



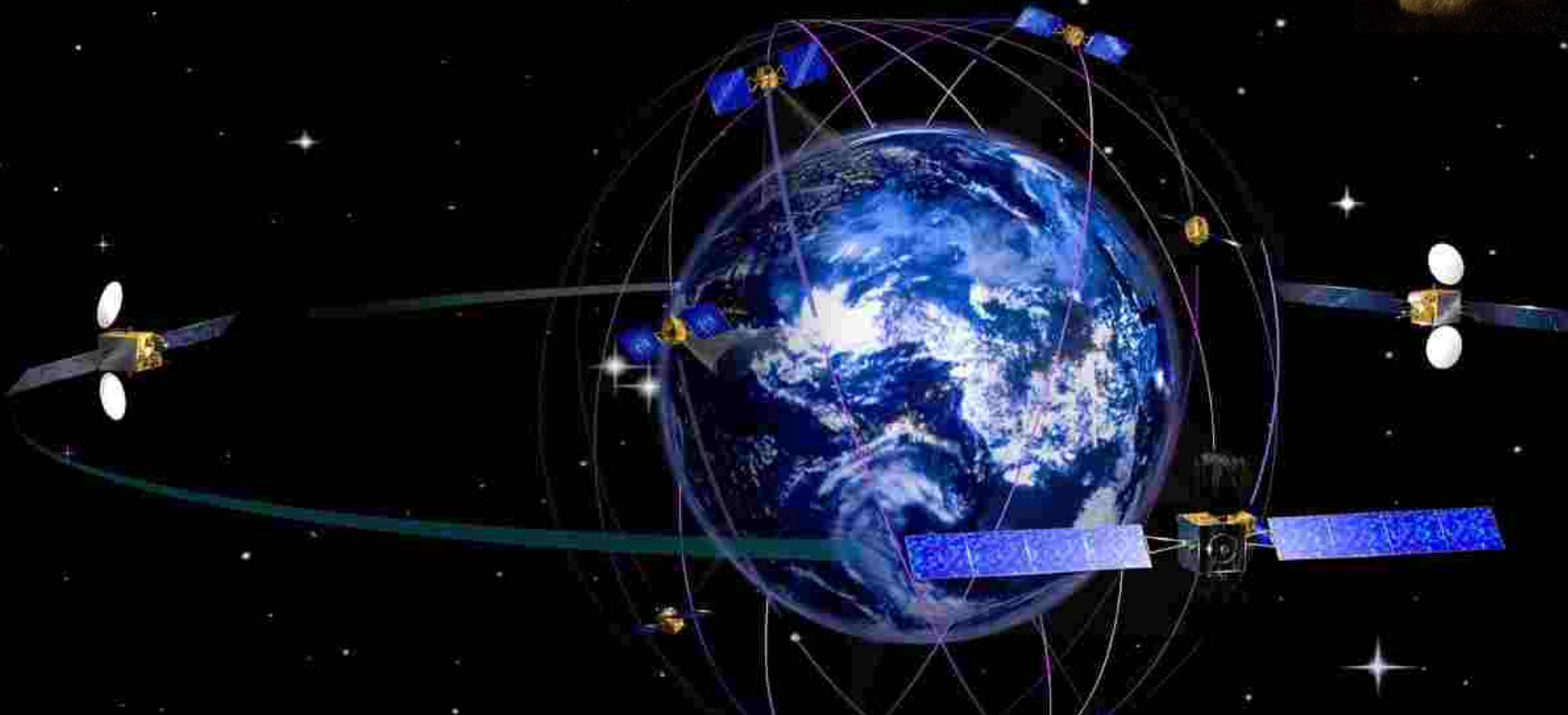
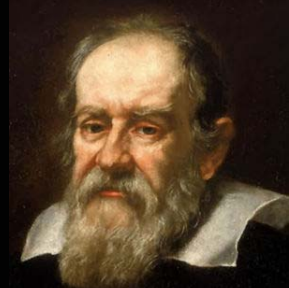
GNSS/Galileo für intelligente Verkehrssysteme

Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft





GALILEO...

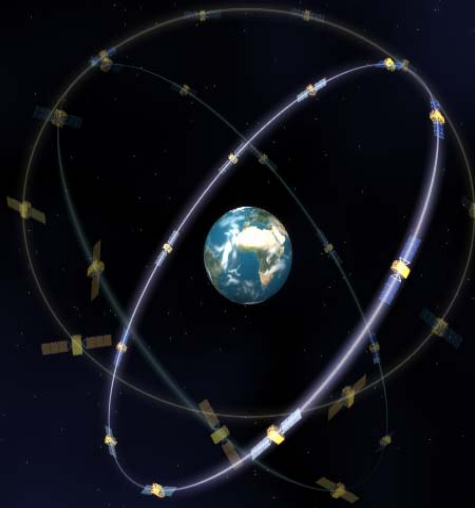


Argumente für Galileo:

- Integrität, Zuverlässigkeit
- Ergänzung GPS...
Abdeckung, Redundanz
- Navigation und Zeitreferenz wichtig!
- Europäische Unabhängigkeit
- Ziviles Management
- Einfluss auf GPS (technisch, €)
- Markt
- ...

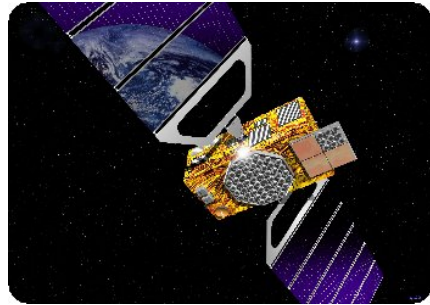


Galileo - Satellitenkonstellation

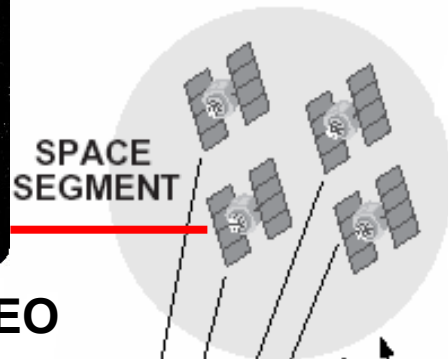


- 27 Satelliten in 3 mittleren Orbitebenen (zirkular - 23616 km)
- 1 Reservesatellit je Orbitebene
- Inklination der Orbitebenen 56 Grad
Umlaufperiode 14 h 4 min
- Wiederholung 10 Tage

