



Galileo – Europas Beitrag zur Satellitennavigation

Elmar Wasle ¹, Bernhard Hofmann-Wellenhof ²

¹ *TeleConsult Austria GmbH, Schwarzbauerweg 3, A-8043 Graz*

² *Technische Universität Graz, Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Steyrergasse 30, A-8010 Graz*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **93** (1), S. 3–16

2005

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Wasle_VGI_200501,  
Title = {Galileo -- Europas Beitrag zur Satellitennavigation},  
Author = {Wasle, Elmar and Hofmann-Wellenhof, Bernhard},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
    Geoinformation},  
Pages = {3--16},  
Number = {1},  
Year = {2005},  
Volume = {93}  
}
```





Galileo – Europas Beitrag zur Satellitennavigation

Elmar Wasle und Bernhard Hofmann-Wellenhof, Graz

Zusammenfassung

Das globale Satellitennavigationssystem Galileo ist für Europa in technologischer, wirtschaftlicher und strategischer Hinsicht von unerlässlicher Bedeutung. Weitreichende wirtschaftliche Nebeneffekte werden durch Galileo innerhalb Europas und weltweit bereits heute stimuliert und werden zukünftig markante Auswirkungen haben. Die sozialen Effekte sind derzeit noch schwer abzuschätzen. Im Jahr 2020 werden nach Schätzungen drei Milliarden Empfänger in Betrieb sein. Der Markt für Produkte und Dienstleistungen wird sich bis dahin auf etwa 300 Milliarden € belaufen [9]. Dieser Artikel gibt einen Überblick über den Beitrag Europas zur Satellitennavigation (Stand März 2005).

Abstract

The global navigation satellite system Galileo is in technological, economic and strategic aspects of tremendous importance for Europe. Remarkable economic side effects occurring already today will significantly be stimulated by Galileo within Europe and also worldwide in the future. Currently, the social effects are difficult to estimate. About three Billion satellite receivers in use are expected in 2020. As a consequence, the market for products and services will amount to approximately 300 Billion € [9]. This publication gives an overview of Europe's contribution to satellite navigation (status March 2005).

1. Einleitung

Eine dreidimensionale Punktbestimmung mit Distanzmessung heißt Trilateration. Liegen Distanzen von drei bekannten Punkten zum Neupunkt, der zu bestimmen ist, vor, kann im Allgemeinen die Aufgabe gelöst werden. Der geometrische Hintergrund ist der Schnitt von drei Kugelschalen.

Bei der Punktbestimmung mit Satelliten übernehmen die Satelliten die Rolle der bekannten Punkte und die Empfängerposition die des Neupunkts. Gemessen werden die Signallaufzeiten von Satelliten zum Empfänger. Multipliziert man diese Laufzeiten mit der Signalgeschwindigkeit (also der Lichtgeschwindigkeit, da es sich um ein Radiosignal handelt), erhält man die entsprechenden Entfernungen. Da jedoch bei den Laufzeitmessungen zwei Uhren involviert sind, die des Satelliten und die des Empfängers, und diese beiden Uhren nicht vollständig synchronisiert sind, sondern einen Uhrfehler aufweisen, misst man nicht Distanzen, sondern Pseudodistanzen. Das bedeutet also, abgesehen von den drei gesuchten Koordinaten (geographische Länge, geographische Breite und Höhe) des Neupunkts muss auch noch der Uhrfehler bestimmt werden. Daher werden für eine dreidimensionale Punktbestimmung mindestens vier Satelliten benötigt [1].

Das amerikanische GPS (Global Positioning System), das unter militärischer Kontrolle steht,

wurde im Juli 1995 für voll operationsfähig erklärt („Full Operational Capability“), nachdem bereits zwei Jahre früher die vollständige Konstellation von 24 Satelliten erreicht worden war („Initial Operational Capability“). Heute wird das System weltweit für zivile und militärische Anwendungen verwendet.

Russland entwickelte mit GLONASS (Global'naya Navigatsionaya Sputnikova Sistema) ein sehr ähnliches System, das nur ein halbes Jahr später, also im Jänner 1996, voll operationell war. Allerdings ging die volle Konstellation bald verloren, da primär infolge finanzieller Probleme alte nicht mehr funktionstüchtige Satelliten durch neue Satelliten kaum ersetzt wurden. Heute (März 2005) sind nur mehr 12 der ursprünglichen 24 Satelliten verfügbar. Russland ist jedoch bestrebt, bis 2011 die volle Verfügbarkeit wieder herzustellen.

2. Strategie in zwei Stufen

Nahezu zeitgleich mit der vollen Inbetriebnahme von GPS forderte der Rat der Europäischen Union die Europäische Kommission in einer Resolution vom 19. Dezember 1994 auf [2]:

to support the development and implementation of a European complement to existing satellite navigation systems using any augmentation technology required (European Contribution to GNSS-1)

at the same time to initiate and support the preparatory work needed for the design and organization of a global navigation satellite system (GNSS-2) for civil use, which should be compatible with GPS and GLONASS (European Contribution to GNSS-2)

Das Akronym GNSS steht für Global Navigation Satellite System. Dies geschah in Anbetracht des Wachstums des Trans-Europäischen Netzwerks, auch mit Blick auf den stark wachsenden Navigationssektor und das große wirtschaftliche und soziale Potential eines Satellitennavigationssysteme und auch in Erkenntnis der Notwendigkeit, international konkurrenzfähig zu bleiben. Der Einstieg Europas in den Navigationssektor erfolgt in einem zweistufigen Programm:



Abb. 1: Europas erster Beitrag zur satellitengestützten Navigation

GNSS-1: Das European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) stellt den ersten Beitrag Europas zur satellitengestützten Navigation dar (Abbildung 1). EGNOS beruht auf einer Vereinbarung zwischen der Europäischen Gemeinschaft, der Europäischen Weltraumbehörde (ESA) und EUROCONTROL, das ist die Organisation, die für den europäischen Luftraum zuständig ist. EGNOS wird voraussichtlich noch im Jahr 2005 in den vollen operationellen Betrieb gehen. Im Wesentlichen besteht das Raumsegment von EGNOS aus drei geostationären Satelliten. Das Signal, das diese Satelliten aussenden, ergänzt GPS in drei Belangen: Erstens kann das EGNOS-Signal wie jedes andere GPS-Signal zur Positionsbestimmung genutzt werden. Zweitens kann man aus der Signalinformation Korrekturdaten ableiten, die eine Verbesserung der Genauigkeit der Positionsbestimmung bewirken. Das Prinzip ist ähnlich wie bei DGPS (Differential GPS), siehe [3]. Drittens bietet EGNOS eine Integritätsinformation für GPS; dies ist für künftige Anwendungen der Satellitennavigation in sicherheits-

kritischen Bereichen [4] von unerlässlicher Bedeutung.

Unter Verwendung der EGNOS-Information kann die Position auf voraussichtlich 1-2 m genau bestimmt werden (95% Konfidenzintervall; [5], standardisierte Werte sind noch ausständig). Zu beachten ist, dass das EGNOS-Signal von geostationären Satelliten ausgesendet wird. Im Gelände mit starker Topographie oder im städtischen Bereich werden die EGNOS Signale durch die niedrig stehenden Satelliten (in Österreich max 40° Elevation) oft abgeschattet. Gut eignen sie sich allerdings für den Schiffs- und Flugverkehr. Das europäische System EGNOS ist kompatibel zum amerikanischen WAAS (Wide Area Augmentation System), das denselben Service für den amerikanischen Raum bietet. Auf vielen Navigationsempfängern ist heute bereits die Bezeichnung „WAAS-enabled“ zu lesen; diese Bezeichnung ist mit „EGNOS-enabled“ gleichzusetzen.



Abb. 2: das Europäische Satellitennavigationssystem

GNSS-2: „Galileo“ ist Europas Initiative, ein eigenes, ziviles und globales Satellitennavigationssystem zu entwickeln (Abbildung 2). Galileo wird einen eigenständigen, präzisen und garantierten Positionsbestimmungs- und Navigationsdienst bieten. Als nicht unwesentliches Nebenprodukt wird Galileo auch die präzise Zeitbestimmung erlauben. Unter Ausnutzung verbesserter Satellitensignale und mehrerer Frequenzbereiche kann eine (geringfügig) höhere Genauigkeit als beim bestehenden GPS erzielt werden. Zudem bietet Galileo einen Integritätsservice, der es

erlaubt, das Satellitensystem auch für sicherheitskritische Anwendungen einzusetzen. Galileo wird aber auch zu den bestehenden Systemen GPS und GLONASS interoperabel und kompatibel sein.

