

Seminar aus Informatik

## **GALILEO**

Reischmann Stefan (9620081), Mihajlovic Roland (9930742)

28. Februar 2008

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GALILEO aus europäischer Sicht</b>	<b>4</b>
2.1	Einführung . . . . .	4
2.2	Geschichte und Kosten des Milliardenprojekts . . . . .	5
2.3	Planung . . . . .	6
2.3.1	Phasen 1 und 2 . . . . .	6
2.4	Fertigstellung . . . . .	8
2.4.1	Dritte Phase . . . . .	8
2.5	Betrieb . . . . .	9
2.5.1	Vierte Phase . . . . .	9
2.6	Wie funktioniert Satellitennavigation . . . . .	9
2.7	Satellitenbahn . . . . .	9
2.8	<b>GNSS</b> (Global Navigation Satellite System) . . . . .	10
2.8.1	Arbeitsweise . . . . .	10
2.8.2	Satelliten-Triangulation . . . . .	11
2.8.3	Messpraxis . . . . .	11
2.8.4	Messfehler . . . . .	11
2.9	Signal . . . . .	12
2.10	Dienste . . . . .	13
2.11	Auf den Zentimeter genau . . . . .	14
2.12	Uhren . . . . .	14
2.12.1	Extrembedingungen im All . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Politische Sichtweise über GALILEO</b>	<b>16</b>
3.1	Abkommen mit den USA . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Partner</b>	<b>18</b>
4.1	Aufsichts-Organisationen und Betreiber . . . . .	18

<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	<i>2</i>
<b>5 GATE - Galileo Test- und Entwicklungsumgebung</b>	<b>20</b>
5.1 Betrieb . . . . .	20
5.2 Test - Gebiet . . . . .	20
<b>6 Fazit</b>	<b>22</b>
<b>7 Quellen</b>	<b>23</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

In dieser Ausarbeitung möchten wir eine kleine Zusammenfassung über unsere Seminararbeit des europäischen Satellitennavigationsprojekt **GALILEO** beim

**Univ.-Prof. Dr. Pree Wolfgang**

geben.

In den folgenden Kapiteln wird näher auf das Projekt GALILEO eingegangen.

# Kapitel 2

## GALILEO aus europäischer Sicht

### 2.1 Einführung

GALILEO ist der Name des europäischen Satellitennavigationssystems, einer gemeinsamen Initiative der Europäischen Union und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), das Ende 2010 betriebsbereit sein soll. Dieses Datum zu erreichen scheint utopisch da man dem Plansoll schon mindestens um 5 Jahre nachhinkt. Es basiert auf 30 Satelliten (27 + drei Ersatz), die in einer Höhe von etwa 23.600 km die Erde umkreisen, und einem Netz von Bodenstationen, welche die Satelliten kontrollieren. Die Nutzer können aus den verschiedensten Bereichen mit Ortungsinformationen versorgt werden. Zu diesen Sektoren gehören das Verkehrswesen (Ortung und Ermittlung der Geschwindigkeit von Fahrzeugen, Wegplanung, Navigationssysteme usw.), soziale Einrichtungen (z.B. Hilfe für Behinderte oder Senioren), die Justiz und der Zoll (Feststellung des Aufenthaltsortes von Verdächtigen, Grenzkontrollen), das Bauwesen (geografische Informationssysteme), Not- und Rettungsdienste oder der Freizeitsektor (Orientierung auf dem Meer und in den Bergen usw...).

Taschenempfänger in der Größe eines Handys können aus den Funksignalen der Satelliten die eigene Position mit einer Genauigkeit von wenigen Metern bzw. Zentimetern bestimmen. GALILEO ist für zivile Zwecke konzipiert und unterliegt nicht, wie das US-amerikanische GPS und das russische GLONASS, einer nationalen militärischen Kontrolle, sondern ist unter der Kontrolle von politischen Instanzen die für die Kontinuität seiner Dienste garantieren. So können etwa die US-Behörden das verwendete Satelliten-Signal bei militärischen Manövern jederzeit und ohne Vorwarnung verschleiern, verschlüsseln oder ganz abschalten. Lediglich die Truppen aus dem eigenem Land haben dann auf die verschlüsselten GPS-Daten Zugriff. Dieses weltwei-

te System wird zugleich komplementär zum derzeitigen GPS-System sein.

Die Satellitennavigation ist eine Spitzentechnologie. Dabei werden von mehreren Satelliten im Weltraum höchst genaue Zeitsignale ausgestrahlt, anhand derer jedermann mit einem kleinen und preisgünstigen Empfangsgerät seinen Standort oder den eines bewegten oder unbewegten Objekts (Fahrzeug, Schiff, Viehherde usw. . . .) auf den Meter genau bestimmen kann.