Galileo - Systemaufbau

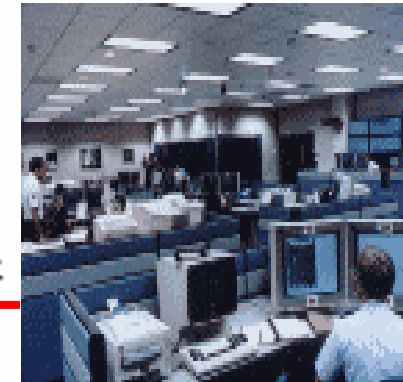
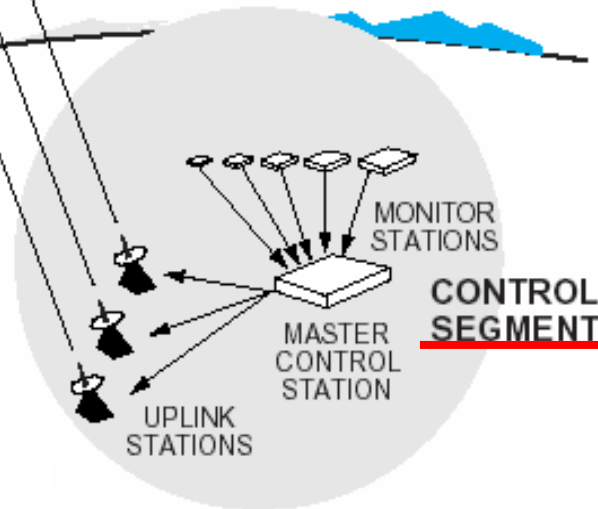


30 Satelliten in MEO







2 Kontrollzentren plus
weltweite Boden-
Infrastruktur

Services



Galileo – Dienste

Navigation	Offener Dienst (OS)	Gebührenfrei; Massenmarkt; Zeitstandard	
	Kommerzieller Dienst (CS)	Zugangskontrolle; Höhere Genauigkeit; Servicegarantie	
	Dienst für sicherheitskritische Anwendung (SoL)	Integritätsinformation	
	Dienst von öffentlichem Interesse (PRS)	Verschlüsseltes Signal, auch im Krisenfall nutzbar	
SAR	Such- und Rettungsdienst	Echtzeit; Rückkanal möglich	

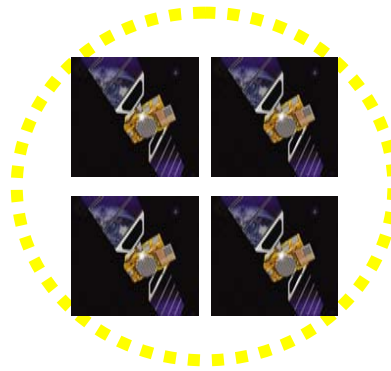
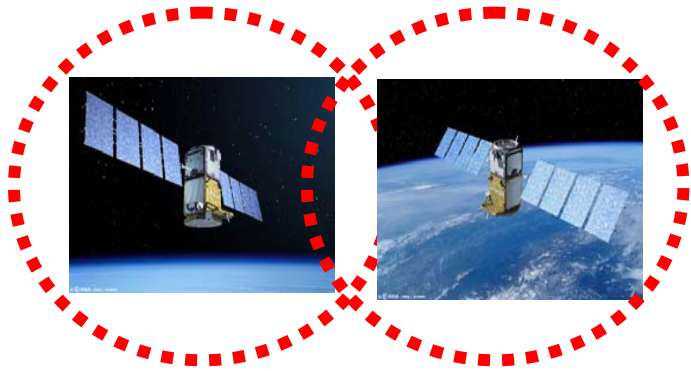
Galileo - Status und Kosten:

2005

2008

2009/10

2012/13



Demonstration

Überprüfung (IOV)

Aufbau (FOC)

2 Testsatelliten
Teststationen

4 Satelliten
2 Kontrollzentren
20 Bodenstationen

30 Satelliten
2 Kontrollzentren
40 Bodenstationen

1,5 Mrd. € ?

3,4 Mrd. € ?

