Konflikt der 1960er Jahre platzierten die konkurrierenden Supermächte USA und Sowjetunion erste militärische Navigationsatelliten im Weltraum. Dies geschah unter anderem, um von See aus abgeschossene ballistische Nuklearwaffen möglichst genau zum Ziel zu brin-

requires exactly 24 hours for one 360-degree rotation, it rotates through 15 degrees each hour. The Sun reaches its highest point at 12 o'clock along the whole prime meridian, while at a place located on the 15th degree of longitude it does so one hour later in terms of Greenwich Time. This is how, by an exact measurement of the Sun's position, or, alternatively, the position of the stars, and the exact knowledge of the time at which the measurement was taken based on the reference time, the degree of longitude of an observer's location could be computed. The invention of the chronometer enabled seamen to determine the exact position of their ship on the globe. Harrison's solution to use exact time measurement to determine the exact degree of longitude has to this date remained one of the essential elements even of modern satellite navigation.

The beginning of the space age brought on further groundbreaking innovations in the field of navigation. In the era of east-west conflict, heating up in the 1960s, the competing superpowers USA and Soviet Union sent their first military navigation satellites into space. One of their intentions was to target sea-launched ballistic nuclear missiles as accurately as possible. It was unforeseeable at that time what an enormous range of options

gen. Die Möglichkeiten, die sich eine Generation später aus einer weitreichenden, öffentlichen und kommerziellen Nutzung der Satelliten-Navigation eröffneten, waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht absehbar.

Dreißig Jahre später, in den 1990er Jahren, änderte sich dies: Neben der militärischen Nutzung wurde durch die Einführung ziviler Signale bei GPS und GLONASS ein großer Schritt hin zur intensiven zivilen Nutzung der Satelliten-Navigation vollzogen. Seitdem hat sich der zivile Markt zu einem stetig wachsenden und lukrativen Geschäft entwickelt. Neue Anwendungsmöglichkeiten werden beinahe jedes Jahr in mittlerweile allen Verkehrsbereichen entdeckt. Unser heutiges Verständnis des Begriffs Navigation bezieht sich auf nunmehr alle Arten von Land-, See-, Luft- und Raumfahrzeugen. Der stetig zunehmende Verkehr in all diesen Bereichen erfordert eine angemessene Reaktion. Um beispielsweise eine Erhöhung von Transportkapazitäten zu erreichen, kann die bereits vorhandene Infrastruktur oftmals gar nicht weiter ausgebaut werden. Hier bietet Satelliten-Navigation mit einer zuverlässigen und präzisen Positionierung eine kostengünstige Lösung an, die dabei hilft, etablierte Logistikprozesse und das Verkehrsmanagement weiter zu optimieren.

Laut Prognosen der Europäischen Kommission werden bis zum Jahr 2020 weltweit bereits rund drei Milliarden Empfangsgeräte für Satelliten-Navigation in Betrieb sein. Der Weltmarkt für Produkte und Dienstleistungen im Bereich der Satelliten-Navigation soll bis zum Jahr 2025 auf ein Volumen von 400 Milliarden Euro anwachsen. Darüber hinaus wird geschätzt, dass durch das Galileo-Programm europaweit etwa 150.000 Arbeitsplätze geschaffen werden.

this would open up to satellite navigation applications, both public and commercial, only one generation further on.

Thirty years on, in the 1990s, this changed: As a sideline to the original military applications, the introduction of civilian signal frequencies in GPS and GLONASS triggered off a large step forward towards a massive civilian use of satellite navigation. Ever since that time, the civilian market has evolved into a growing, profitable business. New applications have been discovered for all types of transportation nearly every year. Hence, our new understanding of the term "navigation" now relates to all types of vehicles, land, sea, air and space. The steady increase in traffic in all these areas calls for an adequate response. Often the capacities of existing infrastructures cannot be increased. With its reliable and accurate positioning techniques, satellite navigation offers an affordable solution and helps to optimize established logistic processes and traffic management systems.

According to forecasts made by the European Commission, some three billion satellite navigation receivers will be in operation worldwide by as early as 2020. The world market for products and services in the field of satellite navigation is expected to grow to a volume of 400 billion Euros by 2025. There is an estimate that the Galileo program will create about 150,000 new jobs in Europe.

Funktionsweise eines Satelliten-Navigationssystems

Bei der weltraumgestützten Navigation umrunden Satelliten unseren Planeten und senden dabei elektromagnetische Wellen mit fest definierten Frequenzen zur Erde. Das System basiert auf der Messung der Zeit, welche diese Signale vom Satelliten bis zum Beobachter auf der Erde benötigen. Voraussetzung dafür ist, dass sich an Bord der Satelliten sehr genaue Uhren befinden. Diese müssen miteinander synchronisiert sein, also alle exakt dieselbe Uhrzeit anzeigen. Außerdem muss jeder Satellit die aktuelle Zeit „seiner“ Uhr zum Beobachter auf der Erde übertragen. Dieser kann sie dann mit der eigenen Uhrzeit vergleichen. Aus der Differenz wird dann die Signallaufzeit bestimmt. Kennt der Beobachter diese Laufzeit, so kann er seinen Abstand zu den Satelliten berechnen. Kennt er darüber hinaus die Positionen der Satelliten, kann er mit Hilfe geometrischer Überlegungen seine eigene Position auf der Erde bestimmen.

Somit beruht das eigentliche Prinzip der Satelliten-Navigation auf sehr wenigen fundamentalen physikalischen Gesetzen. Eines davon sagt aus, dass elektromagnetische Wellen sich mit der endlichen und im Vakuum konstanten Lichtgeschwindigkeit ($c = 299.792.458$ Kilometer pro Sekunde) ausbreiten. Dies ist die Basis von Einsteins Spezieller Relativitätstheorie aus dem Jahr 1905. Die anderen Gesetze, die hier zum Tragen kommen, sind die der Himmelsmechanik. Mit den von Johannes Kepler zu Beginn des 17. Jahrhunderts aufgestellten Gesetzen lässt sich nicht nur die Bewegung der Planeten um unsere Sonne, sondern auch die von Satelliten um die Erde beschreiben.

How a Satellite Navigation System works

Satellite-based navigation transmits electromagnetic waves at predefined frequencies as they orbit the Earth. Ultimately, this system is based on measurements of the length of time required by these signals to travel to an observer on the ground. One prerequisite is that all satellites are equipped with highly precise clocks which, moreover, must be synchronized so that they all keep precisely the same time. Moreover, each satellite must transmit the time indicated by its clock to the observer on Earth. By comparing the satellite's time with his own, the observer can determine the transit time of the signal. Knowing the transit time of a signal and the speed at which it propagates, the observer will be able to compute the distance between himself and the satellites. If he knows the positions of several satellites, he will be able to determine his own position on Earth geometrically.

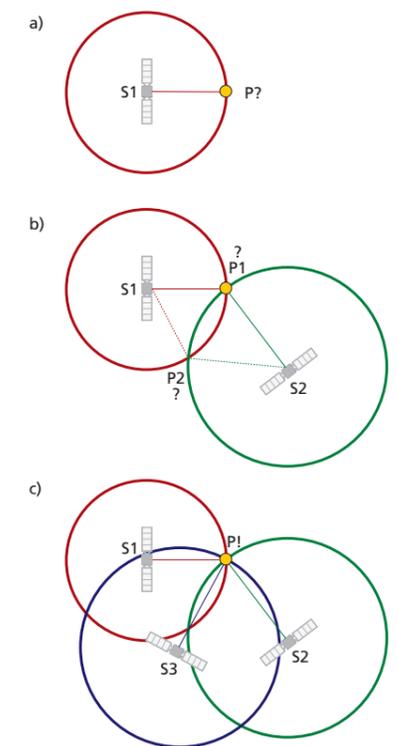
Thus, it is evident that the principle of satellite navigation is based on a very few fundamental physical laws. One of these says that electromagnetic waves propagate at the speed of light, which is finite and constant in a vacuum ($c = 299,792.458$ kilometers per second). This is the foundation of the Special Theory of Relativity which Einstein developed in 1905. The other laws that are of importance in this context all belong to the field of celestial mechanics. Formulated by Johannes Kepler early in the 17th century, these laws serve to describe the movement not only of planets around the Sun but also of satellites around the Earth. On that basis, the exact position and velocity of a satellite can be computed

Die Position und Geschwindigkeit eines Satelliten kann dadurch zu jeder Zeit genau berechnet werden. Mit Hilfe der Geometrie lässt sich die Positionsbestimmung mittels Satelliten veranschaulichen: Dazu betrachten wir zunächst den vereinfachten Fall einer ebenen Fläche, in der sich die Satelliten sowie ein Beobachter befinden. Die Position des Beobachters soll bestimmt werden. In nebenstehender Abbildung ist diese Situation unter a) – ein Beobachter, ein Satellit – skizziert. Der Satellit sendet ein Signal, das sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Es erreicht den Beobachter nach einer bestimmten Zeit. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals ist bekannt und die Laufzeit des Signals vom Satelliten bis zum Beobachter kann gemessen werden. So lässt sich die vom Signal zurückgelegte Strecke berechnen: der Abstand des Beobachters zum Satelliten.

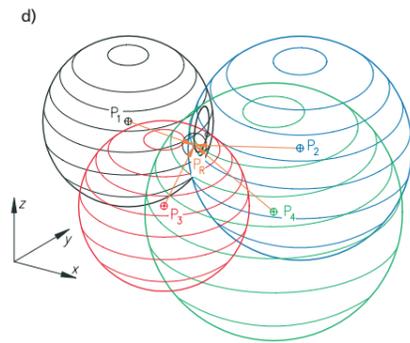
Dies ermöglicht aber noch keine eindeutige Positionsangabe. Der Beobachter weiß nur, dass er sich irgendwo entlang des abgebildeten Kreises um den Satelliten herum befindet. Sind zwei Satelliten verfügbar, wie in Abbildung b) skizziert, so kann der Beobachter zur gleichen Zeit auch seine Entfernung zu dem zweiten Satelliten bestimmen. Dies reduziert die möglichen Positionen des Beobachters auf die beiden Schnittpunkte der Kreise: Es sind die einzigen Punkte, welche die vom Beobachter jeweils bestimmten Abstände zu den beiden Satelliten aufweisen. Zusammen mit der Entfernungsbestimmung zu einem dritten Satelliten, siehe Abbildung c), verbleibt schließlich nur noch ein Punkt, an dem sich der Beobachter befinden kann. Dies ist somit seine augenblickliche Position in der Ebene.

ed at any time. Geometry helps in visualizing the process by which a position on Earth can be determined with the aid of satellites. Simplifying matters a little, let us begin by considering a two-dimensional plane surface on which the satellites as well as the observer whose position is to be determined are located. In the adjacent figure, drawing a) describes a situation in which there is only one observer and only one satellite. The satellite emits a signal which, traveling at the speed of light, reaches the observer after a certain time. The signal's speed of propagation is known and the transit from the satellite to the observer can be measured. Therefore, the distance passed by the signal during that time can be calculated being the distance of the observer to the satellite.

However, merely knowing that distance does not enable him to pinpoint his position. Instead, all he knows is that he must be somewhere along the circle shown around the satellite. The presence of another satellite enables the observer, as fig. b) shows, to simultaneously determine his distance from that satellite as well. Now, the only potential positions which the observer might occupy are the two points at which the two circles intersect, for these are the only points the distance of which to the two satellites is that measured by the observer. If the distance to a third satellite can be measured (see fig. c) only one point remains in which the observer could possibly be, so that his position on the plane is now established.