Der erste Testsatellit „Giove-A“ wurde am 28. Dezember 2005 um 6:19 Uhr MEZ auf dem Raumfahrtzentrum in Baikonur (Kasachstan) gestartet und hat um 13:51 in 23.222 km Höhe seinen planmäßigen Betrieb aufgenommen. Der Probetrieb mit vier Satelliten ist für 2008 vorgesehen. Die Gesamtkosten für die Bereitstellung werden mit mindestens 3,6 Mrd Euro veranschlagt.

## 2.2 Geschichte und Kosten des Milliardenprojekts

Das Projekt ist in vier Phasen aufgeteilt.

- **Planung**(Erste und zweite Phase)
- **Fertigstellung**(Dritte Phase)
- **Betrieb**(Vierte Phase)

Mittlerweile ist der grösste Teil der Finanzierung gesichert und von den EU-Ministern der teilnehmenden Staaten abgesegnet. Die EU-Verkehrsminister bewilligten eine Anschubfinanzierung von rund 450 Millionen Euro. Für die Entwicklungsphase waren bereits von der Entscheidung in Brüssel 550 Millionen Euro von der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) und 100 Millionen Euro EU-Gelder bereit gestellt worden. Insgesamt werden die Kosten allerdings auf bis zu 3,6 Milliarden Euro geschätzt (dies soll aber nur eine vorsichtige Schätzung sein). Für die fehlenden 2,5 Milliarden Euro müssen private Investoren gefunden werden. Doch die Reaktionen aus der Wirtschaft sind verhalten, da man für ein paar GALILEO-Leistungen Gebühren zahlen soll, sie werden daher eher beim kostenlosen GPS bleiben. Auch die Reaktionen der finanzstarken Automobilindustrie sind schwach da ein Zusatznutzen gegenüber GPS nicht erkennbar sei. Auch die Hersteller von Navigationsgeräten sind zurückhaltend, denn sie haben sich auf die GPS-Empfänger spezialisiert.

Folgende Staaten ausserhalb der EU beteiligen sich ebenfalls an GALILEO:

- **China** (mit ca. 280 Mio. Euro)
- **Indien** (mit ca. 200 Mio. Euro)
- **Israel**
- **Ukraine**
- **Marokko**
- **Schweiz** (liefert das Herz von GALILEO mit extrem genauen Rubidium und H-Maser-Atomuhren)
- **Südkorea**

Folgende Staaten verhandeln über eine Teilnahme:

- **Argentinien**
- **Brasilien**
- **Chile**
- **Kanada**
- **Malaysien**
- **Mexiko**
- **Norwegen**

Spätestens ab dem Jahr 2015 hofft man, dass keine öffentlichen Mittel mehr in das GALILEO-Projekt fliessen müssen.

## 2.3 Planung

### 2.3.1 Phasen 1 und 2

Wie schon oben erwähnt finanziert die ESA die erste Projektphase zur Definition der Aufgaben mit ca. 100 Mio. Euro. Die Planungs- und Definitionsphase schliesst mit dem Start und der Inbetriebnahme zweier Testsatelliten und der zugehörigen Bodenstation im Januar 2006 ab. Der Test der Sendefrequenzen

muss vor dem 10. Juni 2006 erfolgen, weil sonst die Reservierung für die GALILEO-Frequenzbänder bei der ITU verfällt. Mit der Entwicklung, Start und Test von vier GALILEO-Satelliten (IOV „In Orbit Validation“) endet die zweite Phase.

Technische Daten der Satelliten:

- **Testsatellit 1**

Bezeichnung: Giove-A (ital. Jupiter, bzw. GALILEO In-Orbit Validation Element), bisherige Bezeichnung: GSTB-v2 A (GALILEO System Test Bed)

Nutzlast: Signalgenerator, Rubidium-Atomuhren

Hersteller: Surrey Satellite Technology

Startmasse: 600 kg

Leistung: 700 W

Größe:  $1,3m \times 1,8m \times 1,65m$

Gestartet: 28. Dezember 2005 6:19 Uhr MEZ

Träger: Sojus-FG/Fregat

- **Testsatellit 2**

Bezeichnung: Giove-B, bisherige Bezeichnung GSTB-v2 B

Nutzlast: Signalgenerator, Rubidium- und Wasserstoffmaser-Atomuhren

Hersteller: GALILEO Industries

Startmasse: 523 kg

Leistung: 943 W

Größe:  $0,955m \times 0,955m \times 2,4m$

Starttermin: Herbst 2006

Träger: Sojus-Fregat

- **GALILEO-Satellit (zum Vergleich)**

Hersteller: GALILEO Industries

Startmasse: 680 kg

Leistung: 1500 W (nach 12 Jahren)