3. Vier Optionen

Das europäische Navigationssystem wurde nach dem italienischen Astronom und Physiker Galileo Galilei benannt. Der Name wird bereits in unterschiedlichen Zusammenhängen benutzt: so heißt beispielsweise eine amerikanische Satellitenmission Galileo oder auch ein weltweites Buchungs- und Reservierungssystem schmückt sich mit demselben Namen. Daraus könnten sich noch größere Rechtsstreitigkeiten entwickeln [6]. Die Kurzbezeichnung des europäischen Systems ist demnach kein Akronym, daher wird auch in diesem Artikel wie auch in vielen anderen Publikationen die Schreibweise mit Kleinbuchstaben verwendet. Um die Gleichwertigkeit mit dem amerikanischen GPS zu signalisieren, findet man aber auch die Bezeichnung Galileo oftmals in Großbuchstaben.

Bevor die Entscheidung auf das eigenständige globale System fiel, verfolgten die europäischen Entscheidungsträger mehrere Möglichkeiten. Die Kommission identifizierte vier Optionen [7]:

- 0) die „Zero Option“;
- 1) ein gemeinsames globales System mit allen wichtigen Staaten und Organisationen;
- 2) ein gemeinsames System in Abstimmung und Kooperation mit den Vereinigten Staaten (USA) oder Russland;
- 3) ein unabhängiges europäisches System.

Bei der „Zero Option“ hätte die Europäische Union (EU) jegliche Anstrengung unterlassen, im Bereich der Satellitennavigation unterstützend oder entwickelnd tätig zu werden. Damit wäre die EU von Systemen abhängig gewesen, die nicht unter europäischer Kontrolle gestanden wären. Diese Abhängigkeit, die in dieser Thematik mit dem Verlust der Souveränität gleichzusetzen ist, und die damit verbundenen Risiken waren für die EU nicht akzeptabel.

Eine Kooperation mit den USA oder Russland wäre wohl die kostengünstigste Wahl gewesen. Die EU verlangte aber nach Garantien hinsichtlich des kontinuierlichen Betriebs, wollte die Teilnahme an den Entwicklungs- und Betriebsphasen, die gemeinsame Kontrolle über das System und die Einbindung der europäischen Wirtschaft

in bestehende GNSS-Märkte. Das waren Bedingungen, deren Erfüllung man definitiv nicht erwarten konnte. Die Verhandlungen mit den USA zeigten auch sehr bald, dass (primär aus militärischen Überlegungen) die Vereinigten Staaten nicht bereit waren, die EU am GPS-Programm teilhaben zu lassen. Dennoch waren die USA an einer Zusammenarbeit in Fragen der Satellitennavigation sehr interessiert. Russland wäre einer engeren Kooperation wesentlich offener gegenüber gestanden. Dennoch entschloss sich die EU für Option 3, also ein unabhängiges europäisches System zu entwickeln.

4. Schritt für Schritt

Der europäische Rat beauftragte die Europäische Kommission im März 1998, ein Programm zum Aufbau eines europäischen Satellitennavigationssystems zu erarbeiten. In ihrer Mitteilung vom 10. Februar 1999 stellt die Kommission das autonome Programm mit der Bezeichnung „Galileo“ vor, welches die europäische Strategie für ein trans-europäisches Positionierungs- und Navigationsnetzwerk umsetzen sollte. *„It must be an open, global system, fully compatible with GPS, but independent from it (...) It should be developed as a public private partnership, with significant funding at European level (...)“* [7] Das Programm sah eine Umsetzung in vier Phasen vor: Definition, Entwicklung und Validierung, sowie Errichtung und Betrieb.

Noch im Dezember 1999 wurde die Definitionsphase von Galileo gestartet. Fünf Verträge mit der Industrie bildeten hierfür die Grundlage. Mitinbegriffen war eine detaillierte Kosten- / Nutzenanalyse, die sich unter anderem mit der Identifizierung von potentiellen Einnahmequellen, den Möglichkeiten einer „Public Private Partnership“, der bilateralen Zusammenarbeit, den Kosten und den Risiken beschäftigte. Die Ergebnisse der Analyse verdeutlichten die strategische Bedeutung von Galileo. Es wurde aber auch festgestellt, dass das europäische System bis spätestens 2008 voll funktionsfähig sein müsste, um vom stark wachsenden Navigationsmarkt noch genügend Mittel an sich binden zu können.

Seitdem die Entwicklung eines europäischen Navigationssystems verfolgt wird, hören Kritiker nicht auf zu fragen, ob angesichts GPS ein europäisches globales Satellitennavigationssystem überhaupt benötigt wird. Die Meinungen sind geteilt. Manche sprechen von einer politischen Entscheidung, andere von einer strategi-

schon Entscheidung, wieder andere von einer europäischen Entscheidung. Aus Sicht der Autoren war die Entscheidung für Galileo aus wirtschaftlicher Perspektive eine notwendige. Das Ariane und das Airbus Programm haben gezeigt, dass eine entschlossene Modernisierungspolitik die Beschäftigung, die industrielle und wirtschaftliche Entwicklung und die internationale Geltung der Europäischen Union positiv beeinflusst [8]. Zudem leistet ein gemeinsames, europäisches Projekt Galileo einen wesentlichen Beitrag zu einem stärkeren europäischen Zusammenhalt. Für die zivilen Benutzer kann ein zusätzliches, komplementäres und interoperables System nur von Vorteil sein, denn damit steigen die Verfügbarkeit, die Genauigkeit und auch die Sicherheit bei der Positionsbestimmung.

Angesichts der immer konkreter werdenden europäischen Galileo-Entwicklung und der zunehmend wirtschaftlichen Bedeutung von GPS veranlasste der amerikanische Präsident Clinton im Jahr 2000 die Deaktivierung der künstlichen Verschlechterung der zivilen GPS Signale durch „Selective Availability“. Damit versuchten die USA, dem Galileo-Programm kommerziell entgegenzuwirken. Vor allem nach dem 11. September 2001 gingen die USA mit zunehmendem Druck gegen das Europäische Programm vor – letztlich erfolglos. Die internationale Unterstützung für Galileo, die zahlreichen Kooperationspartner (siehe Punkt 7) und die europäische Wirtschaft verfolgten weiterhin und bis heute erfolgreich das Ziel, Galileo umzusetzen.

Die Europäische Kommission bestätigte am 22. November 2000 in einer Mitteilung die strategische und wirtschaftliche Bedeutung von Galileo und empfahl dem Verkehrsrat, das Programm ab 2001 fortzusetzen. In einer Entschließung des Rates vom 5. April 2001 bestätigte dieser, dass Finanzmittel bis zu einer Höhe von 100 Mio. € für das Jahr 2001 unverzüglich freigegeben werden. Ein Beschluss über die Freigabe der verbleibenden Mittel (d. h. 450 Mio. €) sollte vom Rat im Dezember 2001 zusammen mit dem Beschluss über die Schaffung eines mit der Verwaltung des Projekts betrauten Trägers gefasst werden. Bis dahin sollten die längerfristige Entwicklung der Beteiligung des privaten Sektors am Projekt ermittelt und die kommerziellen und öffentlichen Dienste von Galileo umrissen werden [9].

Die Ergebnisse dieser Analyse wurden Ende November 2001 dem Europäischen Rat präsentiert. Dieser sah sich Anfang Dezember 2001 noch nicht in der Lage, eine Entscheidung über eine

Freigabe weiterer Mittel zu treffen und verweigerte zunächst die Unterstützung für Galileo. Der große Druck Amerikas spielte dabei eine nicht unwesentliche Rolle. Die Entscheidung über die Fortführung des Programms wurde auf März 2002 verschoben. Bis dahin galt es, weitere Analysen durchzuführen und vor allem Überzeugungsarbeit zu leisten. Schließlich wurden am 26. März 2002 die finanziellen Mittel für die Fortführung des Programms von der Europäischen Kommission bzw. dem Europäischen Rat freigegeben. Doch andere Probleme wirkten sich bremsend auf die Fortführung des Programms aus.

