

Das europäische Satelliten- navigationssystem Galileo in der Entwicklungsphase



Von Bärbel Deisting, München

GALILEO, ein Name, der bis in die heutige Zeit hineinwirkt. Nicht nur durch Galileo Galilei, der mit seinen Untersuchungen zur Fall- und Wurfbewegung die moderne Kinematik begründete und dessen Prinzip in der Geodäsie heute für die hochpräzise Bestimmung der Schwere genutzt wird. Sondern auch ein Name, der zum Begriff für Satellitennavigation in Europa wird, denn im Februar 1999 beschloss die Europäische Kommission den Aufbau eines europäischen Satellitennavigationssystems namens Galileo. Im März 2002 hat der europäische Verkehrsministerrat nun den Start für die Entwicklungs- und Validierungsphase freigegeben. Im folgenden Artikel wird auf die aus dem Beschluss vom 26. März 2002 resultierenden Ereignisse eingegangen sowie die Bedeutung von Galileo für die Region München dargelegt.

Die Entwicklungsphase

Der Startschuss zur Entwicklungsphase von Galileo fiel mit der Entscheidung des Rates der Verkehrsminister im März 2002. Nachdem die Definitionsphase abgeschlossen war, hatte der Rat der Verkehrsminister auf seiner Sitzung am 26. März 2002 die für die Entwicklungs- und Validierungsphase von Galileo noch notwendigen 450 Mio. € freigegeben. 100 Mio. € waren für die Phase B2 bereits im Jahr 2001 bewilligt worden. Des Weiteren wurde zur selben Zeit einer Verordnung zur Errichtung des gemeinsamen Unternehmens Galileo, des so genannten »Galileo Joint Undertaking (JU)«¹, zugestimmt. Der Rat forderte

¹ Die Errichtung des gemeinsamen Unternehmens stützt sich auf den »Vorschlag für eine Verordnung des Rates zur Errichtung des gemeinsamen Unternehmens Galileo« der Kommission vom 20.06.2001.

die Kommission in seinem Beschluss auf, das gemeinsame Unternehmen in Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumbehörde (ESA) unverzüglich zu errichten.

Der Zeitplan für Galileo sah nach Abschluss der Definitionsphase im Einzelnen eine Entwicklungs- und Validierungsphase von 2002–2005, eine Errichtungsphase von 2006–2007 sowie ab 2008 die kommerzielle Betriebsphase vor. Bild 1 liefert eine Übersicht über die einzelnen Phasen des Galileo-Projekts. Die Entwicklungsphase von Galileo dient der Validierung der technischen Optionen und der Schaffung sämtlicher Voraussetzungen für den raschen Aufbau der Infrastruktur, hierzu gehört auch der Start der ersten Testsatelliten. Die für diese Phase notwendigen Mittel in Höhe von 1,1 Mrd. € werden zu gleichen Teilen von der Europäischen Union und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), deren Rat ebenfalls Mittel in Höhe von 550 Mio. € bewilligte, finanziert.



Bild 1:
Galileo Zeitplan

In dem Beschluss vom März 2002 bestätigte der Rat nochmals, dass es sich bei Galileo um ein ziviles Programm handelt, das unter ziviler Kontrolle steht. Er hielt ferner fest, dass das Niedrigkosten-Szenario eingehalten werden soll, welches in jüngsten Untersuchungen vorgeschlagen worden war. Ferner wurde der Wunsch der Interoperabilität von Galileo mit bestehenden Satellitennavigationssystemen, insbesondere mit GPS sowie dessen Folgesystemen, bekräftigt. Um diesbezüglich eine Einigung mit den USA zu erzielen, sollten baldmöglichst Verhandlungen stattfinden. Die Errichtung eines Sicherheitsausschusses bis zum Ende des Jahres 2002 war ebenso Bestandteil des Beschlusses wie die Erarbeitung eines Vorschlags über die Integration von EGNOS. Über letzteres sollte ein detaillierter Vorschlag ausgearbeitet und dem Rat bis spätestens Ende 2003 vorgelegt werden. EGNOS ist ein gemeinsames Projekt der Tripartite Group (bestehend aus der Europäischen Kommission, der ESA und Eurocontrol) und

war Europas Beitrag zur ersten Phase eines weltweiten Satellitennavigationssystems (GNSS). Es wird bereits ab 2004 seinen Betrieb aufnehmen.

Im Anschluss an die Entscheidung vom März 2002 widmete sich die Kommission der Arbeit und Umsetzung der genannten Maßnahmen und Beschlüsse, um den Zeitplan, der ab 2008 den operationellen Betrieb für Galileo vorsieht, einzuhalten. So wurde ein Ausschuss eingesetzt, der für Fragen der Sicherheit im Zusammenhang mit Galileo zuständig ist. Ferner ist ein Vorschlag über die künftige Sicherheitsbehörde von Galileo in Vorbereitung, dieser soll Drittländern, wie beispielsweise den USA, als Ansprechpartner zur Verfügung stehen.

Weiterhin verfolgte die Kommission ihre Bemühungen, um in Bezug auf die Interoperabilität von GPS und Galileo ein Übereinkommen mit den Vereinigten Staaten zu erzielen. Weitere Gespräche mit den USA über noch klärungsbedürftige Punkte wurden für das Jahr 2003 geplant.