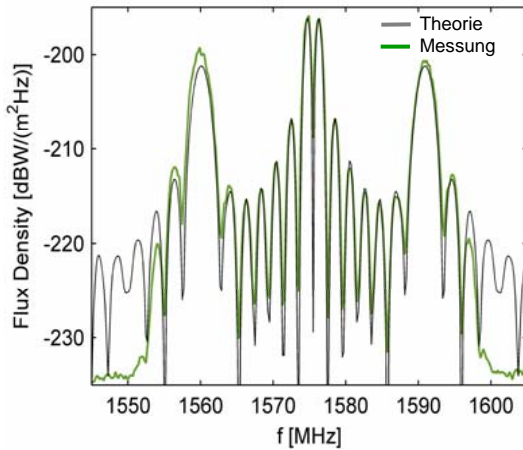


GIOVE A

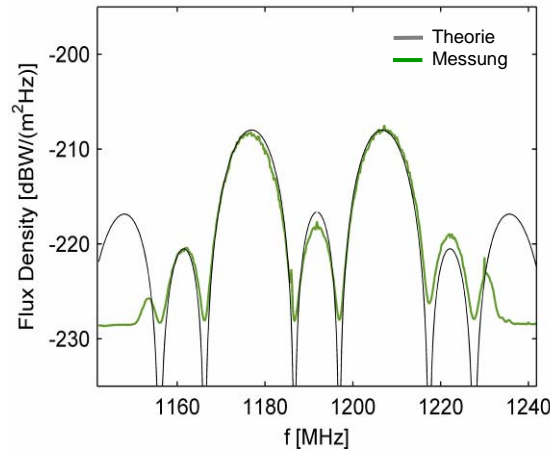
28.12.2005

GIOVE A - Spektrum / IQ-Konstell. für L1, E5 und E6 Band

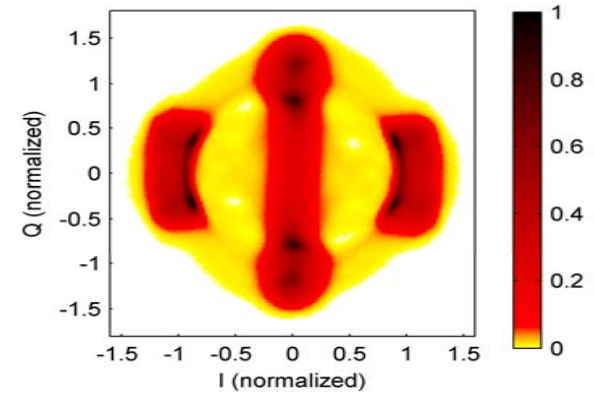
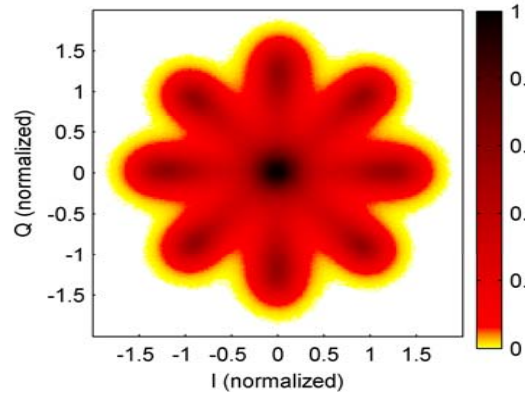
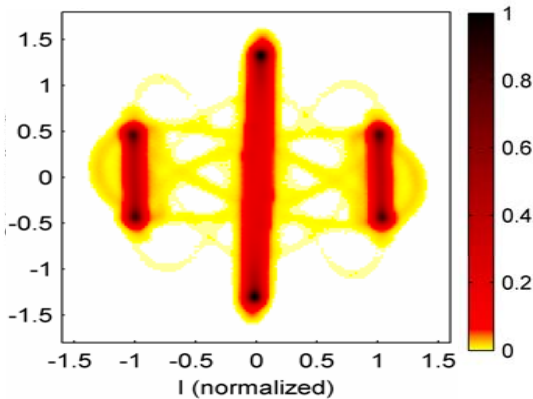
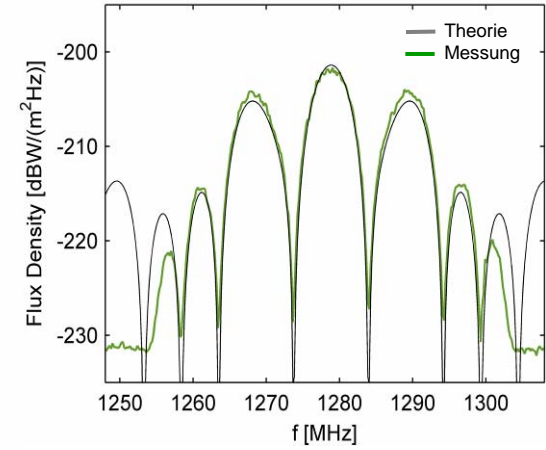
L1 Band



E5 Band



E6 Band



Giove-A Signale haben Sollcharakteristik !





GIOVE B
27.4.2008

Galileo Satellitenuhren



Passiver Wasserstoffmaser (Passive H-Maser, PHM)

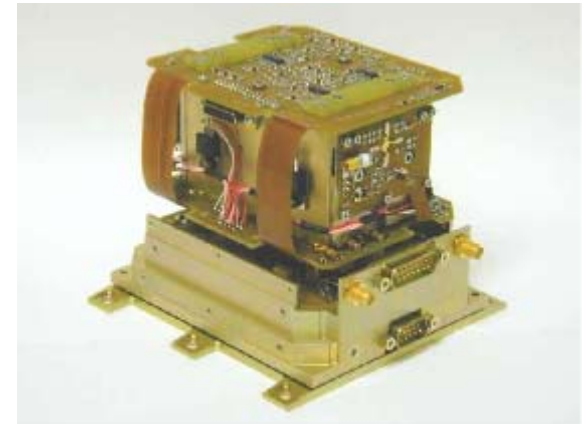
Erstmalige Nutzung an Bord
von Navigationssatelliten

Fehler: weniger als 1ns pro Tag
18 kg, 45 l

Rubidium Frequenzstandard (Rubidium Atomic Frequency Standard, RAFS)

ähnlich wie Rubidium-Uhren an Bord
von GPS-Navigationssatelliten

Fehler: weniger als 10 ns pro Tag
3.3 kg, 2.4 l



 Nutzung passiver Wasserstoffmaser an Bord der Galileo-Satelliten
Potenzial für deutlich genauere Zeithaltung als in GPS



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



iTEC08
Your Technology Hotspot

Navigationen



Flottenmanagement



Schifffahrt



Bauwesen



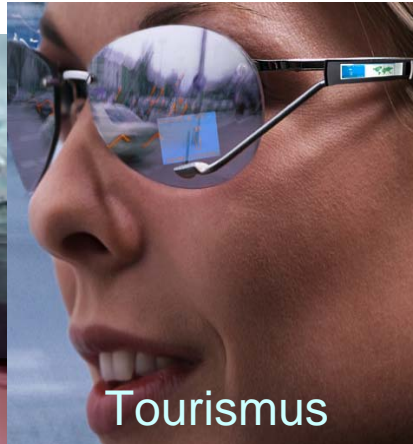
Luftverkehr



Zeitsynchronisation



Schienenverkehr



Tourismus



Rettungswesen



Straßenverkehr



Landwirtschaft



Mobilkommunikation und Ortung



Ölförderung



Galileo-Anwendungen im Verkehr



➤ Fahrerassistenzsysteme (ADAS)

➤ Intra- und intermodale Überwachung von Gefahrguttransporten



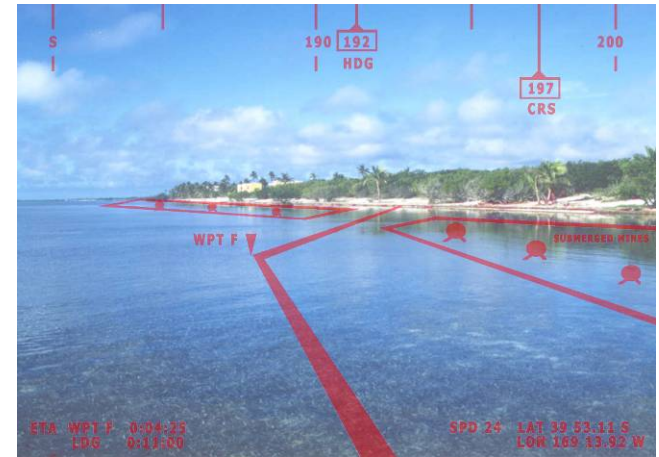
- Sichere Zugpositionsbestimmung
- Railway Collision Avoidance System (RCAS)
- Zugvollständigkeits- und Zuglängenüberwachung

- Flugnavigation
- Luftseitiges Flughafenmanagement



Anwendungsbeispiele in der Schifffahrt

- Schiffsnavigation, insbesondere in Häfen und bei Anlegemanövern
- Fischfang
- Verlegung von Seekabeln
- Positionierung von Navigationsbojen
- Küstenschutz





Straßenverkehr

- Genauigkeit, Ortung, Zuverlässigkeit
- Verkehrs- und Flottenmanagement, Notrufsysteme, Fahrerassistenzsysteme, Gefahrgutüberwachung, Mautgebühren...



Bahnverkehr

- Zuverlässigkeit, Ortung, Genauigkeit
- Flottenmanagement, "Container Tracking", Infrastruktur, Kollisionsvermeidungssystem, Trassenüberwachung...