Größe:  $2,7m \times 1,2m \times 1,1m$

Starttermin: 2008

Träger: Ariane 5, Sojus-Fregat

Lebensdauer: über 12 Jahre

Spannweite der Solarpanels: 14,8 m



### Technische Daten der Test-Bodenstationen

- Bezeichnung: GSTB-V1 Sensor Stations Network

Diese Phase umfasse den Betrieb von 3 bis 4 funktionstüchtigen Satelliten, dem sogenannten **Raumsegment**, und der Boden-Betriebseinrichtung, dem **Bodensegment**. Das Bodensegment besteht aus untereinander vernetzten Empfangs- und Sendestationen.

## 2.4 Fertigstellung

### 2.4.1 Dritte Phase

In der dritten Phase, der Errichtungsphase, wird das System fertig gestellt. Alle 30 Satelliten sind dann betriebsbereit und kommunizieren mit dem Bodensegment. Die Kosten werden auf mind. 2,5 Mrd. Euro veranschlagt, die der private Konzessionär (siehe unten) zu 70 Prozent, die öffentlichen Haushalte zu 30 Prozent übernehmen sollen (Public Private Partnership).

Das komplette Bodensegment umfasst:

- zwei gleichberechtigte Kontrollzentren (GCC) in Oberpfaffenhofen (Deutschland) und eines in Fucino (Italien)
- zwei Performance-Center, die die Signalqualität evaluieren. Voraussichtlich werden sie an den Standorten der GCC eingerichtet.
- ein Kontrollzentrum in Spanien, das das Safety-of-Life-Signal kontrolliert und zusätzlich als Reserve-GCC dient.
- fünf Satelliten-Kontrollstationen (TTC) für die Satellitenkommunikation mit 13-Meter-Antennen im S-Band (2-GHz).
- 30 Signalkontroll-Empfangsstationen (GSS) zur Erfassung der GALILEO-Signale im L-Band. Verrechnung der Daten alle zehn Minuten.
- neun Up-link-Stationen (ULS) zur Aktualisierung der ausgestrahlten GALILEO-Navigationssignale, Kommunikation mit 3-Meter-Antennen im C-Band (5-GHz). Ausstrahlung von Satellitenpositions- und Zeitkorrekturen alle 100 Minuten.

## 2.5 Betrieb

### 2.5.1 Vierte Phase

Die vierte Phase umfasst den Betrieb und die Wartung des Systems. Man rechnet mit Betriebskosten von ca. 220 Mio. Euro pro Jahr, die ab 2008 ebenfalls der Konzessionär über Public Private Partnership (PPP) aufbringen soll. Möglicherweise tritt die EU mit einer Mrd. Euro für die Jahre 2007–2013 (= 150 Mio. Euro/Jahr) in Vorleistung.

## 2.6 Wie funktioniert Satellitennavigation

Schon immer haben die Menschen sich am Himmel orientiert. Die heutige Satellitennavigation setzt diese Tradition fort, bietet jedoch dank modernster Technik eine im Vergleich zur einfachen Orientierung an Sonne und Sternen ungleich höhere Präzision. Die Technologie, die zu Beginn in erster Linie militärischen Zwecken diente, wird seit etwa 30 Jahren entwickelt und ermöglicht es dem Benutzer, mit Hilfe eines Geräts für den Empfang von Signalen einer Satellitenkonstellation seine zeitliche und räumliche Position jederzeit exakt zu bestimmen.

### Das Funktionsprinzip ist einfach:

Die zu der Konstellation gehörenden Satelliten sind mit einer Atomuhr für extrem genaue Zeitmessungen ausgerüstet. Die Satelliten senden Signale aus, die verschlüsselte Informationen über den Sendezeitpunkt enthalten. Das Empfangsgerät auf der Erde, das z. B. in einem Mobiltelefon untergebracht sein kann, besitzt einen Speicher mit den genauen Koordinaten der jeweiligen Satellitenumlaufbahnen. Beim Empfang eines Signals kann somit der Satellit, von dem das Signal ausgestrahlt wurde, festgestellt sowie die Laufzeit des Signals und damit auch die Entfernung zum Sendesatelliten berechnet werden. Werden gleichzeitig Funksignale von mindestens vier Satelliten empfangen, so ist eine genaue Positionsbestimmung möglich (um die vier Unbekannten geographische Länge, geographische Breite, Höhe über der Erde und Zeit abzuschätzen).