Im März 2003 wurde von der Kommission ein Vorschlag verabschiedet, der die optimale Einbindung des 1994 durch den Rat beschlossenen EGNOS in das Galileo-Programm vorsieht.

Als einer der ersten Schritte sollte die Errichtung des gemeinsamen Unternehmens Galileo sowie die Ernennung eines Direktors erfolgen. Da das Programm während der Errichtungs- und Betriebsphase von einem privaten Betreiber getragen werden soll, musste durch das gemeinsame Unternehmen eine Ausschreibung erfolgen. Diese hat die Auswahl eines Konsortiums zum Ziel, welches die Konzession zur Errichtung und zum Betrieb des Systems erhält.

Ein Jahr warten

Durch Meinungsverschiedenheiten zwischen Mitgliedsstaaten der EU innerhalb der europäischen Weltraumbehörde (ESA) über ihre finanzielle Beteiligung kam es zu einer Blockade bei der Einrichtung des gemeinsamen Unternehmens Galileo, die 10 Monate dauerte. Das europäische Parlament richtete im Mai 2003 nachdrücklich eine Aufforderung an die ESA, diese Differenzen rasch einer Lösung zuzuführen. Bereits im März 2003 wurde im Rat der europäischen Verkehrsminister eine erste Einigung zwischen Deutschland und Italien erzielt. So wird Deutschland die industrielle Leitung und den Hauptsitz von Galileo Industries übernehmen sowie die Projektverantwortung für die Herstellung

der Satelliten, das so genannte Raumsegment. Ende Mai kam es dann zu einer abschließenden Einigung. Italien, Großbritannien, Frankreich und Deutschland beteiligen sich in Höhe von jeweils 17,31%. Spanien konnte seinen Anteil, wie in den Verhandlungen gefordert, erhöhen. Nachdem diese Probleme überwunden waren, konnte im Juni 2003 das gemeinsame Unternehmen seinen Betrieb aufnehmen. In einer ersten Sitzung des Verwaltungsrates wurde dem Vorschlag der Europäischen Kommission entsprechend Rainer Grohe zum Direktor des gemeinsamen Unternehmens ernannt.

Die Gründe für den Aufbau von Galileo

Mit der Entwicklungsphase und dem tatsächlichen Aufbau von Galileo setzt die Europäische Union auf eine stärkere Unabhängigkeit von den USA und Russland. Derzeit existieren zwei Satellitennavigationssysteme: das russische GLONASS und das amerikanische GPS, welches von zahlreichen Anwendern weltweit genutzt wird. Nachdem das erstgenannte nicht mehr voll funktionsfähig ist, kommt dem amerikanischen GPS damit faktisch eine Monopolstellung zu. Durch den Aufbau von Galileo bietet sich den Nutzern nun eine echte Alternative. Wurden GPS und GLONASS unter rein militärischen Gesichtspunkten konzipiert, so stellt Galileo das erste für zivile Zwecke entwickelte System dar.

In verschiedenen Studien wurde die Rentabilität des Projekts untersucht. Eine unabhängige Schätzung über die wirtschaftliche Rentabilität des Galileoprojekts ermittelte ein Nutzen-/Kostenverhältnis von 4,6, was im Vergleich zu anderen Infrastrukturprojekten in Europa als sehr günstig anzusehen ist. Wirft man einen Blick auf die Entwicklung des GNSS Markts, so lässt sich feststellen, dass dieser in der Vergangenheit einem raschen Wachstum unterlag.

Annual Global Turnover for Satellite Navigation

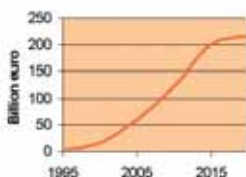


Bild 2:
Weltweiter jährlicher Umsatzerlös
für Satellitennavigation

Analysen zeigen, dass der GNSS Markt an der Schwelle einer neuen Wachstumsphase steht. Erfolgversprechend sind Anwendungen, die mit Hilfe von Galileo verbessert oder erst ermöglicht werden. Auch durch die Kombination mit anderen Technologien, wie beispielsweise der Geoinformation und Kommunikation, wird der Einsatz in unterschiedlichen Bereichen erst möglich und eröffnet ein weites Feld. Bild 3 zeigt den für das Jahr 2015 prognostizierten GNSS Markt in Europa nach Anwendungen.

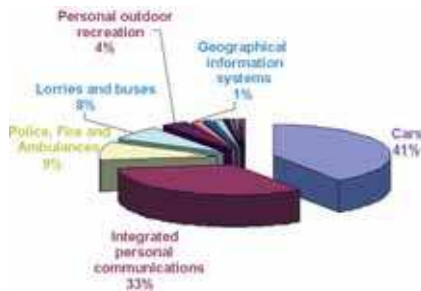


Bild 3:
Nach Anwendungen prognostizierter GNSS-Markt in Europa 2015

Bis dato war der Markt für Satellitennavigationsdienste und -produkte überwiegend von anderen Akteuren, vor allem den Vereinigten Staaten, beherrscht. Mit der Schaffung von Galileo entscheidet sich Europa nun für den Einstieg in den Hochtechnologiemarkt Satellitennavigation. Studien gehen davon aus, dass durch Galileo bis zu 140.000 Arbeitsplätze in Europa neu geschaffen werden und dass sich der durch Galileo erschlossene Markt bis 2015 auf 9 Mrd.€ beläuft.