Ende März 2003 wurde der fast ein Jahr dauernde Streit zwischen den Regierungen Italiens und Deutschlands über die Finanzbeiträge an die ESA (European Space Agency) und die Auftragsanteile für Galileo beigelegt. Die Mitgliedsstaaten der ESA einigten sich darauf, dass Deutschland, Italien, Frankreich, Großbritannien und Italien jeweils nur 17,5 Prozent zum Programm finanziell beitragen durften. Deutschland strebte ursprünglich einen Anteil von 25 Prozent an, der sich dann natürlich in einem entsprechenden Auftragsanteil wiederspiegelt hätte. Allein aus diesem Ansatz ist die wirtschaftliche Bedeutung von Galileo erkennbar. Im Rahmen der Vereinbarungen von Ende März wurde auch festgelegt, dass Deutschland das Raumfahrtsegment, Frankreich die elektrischen Ausstattungen und die Kontrolle der Missionen, Großbritannien die Satellitenausstattungen und Italien die Integration der Satelliten übernimmt. [10]. Der Sitz des Industrie-Konsortiums Galileo Industries, das von Alcatel Space, Alenia Spazio, EADS Astrium, Galileo Sistemas y Servicios und Thales getragen wird, kam nach Ottobrunn bei München, das Engineering Büro verließ Italien.

Im Anschluss an die schriftliche Einigung vom 26. Mai 2003 über die Finanzbeiträge der ESA-Mitgliedstaaten wurden unverzüglich die notwendigen Schritte zur Errichtung des Galileo Joint Undertakings (GJU) gesetzt [11]. Am 16. Juni 2003 ernannte der Verwaltungsrat des GJU den Deutschen Rainer Grohe zum Direktor.

Im Herbst 2004 erteilte die Europäische Kommission die Freigabe für die Errichtungs- und Betriebsphase. Die Definition der Verwaltungsstrukturen des Systems (Ratsbeschluss vom 12. Juli 2004) und eine Vereinbarung mit den USA über die volle Interoperabilität des europäischen und amerikanischen Systems waren dieser Freigabe vorausgegangen. In Anbe-

tracht der Angebote für die Konzessionärsaus-schreibung stimmte die EU bereits 2004 dem Beginn der nächsten Phase des Galileo Pro-gramms zu.

5. Navigationsmarkt und Finanzierung

Dem Navigationsmarkt und den damit zusam-menhängenden Mehrwertdiensten wird bereits seit Jahren ein exponentielles Wachstum prognostiziert. Die optimistischen Prognosen wurden durch die Marktentwicklung oft sogar übertroffen. In naher Zukunft werden die Positionsbestimmung und Navigation ein unverzichtbarer Bestandteil des privaten, wirtschaftlichen und öffentlichen Lebens sein, ähnlich wie heute die Mobiltele-phonie kaum mehr wegzudenken ist. Manche sprechen in diesem Zusammenhang sogar von einer weiteren technologischen Revolution.

Die Kosten für die Entwicklung, die Errichtung und den Betrieb von Galileo, dies umfasst die Schaffung des Bodensegmentes wie auch des Raumsegmentes, bezifferte die Kommission mit 3.2 Mrd €. In der Studie von PriceWaterhouse-

Coopers [12], in der ähnliche Zahlen wie von der Kommission genannt werden, resultiert lediglich aus der Berücksichtigung von zusätzlichen Risiken und der Herstellung von Reservesatelliten ein um 200 Mio. € höherer Kostenvoranschlag.

Für die Definitionsphase von Galileo (1999-2000) wurden 80 Mio € durch EU und ESA aufgebracht. Die Entwicklungs- und Validierungs-phase (2001-2005) wurde durch öffentliche Sub-ventionen sichergestellt. Jeweils zur Hälfte wurde das Budget von insgesamt 1,1 Mrd € aus dem Gemeinschaftshaushalt der EU und aus dem Haushalt der Europäischen Weltraumorganisation ESA bereitgestellt. Für die Errichtungsphase (2006-2007) ist eine erhebliche Beteiligung des privaten Sektors mit rund 1,5 Mrd € geplant. Nach der Inbetriebnahme von Galileo werden jährliche Betriebskosten von 220 Mio € anfallen (vgl. Abbildung 3). In der ersten Jahreshälfte 2005 soll eine GNSS-Aufsichtsbehörde eingerichtet werden, die die Verwaltung und Kontrolle des Einsatzes von EU Gemeinschaftsmitteln im Rahmen von Galileo übernimmt [13].

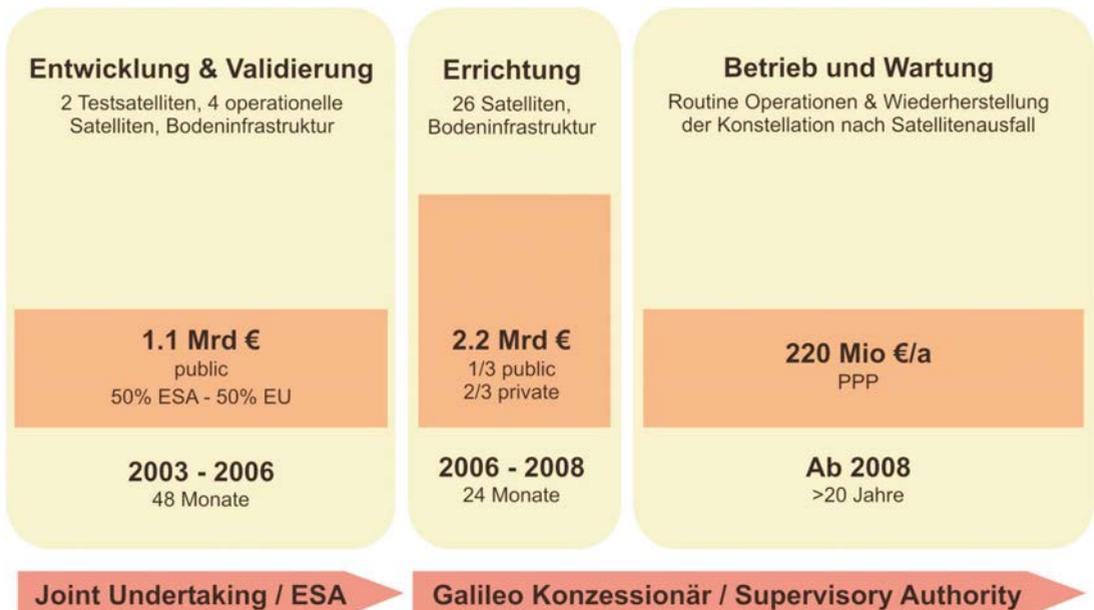


Abb. 3: Zeitplan (aus dem Jahr 1999) und Finanzbeiträge

Die Aufwendungen für Galileo entsprechen in etwa den Kosten für den Bau von 150 km Autobahn oder den Kosten, die beim Bau von Terminal 5 von Londons Flughafen Heathrow entstanden. Die wirtschaftliche Rentabilität wird in verschiedenen Studien mit einem Kosten- /

Nutzenverhältnis von +4.6 eindeutig belegt. Bei keinem anderen Infrastrukturprojekt Europas wird ein solch hoher Faktor erreicht. Alleine der Dienstleistungs- und Gerätemarkt wird auf 10 Mrd. € pro Jahr geschätzt. Vorsichtige Analysen sprechen von europaweit zusätzlichen 140.000

Arbeitsplätzen durch den entstehenden Navigationsmarkt und den daraus resultierenden Mehrwertdiensten.

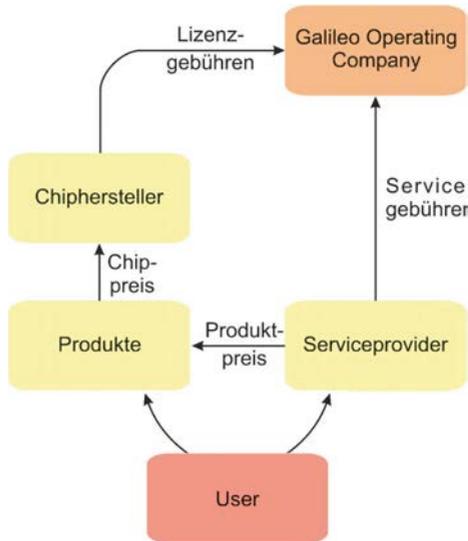


Abb. 4: Finanzströme zur Finanzierung des laufenden Betriebs von Galileo

Kurzfristige Einnahmen erzielt die Europäische Kommission durch Kooperationsverträge mit Drittstaaten, die einen signifikanten finanziellen Beitrag zum Galileo Projekt leisten. Langfristige Einnahmen werden aus verschiedenen Wertschöpfungsketten erzielt, bei denen Erträge aus der Vermarktung von Endgeräten und Mehrwertdiensten erwirtschaftet werden (vgl. z.B. Abbildung 4). Den größten Anteil bei den Geräten werden vor allem Massen- und Konsumprodukte wie Mobiltelefone, PDAs (Personal Digital Assistants) oder Systeme zur Fahrzeugnavigation haben. Des weiteren wird der zukünftige öffentlich-privatwirtschaftliche Betreiber von Galileo Einnahmen aus Lizenzen oder möglichen Chip-Steuern erzielen.