## 2.7 Satellitenbahn

30 Satelliten umkreisen die Erde auf drei Bahnebenen mit einer Inklination von  $56^\circ$  in einer **Walker-Konstellation** (Die Satelliten bewegen sich in kreisförmigen Bahnen gleicher Höhe und gleichem Anstellwinkel (Inklination) um den Globus. Dabei decken sie die Erde vollständig und kontinuierlich

mit sogenannten Bodenspuren ab). Pro Bahnebene sind neun Satelliten vorgesehen, zusätzlich ein Reservesatellit. Sie haben einen Abstand von  $40^\circ$  mit einer Abweichung von maximal  $2^\circ$ , entsprechend 1000 km zueinander. Bei einer Höhe von 23.616 km benötigen die Satelliten zehn Tage, um nach 17 Umläufen den Ausgangspunkt wieder zu erreichen.

## 2.8 GNSS (Global Navigation Satellite System)

GNSS ist die Bezeichnung für ein System zur Positionsbestimmung auf der Erde und in der Luft durch den Empfang von Satellitensignalen und oder Signalen von Pseudoliten. GNSS-Satelliten teilen über Funk ihre genaue Position und Uhrzeit mit. Zur Positionsbestimmung muss der Beobachter die Signale von mindestens vier unabhängigen Satelliten gleichzeitig empfangen. Durch Bestimmung der Laufzeit und Triangulierung leitet er daraus seine eigene Position ab. Die Bezeichnung GNSS-1 wird für geplante Projekte verwendet, die die bisherigen militärischen Systeme GPS und GLONASS durch bodengestützte Sendestationen und geostationäre Satelliten erweitern und damit den zivilen Anwendern eine höhere Dienstgüte bereitstellen. Diese satellitengestützten Zusatzsysteme, engl. Satellite-Based Augmentation Systems (SBAS), sind das europäische EGNOS, das US-amerikanische WAAS, das japanische MSAS und das indische GAGAN.

GNSS-2 steht für Satellitennavigationssysteme der zweiten Generation wie das europäische Satellitennavigationssystem GALILEO.

### 2.8.1 Arbeitsweise

- Triangulation

Vom eigenen Standort aus misst man den Winkel, unter dem zwei bekannte Objekte erscheinen. Dann befindet man sich irgendwo auf dem Kreis, der durch die Rotation des Scheitelpunkts um die Verbindungslinie zwischen den beiden Objekten aufgespannt wird. Meist steht man auf der Erde, weshalb zwei Bezugspunkte ausreichen. Um die eigene Höhe über der Erdoberfläche zu bestimmen, ist ein weiteres Referenzobjekt notwendig.

### 2.8.2 Satelliten-Triangulation

Bei der Standortbestimmung über Satelliten misst man keine Winkel, sondern Entfernungen. Kennt man den Abstand zu drei Satelliten bekannter Position, ist der eigene Standort eindeutig festgelegt.

### 2.8.3 Messpraxis

Der Satellitenstandort ändert sich ständig und mit ihm die Entfernung des Satelliten zur Erde. Diese Parameter lassen sich deshalb vom Beobachter nicht direkt bestimmen. Dafür kennt der Satellit seine momentane Position, die die Bodenstation regelmäßig abgleicht. Die Entfernung vom Satelliten zum Beobachter erschließt sich aus der Signallaufzeit. Der Satellit strahlt fortwährend seine Positionsdaten und ein Zeitsignal aus. Durch den Vergleich mit einer eigenen Uhr weiß der Beobachter, wie lange das Signal bis zu ihm gebraucht hat. Für eine Genauigkeit von 3 Meter muss die Zeitunsicherheit kleiner als 10 Nanosekunden sein. Anstatt den Empfänger mit einer hochgenauen Atomuhr auszustatten, leitet man die Zeit aus den Zeitsignalen der Satelliten ab. Deshalb benötigt man zur Positionsbestimmung nicht nur drei, sondern vier Satelliten, um die vier Unbekannten geographische Länge, geographische Breite, Höhe über der Erde und Zeit abzuschätzen.

### 2.8.4 Messfehler

Wie bei der Triangulation sollte das Volumen der Pyramide, die die Satelliten mit dem Beobachter an der Spitze aufspannen, möglichst groß sein. Liegen die Satelliten auf einer Linie, ist keine genaue Ortsbestimmung möglich. Die Atmosphäre verändert die Signallaufzeit. Anders als bei der Troposphäre ist der Einfluss der Ionosphäre frequenzabhängig. Er läßt sich teilweise korrigieren, wenn der Empfänger Signale auswertet, die der Satellit auf unterschiedlichen Frequenzen sendet.

