

Von GPS zu Galileo – Die Weiterentwicklung der Satelliten-Navigation

Teil 2: Galileo: Technik und Anwendungen

Nachdem im ersten Teil dieses Artikels [13] die Grundlagen der Satelliten-Navigation allgemein und die speziellen Aspekte der bereits existierenden Systeme GPS und GLONASS erläutert wurden, kommen nun alle technischen Parameter und Anwendungsvarianten des momentan im Aufbau befindlichen europäischen Satelliten-Navigationssystems „Galileo“ zur Sprache.

Von Prof. Dipl.-Ing. Jean-Marie Zogg



Die Europäische Union (EU) baut derzeit in enger Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) das Satelliten-Navigationssystem „Galileo“ auf. Beide Gremien haben gemeinsam eine Dachorganisation gegründet: Galileo Joint Undertaking (GJU) mit Sitz in Brüssel. GJU überwacht und koordiniert die Phasen der Entwicklung, der Validierung und der Errichtung. Mit GJU soll gewährleistet sein, dass eine einzige Stelle für die Verwaltung des Programms zuständig ist. Ansonsten übernehmen Deutschland, Italien, Frankreich, Großbritannien, Spanien und Belgien ca. 85 % aller Kosten.

■ Technisch-wirtschaftliche Grundlagen von „Galileo“

Galileo wird aus einer Konstellation von 30 Satelliten auf drei kreisförmigen Umlaufbahnen in einer Höhe von 23 616 km über der Erdoberfläche bestehen. Diese Satelliten sollen durch ein weltweites Netz von Bodenstationen unterstützt werden.

Wesentliche Argumente für die Einführung von Galileo waren:

▶ Unabhängigkeit von den USA: Galileo stellt die einzige Alternative zum faktischen Monopol des GPS und der ameri-

kanischen Industrie dar; auch ist GPS unter Kontrolle der US-Regierung, die in Krisensituationen das GPS lokal verschlechtern oder gar abschalten kann – ein Status, der den Europäern nicht angenehm ist. Allerdings hat das US-Militär bereits angekündigt, in Notsituationen Galileo zu stören, sollte es der eigenen Sicherheit dienen.

▶ Erhöhte Ortungsgenauigkeit: Galileo soll genauer sein als GPS. Mit dem Offenen Dienst wird eine Positionierungsgenauigkeit bis auf ca. 4 bis 15 m erwartet. Sicherheitskritische Dienste sollen eine Präzision von 4 bis 6 m aufweisen. Die Empfindlichkeit auf Mehrwegempfang wird vermindert. Diese Optimierung soll durch die Verwendung der BOC-Modulation zustande kommen. Auch GPS wird bei seiner Modernisierung BOC einführen.

▶ Rein ziviles Navigationssystem: Galileo ist unter zivilen Aspekten konzipiert und erstellt worden, weist aber auch den aus Sicherheitsgründen nöti-

gen Schutz auf. Anders als das militärisch ausgerichtete GPS, bietet Galileo für einzelne Dienste eine Funktionsgarantie an.

▶ Mehrere Dienste: Galileo wird fünf verschiedene Dienste anbieten. Als Vergleich: GPS stellt zur Zeit nur zwei Dienste zur Verfügung und wird im Laufe des Modernisierungsprozesses ebenfalls die Anzahl der Dienste für zivile Zwecke erhöhen.

▶ Such- und Rettungsfunktion: SAR-Funktionen (Search and Rescue) werden bereits von anderen Organisationen angeboten. Neu an diesem Dienst wird die Quittierung des Alarms sein.

▶ Erhöhte Sicherheit durch Integritätsmeldungen: Galileo wird zuverlässiger sein, da es eine „Integritätsmeldung“ umfasst, die den Nutzer unmittelbar über auftretende Fehler informiert. Im Open-Service-Dienst wird dagegen keine Integritätsmeldung übermittelt. Für diesen Dienst muss man EGNOS zu Hilfe ziehen. Als wesentlich wird

die garantierte Kontinuität einzelner Dienste erachtet.