Der volkswirtschaftliche Nutzen bis 2020 wird allein für Europa mit 74 Mrd € beziffert. Andererseits berücksichtigen verschiedene Kosten-/Nutzenanalysen den sozialen Nutzen der beispielsweise in Form einer größeren Verkehrssicherheit, einem besseren Verkehrsfluss und somit von einem geringeren Schadstoffausstoß resultiert und profitiert. Zudem berücksichtigt die Analyse auch den strategischen Nutzen von Galileo mit Hinblick zu den bestehenden Systemen.

6. Organisationsstruktur

Galileo ist eine gemeinsame Initiative der Europäischen Union und der Europäischen Welt-

raumbehörde. Während die politischen Aspekte und die mit Galileo verbundenen Ziele durch die EU aufbereitet und erarbeitet werden, ist die ESA für die technische Planung, Entwicklung und Validierung verantwortlich.

Die Finanzierung eines solchen Infrastrukturprojekts nur aus öffentlichen Mitteln ist angesichts der schwierigen Haushaltslagen der Mitgliedstaaten mit Risiken behaftet und könnte Verzögerungen mit sich bringen. Aus diesem Grund strebte man bei Galileo von Anfang an eine öffentliche private Partnerschaft an (Public Private Partnership – PPP). Dabei übernimmt die öffentliche Hand, vertreten durch die Europäische Kommission und die Europäische Weltraumbehörde, genauso Aufgaben wie auch eine Galileo Operating Company (GOC), ein Firmenkonsortium, das für die Finanzierung der Errichtungsphase verantwortlich ist und das den laufenden Betrieb des Systems überwacht und sicherstellt.

Durch das PPP-Modell nutzt man die effiziente Verwaltung und die Geschäftsmöglichkeiten von privaten Unternehmen. Das PPP-Modell ist aber mit wirtschaftlichen, rechtlichen und manchmal auch politischen Risiken behaftet. Zudem birgt die lange Lebensdauer solcher Infrastrukturprojekte zusätzliche Risiken. Das Risiko am Projekt wird fair zwischen öffentlicher Hand und Unternehmen aufgeteilt (vgl. Abbildung 5). Somit können der Aufbau und der Erhalt einer Infrastruktur sichergestellt werden.

Der kommerzielle Betreiber wird vom Galileo Joint Undertaking (GJU) ausgewählt. Das GJU ist eine Organisation mit eigener Rechtspersönlichkeit. Das GJU ist ermächtigt, die erforderlichen Verträge zum Aufbau von Galileo abzuschließen und alle notwendigen Maßnahmen im Bereich Forschung und Entwicklung zu treffen. Gründungsmitglieder des GJU sind die EU und die ESA wie auch die Europäische Investitionsbank.

Das Verfahren zur Konzessionsvergabe begann am 17. Oktober 2003 mit einer Bekanntmachung der Europäischen Union. Das Verfahren umfasste zwei Stufen: In einer Vorauswahl wählte das GJU jene Konsortien aus, mit denen in eine „wettbewerbsorientierte“ Verhandlungsphase gegangen wurde. Der Kandidat mit dem wirtschaftlich und technisch vorteilhaftesten Angebot wird schlussendlich mit der Errichtungsphase des Systems und dem Betrieb von Galileo betraut.

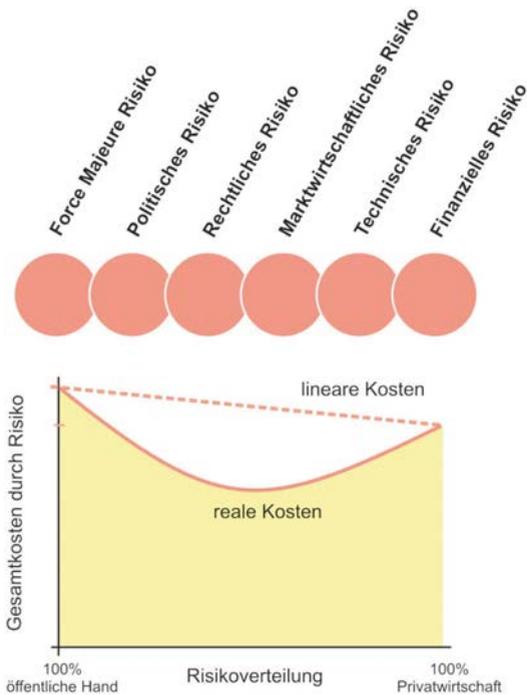


Abb. 5: Risikoverteilung und Gesamtkosten, die durch das Risiko entstehen, beim PPP-Modell

In der Ausschreibung verlangte das GJU von den Konzessionären, ein längerfristiges Engagement des privaten Sektors klar festzulegen. Die Einreichfrist für Bewerbungen für die erste Phase lief am 5. Dezember 2003 ab. Aus der Vielzahl der Angebote und aus den unterschiedlichen Wirtschaftssektoren, aus denen sich die Unternehmen an den Angeboten beteiligten, geht einerseits das massive Interesse an Galileo hervor, andererseits ist die Privatwirtschaft offensichtlich zu großen Investitionen bereit.

Am 1. September 2004 wurden die detaillierten Angebote von zwei potentiellen Konzessionären eingebracht: das Eurely Konsortium (geleitet von Alcatel und Finmeccanica) und das iNavsat Konsortium (geleitet von EADS, Thales und Inmarsat). Das GJU evaluierte die Angebote angesichts dreier Schwerpunkte: Markt und Finanzierung, technischer Inhalt, und vertraglicher Inhalt. Das GJU hob die Qualität beider Angebote hervor.

In einer Aussendung von Anfang Dezember 2004 forderte der Rat der Europäischen Kommission das GJU auf, bis Ende Februar 2005 das Auswahlverfahren für die Galileo Operating Company zu einem Abschluss zu bringen.

Allerdings ist bis heute (Ende März 2005) noch keine Entscheidung für eines der beiden Konsortien gefallen. Weiters soll das GJU in Kooperation mit der Europäischen GNSS Aufsichtsbehörde [14] die Verhandlung mit dem Konzessionär alsbald abschließen und zur Unterzeichnung bringen.

7. Kooperationspartner

Die EU und ESA entwickeln Galileo in enger Kooperation mit der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization – ICAO) und der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (International Maritime Organization – IMO). Die ICAO koordiniert und setzt die Einführung der Satellitennavigation im sicherheitskritischen Bereich der Luftfahrt durch. Die IMO strebt ähnliches für den maritimen Bereich an. Gute Kontakte werden auch zur Internationalen Telekommunikationsunion (International Telecommunication Union – ITU) unterhalten. Die ITU ist verantwortlich für multilaterale Regulierungen und Prozeduren zur Operation von globalen Radionavigationssystemen wie auch Radiokommunikationssystemen.

Am 30. Oktober 2003 wurde im Rahmen des Galileo-Programms ein Kooperationsabkommen mit der Volksrepublik China unterzeichnet. Am 13. Juli 2004 folgte ein Vertrag mit Israel. Verhandlungen werden derzeit zudem mit der Russischen Föderation, Indien und der Ukraine geführt. Gute Kontakte bestehen zu Marokko, Südkorea, Australien, Mexiko und Brasilien, Chile, Saudi Arabien. Die Schweiz und Norwegen, die zwar Mitglied der ESA, aber nicht der EU sind, wie auch Kanada als assoziiertes Mitglied der ESA beabsichtigen ebenfalls, an den zukünftigen Phasen des Galileo Programms teilzunehmen [15]. Auch Argentinien bekundete sein Interesse, sich an GALILEO zu beteiligen.

Die Kooperationsverträge mit China und Israel und den anstehenden Verträgen mit den anderen Staaten beinhalten das Potential, Galileo zu einem Art „Weltstandard“ innerhalb der Navigation zu machen. Galileo stellt aber als Alternative zum derzeit faktischen Monopol von GPS ein Sicherheitsrisiko für die USA dar. Die Verträge mit China wurden zudem von den Hardlinern im Pentagon mit Argusaugen betrachtet. Die Volksrepublik China wird von den Amerikanern als strategischer Herausforderer betrachtet, dem der Zugang zu einer führenden Technologie verwehrt werden müsste, um die US-Interessen besser wahren zu können. US-Militärs erklärten während der „Future

of Transatlantic Military Space Relations“ Konferenz 2004 in London, dass, wenn die Sicherheit von den USA gefährdet sei, man notfalls auch die Galileo-Satelliten zerstören würde.