Positionsbestimmung mit Hilfe der Geometrie (S1, S2, S3 = Satelliten, P = abgeleitete Beobachter-Position)
 Determination of position by means of geometry (S1, S2, S3 = satellites, P = derived position of observer)



Dreidimensionale Positionsbestimmung (P1-P4 = Positionen der Satelliten, P_R = Position des Beobachters)
Three-dimensional determination of position (P1-P4 = positions of satellites, P_R = position of observer)

Analog verhält es sich im dreidimensionalen Raum, siehe Abbildung d). Ist der Abstand zu lediglich einem Satelliten bekannt, kann sich der Beobachter auf der gesamten Oberfläche einer Kugel befinden. Die Kenntnis der Entfernung zu einem zweiten Satelliten grenzt die möglichen Positionen ein: Es ist der Kreisumfang, entlang dessen sich zwei Kugeln schneiden. Die Berücksichtigung eines weiteren Satelliten führt zur Überschneidung einer dritten Kugel mit den beiden anderen. Es verbleiben also nur noch zwei Schnittpunkte. Im Allgemeinen lässt sich von diesen beiden Punkten einer verwerfen, wenn er nicht auf der Erdoberfläche liegt. In der Regel reicht daher der simultane Empfang dreier Satellitensignale für eine eindeutige Positionierung aus.

Satelliten-Navigation beruht auf der Messung von Signallaufzeiten und den daraus berechneten räumlichen Abständen des Beobachters zu den Satelliten. Schon sehr kleine Fehler in der Messung dieser Laufzeiten genügen, um sehr große Fehler in der Position zu erhalten: Bereits eine Ungenauigkeit von einer Millisekunde äußert sich in einer Abweichung von der tatsächlichen Position um 300 Kilometer. Um solche großen Fehler zu vermeiden, müssten nicht nur die Uhren an Bord der Satelliten, sondern auch die im Navigationsempfänger des Beobachters hochgenau sein. Dies ist aufgrund der Größe der benötigten hochgenauen Atomuhr, vor allem aber aus Kostengründen, völlig unrealistisch. Daher müssen Navigationsempfänger, die im Massenmarkt zum Einsatz kommen, mit preisgünstigen und relativ ungenauen Uhren auskommen. Um trotzdem präzise navigieren zu können, gibt es aber einen Ausweg.

Nehmen wir nämlich einen vierten Satelliten in unsere Betrachtung auf, ist das Problem gelöst. Mathematisch gesehen reduziert sich die Positionsbestimmung auf ein lineares Gleichungssystem mit vier Unbekannten. Eine davon ist die mit großen Fehlern behaftete Signallaufzeit. Diese ist unerwünscht und kann aus dem

As fig. d) shows, the situation in a three-dimensional space is analogous. If only the distance to one satellite is known, the observer might be anywhere on the surface of a sphere. If he knows the distance to another satellite, he can confine his position to the circumference of the circle along which the two spheres intersect. If a third satellite enters the picture, a third sphere will intersect with the two others, and the number of intersections will drop to two. As a general rule, one of these two points may be safely disregarded by, for example, applying the exclusion principle to points not located on the surface of the Earth. The simultaneous reception of three satellite signals is normally sufficient for explicit positioning.

Satellite navigation basically involves measuring signal transit times and computing from them the spatial distances between the observer and the satellites. However, even infinitesimal errors in transit time measurements may entail very severe positioning errors: an imprecision as small as a millisecond will place the observer 300 kilometers away from where he actually is. To avoid such massive errors, not only the satellites but also the observer's navigation receiver need to be equipped with highly precise clocks. This, however, is completely unrealistic because of the size of the requisite high-precision atomic clock and, more importantly, because of its cost. Consequently, the navigation receivers that will be sold on the mass market will have to be fitted with relatively inexpensive and imprecise clocks. Yet there is an approach which ensures precision in navigation despite all this:

If we include a fourth satellite in our system, the problem is solved. In mathematical terms, positioning boils down to a system of linear equations with four unknowns, one of which is the highly imprecise signal transit time. Now it is characteristic of such equation systems that they permit eliminating the signal transit time, a factor which, being error-prone, is undesirable. This reduces the

Gleichungssystem eliminiert werden. Somit vereinfacht sich die Positionsrechnung auf ein System mit drei Gleichungen für die gesuchten drei räumlichen Koordinaten. Die Ungenauigkeit der Uhr des Navigationsempfängers taucht damit nicht mehr auf.

Für eine Positionierung im dreidimensionalen Raum werden also auf jeden Fall vier Satelliten benötigt, wenn der Beobachter keine hochgenaue Referenzuhr in seinem Navigationsempfänger mitführt. Die eigene Position kann umso genauer bestimmt werden, je mehr Satelliten in die Positionsrechnung mit einbezogen werden. Neben dem Fehler, der durch die Ungenauigkeit der Uhr im Navigationsempfänger verursacht wird, gibt es noch zahlreiche weitere Fehlerquellen, die die Positionsgenauigkeit verringern. Hier sind zum Beispiel die atmosphärischen Einflüsse zu nennen, die einen oftmals schwer zu bestimmenden Einfluss auf die Signallaufzeit haben. Aus diesem Grund sind sie ebenfalls aus der Positionsberechnung zu eliminieren.

Dies führt zu Gleichungssystemen mit mehr als vier Unbekannten. Zur Berechnung einer genauen Position sollten daher mehr als vier Satelliten einbezogen werden. Dies ist im Allgemeinen möglich, da unter normalen Sichtverhältnissen bereits heute acht oder mehr GPS-Satellitensignale gleichzeitig vom Navigationsgerät empfangen werden können. Mit der Fertigstellung des europäischen Galileo-Systems wird sich diese Zahl bei kombinierter Nutzung von GPS und Galileo annähernd verdoppeln.

number of equations in the system for calculating positions to three, one for each spatial coordinate. The imprecision of the navigation receiver clock is no longer relevant.

Given that the observer will not have a high-precision reference clock in his navigation receiver, no less than four satellites are needed for positioning in three-dimensional space. The more satellites are available for calculating your position, the more precise the calculation will be. Next to the error caused by the imprecision of the clock in a navigation receiver, there are other factors which may negatively affect the precision of positioning. These include, for example, atmospheric parameters which also need to be eliminated from the calculation because their influence on signal transit time is often difficult to determine.

As the resultant equation system contains more than four unknowns, more than four satellites need to be involved in calculating an accurate position. This is generally possible because under normal visibility conditions, any satellite navigator will receive eight or more GPS satellite signals simultaneously even today. Once the European Galileo system has been completed, approximately twice that number will be available if GPS and Galileo are used simultaneously.

Technische Details zu Galileo

Das Galileo-System wird aus 30 Satelliten bestehen, die in einer sogenannten Walker-Konstellation zu je zehn Satelliten die Erde in einer Entfernung von circa 24.000 Kilometern auf drei sich kreuzenden Bahnen umkreisen. Insgesamt drei Satelliten – einer pro Bahn – sind inaktiv und dienen als Reserve für den Fall, dass entlang der Satellitenbahnen ein Satellit ausfällt. Jeder Galileo-Satellit wird simultan zehn verschiedene Navigationssignale auf unterschiedlichen Frequenzen abstrahlen.

Die zur Verwendung durch Galileo vorgesehenen Frequenzbänder sind:

- E1 (1559 bis 1591 MHz)
- E5a (1164 bis 1191,795 MHz)
- E5b (1191,795 bis 1215 MHz)
- E6 (1260 bis 1300 MHz),

wobei E1 und E5a im selben Frequenzbereich wie die GPS-Signale L1 und L5 liegen. Ein Empfänger kann daher gleichzeitig die von Galileo und GPS in diesen Frequenzbändern gesendeten Signale nutzen. Hierdurch erhöht sich die Anzahl gleichzeitig sichtbarer Satelliten deutlich und ermöglicht eine höhere Positionsgenauigkeit (siehe auch Seite 8 ff.).

Die für Galileo zurzeit vorgesehenen Dienste sind:

- Der Open Service (OS) ist ein kostenloser Dienst zu Ortungs-, Navigations- und Zeitsynchronisationszwecken für die Allgemeinheit, dessen Hauptanwendung im Straßenverkehr und als Zeitstandard zu sehen ist. Dieser Dienst steht in Ergänzung zu GPS zur Verfügung und erlaubt eine präzisere Positionsbestimmung durch Kombination beider Satelliten-Navigationssysteme (Frequenzbänder E1 und E5).

Technical Information about Galileo

The Galileo system will comprise 30 satellites which, deployed in a so-called Walker Constellation, will be orbiting the Earth at a distance of approximately 24,000 kilometers on three intersecting orbits with ten satellites each. A total of three satellites – one per orbit – will be inactive, being kept in reserve in case one of the satellites in a given orbit should fail. Each Galileo satellite will simultaneously transmit ten different navigation signals at various frequencies.

The frequency bands which Galileo will be using are

- E1 (1559 to 1591 megahertz)
- E5a (1164 to 1191.795 megahertz)
- E5b (1191.795 to 1215 megahertz)
- E6 (1260 to 1300 megahertz),

of these, E1 and E5a occupy the same frequency band as the GPS L1 and L5 signals. Consequently, receivers will be able to simultaneously use the signals transmitted in these frequency bands by Galileo and GPS. The resultant considerable increase in the number of satellites that are visible simultaneously will enhance positioning precision (see p. 8 et seq.).

At the moment, the following services are envisaged for Galileo:

- The Open Service (OS) will be provided free of charge to the general public for purposes of positioning, navigation, and time synchronization, its main applications being road transportation and time standardization. Complementing GPS, this service will permit more precise positioning when the two satellite navigation systems are combined (frequency bands E1 and E5).

- Der Commercial Service (CS) ist ein kommerzieller Dienst mit Zusatzinformationen zur Aufwertung der Produktpalette von Diensteanbietern. Dieser mit einer Gebühr verbundene Dienst soll einer Zugangskontrolle unterliegen und ist für den professionellen Endanwender zum Beispiel in den Bereichen Vermessungswesen, Netzsynchronisation und Flottenmanagement gedacht (Frequenzbänder E1, E5 und E6).
- Der Safety of Life Service (SoL) legt den Schwerpunkt auf sicherheitskritische Anwendungen in der Luft- und Schifffahrt sowie im Bahnverkehr (Frequenzbänder E1 und E5).
- Der Public Regulated Service (PRS) ist ein staatlicher Dienst, der ein Signal mit sehr hoher Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Integrität für hoheitliche Anwendungen zum Beispiel für Polizeiaufgaben bereitstellt (Frequenzbänder E1 und E6).
- Der Search And Rescue Service (SAR) wird mit dem bereits bestehenden COSPAS-SARSAT-System zusammenarbeiten und gestattet eine schnelle und weltweite Ortung von Notrufsendern. Der Galileo SAR-Dienst wird erstmalig auch eine direkte Rückantwort über Satellit von der Rettungsstelle an den Notrufsender ermöglichen.
- The Commercial Service (CS) will provide supplementary information to upgrade the product ranges of service providers. This chargeable service, which will be subject to access control, is intended for professional end users who are active in, for example, surveying, network synchronization and fleet management (frequency bands E1, E5 and E6).
- The Safety of Life Service (SoL) is focussed on safety-relevant applications in air, sea and rail transport (frequency bands E1 and E5).
- The Public Regulated Service (PRS) will target governments, providing signals of extreme precision, reliability and integrity for sovereign applications such as the police service (frequency bands E1 and E6).
- The Search and Rescue Service (SAR) will work hand in hand with the existing COSPAS-SARSAT system. It serves to locate emergency call transmitters swiftly all over the world. The Galileo SAR service will be the first to permit rescue centers to reply directly to the emergency call transmitter via satellite.



Galileo bietet verschiedene Navigationsdienste an (ESA).
 Galileo offers different navigation services (ESA).

Deutschlands Vorbereitung auf Galileo

Mit dem Aufbau von Galileo wird die gezielte Entwicklung von Anwendungen immer wichtiger. Eine kombinierte Nutzung des Signals L1 (GPS) und E1 (Galileo) wird eine bisher unerreichte Genauigkeit und Verfügbarkeit des frei zugänglichen Dienstes (Open Service) ermöglichen. Deutschland hat die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von Galileo erkannt und unterstützt mit der Errichtung von Testumgebungen die Entwicklung und Erprobung von Anwendungen für Galileo. Die Galileo Test- und Entwicklungsumgebungen (GATEs) nehmen eine Schlüsselrolle ein: Hier können Entwickler ihre Anwendungen unter realen Einsatz- und Umgebungsbedingungen bis zur Verfügbarkeit von Galileo zur Marktreife führen.