Bei GPS auftretende Beeinträchtigungen sowie zukünftige Anforderungen an Navigationssysteme lieferten die weiteren Argumente für die Entwicklung eines eigenen Systems. Galileo wird eine Verbesserung der Leistungsparameter Genauigkeit, Verfügbarkeit und Integrität sowie Kontinuität mit sich bringen. Die von GPS gelieferte Genauigkeit schwankt je nach Ort und Zeit. Aus Sicht der Europäer ist das insbesondere im Bereich Transport unzureichend. Eine Verbesserung dieses Parameters wird vor allem durch die Satellitenkonstellation sowie das Netz der Relaisstationen auf der Erde erreicht. Die Verfügbarkeit von GPS, insbesondere in Städten und Regionen hoher geographischer Breiten wie sie im nördlichen Europa zu finden sind, ist unzuverlässig. Mit zwei Satellitenkonstellationen GPS und Galileo wird die Abdeckung in städtischen Regionen von 50 % auf 95 % erhöht.

Durch Integritätsmeldungen, die den Nutzer unmittelbar über auftretenden Fehler informieren, ist Galileo zuverlässiger als GPS. Die verbesserte Zuverlässigkeit ermöglicht nun die Abgabe von Funktionsgarantien für bestimmte Dienste. Nachdem GPS für militärische Zwecke konzipiert ist, ist es mit keiner Haftungs-erklärung oder Garantie des Betreibers ausgestattet, trotz all der Folgen die z. B. im Falle eines Flugzeugunglücks auftreten könnten.

Daher hat die Europäische Union den Aufbau des Satellitennavigationssystems Galileo in Gang gesetzt, welches durch sie kontrolliert und den ermittelten Anforderungen an Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit genügen wird.

Von Galileo angebotene Dienste und Frequenzen

Galileo wird seinen Nutzern unterschiedliche Dienste zur Verfügung stellen, die an Hand konkreter Bedürfnisse künftiger Nutzer von Galileo und Marktanalysen konzipiert wurden. Alle diese Dienste sind weltweit direkt zugänglich. Einige basieren ausschließlich auf Galileo, wohingegen andere auf einer Kombination von Galileo und anderen Systemen beruhen. Im Folgenden werden die ausschließlich auf Galileo beruhenden Dienste genannt und ihre wichtigsten Charakteristika kurz dargelegt. Die Dienste sind im Einzelnen:

- der »Offene Dienst« (Open Service, OS),
- der »Sicherheitskritische Dienst« (Safety-of-Life Service, SoL),
- der »Kommerzielle Dienst« (Commercial Service, CS),
- der »Öffentlich Regulierte Dienst« (Public Regulated Service, PRS),
- der »Such- und Rettungsdienst« (Search and Rescue Service, SAR).

Galileo wird seinen *Offenen Dienst* den Nutzern kostenlos zur Verfügung stellen. Der OS von Galileo lässt sich mit dem zivilen GPS vergleichen, er unterscheidet sich allerdings durch einen höheren Grad an Genauigkeit und Verfügbarkeit. Er wurde vor allem für Anwendungen des Massenmarkts entwickelt, die keine Garantie erfordern. Dieser Dienst kann weltweit von jedem, der mit einem geeigneten Empfänger ausgestattet ist, genutzt werden. Der Basisdienst von Galileo soll zu anderen GNSS interoperabel sein, um deren kombinierte Nutzung zu ermöglichen, d. h. die Galileo Signale können mit anderen GNSS-Systemen kombiniert werden, um damit leistungsfähigere Dienstleistungen für spezielle Anwendungen zu ermöglichen.

Der *Sicherheitskritische Dienst* bietet hinsichtlich Genauigkeit und Verfügbarkeit die gleiche Leistung wie der Offene Dienst, er wird allerdings um einen wesentlichen Parameter ergänzt: die Integrität. Diese Integritätsnachricht ermöglicht es festzustellen, ob die empfangene Satelliteninformation zuverlässig ist. Nachdem die Zielgruppe dieses Dienstes Nutzer aus dem Bereich sicherheitskritischer Anwendungen sind, bei denen eine Störung des Navigationssignals zu lebensbedrohlichen Situationen führen kann, ist eben dieser Parameter von entscheidender Wichtigkeit. Nutzer dieses Services sind beispielsweise im Bereich des See- und Luftverkehrs zu finden. Für die Kontinuität dieses Dienstes wird eine Garantie gegeben.