► **Arbeitsplätze:** Experten schätzen, dass durch das europäische Satelliten-System Galileo bis zum Jahr 2020 rund 130 000 bis 180 000 Arbeitsplätze geschaffen werden. Bei rund 6 Mrd. Euro Investitionskosten (zu Beginn des Projektes wurde von 3 Mrd. gesprochen) soll Galileo einen Gesamtertrag von rund 74 Mrd. Euro erbringen [7].

► **Navigations-Know-how:** Die meisten Hersteller von Satelliten-Navigationssystemen befinden sich in den USA. Satelliten und Satelliten-Zubehör, Navigationsempfänger, Vermessungsgeräte etc. werden vorwiegend außerhalb Europas entwickelt und vermarktet. Mit Galileo wird Europa sich Wissen aneignen können und der einheimischen Industrie einen nachhaltigen Kompetenzzuwachs bringen.

► **Weltweit verbesserte Abdeckung mit Satelliten-Signalen:** Galileo wird in Städten und in Gebieten hoher geografischer Breite etwas besser empfangen werden können als GPS (dies ist möglich, weil die Satelliten-Bahnen von Galileo einen Winkel von 56° zum Äquator aufweisen und zudem auf einer Höhe von 23 616 km liegen). Zukünftige Navigationsempfänger werden sowohl GPS als auch Galileo-Signale auswerten können; dadurch verdoppelt sich die Anzahl der sichtbaren Satelliten und die Genauigkeit erhöht sich.

■ Angebotene Galileo-Dienste

Galileo wird für einige kritische Anwendungen Informationen zur Systemintegrität übertragen, um die gewünschte Positionsgenauigkeit zu gewährleisten. Unter Integrität wird die Unversehrtheit von Informationen und Daten verstanden. Die Benutzer werden rechtzeitig (innerhalb von 6 s) eine entsprechende Warnung erhalten, wenn das System die angegebene Genauigkeit unterschreitet. Die Galileo-Betreiber sind der Ansicht, dass diese Warnungen selbst für sicherheitskritische Anwendungen (z.B. Flugzeuglandungen) rasch genug übermittelt werden. Galileo wird fünf verschiedene Dienstkategorien anbieten. Bei jedem Dienst sind die Anforderungen an

Funktion, Genauigkeit, Verfügbarkeit, Integrität und sonstige Parameter unterschiedlich.

Offener Dienst (Open Service, OS)

Dieser Dienst ist für Anwendungen auf Massenmärkten vorgesehen. Er wird kostenlos Signale zur Positions- und Zeitbestimmung übermitteln. Für Anwendungen mit geringeren Genauigkeitsanforderungen werden günstige Einfrequenz-Empfänger eingesetzt werden. Da die Sendefrequenz von Galileo und GPS (L1) für diese Anwendung gleich ist, werden wahrscheinlich Navigations-Empfänger die Signale von Galileo und GPS kombinieren. Durch die Erhöhung der Anzahl der empfangenen Satelliten-Sig-

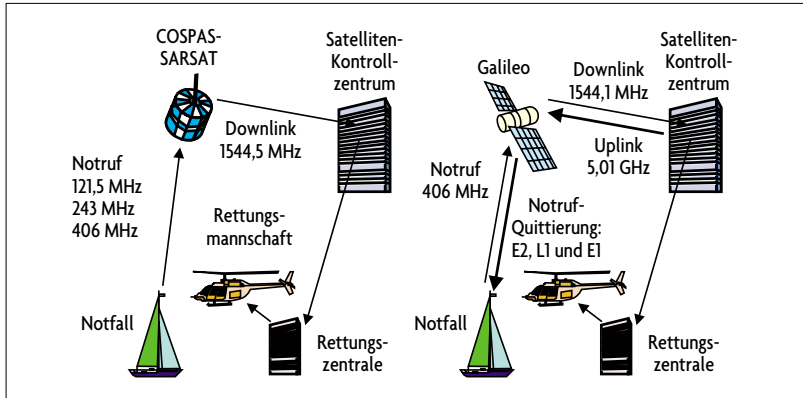
Dienst	Empfängertyp	Positionierungsgenauigkeit	
		horizontal	vertikal
OS	Einfrequenz	15 m	35 m
OS	Zweifrequenz	4 m	8 m
CS	Zweifrequenz	unter 1 m	unter 1 m
PRS	Einfrequenz	6,5 m	12 m
SoL	Zweifrequenz	4 bis 6 m	4 bis 6 m