Derzeit stehen in Deutschland bereits drei Testumgebungen zur Verfügung, weitere zwei sind im Aufbau. Allen ist gemeinsam, dass über sogenannte **Pseudolites** Galileo-konforme Signale in das Testgebiet abgestrahlt werden. Die Signale im Testgebiet können gezielt an individuelle Nutzeranforderungen angepasst werden. Dies gilt für den Inhalt der Navigationsnachricht, die Sendestärke und die Frequenzwahl.

Germany prepares for Galileo

As Galileo is slowly taking shape it is becoming increasingly important to develop targeted applications. Combined use of the L1 (GPS) and E1 (Galileo) signals will improve the precision and availability of the Open Service beyond anything that has been achieved so far. Having recognized Galileo's wide range of potential uses, Germany supports the establishment of test environments as well as application development and testing. In this context, Galileo test and development environments (GATEs) play a key role, for they enable developers to bring their applications to maturity under real-life environmental and operating conditions.

*At present, three such test environments are operating in Germany, and another two are being built. There is one feature which they all share: so-called **pseudolites** which, permanently installed in various positions around the periphery of the test area, beam Galileo-conformable signals into it. Within the test facility, signals may be tailored to the requirements of individual users by varying the content of the navigation messages as well as the strength and frequency of the signal.*

Speziell Empfängerentwickler sehen sich bei den definierten Galileo-Frequenzen im E5-Band mit besonderen Herausforderungen konfrontiert. Ihre Empfänger müssen gegenüber den in diesem Band verstärkt auftretenden Mehrwegeeffekten und Störquellen robust genug aufgesetzt werden. Mathematische Verfahren für eine Kompensation müssen daher frühzeitig entwickelt werden. Hier stehen die Testumgebungen bereit, um die nötigen Vorarbeiten bis zum Start des operationellen Galileo-Betriebs zu leisten.

Die GATEs tragen somit in erheblichem Umfang dazu bei, den Forschungs-, Entwicklungs- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken. Auf den folgenden Seiten werden die insgesamt fünf verschiedenen Testumgebungen Deutschlands vorgestellt.

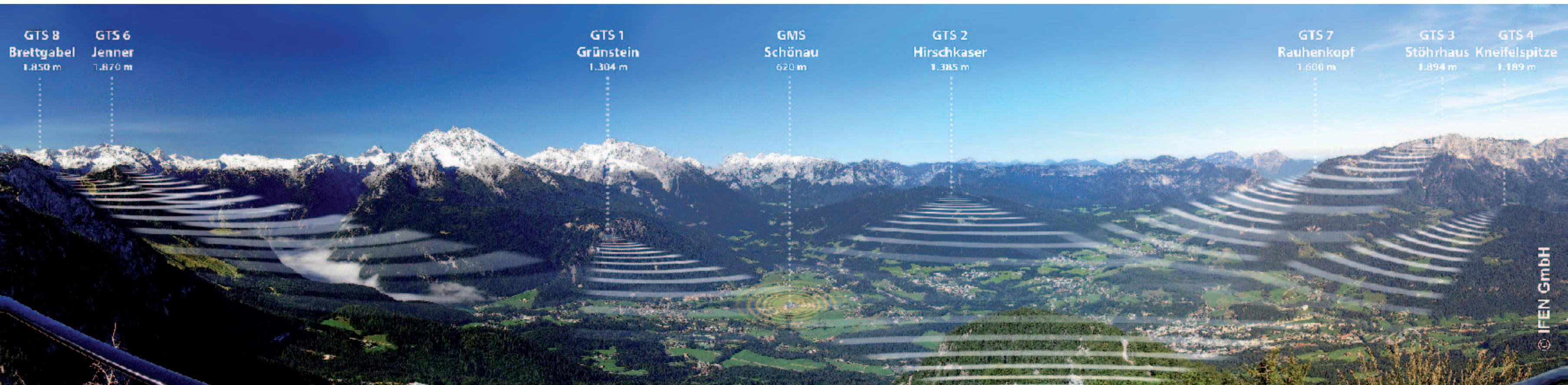
Among the defined Galileo frequencies, it is especially the E5 band which confronts receiver developers with the challenge of having to make their receivers robust enough to handle the multipath effects and interferences that are particularly frequent in this band. Mathematical methods for their compensation have to be developed. In this respect, test environments are handy for doing the necessary preliminary spadework until Galileo goes into operation.

By the same token, they contribute a great deal towards strengthening Germany's position as a research, development and business location. On the following pages, we will present Germany's five different test environments.



Ein **Pseudolite** ist eine Sendeanlage. Sie besteht aus einem Galileo-Signalgenerator sowie einer Antenne, die an einem exponierten Standort montiert ist. In einem Testfeld sind mehrere Pseudolites an verschiedenen Positionen rund um das Testgebiet installiert.

*A **pseudolite** is a transmitter. Each pseudolite comprises one Galileo signal generator and an antenna mounted at an exposed place. Within a testbed, several units are installed at defined positions.*



© IFEN GmbH

Das GATE-Testgebiet, vom Kehlstein (GTS 5)
aus gesehen
GTS = GATE Sendestation
GMS = GATE Monitorstation

GATE testbed, view from Kehlstein (GTS 5)
GTS = GATE transmit station
GMS = GATE monitor station



GATE-Testgebiet in Berchtesgaden, vom Kehlstein aus gesehen (IFEN GmbH)
GATE testbed in Berchtesgaden/Bavaria, from the Kehlstein point of view (IFEN GmbH)

GATE (Berchtesgaden)

Deutschlands erste Galileo Test- und Entwicklungsumgebung

Von Dr. Günter Heinrichs und Erwin Löhnert

GATE arbeitet nach demselben physikalischen Prinzip wie auch Galileo und GPS, um Positionsbestimmungen zu ermöglichen. GATE ist ein bodenbasiertes Funknavigationssystem, das die „echten“ Galileo-Signale über acht terrestrische Sendestationen (Pseudolites) in das Testgebiet ausstrahlt. Durch seine Infrastruktur ist GATE in der Lage, Navigations-signale der Galileo-Satelliten zu erzeugen. Zusätzlich können natürliche Einflussfaktoren – zum Beispiel Einflüsse durch Ionosphäre oder Troposphäre – simuliert sowie Signalarten und -stärke nach Bedarf verändert werden.

GATE stellt mehrere, auf unterschiedliche Anwender zugeschnittene Betriebsarten zur Verfügung. Kern ist der sogenannte Virtual Satellite-Betriebsmodus (VSM). Hierbei werden die Sendestationen so konfiguriert, dass sie die Signale eines im Orbit befindlichen Galileo-Satelliten nachahmen. Hierzu übertragen die Sendestationen die Bahndaten virtueller Satelliten zeitlich passend mit entsprechender Frequenz und Phase. Durch

GATE (Berchtesgaden)

Germany's first Galileo Test and Development Environment

By Dr. Günter Heinrichs and Erwin Löhnert

GATE and Galileo as well as GPS use the same physical principle for positioning. The Berchtesgaden GATE features a ground-based radio navigation system that uses eight terrestrial transmitter stations (pseudolites) to beam "genuine" Galileo signals into the test area. Its infrastructure enables GATE to generate the navigation signals of Galileo satellites, simulate natural factors – like the influence of iono- or troposphere – and vary signal type and strength as required.

GATE features a variety of operating modes tailored to the requirements of different users. The core element is the so-called Virtual Satellite Mode (VSM) in which transmitter stations are configured to mimic the signals which would be transmitted by a Galileo satellite that is actually in orbit. To this end, the stations transmit the flight data of virtual satellites with proper timing, frequency and phase. By taking into account the dynamics of the user and the mathematically simulated movements of the satellites, the GATE system creates a test

Berücksichtigung der Dynamik des Nutzers und der berechneten Satellitenbewegungen kann das GATE-System eine realitätsnahe Testumgebung schaffen. Somit wird von den Empfangsgeräten und Anwendungen im Testgebiet ein Signal empfangen, das sich, abgesehen von der Ausbreitungsrichtung, von einem „echten“ Galileo-Satellitensignal nicht unterscheiden lässt.

Das Testgebiet befindet sich im Berchtesgadener Land im äußersten Südosten Bayerns, direkt am Alpenrand, nahe der österreichischen Grenze. Das durch die umliegenden Berge bestimmte Höhenprofil macht den Raum Berchtesgaden zum idealen Ort, um die Signale der acht GATE-Sendestationen (GTS 1-8) im Tal zu empfangen. Die Stationen, die sich in der Nähe der Berggipfel des Grünstein, Hirschkaser, Rauhenkopf, Hochthron, Kneifelspitze, Kehlstein, Brettgabel und Jenner befinden, weisen zum Tal einen Höhenunterschied von bis zu 1.250 Metern auf. Da sich die Berge in allen Richtungen um Berchtesgaden befinden, lässt sich eine gute horizontale Genauigkeit erreichen.

Das GATE-Testgebiet ist vor allem für Tests von landmobilen Anwendungen geeignet. Andere, wie Bahn-, See- oder Luftfahrtanwendungen, können wegen der Größe und geographischen Lage des Testgebiets nur bedingt durchgeführt werden. Logistik sowie Fahrzeug- und Fußgängernavigation stellen das kommerziell bei Weitem wichtigste Anwendungsgebiet dar. Deshalb wurde das GATE-Testgebiet vor allem für diese Nutzergruppe optimiert.

Die Stadt Berchtesgaden bietet durch das verzweigte Straßennetz eine gute Infrastruktur, um beispielsweise Fußgängernavigationsgeräte zu überprüfen. Außerhalb des Orts sind durch Wälder, Täler sowie den Nationalpark Berchtesgaden weitere Testszenarien möglich. Der Luftraum über Berchtesgaden und eine Eisenbahnstrecke im Testgebiet lassen sich für Versuche ebenfalls mit Einschränkungen nutzen.

environment that approximately reflects reality. Consequently, receivers and applications operating within the test area will receive signals which, apart from their direction of propagation, cannot be distinguished from a real Galileo satellite signal.

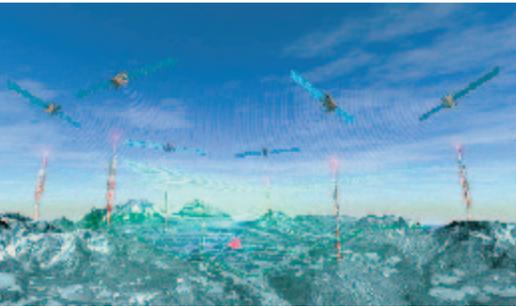
The test area is located in the region of Berchtesgaden in the extreme southeast of Bavaria, in the foothills of the Alps close to the Austrian border. Dominated by surrounding mountains, the elevation profile of the Berchtesgaden area is ideal for receiving the eight GATE transmitters (GTS 1-8) in the valley. Located close to the Grünstein, Hirschkaser, Rauhenkopf, Hochthron, Kneifelspitze, Kehlstein, Brettgabel and Jenner summits, respectively, the transmitter stations are elevated up to 1,250 meters above the valley floor. As the mountains surround Berchtesgaden in all directions, horizontal precision is good.

This GATE test area is suitable especially for land mobile applications. Others, in rail, sea or air transportation, can be implemented only within certain limits due to the size and geographical situation of the test area. Logistics as well as vehicle and pedestrian navigation are by far the most important in commercial terms. This is why the GATE test area has been designed to meet the requirements of this user group first and foremost.

In that context, the ramified road network of the city of Berchtesgaden constitutes an infrastructure well suited to testing, for example, navigation devices and applications for pedestrians under realistic ambient conditions. Outside the city, forests, valleys and the Berchtesgaden National Park provide further test scenarios. Within certain limitations, the airspace above Berchtesgaden and a railroad line crossing the test area may be used for tests as well.



