



Satelliten-Navigation

- Auffrischung einiger Grundlagen
- Bisherige Systeme
- EGNOS und Galileo
- Anwendungs-Szenarien
- Politisches Umfeld (EU-Vorgaben)



Historie (1)

- Ermittlung der Richtung zu Funksendern ist seit 1920 gebräuchlich.
- Loran seit 1945, Loran-C seit 1957.
- OMEGA und DECCA seit den 50iger Jahren.
- Erste Satelliten-Peilungen mit SPUTNIK!
- TRANSIT: Erstes Satelliten-System ca. 1965
- GPS “fully operational” seit 1995
- GLONASS seit 1996



Historie (2)

- LORAN-C hat(te) ein russisches Gegenstück namens “Chayka”
- TRANSIT hat ein russisches Gegenstück (TSIKADA), das angeblich noch arbeitet
- Für globale Positionsbestimmung wurden alle vorherigen Systeme offiziell durch GPS bzw. GLONASS abgelöst



Positionsbestimmung

- Positionsbestimmung durch Messung von Strecken (Entfernungen) und Winkeln.
- In der Regel wird ein Schnittpunkt mehrerer “Lines Of Position” (LOP) bestimmt
- Die Position ist entweder die Position des Nutzers selbst oder eine fremde Position
- Ausnahme: GSM-Ortung ermittelt einen *Umkreis*, in dem die Position vermutet wird.



GNSS und Doppler

- GNSS = Global Navigation Satellite System
- Bei TRANSIT wurde jeweils ein Satellit per *Doppler-Messung* angepeilt
- Nach Überflug mehrerer Satelliten hatte man eine einigermaßen genaue Position
- Also: Nicht für Realtime-Navigation geeignet
- Doppler-Messung wird aber heute noch unter Wasser benutzt



Entfernungsmessung

- Um eine 3D-Positionsebestimmung zu erhalten, benötigt man die Entfernung zu 3 Punkten mit bekannter Position im Raum
- Strecke = Geschwindigkeit X Zeit
- Lichtgeschwindigkeit “c” ist eine Konstante
- Also kann man die Laufzeit eines licht-schnellen Signals messen und die Entfernung zum Sender berechnen



Zeitmessung

- Die Positionsmessung wird also auf Zeitmessung relativ zu Sendern mit bekannter Position im Raum abgebildet
- Alle modernen GNSS enthalten daher hochgenaue Uhren, die die Aussendung ihres individuellen Signals steuern
- Der Empfänger muss den Anfang des Signals finden und am Pseudo-Zufallscode die Identität des Senders feststellen



Position und Uhrenfehler

- Die Satelliten kennen selbst ihre genaue Position im Raum und kodieren diese Information in Datenmessages
- Der Empfänger dekodiert die Position, ermittelt die Laufzeit und errechnet die Entfernung
- Um den Uhrenfehler zwischen den Satelliten und dem Empfänger auszumitteln, wird ein Satellit mehr als nötig angepeilt (4 statt 3)



Störfaktoren

- Signale von Satelliten müssen durch die Atmosphäre und werden dort gebrochen und gebremst
- An Gebäuden oder natürlichen Hindernissen werden sie reflektiert
- Um diese Störungen auszuschalten, gibt es aufwändige Korrektur-Algorithmen
- Unter Bäumen oder in Gebäuden sind sie nicht empfangbar, das ist nicht kompensierbar



Struktur der GNSS

- Raumsegment: Die Satelliten selbst.
- Bodensegment: Ermittelt Korrekturdaten, Upload zu den Satelliten, generelle Kontrolle der Satelliten.
- Nutzersegment: Die Empfänger der Nutzer.
- Diese Struktur ist bei GPS, GLONASS vorhanden und soll auch bei GALILEO beibehalten werden.



Global Positioning System

- Wird demnächst modernisiert (ab 2005 neue Satelliten).
- Bisher nur 2 offene, zukünftig 3 offene Frequenzen (L1, L2, L5); L3/L4 sind geheim.
- Es gibt ein öffentliches ungeschütztes (C/A) und ein militärisches gekryptetes (Y) Signal!
- Die militärische Orientierung wird allgemein als problematisch angesehen.