Der *Kommerzielle Dienst* ist für professionelle Anwendungen gedacht, deren Anforderungen durch den Offenen Dienst nicht abgedeckt werden. Der CS bietet höhere Leistungen sowie kostenpflichtige Mehrwertdienste, die den Nutzer mit zusätzlichen navigationsbezogenen Daten, z. B. Korrekturdaten, Integritätsinformationen etc., beliefern. Beispiele für solche Mehrwertdienste sind: Dienste zur Übertragung von Daten mit hohen Transferraten, exakte zeitbezogene Dienste oder auch das Angebot, lokale differenzielle Korrektursignale zur äußerst exakten Positionsbestimmung zur Verfügung zu stellen. Die übertragene Zusatzinformationen werden verschlüsselt, der Zugang zu diesem Dienst wird von kommerziellen Diensteanbietern kontrolliert, die ihrerseits eine Vereinbarung mit der Galileo-Betreibergesellschaft abschließen. Somit bietet der kommerzielle Dienst ein höheres Leistungspotential, insbesondere auch auf die Funktionsgarantien. Die Möglichkeiten, unter Verwendung der kommerziellen Signale oder einer Kombination mit anderen, neue kommerzielle Anwendungen zu entwickeln, sind zahlreich.

Mit dem öffentlich regulierten Dienst wird ein verschlüsselter und stabiler Dienst für staatliche Zwecke geschaffen. Er ist für öffentliche und strategische Anwendungen konzipiert, die unter allen Umständen, insbesondere in Krisenzeiten, eine gesicherte Verfügbarkeit benötigen. Zu den Nutzergruppen gehören beispielsweise Europol, nationale Ordnungs- und Sicherheitskräfte, wie Polizei, Zoll und Feuerwehr. Die Nutzerregulierung (Nutzungsrechte sowie spezifische Empfänger) erfolgt durch zwischenstaatliche Vereinbarungen der Sicherheitsbehörden. Der Zugang zu diesem verschlüsselten Dienst wird durch zivile Stellen kontrolliert. Im Gegensatz zu den CS und SoL wird dieser Service unabhängig von den anderen gestaltet. Die Auswahl der Frequenzen sowie eine Verschlüsselung des Signals und der zu übertragenden Navigationsdaten soll eine Absicherung gegen Störungen jedweder Art gewährleisten.

Der Such- und Rettungsdienst (»Search and Rescue«- Service – SAR) soll dazu beitragen, bestehende Dienste zu verbessern. Er ist kompatibel mit dem bestehenden Cospas-Sarsat-System. Der SAR/Galileo leitet weltweit das von Notsignalsendern empfangene Signal weiter und wird dazu beitragen, die Leistungsfähigkeit des internationalen Cospas-Sarsat Such- und Rettungsdienstes zu verbessern. Die durch Galileo erzielten Verbesserungen betreffen beispielsweise die Verkürzung der Übertragungsdauer der Notsignale an jedem beliebigen Punkt der Erde sowie eine genaue Ortsangabe des Notrufs. So kann die derzeitige Übermittlungsdauer von bis zu einer Stunde nahezu auf Echtzeit-Empfang verbessert werden. Ferner wird der Empfang des Notrufs über mehrere Satelliten sichergestellt, um damit eine Blockade eines einzelnen Signals zu kompensieren.

Die SAR-Transponder der Galileo-Satelliten entdecken jedes über einen Cospas-Sarsat-Sender abgeschickte Notsignal, welches über das 406-406.1 MHz-Band abgesetzt wird. Dieses wird an spezielle Bodenstationen (MEOLUT) im 1544 MHz-Band übertragen und an die Mission Control Centres (MCC) von Cospas-Sarsat weitergeleitet. Diese ermitteln die Position des Notrufsenders und leiten sie an die jeweiligen Notruf- und Rettungszentralen weiter. Die Rettungszentralen ihrerseits veranlassen die Rettungsaktivitäten. Durch Galileo wird eine »Zwei Wege«-Verbindung möglich, d.h. die Rettungsteams werden in die Lage versetzt, dem Betroffenen mitzuteilen, dass sein Notruf empfangen wurde und Hilfe unterwegs ist. Diese Antwortnachricht wird an das MCC von Cospas-Sarsat geliefert und über einen Serviceprovider, die Galileo-Uplink Station und den Galileo-Satellit im L1-Band an den Notrufsender übermittelt.



Bild 4:
Der Such- und
Rettungsdienst
(SAR)

Galileo wird die soeben beschriebenen unterschiedlichen Dienste zur Verfügung stellen. Ein wesentliches Merkmal von Galileo ist die Integrität, durch welche die Vergabe der Sicherheitsgarantien innerhalb der verschiedenen Dienste sowie die Unterstützung sicherheitskritischer Anwendungen erst ermöglicht wird. Im Falle eines Systemfehlers muss der Nutzer innerhalb einer bestimmten Zeitspanne gewarnt werden. So ist beispielsweise in der zivilen Luftfahrt zwingend vorgeschrieben, dass in bestimmten Flugphasen zwischen der Feststellung einer Anomalie und dem Empfang der entsprechenden Warnung durch den Nutzer höchstens 6 Sekunden liegen dürfen. Die Warnung, ob die vorhergesagte Signal in Space Accuracy (SISA) innerhalb eines bestimmten Bereichs liegt und somit verwendbar ist, wird in Echtzeit mittels des Integrity-Flags innerhalb des Navigationssignals an den Nutzer übermittelt. Die SISA sagt den Fehler bezogen auf die Satellitenephemeriden und die Uhren voraus. Der Integritätsprozess verifiziert in Echtzeit, dass die SISA den Fehler korrekt vorherbestimmt hat. Diese Überprüfung wird durch so genannte Integrity Processing Facilities (IPF) vorgenommen, welche Bestandteil der Galileo Kontrollzentren sind. Die IPFs erhalten jede Sekunde Messungen der Galileo Sensor Stationen und schätzen für jeden Galileo-Satelliten seinen momentanen Signal in Space Error (SISE). Dieser wird anschließend mit der zuletzt gesendeten SISA verglichen, im Falle eines Fehlers wird der Integritätsflag mit der Warnung erzeugt.