Büro der IFEN GmbH im GATE-Testgebiet Berchtesgaden/Bayern (IFEN GmbH)
IFEN GmbH office, located in the GATE testbed of Berchtesgaden/Bavaria (IFEN GmbH)



Sender auf sechs Berggipfeln simulieren Galileo-Signale (IFEN GmbH)
 Transmitters on six mountain tops are emulating Galileo signals (IFEN GmbH)

Die garantierte GATE-Genauigkeit für die horizontale Echtzeitnavigation für die Frequenzen E1 und E5 ist besser als zehn Meter (2 Sigma). Im GATE-Testgebiet können Interferenzstörungen im Galileo-Band E5 auftreten, die von einer militärischen Radarstation, die in das Testbett einstrahlt, verursacht werden. Da allerdings zukünftige Galileo-Empfänger mit Interferenzen in ungeschützten Frequenzbändern umgehen müssen, bietet GATE hier ideale Möglichkeiten zum Test empfangs-integrierter Abhilfemaßnahmen.

Die GATE-Testinfrastruktur steht allen Nutzern seit Sommer 2008 zur Verfügung. Im Herbst 2010 wurde GATE auf acht Sendestationen erweitert, um auch Tests für das Galileo-Integrationskonzept der ESA zu unterstützen, welches die Integritätsprüfung der Position auf Empfangsebene (RAIM) vorsieht. Der Erfolg von Galileo hängt entscheidend von der kommerziellen Umsetzung ab. Neue Produkte und Dienstleistungen in hervorragender Qualität sind dabei der Schlüsselfaktor. GATE hilft, diesen wesentlichen Schritt zu gehen. GATE-Nutzer erhalten die Gelegenheit, mit den richtigen Produkten und Dienstleistungen den Markt rechtzeitig zu betreten. Seit 1. Januar 2011 ist die IFEN GmbH Betreiber der GATE-Testinfrastruktur.

Unterschiedliche Testszenarien:

- Im Base Mode (BM) senden die Pseudolites ihre Position und die genau synchronisierte Systemzeit. Die Bestimmung der Position wird für den Empfänger möglich. Diesen Modus können beliebig viele Empfangsgeräte gleichzeitig nutzen.
- Im Extended Base Mode (EBM) werden zusätzlich Nah-Fern-Effekte vermieden, die beim Annähern des Nutzers an eine Antenne auftreten. Eine präzise Abstimmung aller Sendestationen (in Abhängigkeit von der jeweiligen Nutzerposition) sorgt dafür, dass der Empfänger unabhängig von seinem Standort jedes Signal mit derselben Leistungsstärke empfängt.

GATE guarantees a precision better than ten meters (2 sigma) for horizontal real-time navigation on the E1 and E5 frequencies. However, in the test region interferences on Galileo E5 may occur. These are caused by the beams of a military radar station that impinge on the testbed. As future Galileo receivers will have to be equipped to cope with interferences on their unprotected frequency bands in any case, GATE offers an ideal opportunity to test interference compensation features integrated in receivers under realistic conditions.

The GATE test infrastructure has been open to users since summer 2008. In autumn 2010, the GATE pseudolites are expanded. Eight pseudolites enable to solve tests for the Galileo integrational concept of ESA. Now, a prove of the integrity of the positions on RAIM are possible. As Galileo's success crucially depends on its commercial exploitation, the development of new products and services of outstanding quality plays a key role. GATE assists users in taking this important step by giving them a chance to market the right products and services at the right time. Since January 1 2011, the IFEN GmbH is operator of the GATE infrastructure.

Different test scenarios:

- In base mode (BM), pseudolites will send their position together with a precisely synchronized system time signal, which enables the user to identify his position. This mode can be used by any number of receivers at the same time.
- The extended base mode (EBM) suppresses the distance-related effects that occur when a user approaches an antenna. In this mode, all transmitters will be attuned precisely to the position of the user so that the incoming signal will always be of the same strength, independently of the location of the receiver.

- Im Virtual Satellite Mode (VSM) werden die Sendestationen so konfiguriert, dass sie die Signale eines Galileo-Satelliten nachahmen. Die Stationen senden die Bahndaten virtueller Satelliten zeitlich passend mit entsprechender Frequenz und Phase. Dadurch empfängt der Nutzer ein Signal, das sich nicht von einem echten Satellitensignal des Galileo Open Service unterscheidet. Die erzeugten Signale werden auf die aktuelle Empfängerposition abgestimmt. Im EBM und VSM kann zu einem bestimmten Zeitpunkt jeweils nur ein einziger Nutzer einen Versuch durchführen.

- In virtual satellite mode (VSM), transmitters will be configured to emulate the signals of a Galileo satellite in terms of signal phase, Doppler shift, and power, respectively. The transmitters will simulate the orbital data of a virtual satellite at the correct time, frequency and phase with respect to the user's position and velocity. The user will receive a signal which does not differ in any way from the Galileo open-service signal of a genuine satellite. The signals generated will be attuned to the current position of the receiver, so that only one user can run a test at any given time in either EBM or VSM.

www.gate-testbed.com/de

Dr. Günter Heinrichs ist GATE-Projektleiter bei der IFEN GmbH.

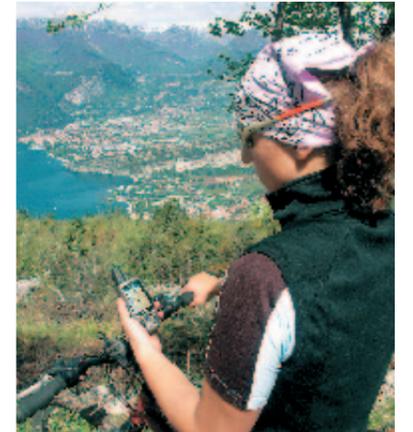
Erwin Löhnert ist stellvertretender GATE-Projektleiter bei der IFEN GmbH.

www.gate-testbed.com

Dr. Günter Heinrichs is GATE project manager at IFEN GmbH.

Erwin Löhnert is GATE deputy project manager at IFEN GmbH.

Technische Besonderheiten Leistungsparameter GATE	Technical Highlights Performance Parameters GATE
abgedeckte Fläche: circa 65 Quadratkilometer	Covered Area: circa 65 square kilometers
Positionsgenauigkeit: E1: 10 Meter und besser E5a, E5b: 10 Meter und besser (kann durch Interferenzstörungen schwanken)	Positioning Accuracy: E1: 10 meters and better E5a, E5b: 10 meters and better (subject to signal interferences)
Frequenzen: Jeder Pseudolite sendet simultan auf allen Galileo-Frequenzen E1, E5a, E5b und E6.	Frequencies: Each pseudolite broadcasts simultaneously at all Galileo frequencies E1, E5a, E5b and E6.
Acht Pseudolites	Eight pseudolites



Galileo wird auch im Tourismus sowie für Sport- und Freizeitaktivitäten verwendbar sein (dpa picture alliance).

Galileo will also be applicable in tourism, sports and leisure time activities (dpa picture alliance).



Galileo-Empfänger an Bord: das Fährschiff „Mecklenburg-Vorpommern“ (RST)
 The "Mecklenburg-Vorpommern" ferry is equipped with a Galileo signal receiver (RST)

SEA GATE (Rostock)

Die maritime Galileo-Testumgebung

Von Holm Dietz und Rainer Sasum

SEA GATE ist die maritime Galileo Test- und Entwicklungsumgebung im Hafengebiet von Rostock. Seit Mai 2008 wird hier mit Galileo-konformen Signalen gearbeitet. Seit Juni 2010 ermöglichen neun über das Hafengebiet verteilte Pseudolites (siehe Box auf Seite 15), zwei Referenzstationen sowie ein Monitor- und Kontroll-Segment den Test von Galileo-Anwendungen und -Empfängertechnik. SEA GATE unterstützt die aktuellste Galileo-Signalspezifikation.

Die 20 Quadratkilometer umfassende Anlage des Hafengebiets in der Warnowmündung ist gekennzeichnet durch eine enge Zufahrt und geringe Fahrwassertiefen. Täglicher Fährverkehr mit über 30 Ein- und Ausfahrten nach Skandinavien und in das Baltikum erfordert die Einhaltung enger Zeitpläne. Sogenannter „intermodaler Verkehr“ für die logistische Abwicklung von Gütern, die auf Schiene und Straße angeliefert beziehungsweise verladen werden, ist abgeschlossen.

Bei der Ausfahrt von Fähr- und Frachtschiffen ist ein in den Sommermonaten stark genutztes Kreuzfahrtterminal im Seekanal zu passieren. Somit ist die Berufsschiffahrt auf eine präzise Navigation im Hafengebiet bei jedem Wetter angewiesen. Mit Beginn des Betriebs von SEA GATE im Mai 2008 arbeitet auch eine erste Anwendung im Dauerbetrieb: An Bord des Scandlines-Fährschiffs „Mecklenburg-Vorpommern“ wurden zwei Galileo-Empfänger installiert, die zusammen mit der Software „Docking Assistant“ auf der Heckbrücke des Schiffes das Anlegemanöver unterstützen. Letztendlich wird der Kapitän zur Beurteilung seiner Manöver mit Abstandsangaben zum Kai im Dezimeterbereich unterstützt.

SEA GATE (Rostock)

The maritime Galileo Test Environment

By Holm Dietz and Rainer Sasum

SEA GATE, the maritime Galileo test and development environment, is located in the Rostock port area. It has been working with realistic Galileo signals since May 2008. Since June 2010 in summary nine transmitting stations and a monitor and control station with two reference stations serve as basis for maritime and logistics applications development and testing of equipment. SEA GATE supports the latest signal Galileo specification.

Spread out over 20 square kilometers at the mouth of the Warnow river, the port is characterized by a narrow entrance and shallow shipping channels. The daily arrival and departure of more than 30 ferries to and from Scandinavia and the Baltic calls for tight scheduling. The port is also linked up with what is called "intermodal traffic", meaning the logistical handling of goods that arrive for transshipment to and from road and rail transportation.

Ferries and freighters leaving the port must pass a cruise terminal on the shipping channel which is much frequented during the summer months. Consequently, all professional shipping in the port area must rely on precise navigation in any weather. When SEA GATE started operation in May 2008, a first application began to function continuously in practice. Two Galileo receivers were installed together with the Docking Assistant software on board the Scandlines ferry "Mecklenburg-Vorpommern" to support docking maneuvers directed from the stern bridge. By providing decimeter-scale information about the distance between the ship and the quay, the system supports the captain in judging the execution of his maneuvers.

Die Fähre „Mecklenburg-Vorpommern“ verkehrt zwischen Rostock und Trelleborg (Schweden) und kann Fahrzeuge, Trailer sowie Eisenbahnwaggons an Bord nehmen. Der sehr enge Fahrplan sieht nur 45 Minuten zum Ent- beziehungsweise Beladen vor. Außerdem vollzieht die Fähre circa 1.000 Meter vor dem Fähranleger eine Drehung um 180 Grad, um rückwärts anzulegen. Für diese kritischen Manöver ist die Verfügbarkeit hochgenauer Positionssignale und -berechnungen von elementarem Interesse.

Es bestehen folgende Nutzungsmöglichkeiten:

- Verwendung der SEA GATE-Signale zum Test von Anwendungen und Empfängertechnik
- Bereitstellung von Rohdaten der zwei Referenzstationen zur Auswertung.
- Bereitstellung von Integritätsinformationen und Korrekturdaten über das Internet unter Nutzung des Standards der Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) v2.3 und v3.1

Optional können folgende Zusatzdienste bereitgestellt werden:

- Unterstützung bei der Entwicklung von Analysesoftware
- Bereitstellung von Hardwareempfangstechnik sowie eines Moduls zur Positionsberechnung
- Unterstützung bei der Fernverfolgung eines Testobjekts im Operationsgebiet

Shuttling back and forth between Rostock and Trelleborg (Sweden), the ferry "Mecklenburg-Vorpommern" is equipped to transport vehicles and trailers as well as railroad cars. Its very tight schedule provides only 45 minutes for unloading and loading. Moreover, the ferry turns 180 degrees at a distance of approximately 1,000 meters from the quay in order to dock backwards. The availability of high-precision position signals and calculations is of elementary importance for such critical maneuvers.