Trotzdem oder gerade deswegen war es möglich, mit den Vereinigten Staaten ein Übereinkommen über die gemeinsame Nutzung der Satellitennavigation zu treffen. Die Vereinbarung mit den Vereinigten Staaten vom 26. Juni 2004 umfasste neben einer Abstimmung der Koordinatensysteme und Zeitsysteme auch die gemeinsame Nutzung der Frequenzbänder zur Sicherstellung der Interoperabilität und Kompatibilität.

Die Kooperationsverträge mit den Drittstaaten sehen unter anderem finanzielle Unterstützung für das Projekt vor. China verpflichtete sich beispielsweise zu einem Finanzierungsbeitrag von ca. 200 Mio €. Des Weiteren sind Kooperationen im wissenschaftlichen und technischen Sektor, in der industriellen Fertigung, der Dienst- und Marktentwicklung sowie der Normung und Zertifizierung vorgesehen. Eine Kooperation mit der Ukraine wäre aus technischer Sicht von großem Interesse, da die Ukraine einer der weltweit führenden Staaten für Raumfahrttechnologie ist.

8. Entwicklungsplan

Das Projekt Galileo gliedert sich in vier Phasen. Die Jahreszahlen und Zeiträume, die in diesem Zusammenhang hier genannt werden (vgl. Abbildung 6), entsprechen den ursprünglichen Plänen aus dem Jahr 1999. Diese Zahlen wurden bis heute von keiner offiziellen Seite ratifiziert.

Im Dezember 1999 gaben die ESA und die Europäische Kommission grünes Licht für die Definitionsphase des Europäischen Navigationssystems. Diese erste so wichtige Phase war für den Zeitraum von November 1999 bis Dezember

2000 projektiert. Die Diskrepanz aus Projektierung und Datum der Bewilligung verdeutlicht den enormen Zeitdruck, der bereits von Anfang an auf dem Projekt lastete. In dieser Phase mobilisierten die EU und ESA einen Großteil der europäischen Raumfahrtindustrie und eine große Anzahl an potentiellen Dienstleistern und Nutzern, um die Grundstrukturen von Galileo zu umreißen und zu definieren. Wichtigstes Produkt der Definitionsphase ist das Galileo Mission High Level Definition Dokument [16], das die wesentlichen Spezifikationen und Anforderungen an Galileo zusammenfasst. Aus diesem Dokument leiten sich alle weiteren Anforderungen und Spezifikationen an das Programm ab.

Die zweite Phase (2001 – 2005) wird derzeit vom GJU gemanagt. Sie begann mit einer detaillierten Beschreibung der einzelnen Systemkomponenten, also dem Raum-, Boden- und Nutzersegment. Die Entwicklung der Satelliten und der terrestrischen Komponenten geht der „In-Orbit-Validierung“ (IOV) voraus. Neben der Entwicklung des Raum- und Bodensegments werden auch die Empfänger im Detail ausgearbeitet und von der ITU auf Interferenzen, etc. geprüft.

Für die IOV werden insgesamt sechs Satelliten gebaut: zwei Prototypen (vgl. Abbildung 7) werden die Frequenzzuweisung sicherstellen; mit den vier weiteren werden schließlich detaillierte Performancetests durchgeführt und das Systemkonzept validiert. Die Herstellung zweier Prototypen bedeutet zwar eine höhere Investition, erhöht aber die Sicherheit, dass die bei der letzten Weltfunkkonferenz zugewiesenen Frequenzen zumindest von einem Satelliten auch belegt werden können. Außerdem fördern zwei konkur-

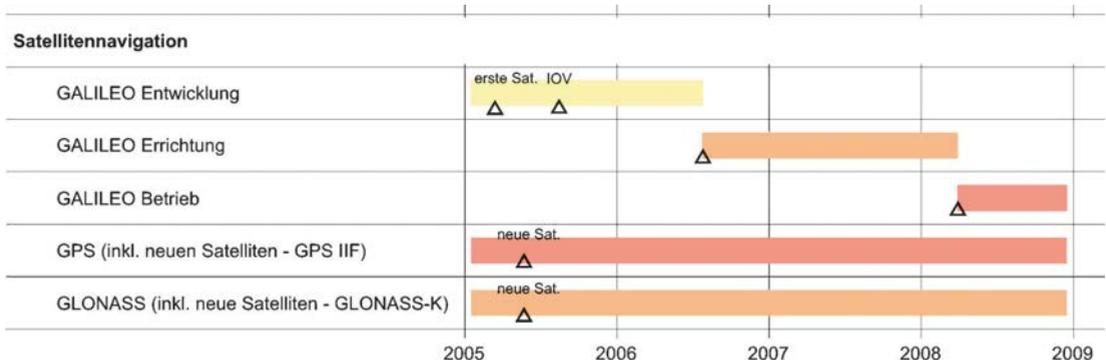


Abb. 6: Zeitpläne für die Entwicklung und Erneuerung der Satellitennavigationssysteme

rierende Satellitenkonzepte den Wettbewerb in der Technologieentwicklung. Der Start der beiden Prototypen ist für Ende 2005 bzw. Anfang 2006 geplant. Am 21. Dezember 2004 wurden die Vorverträge für die restliche IOV-Phase mit Galileo Industries GmbH unterzeichnet. Der Vorvertrag hat ein Volumen von 150 Mio. €. Im Rahmen dieses Vorvertrags wird damit begonnen, zeit- und systemkritische Galileo-Komponenten auszuschreiben und zu entwickeln. Der volle Vertrag, dessen Auftragsvolumen sich auf rund eine Milliarde € belaufen wird, soll bis Mitte 2005 ausverhandelt werden. Die Validierungsphase ist für einen Zeitraum von 4 Jahren projektiert und überschreitet damit klar die Planung von einst, die den Abschluss der Validierung von Galileo bis 2005 vorsah.



Abb. 7: Der erste von zwei Galileo Satelliten; Tests werden gerade am European Space Research and Technology Centre (ESTEC) in den Niederlanden durchgeführt.

Während der Errichtungsphase (2006 – 2007) werden die restlichen 26 Satelliten gebaut und in den Orbit gebracht. Zudem werden die Bodenstationen in Betrieb genommen. Diese dritte Phase wird vornehmlich vom zukünftigen Betreiber bzw. Konzessionärs des Galileo-Systems finanziert werden. Bis zum Ende der Errichtungs-

phase werden auch die ersten Galileo-Empfangsgeräte auf den Markt kommen.

Die letzte Phase des Galileo-Programms sollte mit 2008 starten und repräsentiert den Betrieb und die Wartung des Galileo-Systems inklusive der Weiterentwicklung der Satelliten. Die durchschnittliche Lebensdauer der Satelliten von 12 Jahren erfordert einen regelmäßigen Zyklus zum Austausch des Raumsegments.

Der Europäische Rat für Verkehr, Telekommunikation und Energie hat in einer Aussendung vom 10. Dezember 2004 darauf hingewiesen, dass die Verzögerung, die sich bisher ergaben, durch den Konzessionär aufzuholen seien, um den Betrieb ab 2008 sicherzustellen. Betrachtet man diese Forderung im Licht des momentanen Status, dann erscheint eine Vollinbetriebnahme 2008 als nicht realistisch. Schon alleine die Validierungsphase wird bis 2008 dauern. Danach werden noch 24 Monate benötigt, um das System in den operationellen Betrieb überzuführen. Dennoch waren die ESA und EU bisher noch nicht bereit, den ursprünglichen Zeitplan zu ändern. Insider sprechen davon, dass dem Konzessionär die Aufgabe zukommt, einen neuen Zeitplan zu präsentieren. Angesichts der sich parallel ereignenden Verzögerungen, die sich auch bei der Modernisierung von GPS ergeben, erscheint eine Verzögerung um 2-3 Jahre nicht mehr als sehr kritisch.