■ Tabelle 1. Geplante Positionierungsgenauigkeit von Galileo

nale werden sich die Empfangseigenschaften selbst unter ungünstigeren Betriebsbedingungen, wie z.B. in Stadtgebieten, verbessern. Der offene Dienst wird die vom System berechneten Integritätsinformationen nicht übermitteln. Für den offenen Dienst wird die Galileo-Betreiber-gesellschaft keine Verfügbarkeitsgarantie und keine Haftung übernehmen.

Sicherheitskritischer Dienst (Safety of Life Service, SoL)

Er ist für verkehrsbezogene Anwendungen vorgesehen, bei denen infolge einer Beeinträchtigung des Navigationssystems, ohne entsprechende Warnung in Echtzeit, lebensbedrohliche Situationen auftreten könnten. Der wesentliche Unterschied zum offenen Dienst besteht in der weltweit hohen Integrität bei sicherheitskritischen Anwendungen wie z.B. in den Bereichen Seeverkehr, Luftverkehr und Schienenverkehr. Der Dienst kann nur durch die Verwendung zertifizierter Empfän-



I Bild 10. Im Gegensatz zu COSPAS-SARSAT hat der Rettungsdienst von Galileo eine Notrufquittierung.

ger, jeweils mit zwei Signalfrequenzen, genutzt werden. Unter diesen Bedingungen wird die Galileo-Betreiber-gesellschaft den SoL-Dienst garantieren. Damit der erforderliche Signal-schutz gegeben ist, wird der SoL-Dienst auf den Frequenzbändern für Flugnavigationsservices (L1 und E5) eingerichtet.

Kommerzieller Dienst (Commercial Service, CS)

Dieser ist für Marktanwendungen ge-dacht, die höhere Leistungen erfordern als der offene Dienst. Über diesen Dienst werden kostenpflichtige Mehrwertdienste angeboten. Die zwei Funk-signale des Dienstes sind verschlüs-selt. Typische Mehrwertdienste sind z.B. Dienste zur Übertragung von Da-ten mit hohen Transferraten, Garantien für die Bereitstellung der Dienste, ex-akte zeitbezogene Dienste und die Be-

reitstellung von Modellen zur iono-sphärischen Verzögerung sowie von lokalen differenziellen Korrektursigna-len für äußerst exakte Positionsbestim-mungen. Die Zugriffskontrolle zu den Signalen wird auf Empfängerebene über Zugriffsschutz-Codes erfolgen.

Öffentlicher Regulierter Dienst (Public Regulated Service, PRS)

Galileo ist ein ziviles System, das auch einen stabilen und zugriffsgeschützten Dienst für staatliche (inkl. militärische) Zwecke umfasst. Der öffentliche regulierte Dienst wird von Be-nutzergruppen wie z.B. Polizei, Feuer-wehr und Grenzschutz genutzt werden. Der Zugang zum verschlüsselten PRS-Dienst wird von zivilen Stellen kontrol-liert. Dieser Dienst muss ständig und un-ter allen Umständen in Betrieb sein, ins-be-sondere in Krisensituationen, da andere Dienste gestört sein könnten. Der PRS-Dienst wird unabhängig von den übrigen Diensten gestaltet und eine hohe Signalstabilität aufweisen. Gegen Stör-sender und elektronische Täuschung soll er geschützt sein.