The available services include:

- Utilizing SEA GATE signals for testing corporate applications and receiver technologies
- Providing raw data from two reference stations for analysis
- Transmit of integrity flag and correction data for signals to end user over internet by standards Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) v2.3 and v3.1

The following features may be provided as optional extras:

- Support in the development of analytical software
- Provision of receiver hardware and a positioning module
- Support in tracking a test object within the operational area over long distances

Grundsätzlich wird allen Nutzergruppen die freie Nutzung der ausgestrahlten Galileo-Signale entsprechend des vereinbarten Betriebsmodus gewährt. Die Nutzung von Szenarien und Modi, welche von den Standardkonfigurationen abweichen, sowie die Bereitstellung von Empfängergeräten und Softwaremodulen sind kostenpflichtig.

Für folgende Szenarien bietet SEA GATE eine optimale Testumgebung:

- seemännische Navigationslösungen
- hafenorientierte Verkehrsleitsysteme
- Begleitung von Umschlagsprozessen beim Wechsel der Verkehrsträger (Schiff-Bahn, Schiff-Straße)
- Transport- und Logistiklösungen zur genauen Verfolgung hochwertiger Güter
- Seenotrettungsverfahren

Mittels Phasenlösung und Differentialverfahren sind Genauigkeiten bis in den Dezimeter-Bereich zu erzielen. Die Signale werden an sieben Tagen pro Woche rund um die Uhr gesendet. Unterstützung durch das Kontrollzentrum steht an Werktagen in der Zeit von 09:00 bis 17:00 Uhr zur Verfügung.

www.sea-gate.de

Holm Dietz ist SEA GATE-Projektmanager bei EADS RST, Rostock System Technik GmbH.

Rainer Sasum ist technischer Angestellter bei EADS RST, Rostock System Technik GmbH.

Basically, all user groups may benefit from Galileo signals transmitted in the agreed operating mode free of charge. The use of scenarios and modes that do not conform to standard configurations as well as the provision of receiving equipment and software modules are chargeable.

SEA GATE offers an ideal test environment for the following scenarios:

- *Nautical navigation solutions*
- *Port-oriented traffic guidance systems*
- *Support of transshipment processes from one carrier to another (ship-to-rail, ship-to-road)*
- *Transport and logistical solutions for tracking valuable goods precisely*
- *Sea rescue methods*

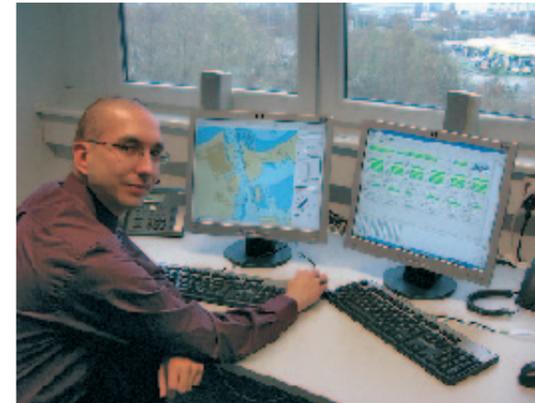
Phase solutions and differential methods permit pinpointing objects to a few decimeters. Signals are transmitted seven days a week around the clock. On workdays, the control center is available for support from 9 a.m. to 5 p.m.

www.sea-gate.eu

Holm Dietz is project manager for SEA GATE at EADS RST, Rostock System Technik GmbH.

Rainer Sasum is a laboratory assistant at EADS RST, Rostock System Technik GmbH.

Technische Besonderheiten Leistungsparameter SEA GATE	Technical Highlights Performance Parameters SEA GATE
abgedeckte Fläche: circa 20 Quadratkilometer	Covered Area: circa 20 square kilometers
Positionsgenauigkeit: Standardmodus: 4 Meter (wie Galileo) Unter Hinzunahme von Korrekturdaten der Referenzstation und GPS: 0,5 Meter und besser	Positioning Accuracy: Standard mode: 4 meters (see Galileo) Inclusion of SEA GATE reference station data: 0.5 meters and better
Frequenzen: E1, E5a, E5b, E6 (Einfrequenzbetrieb)	Frequencies: E1, E5a, E5b, E6 (single frequency mode)
Neun Pseudolites	Nine Pseudolites



SEA GATE Monitor- und Kontrollstation (RST)
 SEA GATE Monitor and Control Station (RST)



aviationGATE (Braunschweig)

Die Galileo-Testumgebung für Flugverkehr

Von **Benedikt von Wulfen**
und **Ulf Bestmann**

Das Satelliten-Navigationssystem Galileo bietet ein großes Potenzial für die zivile Luftfahrt. Es verspricht Fortschritte in sicherheitskritischen Anwendungen wie zum Beispiel bei satellitengestütztem Landeanflug und bei Flugführungsverfahren. Aus diesem Grund entsteht am Forschungsflughafen Braunschweig ein Testgelände mit dem Namen aviationGATE, das die frühzeitige Entwicklung und Erprobung entsprechender Technologien ermöglicht, die bereits Gegenstand laufender Forschungsvorhaben sind.

Der Aufbau des aviationGATE erfolgte durch das Institut für Flugführung (IFF) der Technischen Universität Braunschweig mit einer abschließenden Inbetriebnahme und Flugversuchen Ende 2010 im Rahmen des Fördervorhabens „UniTaS IV“.

Bei einem Flug werden drei Phasen unterschieden, in denen unterschiedliche Anforderungen an Positionierung und Navigation gestellt werden: Reiseflug, An- und Abflug mit Start und Landung sowie das Rollen auf dem Boden.

aviationGATE (Braunschweig)

The Galileo Test Environment for Air Transportation

By **Benedikt von Wulfen**
and **Ulf Bestmann**

The Galileo satellite navigation system has a great potential in civilian aviation. It promises progress in safety-relevant applications such as, for example, satellite-assisted approach and flight guidance. For this reason, a test range called aviationGATE has been set up at the Braunschweig research airport to enable related technologies to be developed and tested at an early time which is subject of ongoing research projects.

The aviationGATE has been built by the Institute of Flight Guidance (IFF) at Braunschweig Technical University as part of the funded project "UniTaS IV" and finished with airborne tests end of 2010.

In flight, we distinguish three phases in which positioning and navigation systems have to comply with different requirements: cruising, approach/landing including takeoff/ ascent, and taxiing.

Das aviationGATE ermöglicht mit einer Ausdehnung von 5.500 Quadratkilometern und einem Durchmesser von bis zu 100 Kilometern einen Empfang von realitätsgetreuen Galileo-Signalen während eines kompletten Anflugs auf den Flughafen Braunschweig. Die Umgebung lässt durch ihre abwechslungsreiche Topologie verschiedenste Testszenarien zu. Das direkte Umfeld des Flughafens sowie der nördliche Bereich sind ebenes Gelände, während zum Westen im Deister und zum Süden im beginnenden Harz Höhenunterschiede auftreten.

Insgesamt versorgen neun Pseudolites (siehe Box auf Seite 15) das gesamte Gebiet mit Signalen. Im Braunschweiger Umland befinden sich vier Pseudolites auf Erhöhungen wie dem Harz oder Elm. Weitere vier umranden das Flughafengelände. Der letzte Pseudolite deckt, zentral aufgestellt, beide Gebiete ab. Durch eine Aufteilung in einen inneren und äußeren Ring ist ein flächendeckender Empfang möglich.

Der für die Luftfahrt besonders wichtige, sicherheitskritische Bereich bei Start und Landung ist dabei von beiden Ringen abgedeckt. Dies sorgt für eine erhöhte Ausfallsicherheit. Für die Positionierung und Navigation auf dem Rollfeld wird hingegen vorwiegend der innere Pseudolite-Ring genutzt. Durch eine gleichmäßige Verteilung der Pseudolites werden geometrische Ungenauigkeiten minimiert.

Im aviationGATE werden die beiden Frequenzbänder E1 und E5 wie beim späteren Galileo-System genutzt. Im E5-Band werden Navigationsnachrichten parallel in den Unterbändern E5a und E5b versendet. Die dadurch entstehenden drei unterschiedlichen Navigationsnachrichten können zeitgleich ausgewertet werden und erlauben eine hochgenaue, fehlerkorrigierte und sichere Positionierung. Ebenso steht es einem Nutzer frei, einzelne Signale gezielt zu verstimmen, um Fehler zu simulieren.

Measuring 5,500 square kilometers in extent and up to 100 kilometers across, aviationGATE enables planes to receive "genuine" Galileo signals during their entire approach to Braunschweig Airport. The variable topology of the environment permits enacting a variety of test scenarios. The immediate vicinity of the airport as well as the area to the north consist of level ground, whereas elevations begin to vary in the Deister area towards the west and in the foothills of the Harz mountains towards the south.

A total of nine pseudolites (see box on page 15) provide the complete testbed with signals. In the environs of Braunschweig, four pseudolites are mounted on elevations like the Harz and the Elm. Another four surround the airport itself. Mounted in a central location, the ninth pseudolite covers both these sections. This subdivision into an inner and an outer ring ensures that signals can be received in the entire area.

Being especially important for aviation in general and safety in particular, the take-off and landing section is covered by both rings, which makes for enhanced fail safety. Conversely, positioning and navigation on the apron is served mainly by the inner pseudolite ring. Because pseudolites are evenly distributed, geometry-related imprecision is minimized.

The aviationGATE uses the E1 and E5 frequency bands that the Galileo system will be working with later. On the E5 band, navigation messages are transmitted in parallel on the E5a and E5b sub-bands so that three different messages are sent at the same time. Their simultaneous evaluation yields a position result that is highly precise, corrected for errors and secure. In addition it is open to any user to detune single signals to simulate errors.



Galileo-Testumgebung am
Forschungsflughafen Braunschweig
(IFF, TU Braunschweig)
Galileo testbed at Braunschweig
research airport (IFF, TU Braunschweig)

Die Systemarchitektur des aviationGATE ist modular aufgebaut. So können bei Bedarf Pseudolites hinzugefügt oder weitere Frequenzen wie E6 eingebunden werden. Auch eine Erweiterung unter Einbindung von nicht Galileo-artigen Pseudolites ist möglich. Somit bildet das aviationGATE eine offene Forschungsplattform. Mit der Fertigstellung und Inbetriebnahme des aviationGATE Ende 2010 steht diese Testumgebung nun als Forschungsinfrastruktur auch Dritten zur Verfügung. Der Betrieb des aviationGATEs und die ausgesendeten Signale werden für die jeweiligen Versuche angepasst oder es können bereits getestete Standardszenarien gewählt werden. Dem Nutzer steht darüber hinaus ein umfangreich ausgestattetes Galileo-Labor zur Verfügung, das unter anderem einen GNSS-Konstellationsgenerator bietet.

Für die Luftfahrt ist insbesondere die Kopplung unterschiedlicher Positionierungstechnologien von Bedeutung. Die dadurch erzielte Verbesserung von Integrität und Genauigkeit ist für die zukünftige zivile Luftfahrt ein unverzichtbarer Bestandteil. Um solche Verfahren entwickeln und testen zu können, existieren am aviationGATE durch lokale Installationen anderer Ortungssysteme verschiedenste Referenzsysteme.

As the architecture of the aviationGATE system is modular, pseudolites or other frequencies like E6 may be added as required. It even permits integrating pseudolites that are not of the Galileo type. Thus, aviationGATE is in fact an open research platform. By finishing the setup and putting the aviationGATE end of 2010 into operation, its now open for third parties as a research platform. The mode of operation as well as the emitted signals are adapted to studies conducted or already tested scenarios can be chosen. The user is granted access to a fully equipped Galileo laboratory, including a GNSS Constellation Generator.

In the future, the combined use of different positioning technologies will be of great importance in civil aviation. The resultant improvements in integrity and precision will be indispensable. To facilitate developing and testing such methods, a wide variety of other positioning systems have been locally installed in aviationGATE for reference purposes.

Das Institut für Flugführung der TU Braunschweig stellt Versuchsflüge und -fahrzeuge mit vielfältigen Kommunikations- und Navigationssystemen sowie umfangreicher Messtechnik zur Verfügung. So ist die institutseigene Dornier 128-6 (D-IBUF) ausgestattet mit Echtzeit-Flugmesstechnik und Datenerfassung, verschiedenen Empfängern (Satelliten-Navigation, ADS-B, Multimode), Luft-Boden-Telemetrie sowie diverser Sensorik (Inertialnavigationssysteme, Radaraltimeter und Luftdatensensorik).

www.aviation-GATE.de

Benedikt von Wulfen ist für die PR zu aviationGATE am Institut für Flugführung an der Technischen Universität Braunschweig zuständig.