Für die zukünftige Abwicklung des Programms war es notwendig, die Liste der eben beschriebenen Dienste, deren Leistung (Qualität) sowie deren technische Merkmale fertig zu stellen, da diese für die technische Spezifikation des Systems (Konzeption der Satelliten, des Frequenzplans, etc.) und die gesamte Entwicklungsphase maßgebend sind. Daher sollten diese auch vor Beginn der ersten Ausschreibung bekannt sein. Im Folgenden wird nun ein kurzer Einblick über das Galileo-Raumsegment, seine Satelliten und die Frequenzen gegeben.

Galileo Frequenzen und Signale

Grundlage der soeben beschriebenen vier Navigationsdienste sowie des SAR-Service sind die Galileo-Signale. Es werden zehn Signale in drei Frequenzbändern übertragen. Diese liegen in den Frequenzbereichen 1164-1215 MHz (E5a und E5b), 1215-1300 MHz (E6) und dem Bereich von 1559-1592 MHz (E2-L1-E1). Für den SAR-Dienst ist ein elftes Signal vorgesehen, um Notfallnachrichten an die Rettungszentren des Cospas-Sarsat zu senden. Die Galileo-Signale beinhalten Ranging Codes sowie Positions- und Datenmeldungen, wie beispielsweise

Informationen der Satellitenuhren, Ephemeriden und Integritätsmeldungen. Unabhängige Integritätsnetze sollen die Integritätsmeldungen erzeugen. Ferner sollen die Datenmeldungen auch ein Genauigkeitssignal übertragen.

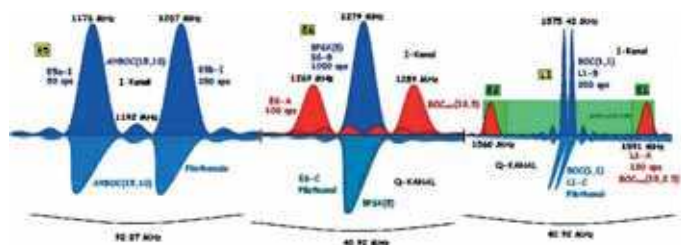


Bild 5:
Galileo
Frequenzen
und Signale

Die Signale des Offenen Dienstes liegen in den Frequenzbändern E5a, E5b und L1. Sie sind für alle Nutzer weltweit zugänglich und beinhalten hauptsächlich Navigations- und SAR-Daten. Der SoL-Dienst nutzt im Wesentlichen die gleichen Signale wie der Offene Dienst. Die SoL-Daten beinhalten hauptsächlich Integritätsinformationen und SISA²-Daten. Die zu übertragenden Integritäts-Informationen werden im L1 und E5b Band gesendet.

Für den Kommerziellen Dienst stehen die Signale des Offenen Dienstes zur Verfügung sowie zusätzlich zwei verschlüsselte Signale im E6-Band, über die Datenmeldungen und Entfernungscodes übertragen werden. Der Zugang zum CS wird den Nutzern durch die kommerziellen Serviceanbieter ermöglicht, die ihrerseits eine Lizenzvereinbarung mit der Galileo-Betreibergesellschaft abschließen.

Die Signale des PRS werden über das E6 und E2-L1-E1-Band gesendet. Durch das Senden des PRS-Signals auf zwei Frequenzen mit großer Bandbreite wird die notwendige Resistenz gegenüber Störungen erreicht.

Systemaufbau

Das Galileo-Raumsegment soll aus 30 MEO³-Satelliten bestehen, wobei pro Bahn ein aktiver Reservesatellit vorhanden ist. Aktiv daher, weil er ebenso wie

² SISA = Signal in Space Accuracy

³ MEO = Mean Earth Orbiting

die übrigen neun der Bahnebene Navigationssignale sendet. Im Falle des Ausfalls eines Satelliten übernimmt der Ersatzsatellit in der betreffenden Bahn dessen Funktion. Die Satelliten sind gleichmäßig auf drei Bahnebenen in 23.616 km Höhe mit einer Neigung der Bahnebene von 56° verteilt (vgl. Bild 6). Diese Konfiguration bezeichnet man auch als Walker 27/3/1 (+ drei Ersatzsatelliten) Konstellation. Die Satelliten benötigen für eine Erdumrundung 14 Stunden und 22 Minuten. Durch diese Konstellation ist eine weltweite Abdeckung garantiert.