Folgende Meßfehler beeinflussen die Positionsgenauigkeit:

Quelle	Zeitfehler	Ortsfehler
Satellitenposition	6 – 60ns	1 – 10m
Ionosphäre	0 – 180ns	0 – 30m
Troposphäre	0 – 180ns	0 – 30m
Mehrwegeeffekte	0 – 6ns	0 – 1m
Zeitdrift	0 – 9ns	0 – 1.5m

Die Genauigkeit nimmt zu, wenn mehr als 4 Satelliten empfangen werden können. Wenn die Messung nicht zeitkritisch ist, lassen sich die Fehler nachträglich durch Vergleich mit Referenzmessungen weiter verringern.

## 2.9 Signal

GALILEO nutzt gemeinsam mit GPS das Frequenzband L1 bei 1575,42 MHz und L5 bei 1176 MHz. Das Band L2 bei 1227,6 MHz steht GPS alle zur Verfügung, für GALILEO ist es das Band E6 bei 1278,75 MHz. Das Spektrum zeigt das erste Testsignal von Giove-A, das eine Hochgewinn-Antenne im Januar 2006 empfangen hat. Die Sendeleistung der Satelliten in ca. 20.000 km Entfernung ist so gering, dass ein Navigationsempfänger, ausgestattet mit einer einfachen Stabantenne, fast nur Rauschen sieht. Er empfängt nicht nur das Signal eines Satelliten, sondern von mindestens 4, deren Signale dopplerverschoben sind. Hinzu kommen die Ausstrahlungen von GPS-Satelliten auf den gleichen Frequenzen. Die Rückgewinnung der Navigationsdaten gelingt, da die Signale über einen großen Frequenzbereich gespreizt sind. Auf einer Frequenzbreite von 1 MHz, auf der sich rauschfrei 30 Mbps übertragen ließen und die Platz böte für mehr als 5 Radiostationen, sendet GALILEO mit einer Bitrate von 50bps, das sind 5-10 Buchstaben pro Sekunde.

Dabei wird ein spezielles Kodierungsverfahren zur Frequenzspreizung im digitalen Datenfunk verwendet, welches sich **Binary Offset Carrier (BOC)** nennt. Zum Beispiel wird bei GALILEO beim L1 Band die L1 die BOC(1,1) Kodierung/Modulation verwendet. Die Spreizungsarten der BOC Verfahren unterscheiden sich in ihrer Chip-Rate und der Rate der Trägerfrequenz, so steht bei BOC(10,5) der erste Wert für die Unterträgerfrequenz und der zweite Wert für die Chip-Rate. Die unterliegende Modulation des Signals erfolgt auf einen rechteckigen Unterträger, diese Frequenz wird über ein Rechtecksignal und nicht über einen Sinus erzeugt. Die Art von Verfahren wird auch Manchester-Kodierung genannt und wird unter diesem Namen auch in der Kodierung bei Ethernet Netzwerken eingesetzt.

Bei den GALILEO- Satelliten werden in 3 Frequenzbereichen

1. 1164-1215 MHz (E5a und E5b)
2. 1559-1592 MHz (E2-L1-E1)
3. 1260-1300 MHz (E6)

insgesamt 10 Signale mit Daten gesendet. Die Bereiche 1 und 2 sind für zivile Nutzung freigegeben. Der Bereich 3 ist verschlüsselt.

In den Bereichen 1 und 2 wird das BOC Verfahren eingesetzt. Durch die hohe Bandbreite der Signale ergibt sich ein geringes thermisches Rauschen, das bis zu einem Faktor 30 unter den jetzigen Verfahren liegt. Dies führt insgesamt zu einer deutlichen Verbesserung des Signals. Derzeit sind zwei Versionen definiert 1.1 und 1.5. Aus Vertragsgründen wird die störbarere Variante 1.1 in GALILEO eingesetzt, da es sonst zu Konflikten mit dem bereits bestehendem GPS-Signal geben könnte. Sprich d.h. das GALILEO-Signal darf das GPS-Signal nicht stören andererseits kann das GPS-Signal das GALILEO-Signal stören falls nötig.