Je nach Dienst wird die Genau-keit unterschiedlich sein [8]. Werden Zweifrequenz-Empfänger verwendet, erhöht sich die Genauigkeit durch die Compensation des durch die Iono-

sphäre bedingten Laufzeitfehlers. Mit lokalen Maßnahmen (z.B. DGPS) lässt sich die Präzision bis in den Zentime-terbereich steigern. **Tabelle 1** zeigt die zu erwartende Genauigkeit in 95 % al-ler Messungen.

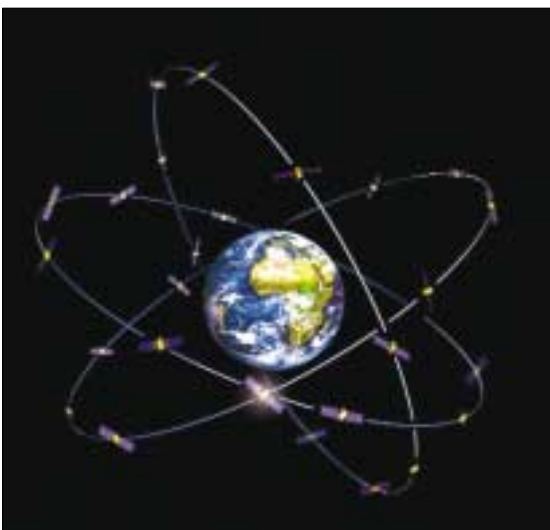
Such- und Rettungsdienst (Search and Rescue, SAR)

Dieser Dienst wird für humanitäre Such- und Rettungsdienste genutzt. Notsender und Satelliten ermöglichen die Ortung und Peilung von einzelnen Personen oder Fahrzeugen bei See-, Land- und Luftnotfällen. Ende der 70er Jahre entwickelten die USA, Kanada, die damalige UdSSR und Frankreich ein Satelliten-System zur Ortung von aktivierten Notsendern. Das System heißt auf Englisch „SARSAT“ (Search and Rescue Satellite-Aided Tracking), im Russischen wird es „COSPAS“ ge-nannt. Das COSPAS-SARSAT-Sys-tem verwendet sechs Satelliten in nied-riger Erdumlaufbahn (LEO-Satelliten, Low Earth Orbit) und fünf geosta-tionäre Satelliten (GEO-Satelliten) [9]. Der Galileo-SAR-Dienst soll das be-



I Bild 12. Ein Galileo-Satellit hat eine Masse von rund 680 kg.

(Zeichnung: ESA/J. Huart)



I Bild 11. Konstellation der Galileo-Satelliten. (Zeichnung: ESA/J. Huart)

stehende COSPAS-SARSAT-System verbessern und erweitern – und zwar durch Empfang von Notrufen von be-liebigen Standorten auf der ganzen Er-de praktisch in Echtzeit (Verzögerung bisher durchschnittlich eine Stunde), durch exakte Positionsbestimmung der Warnmeldungen (auf wenige m, an-stelle der derzeitigen Genauigkeit von 5 km), durch Erkennung mit mehreren Satelliten zur Überwindung standort-

bedingter Behinderungen bei ungünstigen Bedingungen und durch erhöhte Verfügbarkeit des Weltraumsegments (30 Galileo-Satelliten in der mittleren Erdumlaufbahn, ergänzend zu den LEO- und GEO-Satelliten des aktuellen COSPAS-SARSAT-Systems).

Mit Galileo wird eine neue SAR-Funktion, die Rückmeldung (vom SAR-Betreiber zur Notfunkbake) eingeführt (Bild 10). Dadurch sollen die Rettungsmaßnahmen erleichtert und der Anteil von Fehlalarmen reduziert werden. Der Galileo-SAR-Dienst wird in Zusammenarbeit mit COSPAS-SARSAT definiert; die Merkmale und Funktionen des Dienstes werden von der IMO (International Maritime Organisation) und der ICAO (International Civil Aviation Organisation) geregelt.