Die Galileo Satelliten werden eine Größe von $2,7 \times 1,2 \times 1,1 \text{ m}^3$, ein Startgewicht von ca. 700 kg und eine Navigationsnutzlast von 70-80 kg/780 W besitzen. Die Nutzlast des Satelliten baut sich aus den Atomuhren, dem Signalgenerator mit Rechneinheit, dem Frequenzgenerator sowie dem Endverstärker und der L-Band Antenne auf. Auf jedem der Satelliten sollen als Atomuhren je zwei Rubidiumstandards mit einem Gewicht von je 3,5 kg und zwei Wasserstoff-Maser mit einem Gewicht von je 15 kg eingesetzt werden. Die Rubidiumstandards sind, verglichen mit den Wasserstoff-Masern, kleiner und billiger. Sie besitzen ausserdem mit $5 \cdot 10^{-13}$ über 100 s eine gute Kurzzeitstabilität, wohingegen die Wasserstoff-Maser mit $4,9 \cdot 10^{-15}$ über 10.000 s eine außerordentliche Langzeitstabilität aufweisen. Ferner besitzen letztere eine geringe Frequenzdrift über den Zeitraum eines Jahres.



Bild 6:
Galileo Raumsegment
(Photo: ESA)

Die Satelliten werden mit eigenen Antennen für den Such- und Rettungsdienst sowie mit einer Frequenzumwandlung und mit Sende- und Empfangseinheiten ausgestattet. Bei den Satelliten erwartet man eine Lebensdauer von 15 Jahren. Nachdem Galileo den SAR-Dienst anbietet, wird ein Transponder an Bord des Satelliten Not- und Positionssignale von SOS-Bojen und ähnlichen Geräten an Koordinierungszentren weiterleiten, die die Rettungsaktion starten.

Bei der Beförderung der Satelliten in ihre Umlaufbahn, müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. So müssen die Kosten für den Einsatz optimiert und das Einsatzrisiko vermindert werden. Des Weiteren soll das System in kurzer Zeit in den operationellen Betrieb gehen, dabei ist auch der Herstellungszeitraum der Galileosatelliten in Betracht zu ziehen. Den genannten Aspekten muss bei einer Entscheidung nach der Art der Beförderung der Satelliten in ihre Umlaufbahn Rechnung getragen werden. Als mögliche Raketen, die für derartige Einsätze in Frage kommen, sind die Ariane-5, die Proton, die Soyuz ST-2003 oder auch eine aus der Familie der Delta IV denkbar. Die Ariane-5 kann bis zu acht Satelliten pro Start, die Proton bis zu sechs transportieren. Soyuz ST-2003 hingegen können zwei MEO-Satelliten direkt in den Orbit bringen. Raketen der Delta IV-Familie können beispielsweise pro Start zwei bis acht Satelliten ins All bringen. Es gilt nun eine optimale Kombination zu finden, die die nötige Flexibilität bietet und die gewährleistet, dass die Vorgaben aller Phasen erfüllt werden.

Das Gemeinsame Unternehmen Galileo und das Konzessionsmodell

Nach Beschluss des Rates über die Errichtung des gemeinsamen Unternehmens Galileo kam es am 10. Juni 2003 zur Unterzeichnung der Gründungsurkunde durch die Europäische Kommission und die ESA. Ferner können die Europäische Investitionsbank sowie sämtlich Unternehmen, die einen Mindestbeitrag zum Unternehmensfond gezeichnet haben Mitglieder des gemeinsamen Unternehmens werden⁴. Die Mitglieder des Galileo Joint Undertaking (GJU) (derzeit die EC und die ESA) stellen den Verwaltungsrat. Um den angemessenen Informationsfluss und die politische Kontrolle der Entwicklungsphase des Programms Galileo zu gewährleisten, wurde ein Aufsichtsrat eingesetzt. Er besteht aus Vertretern aller EU-Staaten und dem Vertreter der Europäischen Kommission im Verwaltungsrat.

Die Organe des GJU sind in Bild 7 dargestellt. Der Verwaltungsrat trifft alle Entscheidungen strategischer Natur in den Feldern Programm und Finanzen. Ferner gehört die Ernennung des Direktors zu seinen Aufgaben. Der Beitritt neuer Mitglieder muss vom Verwaltungsrat mit einer Mehrheit von 75 % der Stimmen beschlossen werden. Das Exekutiv-Komitee besteht aus drei Personen: je einem Vertreter der Europäischen Kommission und der ESA sowie einem vom Verwal-

⁴ Höhe der zu zeichnenden Mindestbeiträge siehe [5]



Bild 7:
Galileo Joint
Undertaking

tungsrat benannten Vertreter aus dem Bereich der Wirtschaft. Es soll dem Direktor unterstützend zu Seite stehen und alle Aufgaben ausführen, mit denen es vom Verwaltungsrat betraut wird. Der Direktor ist für die Geschäftsführung des GJU zuständig und ist dessen rechtlicher Vertreter.

Das gemeinsame Unternehmen hat die im Folgenden beschriebenen Aufgaben:

- Es beaufsichtigt die optimale Integration von EGNOS⁵ in das Galileo-Programm.
- Es ist für die Durchführung der Entwicklungs- und Validierungsphase sowie für die Vorbereitung der Errichtungs- und Betriebsphase verantwortlich.
- Es sorgt für die Einleitung der Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen, die für die erfolgreiche Durchführung der Entwicklungsphase und die Koordinierung der nationalen Maßnahmen notwendig sind. Hierzu überträgt es der ESA die Maßnahmen bezüglich des Raum- und Bodensegments, die während der Entwicklungsphase notwendig sind. Ferner stellt es den Start der ersten Satelliten durch die ESA sicher. Des Weiteren stellt es der ESA die erforderlichen Mittel zur Verfügung.
- Es mobilisiert die öffentlichen und privaten Mittel und schafft die Managementstrukturen, die für die folgenden Phasen erforderlich sind. Insbesondere leitet es den Prozess der Konzessionsvergabe.