9. Systemarchitektur

Die Benutzeranforderungen an ein europäisches Navigationssystem und die daraus resultierenden Systemspezifikationen wurden im Mission High Level Definition Dokument [16] zusammengefasst. Zu den grundlegenden Forderungen zählen Navigations- und Zeitdienstleistungen mit globaler Abdeckung, Unabhängigkeit von anderen Navigationssystemen, aber gleichzeitig Interoperabilität mit GPS und GLONASS. Zudem werden ein globaler Integritätsservice für Galileo und die weltweite Abdeckung des Search and Rescue Return Links gefordert. Neben diesen grundlegenden Forderungen gibt es eine Vielzahl von wirtschaftlichen, sozialen und technischen Anforderungen, die die Systemarchitektur beeinflussen.

Galileo wird durch vier Teilbereiche bestimmt: zur globalen Komponente zählen die 30 Satelliten (Raumsegment) und eine Vielzahl von Bodenstationen (Bodensegment); die regionale Komponente beschreibt einen Integritätsservice, der auf eine bestimmte Region (beispielsweise Australien

oder Südamerika) abgestimmt ist. Die lokalen Komponenten schließen unter anderem GSM Stationen mit ein, mit denen das Galileo-Signal ergänzt werden kann. Der vierte Teilbereich stellt das Benutzersegment mit den Galileo-Empfängern dar.

Die endgültige Konstellation besteht aus 27 Satelliten, die gleichmäßig in drei Bahnebenen verteilt sind. Die Bahnebenen ordnen sich wiederum gleichmäßig um den Erdäquator. In jede Bahnebene wird zusätzlich ein Reservesatellit platziert. Die Inklination der Bahnebene zum Äquator beträgt 56 Grad. Die Satelliten fliegen etwa 23000 Kilometer über der Erdoberfläche, man spricht auch von Mean Earth Orbit (MEO). Die Konstellation wurde so optimiert, dass zu jeder Zeit auf der gesamten Erdoberfläche mindestens vier Satelliten sichtbar sind.

Nach einer umfangreichen Studie unterschiedlicher Ansätze (z.B. Low Earth Orbits – LEOs, geostationäre Orbits, diversen Mischformen) fiel die Wahl auf diese Konstellation. Dabei spielten die Satellitensichtbarkeit und die Geometrie der sichtbaren Satelliten, die durch die Dilution of Precision (DOP) ausgedrückt wird, eine wesentliche Rolle bei der Selektion. Andere Kriterien waren Robustheit, Homogenität, Risiken oder auch Kostenpunkt. Für die Satellitensichtbarkeit wurden nördliche Regionen genauso ins Kalkül gezogen wie städtische Straßenschluchten. Die gewählte Konstellation mit den 30 MEO-Satelliten ist optimal im Sinne der Anforderungen und ist ähnlich jener von GPS und GLONASS.

Die Galileo-Satelliten strahlen zehn unterschiedliche Signale auf mehreren Frequenzen

aus. Je nach gewähltem Service stehen bis zu 3 Frequenzen zur Navigation zur Verfügung. Unter Ausnützung von mindestens zwei Frequenzen bietet Galileo eine Genauigkeit von 4 Metern (horizontal) und 8 Metern (vertikal) weltweit zu 99,5% der Zeit an (95% Konfidenzintervall). Unter günstigen Verhältnissen sind Genauigkeiten von 1-2 Metern (Einzelpunktbestimmung in Echtzeit) durchaus möglich.

Die Frequenzen konnten von der Europäischen Union mit der Unterstützung einer großen Mehrheit von Staaten aller Kontinente, die sich an der Entwicklung von Galileo beteiligen wollen oder dies bereits tun, bei der Weltfunkkonferenz (World Radio Conference – WRC) in Istanbul im Mai 2000 reserviert werden. Voraussetzung dafür war die Kompatibilität mit den bestehenden Systemen. Die Aufgabe der WRC liegt in der unparteiischen, multilateralen Koordinierung der Benützung des Frequenzspektrums. Abbildung 8 zeigt die Frequenzbänder sowie die Navigationssignale von Galileo.

10. Services

Für die Entwicklung der Galileo-Architektur wurde ein dienstleistungsorientierter Ansatz gewählt. Das Galileo-Programm unterscheidet zwischen fünf verschiedenen Diensten, die dem Nutzer geboten werden sollen. Die Spezifikationen der fünf Dienste sind im Mission High Level Definition Dokument [16] detailliert angeführt. Die Querverbindung zwischen den gebotenen Diensten und den entsprechenden Navigationssignalen ist in Abbildung 8 gegeben.

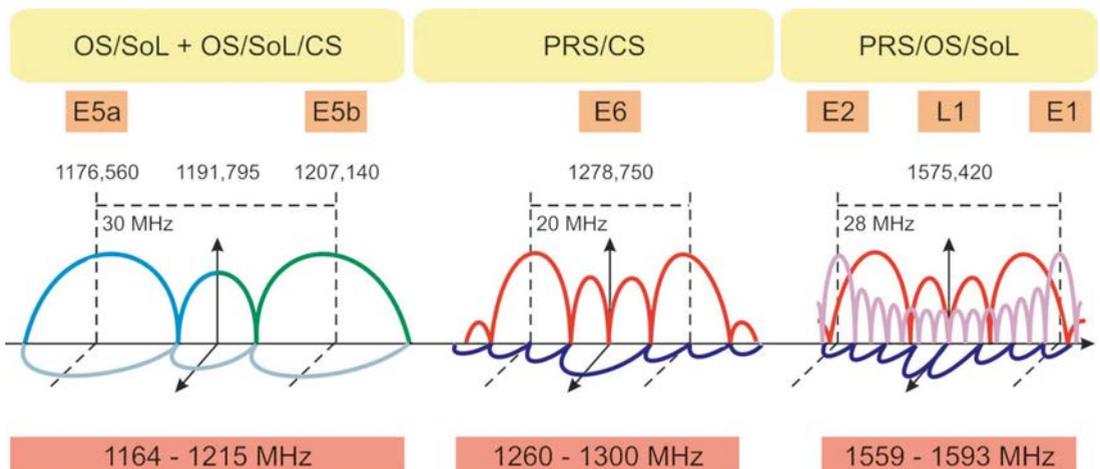


Abb. 8: Frequenzbänder und Navigationssignale von Galileo [16]

Der offene Dienst (Open Service – OS) ist von allgemeinem Interesse und steht in direkter Konkurrenz zum bestehenden GPS-Dienst. Der gebührenfreie Zugang ermöglicht jedem, die Galileo-Signale für Ortung, Navigation und Zeitbestimmung zu nutzen. Hauptanwendungen der Navigation liegen im Straßenverkehr, in Mobilfunkanwendungen und generell in den Location Based Services (LBS).

Der kommerzielle Dienst (Commercial Service – CS) bietet ähnliche Genauigkeiten wie der OS. Der Benutzer dieses Dienstes muss dafür aber ein Entgelt entrichten. Als Gegenleistung bekommt er eine Garantie für den gebotenen Dienst und zudem können begrenzte Daten über die Galileo-Satelliten ausgesendet werden. Die ESA sieht die Hauptanwendungen in den Bereichen des Schiffs- und Fahrzeugflottenmanagements, des Mautwesens oder beispielsweise des Vermessungswesens.

Der öffentlich regulierte Dienst (Public Regulated Service – PRS) soll vorwiegend von Sicherheits- und Rettungsorganisationen wie Polizei, Feuerwehr, Rettung, Europol, OLAF oder Geheimdiensten genutzt werden. Das verschlüsselte Signal erlaubt eine große Positionsgenauigkeit mit hoher Integrität. Zudem wird sich dieser Dienst durch eine hohe Kontinuität auszeichnen. Der Zugang zu diesem Dienst wird durch die einzelnen EU-Mitgliedstaaten geregelt und kontrolliert. Drittstaaten, die sich am Galileo-Programm beteiligen, wird dieser Dienst verwehrt bleiben. Großbritannien beabsichtigte des weiteren, diesen Dienst europaweit nur nicht-militärischen Organisationen zugänglich zu machen. Verwundert zeigten sich die Franzosen über dieses Ansinnen: „*We did not ask for their opinion, nor will we be bound by it.*“ Die Briten, die ihren Einfluss auf GPS mit der Teilnahme am Galileo-Programm aufgaben, mussten feststellen, dass sie auf das Galileo-Projekt wenig Einfluss nehmen konnten.

Der sicherheitskritische Dienst (Safety of Live – SoL) kommt dort zum Einsatz, wo Menschenleben von der Positionsbestimmung und Navigation abhängig sind. Anwendungsgebiete sind die Luftfahrt, Schifffahrt oder das Eisenbahnwesen.