Ulf Bestmann ist Projektleiter von „UniTaS IV“ am Institut für Flugführung an der Technischen Universität Braunschweig.

The Institute of Flight Guidance at Braunschweig Technical University provides experimental aircraft and vehicles fitted with a wide variety of measuring as well as communication and navigation systems. The Dornier 128-6 (D-IBUF) aircraft owned by the institute is equipped with real-time in-flight measuring and data capture systems, various receivers (satellite navigation, ADS-B, multimode), air-to-ground telemetry and diverse sensor systems (radar altimeter, inertial navigation and air-data sensor systems).

www.aviation-GATE.de

Benedikt von Wulfen is responsible for the aviationGATE PR at the Institute of Flight Guidance of Technische Universität Braunschweig.

Ulf Bestmann is project manager of „UniTaS IV“ at the Institute of Flight Guidance of Technische Universität Braunschweig.



Galileo-Testumgebung am Forschungsflughafen Braunschweig (IFF, TU Braunschweig)
 Galileo testbed at Braunschweig research airport (IFF, TU Braunschweig)

Technische Besonderheiten Leistungsparameter aviationGATE	Technical Highlights Performance Parameters aviationGATE
Abgedeckte Fläche: > 5.500 Quadratkilometer	Covered Area: > 5,500 square kilometers
Positionsgenauigkeit: HDOP: 1,2 – 1,6 VDOP: < 6 – 15	Positioning Accuracy: HDOP: 1.2 – 1.6 VDOP: < 6 – 15
Frequenzen: E1, E5a, E5b (Anmerkung: Die Frequenzen E1, E5a und E5b werden simultan gesendet)	Frequencies: E1, E5a, E5b (Note: Frequencies E1, E5a and E5b are broadcasted simultaneously)
Neun Pseudolites: 4 – innerer Kreis 4 – äußerer Kreis 1 – zentrale Einheit	Nine pseudolites: 4 – inner circle 4 – outer circle 1 – central unit



railGATE (Wegberg-Wildenrath)

Galileo-Testumgebung für Schienenverkehr

Von Thomas Engelhardt, René Rütters und Björn Schäfer

Das railGATE ist ein Galileo-Testfeld für Schienenfahrzeuge und Teil des Galileo-Anwendungszentrums für bodengebundenen Verkehr (Galileo above). Es wird derzeit in der Nähe von Aachen errichtet und deckt das Streckennetz des Prüf- und Validationcenters Wegberg-Wildenrath (PCW) mit Galileo-konformen Signalen ab. Es besteht aus Gleisanlagen unterschiedlicher Spurweite mit einer Gesamtlänge von etwa 28 Kilometern. Das PCW besitzt zwei Testringe sowie Testgleise, auf denen diverse Fahrsituationen erprobt werden können. An das Oberleitungsnetz lassen sich verschiedene Spannungen und Frequenzen anlegen. So können Schienenfahrzeuge für den internationalen Markt – vom ICE bis zur Straßenbahn – getestet werden. Der Standort wird bereits heute von Universitäten und Industrie für Forschungsvorhaben intensiv genutzt. Im Gegensatz zu einer öffentlichen Eisenbahnstrecke ist es im Prüfcenter möglich, Tests ohne leit- und sicherungstechnische Einschränkungen durchzuführen. Dadurch können sowohl Fahrsituationen leicht reproduziert als auch Langzeittests durchgeführt werden.

railGATE (Wegberg-Wildenrath)

Galileo Test Environment for Rail Transportation

By Thomas Engelhardt, René Rütters and Björn Schäfer

The railGATE is a Galileo testbed for rail vehicles and belongs to the Galileo application center for ground-based transportation (Galileo above). Currently under construction in the vicinity of Aachen, it will provide Galileo conformable signals in the Test- and Validationcenter Wegberg-Wildenrath (PCW). Varying in gauge, it has a total length of about 28 kilometers. The PCW facility features two test rings as well as several tracks for investigating various real-life situations. The voltage and frequency of the power supply to the overhead wires may be varied, so that rail vehicles for the international market – from ICEs to trams – can be tested. The center is already widely used by researchers from various universities and industry. Unlike on public railroad lines, the tracks at the test center may be used for tests without guidance and/or safety restrictions. This facilitates repeating operational situations and conducting long-term tests.

Mit den Arbeiten zum Aufbau des railGATE wurde Ende 2009 begonnen. Die volle Einsatzfähigkeit wird voraussichtlich im Herbst 2011 erreicht. Dann können Galileo-Signale einem oder mehreren Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Auf der Anlage besteht die Möglichkeit, Tests im Ein-Frequenz-Betrieb auf unterschiedlichen Frequenzbändern durchzuführen. Somit ist eine Umgebung verfügbar, in der innovative Galileo-basierte Applikationen für den Schienenverkehr entwickelt werden können. Weiterhin können neuartige Galileo-Empfänger oder andere Systeme, die auf Satelliten-Navigation (Global Navigation Satellite System, GNSS) basieren, bahnspezifischen Extremsituationen ausgesetzt werden. Entsprechende Empfänger und Systeme können auf diese Weise in reproduzierbaren Situationen getestet, validiert und auf die Zulassung vorbereitet werden.

Bislang werden GNSS-Lösungen bei der Bahn vorwiegend für Fahrgastinformationssysteme und bei der Ladungsverfolgung eingesetzt. Galileo wird eine Ausweitung des Einsatzfelds von GNSS auf die Bereiche Echtzeit-Fahrzeugführung und Sicherheit ermöglichen. Das Testfeld soll zusätzliche Anreize schaffen, den Einsatz von Satelliten-Navigation im Bahnsektor zu verbreiten. Hier liefert die Infrastruktur des PCW eine hervorragende Ausgangsbasis.

Parallel zum Aufbau der Anlage werden in einem Forschungsprojekt die Möglichkeiten einer solchen Testumgebung aufgezeigt: Ein Schienenfahrzeug soll mit Hilfe der Galileo-Positionsdaten eine Zielbremsung durchführen und automatisch an ein stehendes Fahrzeug andocken. Es soll untersucht werden, inwiefern solche Herausforderungen mit Galileo zuverlässig gelöst werden können.

Construction work on railGATE began in late 2009. The site will probably be fully operational in autumn 2011 in 2011, when Galileo signals will be available to one or more users. The facility is equipped for single-frequency testing on various frequency bands. This provides an environment within which innovative Galileo-based applications can be developed for rail transportation. Furthermore, innovative Galileo receivers or other systems based on satellite navigation (Global Navigation Satellite System, GNSS) may be exposed to extreme railroad-specific situations. In this way, relevant receivers may be tested, validated and prepared for homologation in reproducible scenarios.

So far, railroad companies have been using GNSS mainly in conjunction with passenger information and cargo tracking systems. The advent of Galileo will widen the range of GNSS applications to include real-time vehicle guidance and safety. The test facility should provide additional inducements to extend the use of satellite navigation in rail transportation. The infrastructure of the PCW provides an excellent starting point for achieving this objective.

As the facility is being built, a research project demonstrates the potential of such a testbed: using Galileo positioning data, a rail vehicle brakes at a predefined point and automatically docks on to another vehicle that is static. It will be investigated, if problems of this kind can be reliably solved with Galileo.



Prüf- und Validationcenter für Schienenfahrzeuge in Wegberg-Wildenrath (oben und unten: Siemens AG)

Test and validationcenter for rail vehicles at Wegberg-Wildenrath (above and below: Siemens AG)



Rangieren von Güterzügen ist eine typische Situation, in der Satellitennavigation zur Optimierung beitragen kann (dpa picture alliance).
Shunting of freight trains is a typical situation, in which satellite navigation can contribute to optimization (dpa picture alliance).

Die technische Herausforderung dieses automatischen Positionierens ist folgende: Ein genaues mathematisches Modell der Schienenfahrzeuge muss erstellt werden, das es erlaubt, in Kombination mit bordseitiger Sensorik den Zustand des Systems „Schienenfahrzeug“ genau abzubilden. Hierzu ist eine umfassende Sensorik zum Beispiel zur Messung der Beschleunigung, des Radimpulses und des Abstands notwendig. Systembedingte Probleme dieser Sensoren sind beispielsweise Driftfehler bei einer Positionsbestimmung mit Beschleunigungssensoren und Skalenfaktorfehler bei Radimpulssensoren in Folge der Abnutzung von Radsätzen während des Betriebs.

Das railGATE bietet mit seinen Ortungsmöglichkeiten hervorragende Testbedingungen. Durch die Galileo-Ortung in Kombination mit zusätzlicher Sensorik kann die exakte Position des Fahrzeugs bestimmt werden. Mit einer genauen Absolutgeschwindigkeits- und Positionsinformation sind die Voraussetzungen geschaffen, zuverlässige Aussagen über technische Größen wie Radschlupf, Neigung des Lokkastens oder Reibbeiwert des Gleises zu treffen.

Ein Anwendungsbeispiel ist der Zugbildungsassistent, der den Lokrangierführer beim Umsetzen von Wagen innerhalb einer Rangieranlage unterstützt. Die Kenntnis der Position im Testgebiet erlaubt in Verbindung mit einem digitalen Streckenatlas, die Gleisbelegung zu dokumentieren. Automatische Zielbremsungen der Rangierlokomotive auf stehende Wagen sind somit durchführbar.

Das Testgebiet railGATE wird unter Federführung des Instituts für Regelungstechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH) errichtet. Weitere Partner sind das Institut für Schienenfahrzeuge und Fördertechnik sowie die Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer. Das Gesamtkonzept sieht vor, die Anlage

The technical challenge involved in automatic positioning is this: the rolling stock must be mapped in a precise mathematical model which, in combination with on-board sensor data, permits mirroring the current status of each rail vehicle system in precise detail. This calls for a comprehensive system of sensors for example to measure acceleration, wheel impulse and distance. The system-relevant problems encountered with sensors include drift errors that occur when positioning relies on acceleration sensors. In addition, scale factor errors of wheel impulse sensors might appear, caused by the gradual wear of wheels in operation.

The positioning capabilities of railGATE offer excellent test conditions. Galileo localization combined with additional sensors allows determination of a vehicle's exact position. Once reliable data about absolute velocities and positions are available, technical parameters such as wheel slippage, engine body tilt or rail friction coefficient may be defined with equal reliability.

One application is the train formation assistance software which supports shunting engineers in switching cars within a marshaling yard. Together with a digital track map, the position information permits documenting the occupation status of individual tracks. Therefore, deceleration of a shunting locomotive to stop at a standing railway car can automatically be conducted.

The construction of the railGATE test site is coordinated by the Institute of Automatic Control at RWTH Aachen University. Further partners include the Institute of Railway Systems and the Aachen Society for Innovation and Technology Transfer. According to the master concept, the facility will be handed over to an operating company after the completion of the project. The company will look after the facility's technical maintenance and act as a competence center,

nach Projektabschluss einer Betreibergesellschaft zu übergeben. Diese übernimmt die weitere technische Betreuung. Außerdem wird sie als Kompetenzzentrum etablierten Unternehmen und Start-Ups mit Informationen zu Galileo und den Testgebieten beratend zur Seite stehen.

www.railgate.de

Thomas Engelhardt ist Projektleiter für railGATE und automotiveGATE an der RWTH Aachen.

René Rütters und Björn Schäfer sind wissenschaftliche Mitarbeiter in den Galileo-Initialprojekten an der RWTH Aachen.

providing established companies as well as start-ups with information and advice about Galileo and the various test sites.

www.railgate.de

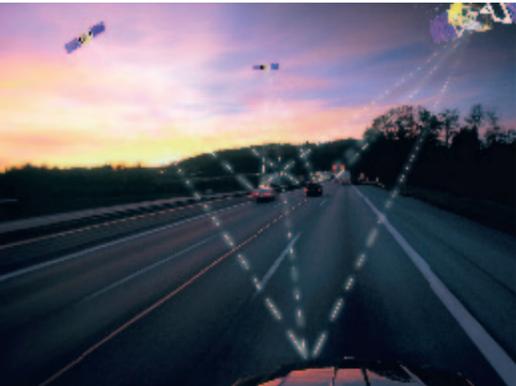
Thomas Engelhardt is project manager of railGATE and automotiveGATE at RWTH Aachen University.