⁵ EGNOS = European Geostationary Overlay Service

Mit dem Betrieb des gemeinsamen Unternehmens Galileo wurde auch der Grundstein für die Galileo-Betreibergesellschaft gelegt. Der Vorschlag für das Konzessionsmodell und damit auch der Betreibergesellschaft entstammt einer von PricewaterhouseCoopers durchgeführten Studie.

Nachdem das gemeinsame Unternehmen die Aufgabe hat, den Vergabeprozess der Galileo Konzessionen in die Wege zu leiten und zu managen, fand im Oktober 2003 eine erste öffentliche Ausschreibung statt. Das Verfahren der Konzessionsvergabe beinhaltet zwei Stufen: die Vorauswahl sowie eine Phase »wettbewerbsorientierter« Verhandlungen. Die Konzessionsvergabe erstreckt sich auf die Entwicklungsphase (2006/2007) und die Betriebsphase, die laut Planung ab 2008 anläuft. Die Europäische Kommission wird im Januar 2004 die erste Vorauswahl treffen, im Anschluss beginnt die zweite Stufe des Vergabeprozesses. Mit Abschluss des Konzessionsvertrags verpflichtet sich der Konzessionsinhaber innerhalb eines bestimmten Zeitraums ein Satellitennavigationssystem, welches den in der Mission High Level Definition festgelegten Anforderungen genügt, zu betreiben und öffentliche Interessen ebenso zu unterstützen wie kommerzielle. In diese Phasen fällt auch der Aufbau der Bodenstationen sowie der Start von dreißig Satelliten.

Das Einkommen des Konzessionsnehmers wird größtenteils aus dem Betriebsgewinn des Systems kommen. So werden die Erträge aus den Lizenzgebühren erwirtschaftet, die beim Verkauf von Chipsätzen entstehen, also von Unternehmen, die Chipsätze in ihr Produkt implementieren und damit den Nutzern einen Zugang zum Galileo OS ermöglichen. In der Phase des kommerziellen Betriebs wird die konzessionierte Gesellschaft, der die Leitung des gesamten Systems übertragen wird, Lizenzentgelte für die Empfangsgeräte-Software sowie Entgelte der Dienstleistungsanbieter, die geschützte Signale zur Erbringung von Mehrwertdiensten nutzen, einnehmen.

Galileo und München

Eine im Auftrag des Bayerischen Wirtschaftsministeriums erstellte Studie⁶ zeigt, dass im Großraum München beträchtliche Kompetenzen in den Fachgebieten Satellitennavigation, Geoinformation und Kommunikation vorhanden sind. Diese Konstellation wird nicht nur durch den Sitz von Galileo Industries

⁶ vgl. [12]

in Ottobrunn und die deutsche Führung in der Entwicklung des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo weiter gestärkt, sondern auch durch weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten untermauert. So begann am 1. September 2003 unter Führung des mittelständigen Unternehmens IfEN GmbH, Poing, ein Konsortium bestehend aus der Infineon AG, dem Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen und der Universität der Bundeswehr München mit der Entwicklung der ersten GPS/Galileo Chips.

Mit dem Projekt »GATE« (Galileo Test- und Entwicklungsumgebung) wird derzeit in Bayern eine nationale Testinfrastruktur für Galileo aufgebaut. Die Idee, ein bodengestütztes Ranging System aufzubauen, ist nicht neu, es existieren zahlreiche Vorbilder wie die Testbeds in Yuma, das GSTB⁷ und das IGR⁸. Neu an dieser Variante ist allerdings, dass GATE allen Nutzern offen steht. Es wurde von einem Konsortium bestehend aus Industriefirmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulinstituten entwickelt und ist als Ergänzung zum GSTB der ESA zu sehen. Jenes stellt einen Teil der Galileo Design- und Entwicklungsphase dar und hat die Minimierung von Programmrisiken zum Ziel. Ferner will es frühzeitig Experimente ermöglichen.

GATE beinhaltet die Entwicklung und den Aufbau der nötigen Basisinfrastruktur, in der neue Empfänger und Anwendungen für Galileo entwickelt und getestet werden können. Außerdem wird möglichen Anwendern eine flexible und realistische Applikationsentwicklung zur Verfügung gestellt. Dazu gehört auch die Bereitstellung eines Versuchsgeländes für die unterschiedlichsten Galileo/GPS-Anwendungen zu Land, zu Wasser und in der Luft. Damit schließt sich die Kluft, die üblicherweise zwischen dem Zeitpunkt der Entwicklung im Labor und der tatsächlichen Realisation liegt.

GATE will einen Beitrag zum Design und der Validierung der Galileo Signalstruktur liefern und frühzeitig eine Testumgebung für die Entwicklung von Galileoempfängern und deren Interoperabilität mit GPS bereitstellen. Bereits vor der tatsächlichen Verfügbarkeit von Galileo bestehen die Möglichkeiten, unter verschiedenen Bedingungen zu experimentieren und somit einen Beitrag zum Aufbau des Galileo Ranging Systems zu liefern.