Seefahrt

- Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Ortung
- Routen, Flottenmanagement, "Cont.Tracking", Hafennavigation, Seekabelverlegung, Fischerei...





Luftfahrt

- Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Höhe
- Streckennavigation ("Free Routing" -> kürzere Flugwege)
Präzisionsan- und -abflüge, Rollverkehrsmanagement...



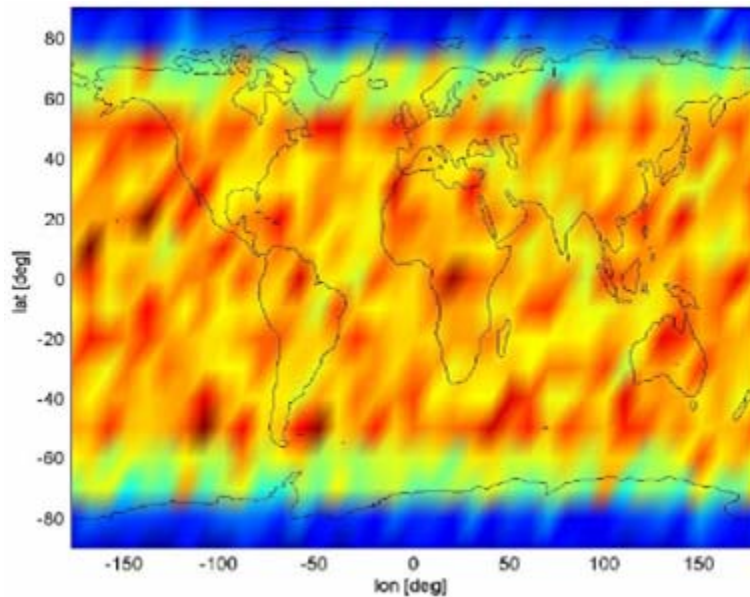
Hoheitliche Anwendungen

- Genauigkeit, Ortung, Zuverlässigkeit
- Polizei, Feuerwehr, Notärzte, Bundeswehr, Sondereinsatzkräfte...

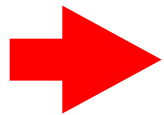
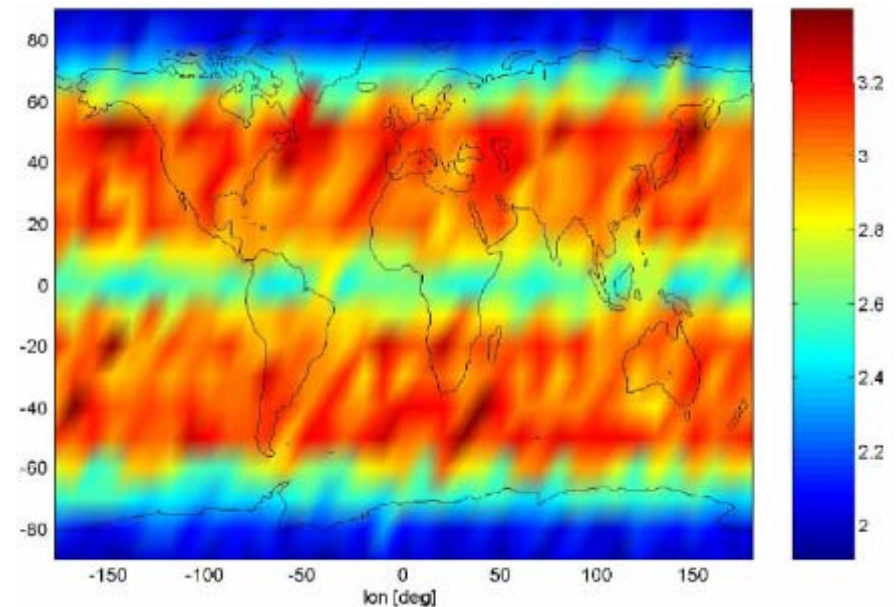


Horizontale Positionierungsgenauigkeit im Open Service (2σ)

Einfrequenzlösung OS,
Frequenzband: L1



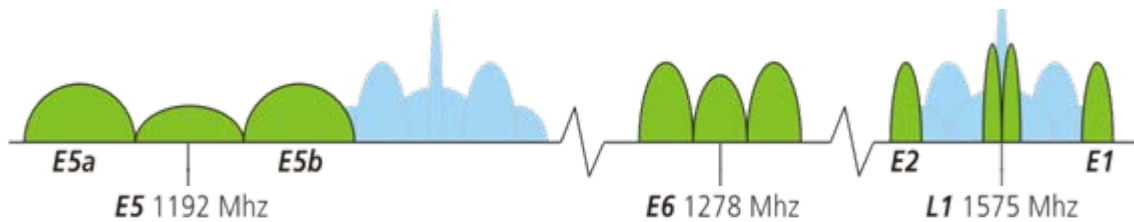
Zweifrequenzlösung OS,
Frequenzband: L1 & E5b



Galileo PVT-Zweifrequenzlösungen liefern ca. 4-fach geringere horiz. Positionierungsfehler als PVT-Einfrequenzlösungen

Quelle: M. Holreiser (ESA), „GALILEO Receivers and Performance Evaluation“, *SYSTEMS 2006*, München.

Garantierte Positionierungsgenauigkeiten mit einem “Standard Galileo-Empfänger”