■ Technik von Galileo

Das Weltraumsegment von Galileo wird aus 30 Satelliten (drei davon sind aktive Reserve-Satelliten) bestehen. Sie werden in kreisförmigen Umlaufbahnen in 23 616 km Höhe platziert. Damit ist eine weltweite Abdeckung gewährleistet. Die 30 Satelliten werden auf drei Bahnen regelmäßig verteilt. Die Neigung der drei Bahnen soll 56° zum Äquator betragen (Bild 11). Die Umlaufzeit eines Satelliten beträgt 14 h 5 min.

Die Satelliten sollen 680 kg Masse haben, $2,7 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}$ groß sein (Bild 12) und für eine Lebensdauer von mehr als 15 Jahren ausgelegt werden. Die benötigte elektrische Leistung von 1500 W wird durch großflächige Solar-Panels gewonnen. In regelmäßigen Zeitintervallen von 100 Minuten erfolgt ein Funkkontakt zum Bodensegment, um die Navigationsdaten zu aktualisieren.

Das Bodensegment enthält eine Reihe von Kontrollzentren sowie globale Stations-Netzwerke für verschiedene Aufgaben. Dazu gehören die Überwachung der Integrität der Signale und die Koordination der vorgesehenen umfangreichen Such- und Rettungsdienste.

Weltweit sind zwei Kontrollzentren zur Navigations- und Satelliten-Kontrolle geplant. Das Hauptkontrollzentrum wird am DLR-Standort Oberpfaffenhofen (Oberbayern) errichtet. Das zweite wird in Fucino (Italien) entstehen. Die Integrität der Satelliten-Signale wird durch ca. 30 Integritäts-

Überwachungsstationen (IMS) überprüft. Diese Stationen sind weltweit verteilt. Zwei Kontrollzentren werten die IMS-Informationen aus und lösen im Falle einer zu großen Abweichung der Positionsdaten einen Alarm aus.



! Bild 13. Eine Ariane-5-Rakete beim Befördern von acht Galileo-Satelliten ins All.

(Bild: Galileo-industries.net)

Es ist vorgesehen, dass drei Ariane-5-Raketen jeweils acht Satelliten transportieren werden (Bild 13). Die restlichen sechs Satelliten sollen dann mit drei Soyuz-Raketen, welche nur zwei Galileo-Satelliten pro Start transportieren, im Orbit platziert werden. Die Satelliten werden nach ihrem Start direkt in die mittlere Erdumlaufbahn (MEO) gebracht.

Band: Frequenz (MHz)	Signalname	Frequenz des Maximums (MHz)	Verwendet für Dienst	Modulationsart	Datenrate (bit/s)
E5: 1191,795	E5a	1176,45	OS, CS	altBOC(15,10)	50
	E5b	1207,14	OS, CS, SoL	altBOC(15,10)	250
E6: 1278,75	E6b	1278,75	CS	BPSK(5)	1000
	E6a	1268,52 & 1288,98	PRS	BOC(10,5)	100
L1: 1575,42	L1B	1574,397 & 1576,443	OS, CS, SoL	BOC(1,1)	250
	E2 & E1	1560,075 & 1590,765	PRS	BOC(15,2.5)	100