René Rütters and Björn Schäfer are scientific staff members for Galileo initial projects at RWTH Aachen University.



Güterverkehr-Leitstand (dpa picture alliance)
 A freight transportation control room (dpa picture alliance)

Technische Besonderheiten Leistungsparameter railGATE	Technical Highlights Performance Parameters railGATE
Abgedeckte Fläche: circa 28 Streckenkilometer	Covered Area: circa 28 kilometers
Positionsgenauigkeit: 0,8 Meter (angestrebt)	Positioning Accuracy: 0.8 meters (target value)
Frequenzen: E1, E5a, E5b, E6 (Einfrequenzbetrieb)	Frequencies: E1, E5a, E5b, E6 (single frequency mode)
Acht Pseudolites (siehe Box auf Seite 15)	Eight pseudolites (see box on page 15)



Autoverkehr der Zukunft (ESA)
Car traffic in the future (ESA)

automotiveGATE (Aldenhoven- Siersdorf)

Galileo-Testumgebung für Autoverkehr

Von Thomas Engelhardt, René Rütters
und Alexander Katrinik

Das automotiveGATE ist Teil des Galileo-Anwendungszentrums für bodengebundenen Verkehr (Galileo above). Aus technischer Sicht ist es identisch mit dem railGATE in Wegberg-Wildenrath. Neben einer bereits vorhandenen Testautobahn werden auf dem ehemaligen Zechengelände „Emil-Mayrisch“ für das „Aldenhoven Testing Center of RWTH Aachen University“ (ATC) Verkehrsflächen für vielfältige Anwendungsmöglichkeiten errichtet. Im Jahr 2010 wurde bereits die Dynamikfläche mit Beschleunigungs- und Rückholspur des ATC fertiggestellt. Der Vollausbau des Testzentrums, der durch das Land NRW gefördert wird, beginnt 2011.

Mit dem Globalziel, die Wettbewerbsfähigkeit der Hersteller und Zulieferer von Fahrzeugen, Verkehrssystemen und -dienstleistungen nachhaltig zu stärken, soll durch automotiveGATE sichergestellt werden, dass diese frühzeitig Anwendungen für Galileo entwickeln können. Dies gilt insbesondere, wenn die sensiblen Bereiche der Echtzeitsteuerung von Verkehrsprozessen und der Sicherheit berührt werden. Deren Entwicklungspotenzial wird durch die rechtliche Basis begünstigt, die für Galileo geschaffen werden soll.

automotiveGATE (Aldenhoven- Siersdorf)

Galileo Test Environment for Road Traffic

By Thomas Engelhardt, René Rütters
and Alexander Katrinik

The automotiveGATE is part of the Galileo application center for ground-based transportation (Galileo above). Technically speaking, it is identical to the railGATE facility at Wegberg-Wildenrath. Besides its existing motorway track, several traffic areas for a great variety of testing applications are under construction on the former "Emil-Mayrisch" mining premises which will accommodate the "Aldenhoven Testing Center of RWTH Aachen University" (ATC). In 2010 the dynamic surface with acceleration and return track was completed. The completion of the testing center will be started in 2011 and is supported by the federal state of NRW.

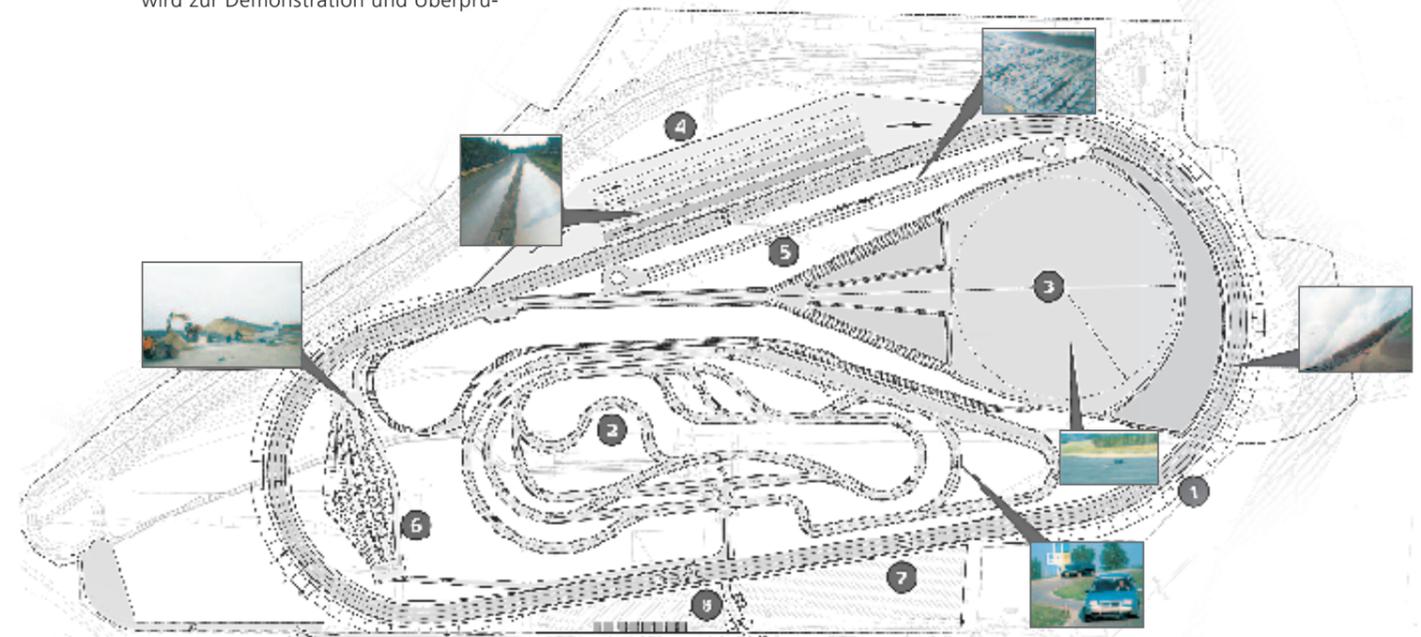
Besides the overall goal of making suppliers of vehicles, components, traffic control systems and services more competitive, the purpose of automotiveGATE is to enable them to develop Galileo applications early on. This is particularly necessary when sensitive technology is concerned, such as the control of traffic processes and safety applications in real time. Their development potential is favored by the legal basis on which Galileo will be founded on.

Der Trend in der Automobilindustrie entwickelt sich von passiven Sicherheitssystemen (beispielsweise zur Abmilderung von Unfallfolgen) hin zu aktiven Systemen. Diesen wird Zugriff auf Bremse und Lenkung gewährt, um einen Unfall zu vermeiden. Hier bietet Galileo Systemvorteile zu bisherigen Satelliten-Navigationssystemen: Bei Galileo wird der Betrieb rechtlich gesichert sein. Zudem werden Informationen zur Signalintegrität übermittelt. Diese Vorteile liefern einen Beitrag zur Realisierung eines autonom fahrenden Automobils.

Viele Verkehrsunfälle sind Fahrzeug-Fahrzeug-Kollisionen, welche häufig durch Unachtsamkeit oder unangepasste Fahrweise hervorgerufen werden. Deshalb wird zur Demonstration und Überprüfung

In the automotive industry the overall trend for security systems moves from passive systems (mitigating the effects of accidents, for example) to active solutions. Here, the system is allowed access to brakes and steering functions and can avoid collisions in the first place. This is where Galileo has an intrinsic advantage over satellite navigation systems so far in use: Its services are to be legally guaranteed. Moreover, it will transmit signal integrity information, thus making it a major contribution towards the realization of the autonomous car.

Many traffic accidents are collisions between vehicles and are frequently caused by lack of attention, or inappropriate



Aldenhoven Testing Center der RWTH Aachen, schematische Darstellung (Tilke GmbH & Co. KG)

Aldenhoven Testing Center of RWTH Aachen University, schematic delineation (Tilke GmbH & Co. KG)

- 1 Ovalbahn
Oval track
- 2 Handlingkurs
Handling track
- 3 Dynamikfläche
Dynamic surface
- 4 Bremsstrecke
Braking track
- 5 Schlechtwegstrecke
Rough-road track
- 6 Steigungshügel
Inclination hill
- 7 Betriebsfläche
Plant area
- 8 Betriebsgebäude
Plant building

Grundstücksgrenze Property line

fung des automotiveGATE ein Kollisionsvermeidungsassistent erforscht. Der Assistent soll den Fahrer warnen, wenn eine gefährliche Situation zu erwarten ist, und dann gegebenenfalls korrigierend in Lenkung und Bremse eingreifen.

Bisher prototypisch realisierte Systeme beruhen dabei jedoch lediglich auf bordautonomer Sensorik wie Kamera- und Radarsystemen, die das Fahrzeugumfeld auf potenzielle Kollisionsgefahren hin sondieren. Die Funktionsfähigkeit der verwendeten Sensorik unter verschiedensten Umgebungsbedingungen und ihr begrenzter Erfassungsbereich erfordern jedoch enormen Aufwand, um eine zuverlässige Erkennung von Hindernissen sicherzustellen.

Bei automotiveGATE werden zwei Versuchsträger neben der erforderlichen Sensorik und Aktuatorik mit entsprechenden Galileo-Empfängern und einem Car-to-Car-Kommunikationssystem ausgerüstet. Insbesondere Ausweichmanöver können dadurch mit Fremdfahrzeugen abgestimmt werden. Der Kollisionsvermeidungsassistent warnt frühzeitig bei einem drohenden Zusammenstoß. Er reagiert autonom, wenn der Fahrer nicht eingreift, um einen Unfall zu verhindern. Hierzu leitet er entweder eine Notbremsung ein oder weicht dem entgegenkommenden Fahrzeug durch Eingriff in das Lenksystem automatisch aus.

Im Verlauf des Projekts werden die technischen Parameter der Versuchsfahrzeuge identifiziert, um typische Gefahrensituationen möglichst genau mathematisch bewerten zu können. Im letzten Schritt sollen Prototypen demonstrieren, wie auf

driving. This is why a collision avoidance assistant is currently being developed. The assistant is to warn the driver when a hazardous situation is imminent, and then intervene in the steering and braking function if necessary.

Earlier prototypical assistant systems were merely based on autonomous on-board technology such as camera and radar systems designed to monitor the vehicle's environment for possible collision hazards. The difficulty of making these sensors function under a wide range of ambient conditions and their limited functional scope make it an enormously complex and costly effort to guarantee a reliable detection of obstacles.

The automotiveGATE project uses two test vehicles carrying the necessary sensor and actuator technology, the required Galileo receivers as well as a car-to-car communication device to coordinate collision-avoidance maneuvers with other vehicles. The collision-avoidance assistant warns in time in case of an upcoming accident. Unless the driver intervenes, it responds autonomously to prevent a crash. It will either trigger the emergency braking function, or steer clear of the oncoming vehicle by means of an automatic steering intervention.

In the course of the project, all test vehicle parameters are recorded so that typical hazards can be modeled mathematically as accurately as possible. As a last step, prototypes will be used to

Basis der Galileo-Ortungsinformation Zusammenstöße mit ortsfesten und sich bewegenden Hindernissen vermieden werden können.

Federführend am Aufbau des Testgebiets beteiligt ist das Institut für Regelungstechnik der RWTH Aachen, unterstützt durch das Institut für Kraftfahrwesen und die Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer. Ebenso wie das railGATE in Wildenrath soll das automotiveGATE an eine Betreibergesellschaft übergeben werden. Diese wird den Betrieb der Testumgebung sicherstellen und die Vorteile von Galileo im bodengebundenen Verkehr öffentlichkeitswirksam darstellen.

www.automotivegate.de

Thomas Engelhardt ist Projektleiter für railGATE und automotiveGATE an der RWTH Aachen.

René Rütters und **Alexander Katrieniok** sind wissenschaftliche Mitarbeiter in den Galileo-Initialprojekten an der RWTH Aachen.

demonstrate how collisions with static and moving obstacles can be successfully avoided based on Galileo localization data.