Einfrequenzempfänger

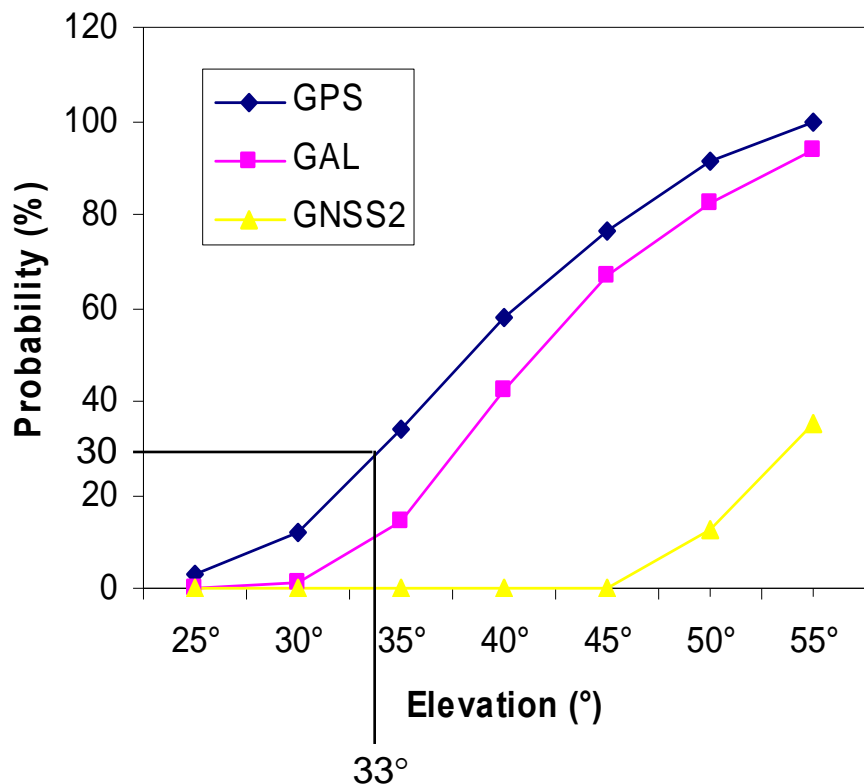
Zweifrequenzempfänger

Dienst	Open Service (OS) (E5a,E5b,L1)	Commercial Service (CS) (E5b,E6,E1)		Safety-of-Life (SoL) (E5b,E1)
Abdeckung	Global	Global	Lokal	Global
Genauigkeit - Horizontal (h) - Vertikal (v)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">h = 4 m</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">v = 8 m</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">h = 15 m</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">v = 35 m</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">< 1m</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">< 10 cm</div> lokal augmentie- rte Signale	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">4-6 m</div>
Verfügbarkeit	99.5%	99.5%	99-99.9 %	99.5 %
Integrität	Nein	offen	Ja	Ja

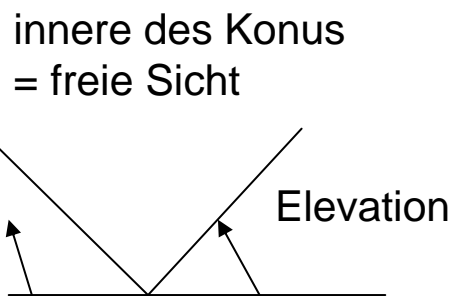
Quelle: European Commission, 2003

GPS and Galileo Satellite Availability

None Availability (NSAT<4)



Nicht-Verfügbarkeit der Signale wenn nur Satelliten in einem Konus sichtbar sind. Eine Elevation von 33 Grad modelliert eine typische Stadt



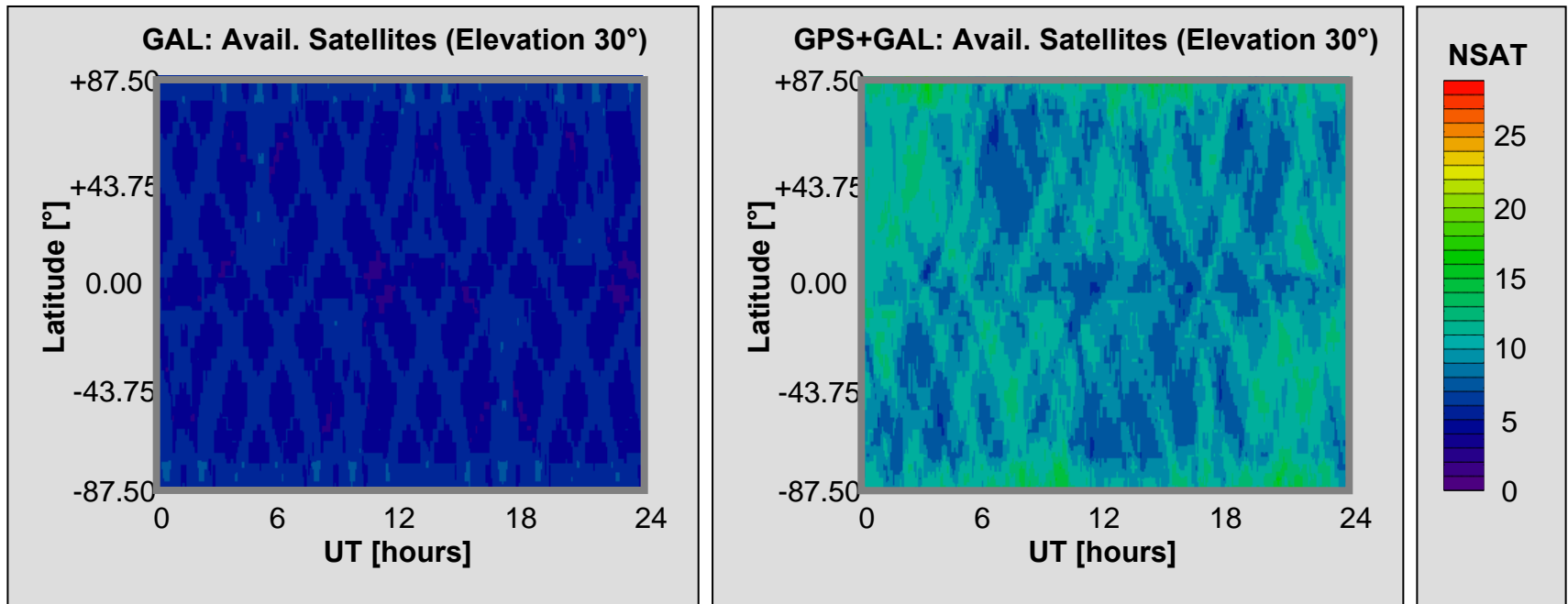
GNSS2=GPS plus GALILEO

Munich 11°54' East

E. Engler, DLR, 2002/3



Satellite Availability Distribution



10° longitude

GPS Almanach week 1228 (July 2003), 28 satellites

Galileo basic configuration, 27 satellites



“Safety of Life” relevante Anwendungen:

□ Anforderungen an Genauigkeit und Zuverlässigkeit von GNSS-basierter Ortung und Navigation.

Luftfahrt



CAT II/III (ICAO)

Schifffahrt



Port (IMO)

Eisenbahn



Train Control (UIC)

Ingenieurbau & Infrastrukturüberwachung



Bsp.: Schienennetz (UIC)

HPE / VPE
(m)

< 6 m / 2 m

< 1.0 m / -

< 1.0 m / -

< 0.01 m / -

HAL / VAL
(m)

15 m / 3 m

2.5 m / -

2.5 m / -

tbd / -

TTA (s)

< 2

< 10

< 1

< 5

Integrity
Risk

< 1e-9/15s

< 1e-5/3h

< 1e-10/MT

tbd



Galileo als Enabler für verlässliche Applikationen Fahrerassistenz

Galileo ermöglicht Advanced Driver Assistance Systems (ADAS):

- Aktives Lane Keeping / Aktive Spurhalteassistentz
- Spurselektive Eingriffe etc.