Eine realistische Umgebung steht für die Entwicklung und Tests von Galileo Empfängern zur Verfügung. Nachdem die Empfängerentwicklung die Basis für

⁷ GSTB = Galileo System Test Bed

⁸ IGR = Inverted GPS Range

die Entwicklung neuer Dienste und Anwendungen ist, kommt GATE im Bereich der Produktvorentwicklung eine Schlüsselrolle zu. Es bietet sich die Möglichkeit, frühzeitig neue Dienste und Anwendungen sowie hybride GPS/Galileo-Anwendungen zu entwickeln. Unterschiedlichen Nutzergruppen wird die Möglichkeit geboten, ihre spezifischen Anwendungen innerhalb realistischer Rahmenbedingungen zu testen. Darüber hinaus können auch Testempfänger zur Verfügung gestellt werden.

Bis die GSTB Galileo Test- und Prototypen-Satelliten im Orbit sind, strahlen stationäre terrestrische Signalgeneratoren das Galileo-Signal aus. Nach dem Start der ersten Galileo-Satelliten werden die Satelliten- und die terrestrischen Signale gemeinsam verarbeitet. Für GATE wurde nun ein Gebiet ausgewählt, welches in der Gegend um Weilheim liegt und eine Größe von 12km x 20km umfasst. Die Testumgebung liefert mindestens 4 sichtbare Sender, wobei der Geometriefaktor HDOP < 4 ist. Bei der Auswahl des Geländes wurde folgenden Anforderungen an die Infrastruktur Rechnung getragen: Die Verfügbarkeit von Sendeplattformen musste gewährleistet sein. Ebenso war ein gebirgiges Gelände gefordert, um die Höhe bestimmen zu können. Das Testgebiet sollte ferner eine typische Nutzerumgebung liefern, d. h. Straßen, Eisenbahn, Wald und Flugverkehr.

Die Realisierung des Projekts erfolgt in mehreren Phasen. Nach Abschluss der Definitionsphase im Juni 2003 schloss sich ein Entwicklungs- und Testzeitraum an, in diesem finden im Wesentlichen Empfängerentwicklung und -tests statt. Die nächste Phase ist ab 2005 geplant.

Das Ganze wurde nun durch den im Jahr 2004 zum dritten Mal in München stattfindenden Kongress „Munich Satellite Navigation Summit 2004“ auch in fachlicher Hinsicht abgerundet. Eine zusätzliche Fachkonferenz der üblichen Art im Bereich Satellitennavigation ist der im letzten Jahr erstmalig in dieser Form durchgeführte Summit nicht. Er führte Forscher und Entwickler, Unternehmer und Finanziere sowie Politiker zusammen und brachte diese ins Gespräch. Statt auf Vorträge setzt er auf Diskussionen zwischen den beteiligten Sprechern und Teilnehmern und versucht an Schnittstellen der Gebiete anzusetzen. Im Jahr 2004 versucht er den Brückenschlag zwischen Galileo und GPS und hat mit der Integration des CGSIC IIS⁹ Meetings, der nun ein Teil des Summits ist, einen wichtigen Partner in das Boot geholt.

⁹ Civil GPS Service Interface Committee

Mit dem im Entstehen begriffenen Netzwerk aus Industrie, Wissenschaft und Politik ist Bayern auf dem Weg, ein attraktives Kompetenz- und Innovationszentrum im Bereich der Satellitennavigation zu werden.

Referenzen

- [1] European Commission, ESA, Galileo – Das europäische Programm für weltweite Navigationsdienste
- [2] European Commission, Galileo High Level Definition, 23. September 2002
- [3] Tagung des Rates – Verkehr und Telekommunikation – am 25./26. März 2002 in Brüssel
- [4] Europäische Kommission, Vorschlag für eine Verordnung des Rates zur Errichtung des gemeinsamen Unternehmens Galileo, KOM(2001) 336 endg. vom 20.06.2001.
- [5] Verordnung (EG) Nr. 876/2002 des Rates vom 21. Mai 2002 zur Gründung des gemeinsamen Unternehmens Galileo, Amtsblatt L138, 28.05.2002
- [6] Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament und den Rat – Derzeitiger Stand des Galileo-Programms, Amtsblatt C248, 15.10.2002
- [7] Eissfeller, B., Das Europäische Satellitennavigationssystem GALILEO
- [8] Price Waterhouse Coopers, Galileo Study Phase II Executive Summary, 17. January 2003
- [9] Hein, G.W., Wolf, R., GATE – The German GALILEO Test Environment
- [10] European Commission, Galileo Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Services, COM (1999) 54, 10.02.1999
- [11] Hein G., J. Godet, J. Issler, J. Martin, P. Erhard, R. Lucas-Rodriguez and T. Pratt (2002): Status of Galileo Frequency and Signal Design, Proc. of ION GPS 2002, Portland, September 24-27, 2002
- [12] Institut für Erdmessung und Navigation, Universität der Bundeswehr München, Wissenschaftliche und Technische Schnittmengen zwischen Satellitennavigation, Geoinformation und Kommunikation, 2003

Webseiten:

<http://www.esa.int>

http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_de.htm