The leading institute responsible for the construction of the test facility is RWTH Aachen's Institute of Automatic Control, with the support of the Institute of Automotive Engineering and the Aachen Society for Innovation and Technology Transfer. Like railGATE in Wildenrath, automotiveGATE is to be handed over to an operating company, which will ensure the operation of the testbed and effectively highlight the benefits of Galileo in ground-based transportation applications on the public media.

www.automotivegate.de

Thomas Engelhardt is project manager of railGATE and automotiveGATE at RWTH Aachen University.

René Rütters and **Alexander Katrieniok** are scientific staff members for Galileo initial projects at RWTH Aachen University.



Aldenhoven Testing Center der RWTH Aachen (Tilke GmbH & Co. KG)
 Aldenhoven Testing Center of RWTH Aachen University (Tilke GmbH & Co. KG)

Technische Besonderheiten Leistungsparameter automotiveGATE	Technical Highlights Performance Parameters automotiveGATE
Abgedeckte Fläche: circa 50 Hektar	Covered Area: circa 50 hectare
Positionsgenauigkeit: 0,8 Meter (angestrebt)	Positioning Accuracy: 0.8 meters (target value)
Frequenzen: E1, E5a, E5b, E6 (Einfrequenzbetrieb)	Frequencies: E1, E5a, E5b, E6 (single frequency mode)
Sechs Pseudolites (siehe Box auf Seite 15)	Six pseudolites (see box on page 15)



Voraussichtlich 2014 einsatzbereit: das europäische Satelliten-Navigationssystem Galileo (dpa picture alliance)

Estimated operational readiness in 2014: the European satellite navigation system Galileo (dpa picture alliance)



Auch die Rettung von Verschütteten, zum Beispiel nach einem Lawinenabgang, kann durch Galileo erleichtert werden (dpa picture alliance).

The rescue of entombed people, after an avalanche for example, can also be made easier using Galileo (dpa picture alliance).

Die deutschen Galileo-Testfelder

Einzigartige Unterstützung zur Entwicklung von Navigationstechnologien

Der Offene Dienst von Galileo wird global voraussichtlich 2014 Realität. Dann wird das europäische Satelliten-Navigationssystem die Grenzen für Navigationsanwendungen erweitern und das Tor zur Erschließung neuer Märkte aufstoßen. Wer sich bereits heute darauf vorbereiten will, findet mit den deutschen Testgebieten einzigartige Möglichkeiten zur Entwicklung konkurrenzfähiger Produkte und zur Erprobung cleverer Innovationen.

Von Galileo profitieren insbesondere jene sicherheitskritischen Bereiche, für die eine garantierte Signalgenauigkeit, wie Galileo sie bieten wird, von entscheidender Bedeutung ist: Dies trifft auf die Luftfahrt im Allgemeinen und die Flughäfen im Speziellen zu. Präzisionslandeanflüge auch bei widrigsten Sichtbedingungen sind auf Basis der heute aktuell verfügbaren Satelliten-Navigationssysteme noch nicht zugelassen.

Mit Galileo wird sich dies in naher Zukunft ändern. Im Flughafenumfeld kommt der Positionsüberwachung von Fahrzeugen auf dem Vor- und Rollfeld eine besondere Bedeutung zu. Mit Hilfe der von Galileo gebotenen Dienste kann zum Beispiel die Einfahrt von Tankfahrzeugen in definierte Sperrzonen zuverlässig und genau erkannt werden. Der Fahrer kann so frühzeitig gewarnt werden. Notfalls kann auch eine automatische Motorabschaltung erfolgen.

German Galileo Test Environments

Unique support for developing Navigation Technologies

Galileo's Open Service will presumably become available on a global scale in 2014. At that time, the European satellite navigation system will widen the scope of navigation applications and open the door to the development of new markets. Those who wish to get ready for this today will find that the German testbeds offer unique opportunities for developing competitive products and testing clever innovations.

The sectors that stand to benefit from Galileo include all those safety-relevant fields, such as aviation in general and airports in particular, where the guaranteed signal precision which Galileo will be offering is of crucial importance. The satellite navigation systems that are available today do not permit precision approaches in extremely bad visibility.

The advent of Galileo will change all that in the near future. In the environment of an airport, monitoring the position of vehicles on the apron and runway is of special importance. Thus, for example, the services offered by Galileo permit identifying reliably and precisely any tank truck that is about to enter a no-go zone so that the driver can be warned in good time. In an emergency, the truck's engine may even be turned off automatically.

Der Nutzen von Galileo für die Luftfahrt in Form von Präzisionslandeanflügen lässt sich auf die Seeschifffahrt für automatisierte Andockmanöver übertragen. Selbst bei Nacht und Nebel werden Schiffe künftig zügig am Kai anlegen können, ohne dass dabei die Sicherheit zu kurz kommt.

Auch für das Rettungswesen ergeben sich speziell durch den geplanten „Search and Rescue“-Dienst (SAR) Einsatzmöglichkeiten von Galileo: Nach Unglücksfällen wie Lawinenabgängen oder Erdbeben ist der Zeitraum von der ersten Meldung des Unglücks bis zur Bergung eines Verschütteten für dessen Überleben entscheidend. Mit Hilfe des Galileo-SAR-Dienstes kann eine Unglücksmeldung beinahe in Echtzeit an eine Notfallzentrale in der Nähe des Unglücksortes weitergegeben werden. Der Safety-of-Life-Dienst (SoL) kann dann die Rettungsmannschaften mit zielgenauer Führung zu georteten Verschütteten navigieren und somit dazu beitragen, die Zeit von der ersten Meldung bis zur Bergung weiter zu verringern. Gegenüber derzeitigen Verfahren wird dadurch die Überlebensrate von Personen erhöht, die durch eine Lawine oder ein Erdbeben verschüttet wurden.

Im alltäglichen Leben macht Galileo durch garantierte Signalintegrität in Verbindung mit gesteigerter Positionierungsgenauigkeit das spurgenaue und autonome Führen von Fahrzeugen möglich. Die Anzahl an Verkehrsunfällen mit schwerwiegenden Folgen kann dadurch deutlich reduziert werden.

The benefit afforded to aviation by the precision approaches facilitated by Galileo is analogous to that offered by automated docking maneuvers in navigation: even in a foggy night, ships will be able in the future to dock without undue delay and without neglecting any aspect of safety.

Rescue workers especially will be able to make use of the Search and Rescue (SAR) service that is planned for Galileo. After snowslides or earthquakes, the time span between the first report of the disaster and the rescue of persons buried in snow or rubble is crucial for their survival. Galileo's SAR service will forward accident reports to emergency centers in the vicinity of the site almost in real time. By guiding rescue teams precisely to the sites where persons are buried, the Safety-of-Life service (SoL) may cut down the time between the first report and the rescue even further. Compared to current methods, this enables more persons to survive which had been buried by an avalanche or earthquake.

In daily life, Galileo's guaranteed signal integrity and enhanced positioning precision provide lateral and autonomous guidance for motor vehicles. This will considerably reduce the number of road accidents that entail grave consequences.



Anwendungsbeispiel für Galileo-Services: Notfall-Ambulanz

Galileo services example of use: emergency ambulance



Galileo-Testsatellit Giove-B (ESA)
Galileo test satellite Giove-B (ESA)

In diesem Zusammenhang wird bereits heute an der Entwicklung von Zukunftstechnologien und cleveren Verfahren intensiv geforscht. Da Navigationstechnologien in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen werden, ist es wichtig, dass alle Teile unserer Gesellschaft die sich daraus ergebenden Vorteile nutzen können.

Mit Galileo wird ein Satelliten-Navigationssystem der nächsten Generation eingeführt. Galileo verstärkt somit auch den Druck auf die Betreiber derzeit verfügbarer Systeme, eine technologische Modernisierung zu beginnen. Da die Galileo-Signale auch mit GPS-Signalen kombiniert werden können, erhöht sich die Anzahl der empfangbaren Satellitensignale. Gleichzeitig wird dadurch auch die Positionsgenauigkeit verbessert. Durch die Besonderheiten von Galileo wie zum Beispiel die garantierte Signalintegrität lassen sich zusätzliche Einsatz- und Anwendungsfelder eröffnen.

Hierdurch können weltweit neue Arbeitsplätze in der Produktion und in der Dienstleistungsbranche geschaffen werden. Die GATEs in Deutschland tragen maßgeblich dazu bei, bereits heute die Navigationstechnologien von morgen entwickeln zu können.

Even today, much intense research is concerned with the development of future technologies and smart methods. As the importance of navigation technologies will continue growing in the future, all segments of our society should benefit from the resultant advantages.

Belonging to the next generation of satellite navigation systems, Galileo is also increasing the pressure on the operators of currently available systems to begin modernizing their technology. For Galileo signals can be combined with GPS signals, the number of receivable satellite signals increases. Simultaneously, the positioning accuracy also improves. Thanks to its outstanding characteristics, such as guaranteed signal integrity, Galileo opens up additional fields of application.

This, in turn, will lead to the creation of new jobs all over the world in the production and in the service industry. The GATEs in Germany significantly assist engineers in developing tomorrow's navigation technologies today.

GATEs: Galileo Test- und Entwicklungsumgebungen in Deutschland GATEs: Galileo Test and Development Environments in Germany

Liste der Ansprechpartner List of contact persons

GATE

IFEN GmbH
Alte Gruber Straße 6, 85586 Poing
Dr. Günter Heinrichs
Tel.: +49 (0)8121 2238-20
Fax: +49 (0)8121 2238-11
E-Mail: g.heinrichs@ifen.com

Erwin Löhnert
+49 (0)8121 2238-17
+49 (0)8121 2238-11
e.loehnert@ifen.com



SEA GATE RST

EADS, Rostock System-Technik GmbH
Friedrich-Barnewitz-Straße 9, 18119 Rostock
Holm Dietz
Tel.: +49 (0)381 56-406
Fax: +49 (0)381 56-308
E-Mail: h.dietz@rst-rostock.de

Rainer Sasum
+49 (0)381 56-488
+49 (0)381 56-202
r.sasum@rst-rostock.de



aviationGATE

Technische Universität Braunschweig, Institut für Flugführung
Hermann-Blenk-Str. 27, 38108 Braunschweig
Ulf Bestmann
Tel.: +49 (0)531 39 198-15
Fax: +49 (0)531 39 198-04
E-Mail: u.bestmann@tu-bs.de

Benedikt von Wulfen
+49 (0)531 39 198-23
+49 (0)531 39 198-04
b.vonwulfen@tu-bs.de



automotiveGATE / railGATE

RWTH Aachen, Institut für Regelungstechnik
Steinbachstr. 54, 52074 Aachen
Thomas Engelhardt
Tel.: +49 (0)241 80 280-31
Fax: +49 (0)241 80 222-96
E-Mail: t.engelhardt@irt.rwth-aachen.de

René Rütters
+49 (0)241 80-2748
+49 (0)241 80-22296
r.ruetters@irt.rwth-aachen.de



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

DLR Raumfahrt-Management, DLR Space Administration
Königswinterer Str. 522-524, 53227 Bonn
Dr. Oliver Funke
Tel.: +49 (0)228 447-485
Fax: +49 (0)228 447-703
E-Mail: oliver.funke@dlr.de

Michael Müller
+49 (0)228 447-385
+49 (0)228 447-386
m.mueller@dlr.de

www.DLR.de/rd/GATEs

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Management im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

DLR at a Glance

DLR is Germany's national research centre for aeronautics and space. Its extensive research and development work in Aeronautics, Space, Energy, Transport and Security is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's Space Administration, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space programme by the German federal government as well as for the international representation of German interests. Furthermore, Germany's largest project management agency is also part of DLR.

Approximately 6,700 people are employed at thirteen locations in Germany: Cologne (headquarters), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.

Gefördert vom
Funded by



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen
Bundestages.

*based on a decision of the German Federal
Parliament.*



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

German Aerospace Center

**Raumfahrt-Management
Space Administration**

Bonn-Oberkassel
Königswinterer Straße 522–524
53227 Bonn
Germany

www.DLR.de