Der fünfte Dienst unterstützt direkt den weltweiten Rettungsdienst von Cospas-Sarsat (Search and Rescue – SAR). Damit wird es möglich, die Position von SOS-Hilferufen in nur wenigen Minuten an die zuständigen Rettungsleitzentralen weiterzugeben. Cospas-Sarsat ist ein Such- und Rettungsdienst, zu dessen Gründungsmitgliedern die Vereinigten Staaten, die Russische Föderation, Frankreich und Kanada zählen.

Die fünf rein satellitenbasierten Galileo-Dienste werden durch die Kombination mit anderen Navigationssystemen und lokalen Elementen ergänzt und verbessert.

11. Anwendungsbereiche

Die junge Geschichte der Satellitennavigation legt Zeugnis ab, wie eine Technologie verschiedene Bereiche des Lebens erobern kann. Das enorme Innovationspotential und die Auswirkungen der Satellitennavigation auf das wirtschaftliche und soziale Leben lassen sich heute noch kaum abschätzen.

Der Schiffs- und Luftverkehr verwendet die Satellitennavigation schon seit einigen Jahren in der einen oder anderen Form. In den letzten Jahren hat sich die Navigation auch verstärkt im Landverkehr durchgesetzt (Abbildung 9). Im Moment dient sie lediglich als Routing-Instrument, das im Zusammenspiel mit Verkehrsüberwachungssystemen auch Fahrzeugleitfunktionen zur Stauvermeidung und -verminderung beitragen kann. In Zukunft könnte es beispielsweise auch als Unfallvermeidungssystem im Straßenverkehr eingesetzt werden.

Die Überwachung von Zugstrecken, das Frachtmanagement, die Landwirtschaft und der Fischfang werden in Zukunft genauso die Mittel der Satellitennavigation benützen wie auch die Erdölprospektion, das Bauwesen oder zunehmend auch das klassische Vermessungswesen. Wirtschafts- und Unternehmensbereiche werden von Galileo profitieren, Rettungsdienste werden schneller eingreifen können, Menschen in unmittelbarer Gefahr wird schneller geholfen werden können.

Die Satellitennavigation ist ein passives System, das zwar dem Benutzer ermöglicht, seine Position zu bestimmen, aber ohne dessen Einverständnis und Zutun es nicht möglich ist, die Position dem System bekannt zu geben. In diesem Sinne ist eine permanente Überwachung mittels reiner Satellitennavigation nicht möglich. Für Zwecke des Location Based Services, für Notrufsysteme oder für Mautsysteme wird sich die Navigation eng an die Mobilkommunikation binden.

Am 23. April 2003 veröffentlichte die Kommission der Europäischen Gemeinschaft in ihren Mitteilungen ihre Pläne für ein einheitliches Europäisches Mautsystem. Langfristig werden die europäischen Staaten dazu angehalten, die Satellitenortungstechnik für neue Systeme ab 2008 einzusetzen. Bis 2012 sollen nach derzeitigem Stand alle Mautsysteme auf die Satellitentechnik umgerüstet werden. Dies bedeutet für

Österreich wie auch für Spanien, Frankreich, Griechenland, Portugal und Italien, die bestehenden Systeme auszutauschen.

Damit schafft die Europäische Kommission einerseits ein System, das die Einheit Europas weiter verstärkt. Andererseits ist damit sichergestellt, dass der Großteil von Europas Schwerlastkraftfahrzeugen mit einem Galileo-Navigationssystem ausgerüstet wird. Dies stellt einen finanziellen Rückfluss in das Galileo-Programm sicher.

Die Europäische Kommission gab nicht nur aus finanziellen Überlegungen dem Galileo-System den Vorzug für ein satellitengestütztes Mautsystem. Die größere Flexibilität und die bessere Anpassbarkeit an neue, gemeinschaftliche Entgeltkonzepte waren weitere Argumente, die Satellitenortung beispielsweise einem Mikrowellenmautsystem (wie derzeit in Österreich in Verwendung) vorzuziehen. Die Absicht der Europäischen Kommission, ein satellitengestütztes Mautsystem einzuführen, war zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung für ein Mautsystem in Österreich bereits bekannt. Inzwischen ist das anfänglich belächelte deutsche System fast zu einem Vorzeigeprojekt geworden.

Neben dem Mautsystem sehen bereits jetzt zwei weitere europäische Rechtsvorschriften die Nutzung der Satellitennavigation vor: die Überwachung des Schiffsverkehrs und die Überwachung von Tiertransporten. Weitere Rechtsvorschriften, die eine Einbindung der Satellitennavigation verpflichtend vorschreiben, werden sicherlich folgen.

Energieversorger, Computernetzwerke, wie auch Finanzzentren werden sich des hochpräzisen Zeitsystems von Galileo und GPS zur besseren Synchronisation der Abläufe bedienen. So paradox es klingen mag, aber finanzielle Transaktionen werden bereits heute und auch in Zukunft durch ein Satellitennavigationssystem ermöglicht. So gibt es viele weitere atypische Beispiele, die mit einem Navigationssystem scheinbar nichts zu tun haben.

Eine zunehmende Abhängigkeit von der Satellitennavigation birgt ein zunehmendes Risiko. Terroristen, Staatsfeinde oder die Wirtschaftsmafia könnten sich verschiedener Mittel bedienen, um der Wirtschaft oder einem Staat zu schaden oder Kontrolle z.B. über die Wirtschaft zu bekommen. Im Jahr 2015 wird der Ausfall der Satellitennavigation für zwei Tage Schäden in Milliardenhöhe verursachen – dies prognostizieren zumindest Wirtschaftsforscher [18]. In Anbe-

tracht dieser Prognose werden Themen wie Strafverfolgung, Dienstleistungsgarantie und Haftung heiß diskutiert.

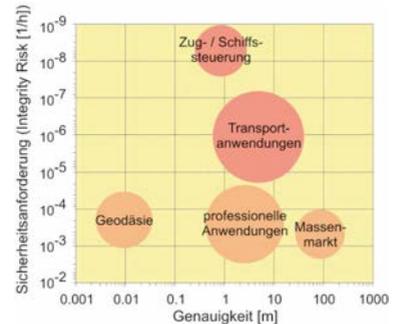


Abb. 9: Genauigkeits- und Sicherheitsanforderungen verschiedener Anwendungsbereiche [17]

12. Dienstleistungsgarantie und Haftung

Die Sicherheit von Galileo und dessen Benützern ist ein wesentlicher Aspekt des Programms. Ein wesentlicher Bestandteil von Galileo und ein Merkmal, das Galileo vom heutigen GPS unterscheiden soll, ist die Integritätsinformation. Diese Information wird dem Empfänger anzeigen, wann entweder generell das Galileo-Signal oder das Signal von einem bestimmten Satelliten außerhalb der Spezifikationen liegt. Der Navigationsempfänger kann die gekennzeichneten Signale eliminieren und erhöht damit die Integrität der Positionslösung (falls noch ausreichend „integre“ Signale verfügbar sind).

Die systemeigene Integrität und die damit zusammenhängende Dienstleistungsgarantie ist einer von drei Eckpfeilern von Galileo (vgl. Abbildung 10). Neben der Interoperabilität und der Redundanz mit anderen GNSS, die beide die Verfügbarkeit und teilweise auch die Genauigkeit steigern, erhöht die Integrität die Sicherheit in der Satellitennavigation.

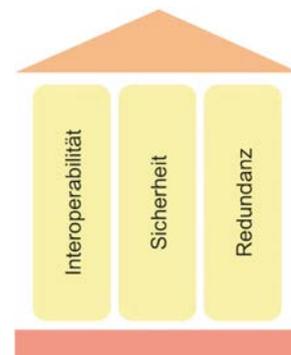


Abb. 10: die Eckpfeiler Galileos [19]

Sicherheitskritische Anwendungen sind Anwendungen, bei denen ein nicht detektierter Systemfehler mittelbar oder unmittelbar zu einem fatalen Ereignis führen könnte – beispielsweise in der Luftfahrt beim Landeanflug eines Flugzeugs. Dabei muss zwei Arten von Gefahren vorgebeugt werden: das System muss einerseits gegen Eingriffe in seine Funktion, seien sie böswilliger Art oder nicht, geschützt werden. Und es muss verhindert werden, dass es zu Zwecken verwendet wird, die gegen die Interessen der Europäischen Union und seiner Mitgliedsstaaten gerichtet sind [15]. Eine wie auch immer geartete Veränderung des Systems – physischer oder elektronischer Natur – und der von Galileo bereitgestellten Dienste muss entgegengewirkt werden. Haftungsfragen, die durch einen Verlust der Betriebskontinuität und einer von den Behörden erteilten Zugangsbeschränkung und –verbot entstehen, sind genau abzuklären. [8]

Sicherheitskritische Anwendungen bedürfen einer Zertifizierung und internationalen Standardisierung der benutzten Systeme. Die Zertifizierung und Standardisierung sind aber zwei sehr heikle Themen, genauso wie die Dienstleistungsgarantie und die damit verbundenen Haftungsfragen.