Mehr Fakten zu GPS

- Im 1. Golfkrieg 1991 war GPS noch nicht “fully operational”
- Seit Mai 2000 ist “SA” (selected availability) ausgeschaltet
- SA wurde erreicht durch Manipulation der Uhren und der Positions-Messages!
- Die Entwicklung begann 1973, “fully operational” 1995 -> GALILEO!?!



Die 3.+4. Generation

- Block II R-M (replenish – modernized) wird gerade ins All geschossen
- Block IIF (follow) wird gerade gebaut
- Block III wird entwickelt
- Zusätzliche Pseudo-Codes werden bis 2010 verfügbar sein, z.B. Ein zus. Ziviler Code und ein Code für Luftfahrt-Anwendungen
- L5 wird 2014 verfügbar sein.



Ziele der GPS-Modernisierung

- Direkte Funk-Kommunikation zwischen den Satelliten -> Selbstkorrektur -> reduziertes Bodensegment
- 6 Monate autarke Positions-Genauigkeit
- Durch seltenerer Uploads geringere Störungsanfälligkeit (nur noch 1x pro Monat!)
- Weniger Übersee-Stationen
- Generell bessere Genauigkeit



Movietime

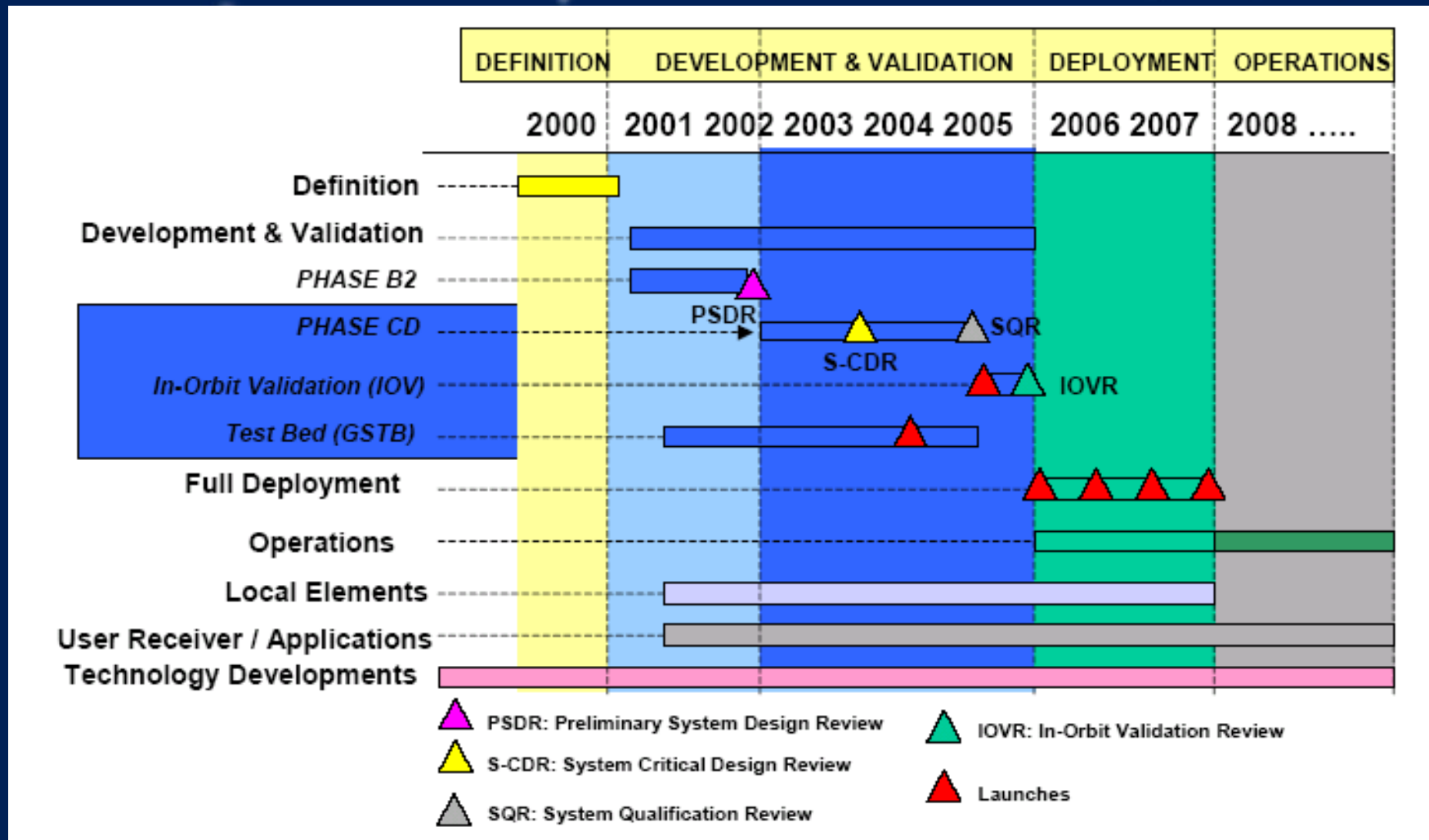


Ziele von GALILEO

- Nicht militärisch
- Unabhängig von USA / Russland
- Interoperabilität mit GPS und GLONASS
- Positionierungs- und Zeitdienste
- Dienste für Integrität der Informationen
- Search And Rescue (SAR) Dienste
- Navigationsbezogene Zusatzdienste, z.B. Wetter oder andere lokale Info-Sendungen



Projekt-Plan (Stand: 2004)





Begriffe zu GALILEO

- EGNOS = Interim-System für Integrität
- Global Component: Satellite only services, Raum- und Boden-Segment
- Local Component: Für lokale Dienste Dritter
- User Segment: Die Empfangsgeräte
- External GALILEO-related system components
- GOC = GALILEO operating company



EGNOS

- Als Zwischenlösung soll EGNOS dienen, 3 Satelliten (2x INMARSAT-3, ARTEMIS).
- Eigenes Bodensegment.
- Als Unterstützung für GPS und GLONASS werden Integritäts-Daten erzeugt.