I Tabelle 2. Frequenzplan von Galileo und Verteilung der Dienste

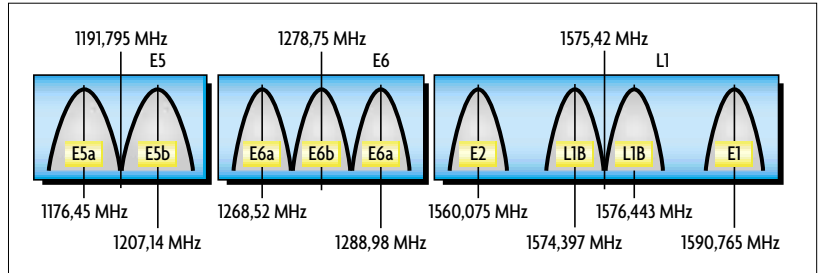
Arbeitsfrequenzen von Galileo

Je nach verwendetem Dienst werden unterschiedliche Frequenzen, Modulationsarten und Datenraten genutzt (Tabelle 2 und Bild 14). Grundsätzlich werden die Modulationsarten BPSK und BOC verwendet. Einzig bei E5a und E5b wird eine leicht modifizierte BOC-Modulation (genannt altBOC) eingesetzt. Zusätzlich wird bei E5a, E5b, E6 und L1 ein Pilotkanal mitgesendet. Der Pilotkanal ist frei von Navigationsdaten und um 90° zu den anderen Signalen phasenverschoben. Dank des Pilotsignals wird die Einrastzeit (Akquisitionszeit) eines Empfängers erhöht.

Vor allem im L1-Band werden Galileo und GPS sich die Frequenzen teilen müssen. GPS hat in diesem Band drei Signale: C/A-Signal, P(Y)-Signal und das neue M-Signal. Galileo wird nur zwei Signale nutzen: das L1B-Signal und das Paar E2/E1. Die gemeinsame Nutzung dieses Frequenzbandes musste hart erkämpft werden. Erst im Juni 2004 konnten sich die USA und die EU auf die Verteilung und die Modulationstechnik der Frequenzen einigen. In Bild 15 ist die Leistungsdichte der Signale aufgezeichnet – unter der Annahme, dass die Signalleistung bei allen Signalen gleich ist (normiert auf 1 W).

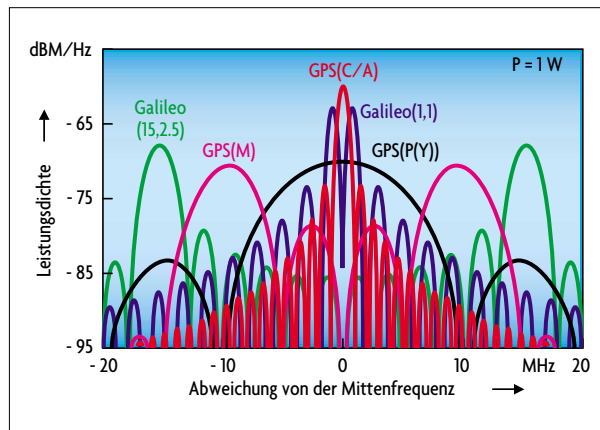
Der Zeitplan von Galileo

Nach langjährigen zähen Verhandlungen haben die USA und die EU am 26. Juni 2004 in Dublin eine Vereinbarung unterzeichnet. Ziel dieser Vereinbarung war es, eine reibungslose



I Bild 14. Der Frequenzplan von Galileo.

Zusammenarbeit (Interoperabilität) und Kompatibilität zwischen Galileo und seinem amerikanischen Gegenstück GPS sicherzustellen. Auch strittige Punkte wie Frequenzzuweisung und Modulationsart wurden geregelt. So soll in Zukunft ein Nebeneinander von GPS und Galileo gewährleistet sein. Auf Vorschlag der Europäischen



I Bild 15. Das L1-Band wird gemeinsam von GPS und Galileo intensiv verwendet (Sendeleistung ist auf 1 W pro Signal normiert).

Kommission hat der Europäische Rat am 10. Dezember 2004 die technischen Merkmale des Systems bestätigt, insbesondere die anzubietenden Dienste [10]. Er hat sich für den Übergang zur Errichtungsphase (2006 bis 2008) und Betriebsphase des Projekts ausgesprochen und bestätigt, dass sich die Europäische Union an der Finanzierung dieser beiden Phasen beteiligen wird.