13. Zukunftsvisionen

Galileo ist in technologischer, wirtschaftlicher, strategischer und sozialer Hinsicht von immenser Bedeutung für Europa. Galileo ist nicht nur die europäische Antwort auf das amerikanische GPS. Galileo stellt die Souveränität von Europa auf dem Gebiet der Satellitennavigation sicher. Gleichzeitig hat Europa die Kontrolle über eine Technologie, deren Nutzungspotential derzeit kaum abzuschätzen ist. Ähnlich den Mikrocomputern, dem Internet oder der Mobiltelefonie ist von den Anwendungsbereichen der Satellitennavigation derzeit nur der Gipfel des Eisbergs zu identifizieren.

Die EU erkennt in den Navigationssystemen die Garantien für Mobilität, Innovation und auch Umweltqualität. Innerhalb der EU ist das Galileo-Programm ein wesentlicher Bestandteil der gemeinschaftlichen Verkehrspolitik [20]. Dies rechtfertigt zur Genüge das politische und finanzielle Engagement der Europäischen Gemeinschaft.

Der Erfolg des Systems und der Durchsatz im Navigationsmarkt werden auch wesentlich vom Datum des operationellen Betriebs abhängen. Analysten sehen ein begrenztes Zeitfenster, innerhalb dessen Galileo umgesetzt werden muss. Die EU wird auf den Konzessionär vermehrt Druck ausüben, um dieses Zeitfenster nicht untätig verstreichen zu lassen.

Für zivile Benutzer sind die Interoperabilität und Redundanz von Galileo und GPS von entscheidender Bedeutung. Dadurch stehen dem User nahezu 60 Satelliten zur Verfügung, die er zur Navigation nützen kann. Sollte auch GLONASS wieder voll operationell werden, stünden sogar 90 Satelliten weltweit zur Navigation bereit. Die Verfügbarkeit der Positionslösung wird sich für den User damit deutlich erhöhen.

Galileo wird wesentlich zur "Personal Mobility" beitragen, kann aber den Ansprüchen der Mobilität nicht vollends Genüge tun. Die Navigationsexperten arbeiten schon heute an Systemen, um unterschiedliche Sensoren zu kombinieren und zu integrieren (vgl. Abbildung 11). Ziel ist es, dem Benutzer eine Positionsinformation bieten zu können, unabhängig davon, ob er sich auf dem Gipfel eines Berges oder im Tunnel darunter befindet. Hohe Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Integrität sind dabei von entscheidender Bedeutung. Die Satellitennavigation spielt in der Sensorfusion eine Schlüsselrolle.

Die Erfolgsgeschichte von Galileo hat gerade erst begonnen – bleiben Sie dran!

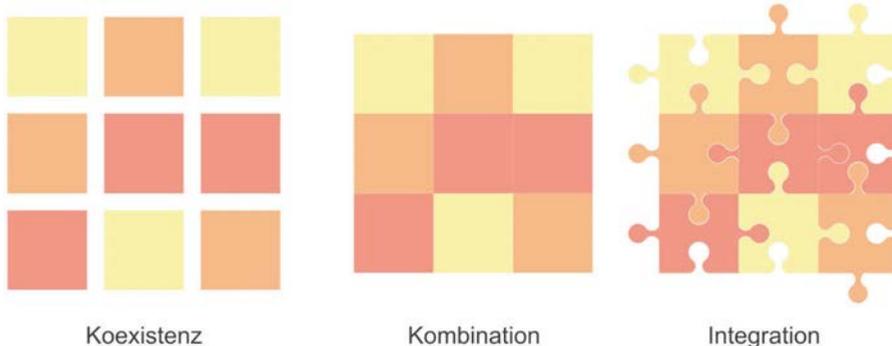


Abb. 11: Möglichkeiten der Nutzung von Navigationssystemen und Sensoren

Literatur

- [1] *Hofmann-Wellenhof B, Legat K, Wieser M (2003):* Navigation – principles of positioning and guidance. Springer, Wien New York.
- [2] *Europäischer Rat (1994):* Council Resolution of 19 December 1994 on the European contribution to the development of a Global Navigation Satellite System (GNSS). 94/C 379/02. Official Journal C 379 , 31/12/1994 p. 0002 – 0003.
- [3] *Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J (2001):* GPS – theory and practice, 5th edition. Springer, Berlin New York.
- [4] *Europäische Weltraumbehörde (2005):* EGNOS Homepage – www.esa.int/navigation/egnos.
- [5] *Toran-Marti F, Ventura-Traveset J (2004):* The ESA EGNOS Project: The First Step of the European Contribution to the Global Navigation Satellite System (GNSS). GNSS-1 Project Office. European Space Agency (ESA). Toulouse (France).
- [6] *Brüggemann C (2005):* Der Rechtsstreit um den Namen des Europäischen Satellitennavigationssystems „Galileo“. The Navigation View IV/2004. Österreichischer Verein für Navigation, Graz.
- [7] *Europäische Kommission (1999):* Galileo, Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Services. COM 1999/54, 10 February 1999.
- [8] *Europäische Kommission (2000):* Galileo. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Dossier 750/2000. Brüssel, 22. November 2000.
- [9] *Rat der Europäischen Union (2001):* Galileo. Entschließung des Rates vom 5. April 2001. Amtsblatt Nr. C 157 vom 30/05/2001.
- [10] *Agence Europe (2003):* EU/GALILEO. Bulletin Quotidien Europe Nr. 8433. 1. April 2003.
- [11] *Europäische Kommission (2004):* Stand der Durchführung des Forschungsprogramms Galileo zu Beginn des Jahres 2004. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Dossier 112/2004. Brüssel, 18. Februar 2004.
- [12] *PriceWaterhouseCoopers (2001):* Inception Study to Support the Development of a Business Plan for the Galileo Programme. TREN/B5/b23-2001. Executive Summary. 20. November 2001.
- [13] *Europäische Union (2004):* Verordnung (EG) Nr. 1231/2004 des Rates vom 12. Juli 2004 über die Verwaltungsorgane der europäischen Satellitennavigationsprogramme. Amtsblatt der Europäischen Union. L 246/1. 20. Juli 2004.
- [14] *Rat der Europäischen Union (2004):* Gesetzgebungsakte und andere Rechtsinstrumente, Betr: Verordnung des Rates über die Verwaltungsorgane der europäischen Satellitennavigationsprogramme. Dossier 10508/04. Brüssel, 25. Juni 2004.
- [15] *Europäische Kommission (2004):* Beginn der Errichtungs- und der Betriebsphase des europäischen Satellitennavigationsprogramms. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und an den Rat. Dossier 636/2004. Brüssel, 06. Oktober 2004.
- [16] *Europäische Kommission, Europäische Weltraumbehörde (2002):* Galileo Mission High Level Definition. 23. September 2002. Issue 3.
- [17] *Europäische Kommission (2002):* Galileo. Directorate General of Energy and Transport. Galileo Commission Presentation.
- [18] *Europäische Kommission (2000):* Cost benefit analysis results for Galileo. Commission staff working paper. 22. November 2000.
- [19] *Christof Schäfer (2004):* Galileo – Stand des Programms und der Systemdefinition. Präsentation bei der Intergeo 2004, 14. Oktober 2004, Stuttgart, Deutschland.
- [20] *Europäische Kommission (2001):* das Weißbuch – Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft. Generaldirektion Energie und Verkehr der Europäischen Kommission.
- [21] *Europäische Union (2005):* Galileo Homepage – europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Elmar Wasle: TeleConsult Austria GmbH, Schwarzbauerweg 3, A-8043 Graz;
E-mail: ewasle@teleconsult-austria.at

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofmann-Wellenhof: Technische Universität Graz, Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Steyergasse 30, A-8010 Graz;
E-mail: hofmann-wellenhof@tugraz.at

Anmerkung der Autoren: Am Institut für Navigation und Satellitennavigation der Technischen Universität Graz wird seit dem Studienjahr 2003/04 eine Vorlesung über Galileo abgehalten. Interessenten können sich gerne an die Autoren wenden. 