- Entsprechend ausgerüstete Empfänger können dann darstellen, wie korrekt die GPS/ GLONASS-Navigationdaten gerade sind.
- EGNOS ist in Betrieb, wird aber kaum genutzt.



EGNOS Dienste

- Zusätzliche Ortungs-Signale analog zu GPS von den geostationären Satelliten
- Grossflächige differentielle Korrekturdaten (wide area differential corrections) für GPS und GLONASS
- Integritäts-Information für GPS und GLONASS: Alarm bei Ausfall/Störung innerhalb von 6 Sekunden



Raumsegment GALILEO

- 30 Satelliten in MEO (medium earth orbit)
- Höhe 23616 Km, 3 Orbit-Flächen, jeweils mit einer Neigung von 56 Grad
- Je Orbit-Fläche gibt es 9 gleichmässig verteilte Satelliten und einen "active spare"
- Abschuss möglich mit diversen Trägersystemen: Proton, Soyuz (Russland); Ariane 5 (ESA); Delta IV (USA)
- Bis zu 8 Satelliten pro Träger (Ariane 5)



Bodensegment GALILEO

- Zwei redundante Control-Center in Europa
- Viele weltweite operatorlose Empfangsstationen kontrollieren die Satelliten-Signale und erfassen Wetterdaten etc.
- 4 ebenfalls operatorlose Telemetrie-, Tracking- und Kommando-Stationen (“up-link”) besorgen die Erzeugung und den Upload der Navigations-Daten-Messages
- 3 weltweite Datenverbreitungs-Netzwerke (Bahn- und Synchronisations-Daten, Satelliten-Daten und Service-Daten).



Nutzersegment GALILEO

- Die geplanten Empfänger sollen sowohl die GALILEO- als auch die GPS- und evtl. GLONASS-Signale nutzen können.
- Lokale Integritäts-Signale übermitteln zusätzlich Informationen, wie zuverlässig die Positionsdaten in der Region gerade sind.
- Zusatz-Informations-Dienste können empfangen werden.
- Mit Hilfe eines Schlüsselsystems aus *private* und *public* keys können kostenpflichtige Dienste empfangen werden (vgl. Satelliten-Fernsehen!).