Galileo sollte gemäß der Europäischen Kommission den Betrieb im Jahr 2008 aufnehmen. Wahrscheinlich wird der kommerzielle Betrieb erst im Jahre 2010 beginnen.

Der Aufbau des Systems erfolgt in vier Phasen:

► Projektdefinition: Ziel der Definitionsphase war es, die grundlegenden Eckdaten und Spezifikationen für das

System auszuarbeiten. Dieser Teil des Projekts wurde 2003 bereits abgeschlossen.

► Entwicklung und Tests im Orbit: Am 28. Dezember 2005 wurde vom Kosmodrom Baikonur in Kasachstan der erste Experimental-Satellit GIOVE-A in Umlaufbahn gebracht (Bild 16). GIOVE ist ein Akronym für

Galileo In-Orbit Validation Element (Giove ist auch der italienische Ausdruck für den Planet Jupiter). Am 12. Januar 2006 hat GIOVE-A die ersten Signale gesendet; sie wurden von der Beobachtungsstation für Atmosphären- und Radiowellenforschung im britischen Chilbolton und über die ESA-Bodenstation im belgischen Redu registriert und analysiert [11]. Der zweite Experimental-Satellit, GIOVE-B, wird im Laufe des Jahres 2006 ins All gebracht. Mit GIOVE-A

und GIOVE-B will die EU die Frequenzbänder für den Galileo-Betrieb sichern und die Umlaufbahnen der für die Testphase vorgesehenen Satelliten ermitteln. Auch werden diese „Pionier-Satelliten“ dazu dienen, wichtige Technologien, wie beispielsweise Atomuhren, unter Weltraumbedingungen zu testen. GIOVE-A hat zwei Rubidium-Atomuhren (Abweichung



Bild 16. Der Experimental-Satellit GIOVE-A wurde am 28. Dezember 2005 gestartet und soll erste Erfahrungswerte mit Galileo sammeln helfen und außerdem die Frequenzen als „aktiv“ belegen. (Bild: ESA)

ca. 10 ns pro Tag) und GIOVE-B noch weitere zwei passive Wasserstoff-Maser-Atomuhren (Abweichung unter 1 ns pro Tag) an Bord.

Ist die Experimentalphase mit GIOVE-A und GIOVE-B erfolgreich, werden vier Satelliten (die Bestellung erfolgte am 21. Dezember 2004) in Umlauf gebracht und direkt im Weltraum getestet. Mit dieser „Mindestkonstellation“ können die Wissenschaftler prüfen, ob die Satelliten an den Testorten auf der Erde exakte Positions- und Uhrzeitdaten liefern können. Die gesamte Testphase im Weltraum wird bis

2007 abgeschlossen sein. Die Gesamtkosten der Phasen „Projektdefinition“ und „Entwicklung“ betragen rund 1,1 Mrd. Euro.

► **Einrichtung und Inbetriebnahme des kompletten Systems:** Sind die Ergebnisse der zweiten Phase positiv, wird das System anschließend für den vollen Betrieb ausgebaut: Die restlichen Satelliten (vier sollten bereits funktionsfähig sein) werden gefertigt und in die Umlaufbahn gebracht, die erforderlichen Bodenstationen fertiggestellt (geplante Zeitdauer bis 2010, Gesamtkosten von 2,1 Mrd. Euro, davon ein Drittel finanziert aus dem öffentlichen Sektor und zwei Drittel aus dem Privatsektor).

► **Nutzung:** Sobald alle Satelliten im Weltraum sind, kann das System dann in Betrieb genommen werden. Am Ende der Ausbaustufe sollen 27 Betriebs- und drei Reserve-Satelliten die Erde umkreisen. Die Bodenstationen sowie lokale und regionale Servicestellen werden aufgebaut. Die Betriebskosten werden auf 220 Mio. Euro jährlich geschätzt, wobei der öffentliche Sektor für die ersten Jahre einen außerordentlichen Beitrag von 500 Mio. Euro leistet. In den Folgejahren werden diese Kosten vollständig vom Privatsektor getragen.