## 2.10 Dienste

Der **Offene Dienst** (Open Service, OS) soll frei und kostenlos zugänglich sein. Er liefert Daten über die eigene Position mit einer Genauigkeit von wenigen Metern und die Uhrzeit mit der Genauigkeit einer Atomuhr (besser als 10-13). Weil der OS zwei Sendefrequenzen benutzt und damit Ionosphärenstörungen korrigieren kann, ist die Positionsbestimmung genauer als bei GPS. Die höhere Anzahl von Satelliten, 27 gegenüber 24 bei GPS, soll die Empfangsabdeckung in Städten von 50 Prozent auf 95 Prozent steigern. (Frequenzbänder: **1164–1214 MHz** und **1563–1591 MHz**)

Der **Kommerzielle Dienst** (Commercial Service, CS) ermöglicht die zusätzliche Übertragung von kostenpflichtigen Navigationsdaten (Übertragungsrate von ca. 500 Bit/sec), beispielsweise Korrekturdaten zur Steigerung der Positionsgenauigkeit um ein bis zwei Größenordnungen. (Frequenzbänder: **1164–1214 MHz**, **1260–1300 MHz** und **1563–1591 MHz**)

Der **Safety-of-Life-Dienst** (SoL) steht sicherheitskritischen Bereichen zur Verfügung, z. B. dem Luft- und dem Schienenverkehr. Er warnt die Nutzer innerhalb von sechs Sekunden, wenn das System wegen Positionierungsfehler nicht genutzt werden sollte. (Frequenzbänder: **1164–1214 MHz** und **1563–1591 MHz**)

Der **Staatliche Dienst** (Public Regulated Service, PRS) steht ausschließlich hoheitlichen Diensten zur Verfügung, also Polizei, Küstenwache oder Geheimdienst. Als Dual-Use-System wird es unter Umständen auch Kunden aus dem militärischen Bereich ansprechen. (Frequenzbänder: **1260–1300 MHz** und **1563–1591 MHz**)

Der **Such- und Rettungsdienst** (Search And Rescue, SAR) erlaubt die weltweite Ortung von Hilfsanfragen, z. B. von Schiffen, die in Seenot gera-

ten sind. Auch ein einfacher Dialog mit der Rettungsstelle soll möglich sein. Der Dienst arbeitet mit COSPAS-SARSAT zusammen und verbessert die Schnelligkeit und Genauigkeit der Positionsbestimmung.

## 2.11 Auf den Zentimeter genau

Technisch gesehen unterscheiden sich GALILEO und GPS nicht wesentlich voneinander. GALILEO wird eine wesentlich genauere Navigation als GPS ermöglichen. Denn oberhalb von 60 Kilometern Höhe stört der energiereiche „Sonnenwind“ die Satelliten-Signale. Bei GPS und GLONASS verfügen nur die Militärs über ein Korrektursignal, das diese Störungen ausgleicht. Zivile Nutzer müssen sich mit einem verzerrten Signal begnügen, das auf eine Genauigkeit von rund 20 Metern reduziert ist. Im Grunde ist Galileo eine Erweiterung zu dem bestehenden GPS da es auf deren Funktionalität und teilweise auf dessen Frequenzen aufbaut.

GALILEO wird in der Schiffsnavigation und in der Flugsicherung neue Maßstäbe setzen. Kostenlos sind Messungen bis auf vier Meter genau möglich - das ist immer noch präziser als die derzeitige verfügbare GPS-Ortung, was sich aber mit der neuen Version des GPS ändern sollte - sofern das amerikanische Militär seine Störfrequenzen nicht übermäßig einsetzt. Gegen Gebühr sind sogar zentimetergenaue Peilung möglich.

## 2.12 Uhren

Die Galileo-Satelliten sind mit zwei verschiedenen Typen von Atomuhren bestückt: je zwei Rubidium-Atomuhren und je zwei Wasserstoff-Maser. Die Prototypen dieser präzisen Zeitmesser wurden vom Kantonalen Observatorium Neuchâtel entwickelt. Die industrielle Weiterentwicklung, Fertigung und Weltraumqualifizierung übernahm die Firma Zemex Neuchâtel Time SA, in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern. Die Rubidiumuhren lassen sich in kompakten Abmessungen und zu relativ günstigen Preisen herstellen. Die Atomuhr für GALILEO wiegt etwa 3,3kg und ist etwa so gross wie eine Schuhschachtel. Der Wasserstoff-Maser wiegt etwa 15kg.

Während Quarzuhren eine statistische Ungenauigkeit von einigen Sekunden pro Monat aufweisen, würde eine Rubidium-Atomuhr erst nach 800000 Jahren um eine Sekunde falsch gehen. Wasserstoff-Maser sind noch genauer.

Ihre Abweichung beträgt eine Sekunde in vier Millionen Jahren.

### **2.12.1 Extrembedingungen im All**

Im Weltall sind die Atomuhren extremen Bedingungen ausgesetzt. Bereits beim Transport in die Umlaufbahn müssen sie starken Erschütterungen standhalten. Im All sind die Temperaturschwankungen erheblich: Auf der Seite der Satelliten, welche der Sonne zugewandt sind, herrschen Temperaturen von bis zu 70° Celsius, die Schattenseite ist -50° Celsius kalt. Dazu sind aufwendige Abschirmungen nötig, d.h. Navigationssysteme fordern eine hohe Präzision unter extremen Bedingungen.