Die Empfangsgeräte

- GALILEO ist so angelegt, dass es bzgl. Frequenzen, Signal-Struktur, Zeit-Daten und geodätischem System zu GPS passt.
- Die besonderen Vorteile entstehen auf der Seite der Empfangsgeräte:
 - Nutzung aller kompatiblen GNSS Signale,
 - Nutzung von lokalen Stütz-Systemen,
 - Nutzung von anderen Ortungsverfahren,
 - Kombination mit Mobilfunk-Technik.



Frequenzen und Signale

- SIS = Signal in space
- Das Frequenz- und Signalschema scheint noch nicht endgültig zu sein.
- Sowohl im L-Band (auch von GPS genutzt) als auch in weiteren Frequenzbändern (E1, E2, E5a, E5b, E6) werden Signale gesendet.
- Insgesamt sollen auf diesen Frequenzen sechs Signale für verschiedene Dienste empfangbar sein.



Unterschied zu GLONASS

- GPS und GALILEO arbeiten mit gleichen Frequenzen pro Satellit, aber unterschiedlichen Codes
 - CDMA = Code Division Multiple Access
- GLONASS hat für jeden Satelliten unterschiedliche Frequenzen
 - FDMA = Frequency Division Multiple Access



Unterschied zu GPS

- Der einzige wirklich signifikante Unterschied ist vertraglicher Natur.
- Dienste-Garantie für bestimmte Dienste, nämlich für...
 - Kommerzielle,
 - “safety of life” kritische und
 - Öffentlich relevante Dienste.
- Dies gehört zusammen mit der Verfügbarkeit von Integritäts-Informationen.



GALILEO Daten

- Navigations-Grunddaten
- Integritäts-Daten (ob die restlichen Daten korrekt sind)
- Kommerzielle Daten
- PRS Daten (public regulated service)
- SAR Daten (search and rescue)



GALILEO Open Service

- Weltweit wie alle GALILEO Dienste
- Kostenlos, keine Garantien
- Positionsdaten (single oder dual frequency)
- Geschwindigkeit
- Zeitdaten
- Vergleichbar dem C/A Dienst von GPS
- Genauigkeit: H = 15m (4m), V = 35m (8m)



Safety Of Life Service

- Sicherheitskritische Anwendungen
- Hohe Anforderungen an Qualität und Integrität
- Anwendungen im öffentlichen Transport
- Luftfahrt, Seefahrt, Eisenbahn
- Genauigkeit $H = 4 \text{ m}$ (220 m), $V = 8 \text{ m}$
- Alarm bei Ausfall/Störung in 6 s (10 s)



GALILEO Commercial Service



- “Professionelle” Anwendungen;
- d.h. in erster Linie kostenpflichtig!
- Höhere Genauigkeit durch 2 eigene Signale
- Verschlüsselte Zusatzsignale (E6)
- Privatwirtschaftliche Anbieter
- Zusatzdaten (500 bps) für value added services



Öffentlich kontrollierter Dienst

- PRS = Public Regulated Service
- Reserviert für staatliche oder staatlich autorisierte Nutzer
- Hochverfügbar, permanent vorhanden
- Anwendungen im Zivilschutz
- Militärische Anwendungen, Terrorschutz
- Genauigkeit: $H = 6,5\text{m}$; $V = 12\text{m}$
- Integritäts-Alarm in 10s



Search And Rescue

- Kooperation mit COSPAS-SARSAT
- Arbeitet mit neuen Rettung-Signal-Gebern, die GALILEO-Empfänger enthalten
- COSPAS-SARSAT sind nur 4 Satelliten im LEO (low earth orbit)
- Bisher Genauigkeit nur 5 Km möglich