Am 12. Januar 2006 hat die Republik Korea eine Beteiligung an Galileo unterzeichnet. Die Republik Korea ist nach Marokko, China, Israel, der Ukraine und Indien der sechste Staat außerhalb der EU, der sich an Galileo beteiligt. Mit Argentinien, Australien, Brasilien, Chile, Kanada, Malaysia und Mexiko wird derzeit noch verhandelt. Interessensbekundungen liegen von weiteren afrikanischen und asiatischen Staaten vor [12].

Abschließend zeigt **Tabelle 3** zusammenfassend die wichtigsten Parameter der drei in diesem Beitrag erwähnten Satelliten-Systeme mit besonderem Schwerpunkt auf dem neuen Galileo-System. *ha*

Links und Literatur

- [7] www.dlr.de/dlr/News/pi_191004.htm
- [8] http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/documents/brochure_en.htm
- [9] www.cospas-sarsat.org/Status/spaceSegmentStatus.htm
- [10] <http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l24004.htm>
- [11] www.esa.int/esaCP/SEM036MZCIE_Improving_0.html
- [12] www.esa.int/esaCP/SEM0198A9HE_Germany_0.html
- [13] Zogg, J.-M.: Von GPS zu Galileo – Die Weiterentwicklung der Satelliten-Navigation, Teil 1: Navigationstechnische Grundlagen, GPS und GLONASS. *Elektronik* 2006, H. 4, S. 58ff.

Parameter	GPS	GLONASS	Galileo
Beginn der Entwicklung	1973	1972	2001
1. Satellitenstart	22. 2. 1978	12. 10. 1982	28. 12. 2005
Anzahl Satelliten aktuell / geplant	29	12 / 24 + 3 passive Ersatz-Satelliten	1 / 27 + 3 aktive Ersatz-Satelliten
Bahnebenen	6	3	3
Inklination	55°	64,8°	56°
Bahnhöhe	20 180 km	19 100 km	23 616 km
Umlaufzeit	11 h 58 min	11 h 15,8 min	14 h 5 min
Geodätisches Datum	World Geodetic System 1984 (WGS 84)	Parametry Zemli 1990 (PZ-90)	Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)
Zeitsystem ¹⁾	GPS-Time	GLONASS-Time	GST (Galileo System Time)
Signalcharakteristik	CDMA ²⁾	FDMA ³⁾	CDMA ²⁾
Frequenzen aktuell / geplant	2 / 3	26 / 24	2 / 3
Verschlüsselung	Militärisches Signal	Militärisches Signal	Kostenpflichtige Dienste
Dienste aktuell / geplant	2 (ziviler + militärischer) / 4	2 (ziviler + militärischer)	5
Verantwortung	Verteidigungs-Ministerium	Verteidigungs-Ministerium	Zivile Regierungen der EU
Integritätssignal aktuell / geplant	nein / ja	nein	- / ja

Tabelle 3. Wichtigste Eigenschaften der drei Satelliten-Systeme GPS, GLONASS und Galileo (¹⁾ Differenz zu UTC wird übermittelt; ²⁾ Code-Identifikation: Code ist für jeden Satelliten unterschiedlich; ³⁾ Frequenz-Identifikation: Frequenz ist für jeden Satelliten unterschiedlich)



Prof. Dipl.-Ing. FH Jean-Marie Zogg

ist Professor für Elektronik, Mobile Computing und Elektrotechnik an der Fachhochschule HTW Chur (Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur, Schweiz), an der er sich vertieft mit den Gebieten der Satelliten-Kommunikation auseinandergesetzt hat. Zu diesen Themen hat er in namhaften Fachzeitschriften publiziert, außerdem verfasste ein Fachbuch zum Thema „Telemetrie mit GSM/SMS und GPS-Einführung“.

jean-marie.zogg@fh-htwchur.ch