## Kapitel 3

# Politische Sichtweise über GALILEO

### 3.1 Abkommen mit den USA

Das europäische Satelliten-Navigationssystem GALILEO ist seiner Verwirklichung ein großes Stück näher gekommen. In der irischen Ortschaft Ennis unterzeichneten US-Außenminister Colin Powell, EU-Verkehrskommissarin Loyola de Palacio und der irische Außenminister Brian Cowen während des EU-USA-Gipfels ein Abkommen, mit dem die jahrelangen Verhandlungen beider Parteien beendet werden. Inhalt der Vereinbarung ist die parallele Nutzung der beiden einzigen zivil einsetzbaren Satelliten-Navigationssysteme GALILEO und Global Positioning System (GPS) der USA. Wesentlicher Streitpunkt war die Frequenz, die die Europäer für GALILEO nutzen wollten. Ursprünglich wollten die Europäer auf der selben Frequenz senden wie GPS, das seit Ende 1993 einsatzbereit ist. Doch die US-Armee erhob Einspruch, weil sie fürchtete, dass GALILEO die militärische Nutzung von GPS beeinträchtigen könnte. Die EU musste aufgrund internationaler Rechtsvorschriften ebenso auf die Bedenken der Amerikaner wie auf die anderer Regierungen eingehen. Auch mit Russland, China, Indien und Israel gibt es Gespräche über GALILEO, die sich aber nicht so schwierig gestalten. Nach langwierigen Verhandlungen gaben die Europäer den USA nach und verlegten ihre GALILEO-Frequenz. Kritiker bemängeln nun, dass die US-Armee ohne Einschränkungen beim eigenen System das europäische Satelliten-Navigationssystem jederzeit stören könne, wenn es ihr militärisch sinnvoll erscheine. Immerhin hätten sich die Militärs aus ähnlichen Überlegungen heraus die Möglichkeit offengehalten, auch bei GPS zivile Anwendungen unterbinden zu können. In der Vereinbarung zwischen EU und USA ist jedoch festgehalten, dass sich bei-

de Seiten verpflichten, den Zugang und die Verwendung zu GALILEO für Endverbraucher nicht einzuschränken. Verkehrskommissarin de Palacio sieht in der Frequenztrennung sogar einen Garant für die störungsfreie Funktion von GALILEO. Die endgültige Realisierung von GALILEO gestaltet sich in Europa schwieriger als gedacht - da es in der EU viele verschiedenen Staaten gibt und diese oftmals nicht am gleichen Strang ziehen, so wie es bei den Amerikanern geschehen ist.

# Kapitel 4

## Partner

### 4.1 Aufsichts-Organisationen und Betreiber

Am 25. Mai 2003 gründeten die EU und ESA das gemeinsame Unternehmen GALILEO Joint Undertaking (GJU). Es koordiniert die Entwicklung des GALILEO-Systems. Dazu gehören die ersten beiden Testsatelliten Giove A und B, die Inbetriebnahme der ersten vier Satelliten der Konstellation in der IOV-Phase (In Orbit Validation) und die Integration von EGNOS in GALILEO.

Das Konzessionskonsortium vereinigt die Unternehmen:

1. Aena (öffentliche spanische Einrichtung, die u. a. für Flugsicherung und Flughafenmanagement zuständig ist)
2. Alcatel
3. EADS Space
4. Finmeccanica
5. Hispasat
6. Inmarsat
7. Thales
8. Teleop (von T-Systems, DLR, EADS und bayerische Förderbank LfA für den Galileo-Betrieb gegründete Firma)
9. sowie dutzende weiterer assoziierter Unternehmen.

Der Sitz der Betreibergesellschaft (GALILEO Operating Company) wurde nach langem Ringen auf Frankreich (Toulouse) und England (London) aufgeteilt. Das Zentrum in Toulouse ist für die Verwaltung und Geschäftsentwicklung zuständig, während in London die Betriebsverantwortung wahrgenommen wird. Während der Entwicklungsphase ist das Unternehmen GALILEO Industries Hauptauftragnehmer der ESA, die die System Anforderungen und Spezifikationen erstellt hat. Es baut unter anderem den Testsatelliten Giove-B. Nach Abschluss der Vorbereitungsphase wird das GJU voraussichtlich 2006 aufgelöst. Die Behörde GALILEO Supervisory Authority (GSA) übernimmt ihre Aufgaben und überwacht den Betrieb von GALILEO. Im Mai 2005 wurde der Portugiese Pedro Pedreira als Direktor berufen, weitere Entscheidungen über den Ausbau (Größe, Sitz) stehen noch aus. In Deutschland wurde die TeleOp GmbH mit Firmensitz in Oberpfaffenhofen/Wessling von T-Systems, DLR, EADS und bayerischer Förderbank LfA als Anteilseigner der GALILEO-Konzession und für die Durchführung des GALILEO-Betriebs gegründet.