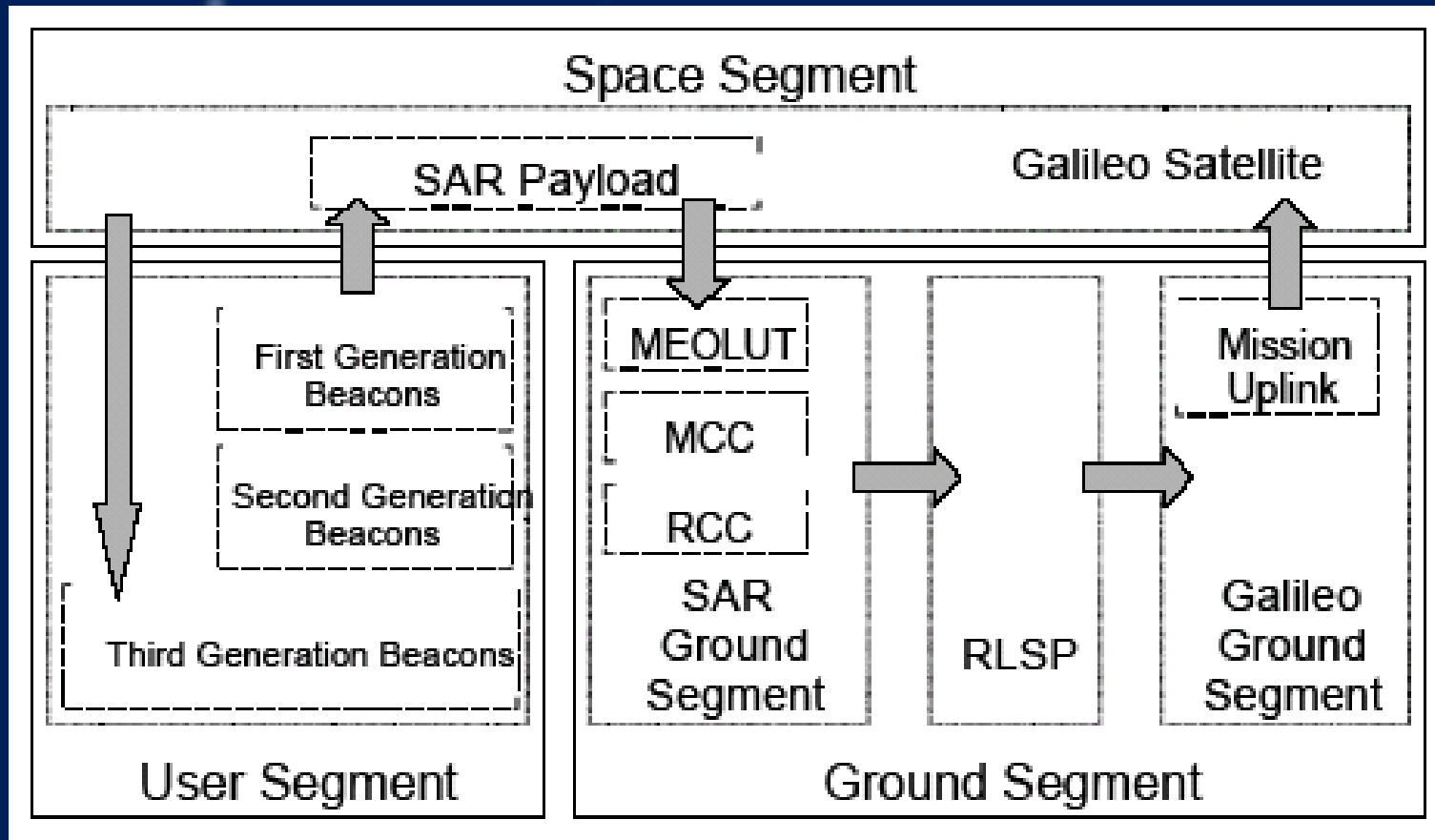


SAR Service (2)

- GALILEO Satelliten können Notfall-Signale (“Distress Beacon”) direkt empfangen:
 - 1st Generation Beacon: Positionsermittlung per Doppler-Effekt, +/- 5 Km
 - 2nd Generation Beacon: Sender hat GNSS Empfänger und übermittelt Position
 - 3rd Generation Beacon: Zusätzlich Rückkanal für Nachricht an den User
- Transfer zum Bodensegment in L6