Arbeiten des DLR:

- Test und Validation von Applikationen
- Aufnahme und Validation von hochgenauen (10cm) Streckenkarten



Forschungsinfrastruktur Bereich Automotive

Das Messfahrzeug ViewCar®



Galileo als Enabler für verlässliche Applikationen im Bereich der Eisenbahnsicherung

Galileo ermöglicht fahrzeugorientierte Zugsicherungssysteme mit:

- Gleisselektiver Ortung
- Integrität
- etc.

Arbeiten des DLR:

- Test und Validierung von Applikationen
- Aufnahme und Validation von hochgenauen Streckenkarten
- Test und Validierung von Strecken- und Fahrzeugprojektierungen

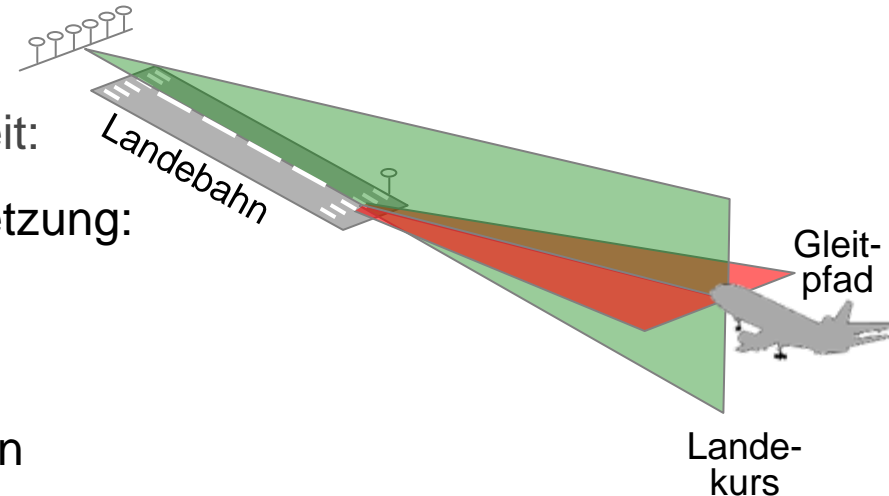


Galileo als Enabler für verlässliche Applikationen

Navigation an Flughäfen

Navigation = Faktor für Kapazität und Sicherheit:

- ILS – Instrumentenlandesystem-Voraussetzung: vollständiges Freimachen von Landebahn und angelagerten Taxiways nach jeder Landung → Begrenzung der Kapazität um ca. Faktor 3 unter KAT III-Bedingungen (Blindflug)
- nur geradlinige Anflüge zu einem einzigen Aufsetzpunkt möglich
- keine Rollverkehrsführung:
 - führt zu zahlreichen “Runway Incursions” – 2 pro Tag in Europa
 - Betrieb im CAT IIIc Modus (keine Sicht) nicht möglich



Landekurssender, Oberpfaffenhofen



Experimentelles Ground Based Augmentation System (GBAS) des DLR am Forschungsflughafen Braunschweig



GNSS-Empfänger



ggf. weitere
GNSS-Empfänger

Monitoringstation mit
meteorologischen
Sensoren

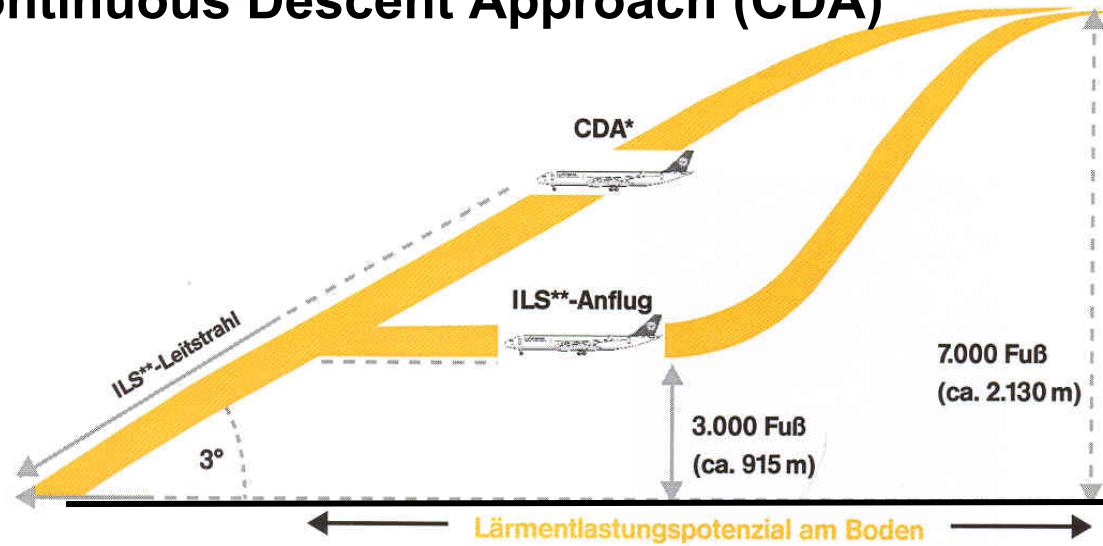


Galileo/GBAS als Basis von Lösungen zur Erfüllung der ICAO





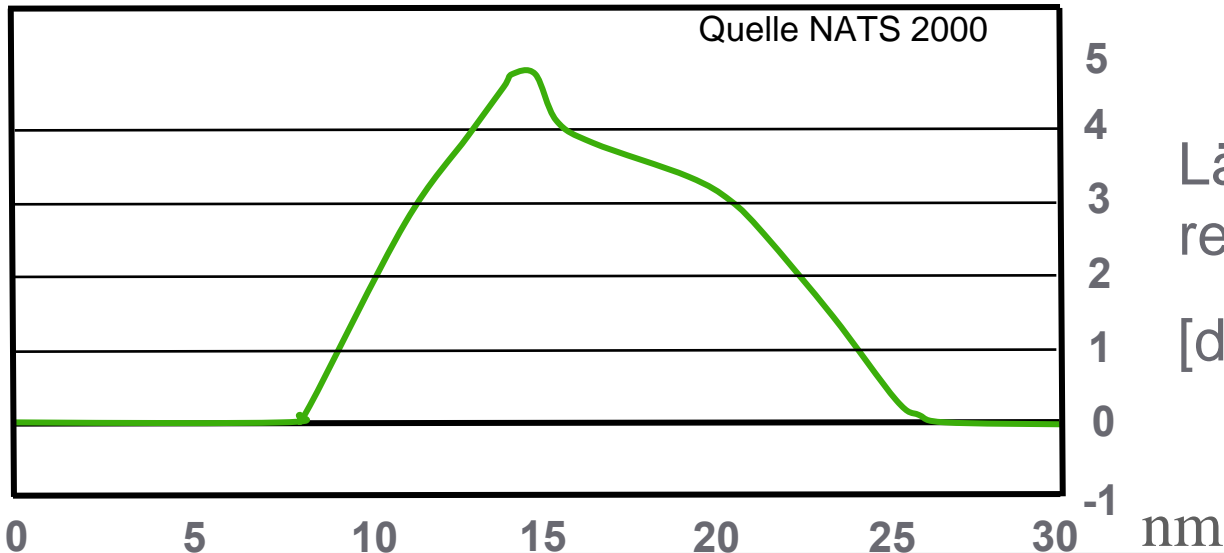
Continuous Descent Approach (CDA)