# Kapitel 5

## GATE - Galileo Test- und Entwicklungsumgebung

### 5.1 Betrieb

GATE wird den Nutzern ab dem 1.Quartal 2007 zur operationell zur Verfügung stehen. Details zur Nutzung von GATE werden im Laufe des Jahres 2006 bekannt gegeben, wenn der zukünftige Betreiber von GATE feststeht. Der Nutzer kann in GATE entweder seine eigenen GALILEO-fähigen Empfänger testen oder für Tests von selbst entwickelten Anwendungen auf GALILEO-fähige GATE- Empfänger zurückgreifen. Anfang des Jahres 2008 konnten die Hersteller verschiedenster Navigationsgeräte deren modifizierten Geräte auf deren Funktionalität testen. Der Umbau eines solchen GPS Empfängergeräts gestaltet sich nicht sehr schwierig, da es eine kleine Hardwaremodifikation gibt die dann erlaubt das GALILEO Signal zu empfangen.

### 5.2 Test - Gebiet

Das Testgebiet befindet sich im Berchtesgadenerraum (Bayern - Deutschland). Es erstreckt sich über ein Gebiet von ca 65km<sup>2</sup>. Die Empfänger werden auf den umliegenden Bergen installiert.

- Stöhrhaus
- Kneifelspitze
- Kehlstein
- Grünstein

- Toter Mann  
mit einer Bodenstation samt Empfänger am
- Sulzberg

GATE kann in Kombination mit GPS, GSTB- V2 und später auch mit den 4 Satelliten in IOV (In Orbit Validation) oder sogar mit der vollen GALILEO Konstellation genutzt werden. Besonders während der IOV- Phase ermöglicht die Kombination von IOV und GATE- Signalen den Empfang von 10 Satelliten, lange vor der vollen Verfügbarkeit von GALILEO.

# Kapitel 6

## Fazit

Unserer Einschätzung nach könnte und wird GALILEO für Europa einen beachtlichen Schritt in Richtung Unabhängigkeit vom amerikanischen GPS machen, ausser wenn die europäischen Staaten es nicht vermögen an einem Strang zu ziehen um dieses Projekt als Konkurrenzprodukt zu etablieren. Da durch eine teilweise gemeinsame Nutzung der Signale eine gute Basis geschaffen wurde, um die Funktionalität zu gewährleisten, wird in naher Zukunft GALILEO um einige weitere unabhängige Frequenzbänder erweitert, mit dem man aus dem Schatten des grossen Bruders (GPS) heraus zu treten hofft. Bis es aber soweit ist werden noch einige Jahre vergehen.

# Kapitel 7

## Quellen

[http://www.esa.int/esaCP/SEM0198A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM0198A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaCP/SEM2398A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM2398A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaCP/SEMW398A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMW398A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaCP/SEMT498A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMT498A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaCP/SEMJ598A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMJ598A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaCP/SEMU698A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMU698A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaCP/SEM4898A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM4898A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/SEM86CSMD6E\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/SEM86CSMD6E_galileo_0.html)  
[http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_de.htm)  
<http://www.ncsa.uiuc.edu/demoweb/url-primer.html>  
[http://www.esa.int/esaCP/SEM0198A9HE\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM0198A9HE_Germany_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/GGGYC650NDC\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGYC650NDC_index_0.html)  
<http://www.gate-testbed.de/>  
<http://www.gate-testbed.de/de/gate.php>  
<http://www.scienzz.de/ticker/art5061.html>  
<http://www.kowoma.de/gps/Umlaufbahnen.htm>  
<http://www.sat-net.com/winorbit/>  
[http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/GGG0H750NDC\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGG0H750NDC_galileo_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/GGG28850NDC\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGG28850NDC_galileo_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/GGGMN850NDC\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGMN850NDC_galileo_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/SEMTK50DU8E\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/SEMTK50DU8E_galileo_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/ESAAZZ6708D\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/ESAAZZ6708D_galileo_0.html)  
[http://www.esa.int/esaNA/SEM XVW2IU7E\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/SEM XVW2IU7E_galileo_0.html)  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/101689>  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/99495>