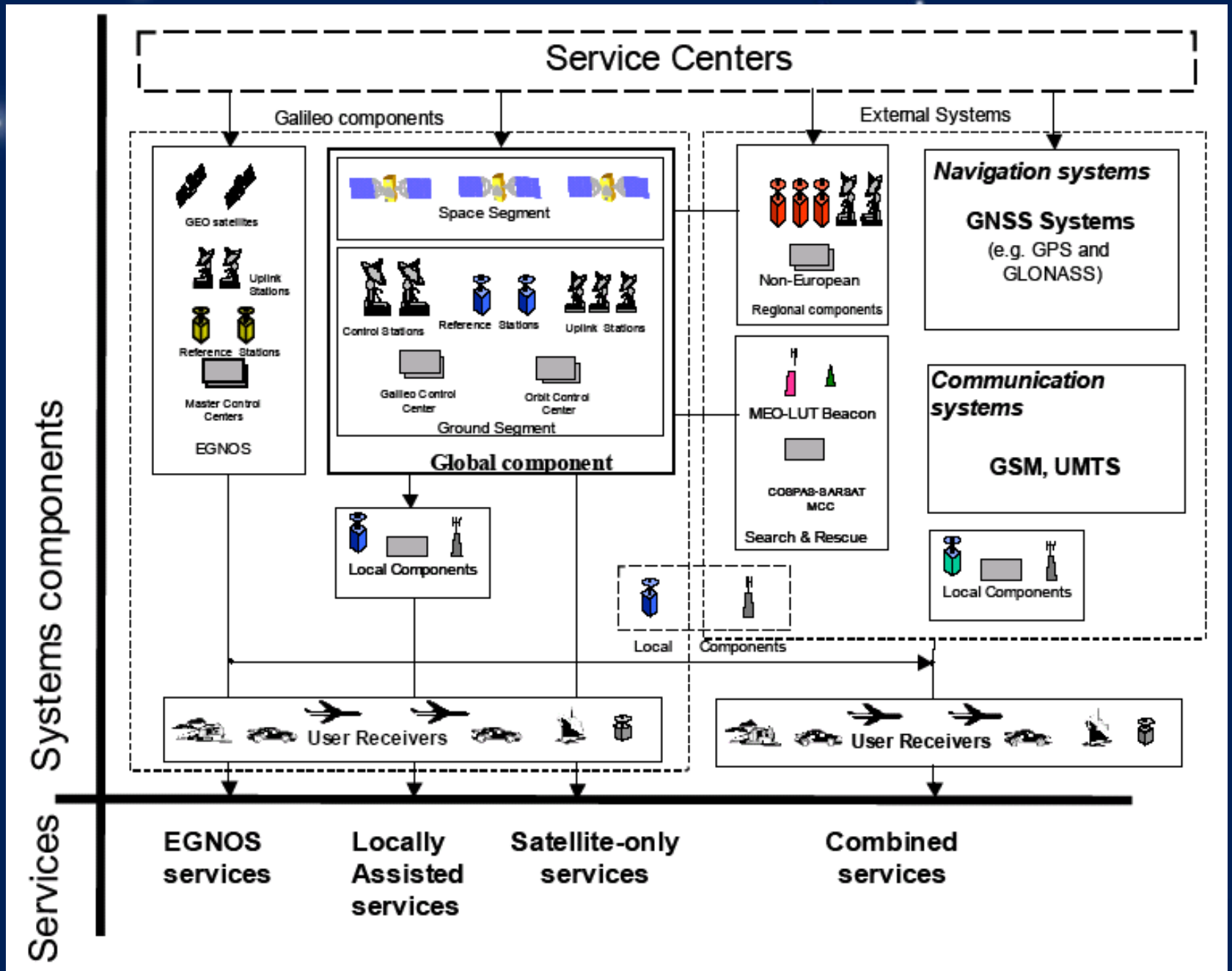
SAR und GALILEO





Locally Assisted Services

- Lokale Dienste können die GALILEO Satelliten-Dienste unterstützen:
 - Local (High) Precision Navigation Services:
< 1 m (< 10 cm) Genauigkeit
 - Local Assisted Navigation Services (50 m)
 - Local Augmented Availability Service
- Sind zwar Bestandteil der Planung, aber nicht der Projekt-Realisierung
- Die *Endgeräte* müssen es können





Weiterführende Dokumente

- GALILEO High Level Mission Definition 3.0
- Status des GALILEO Frequenz- und Signaldesign
- Diverse Anwendungs-Szenarien
- Auf der Webseite:

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