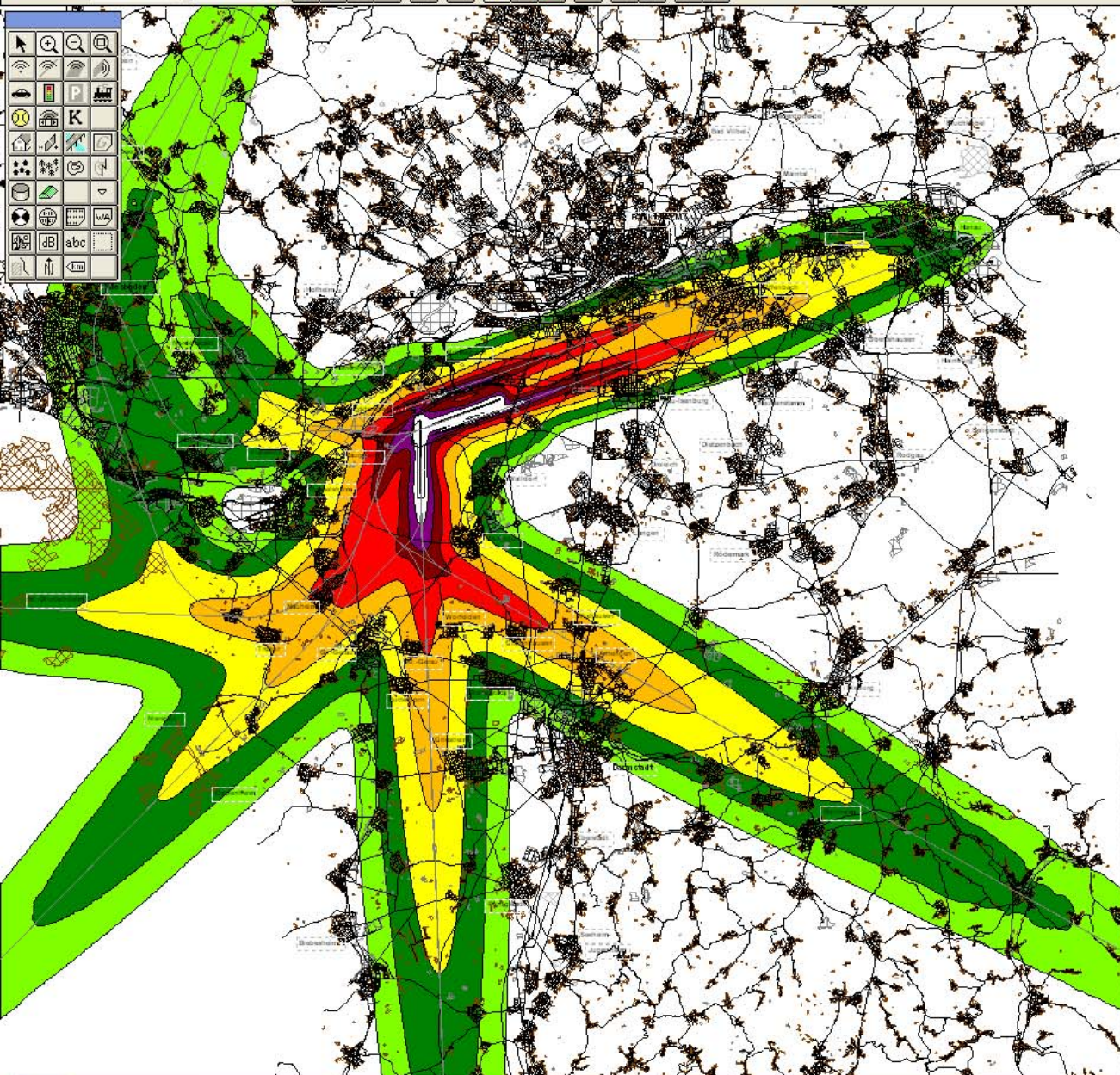
* Continuous Descent Approach

** Instrumenten-Landesystem

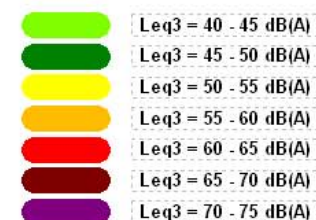
Quelle: Boeing 2000



Lärm-
reduktion
[dBA SEL]



Fluglärmkonturen Frankfurt am Main
Variante 9b
Flugrouten und DES:
Raumordnungsunterlagen
346.656 Flugb./6 Mon., nachts 8 %
Westbetrieb
TAG / NACHT - AzB_Entwurf - q=3
(Berücksichtigung der Geländehöhen)
M=1:250.000



minimum noise route

Fluglärmkonturen Frankfurt am Main
Variante 9b

Flugrouten und DES:

Raumordnungsunterlagen

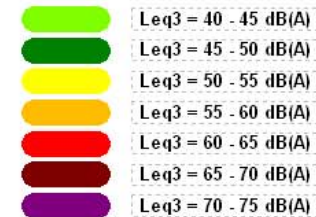
346.656 Flugb./6 Mon., nachts 8 %

Westbetrieb

TAG / NACHT - AzB_Entwurf - q=3

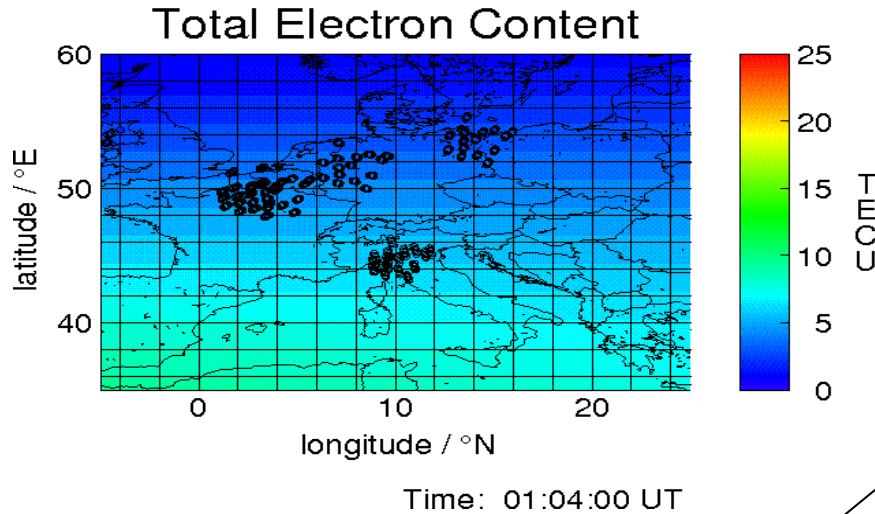
(Berücksichtigung der Geländehöhen)

M=1:250.000

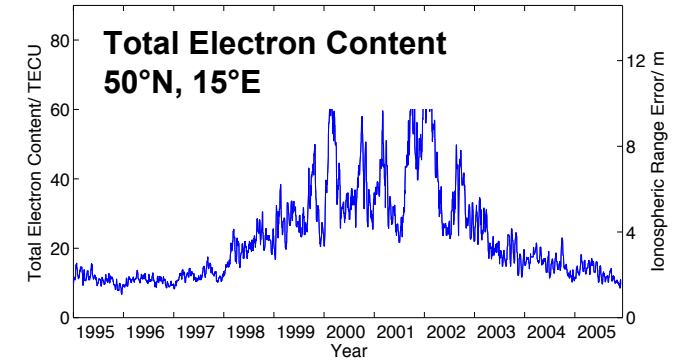
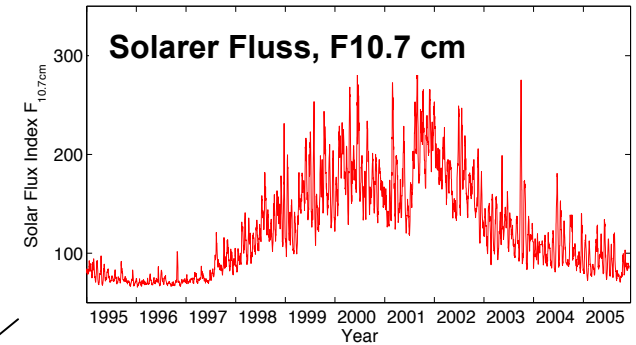


HLUG

Modellierung der Ionosphäre

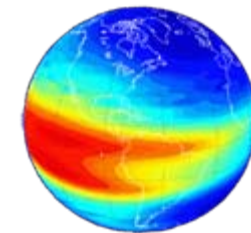


$$TEC_V = f(H, Y, L, S)$$

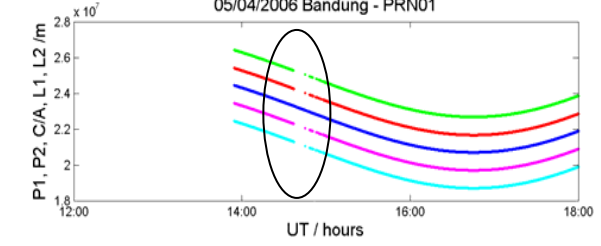
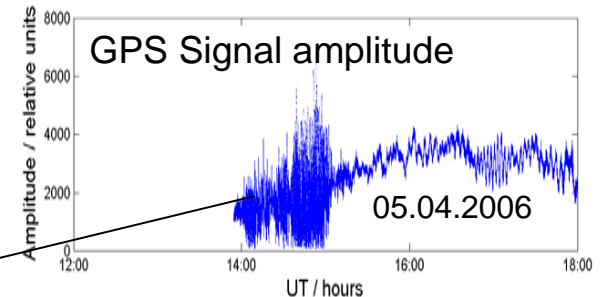
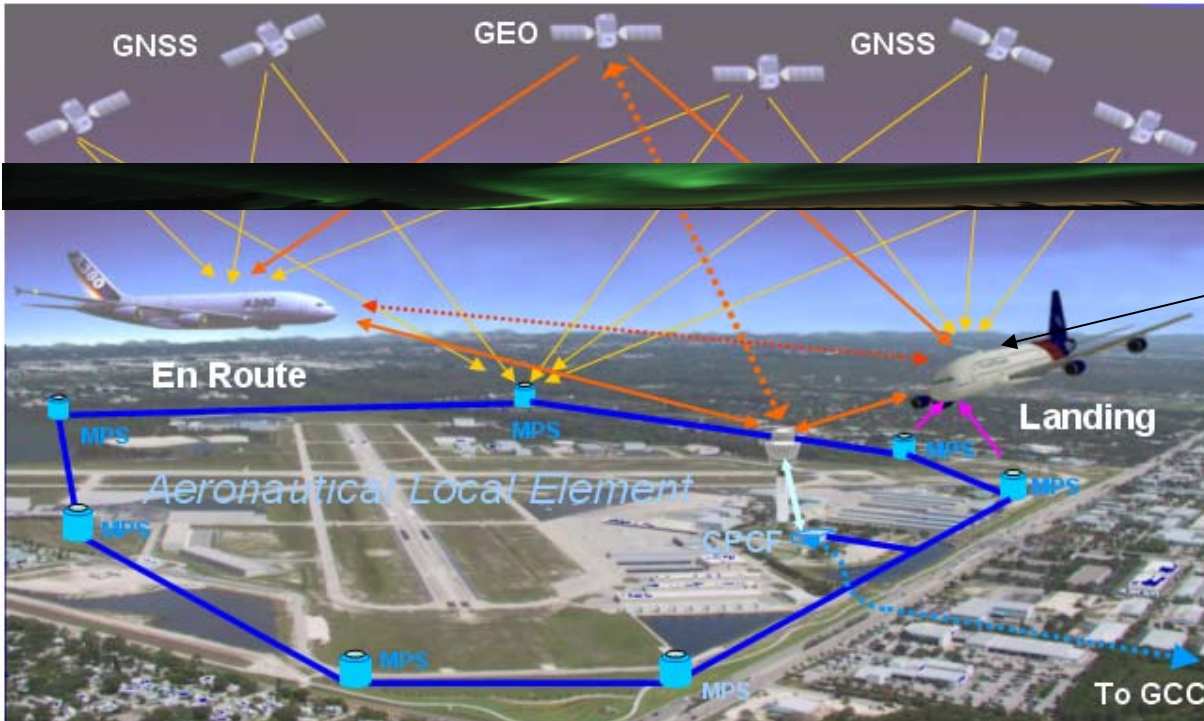


TEC ist direkt proportional dem Laufzeit- oder Entfernungsfehler

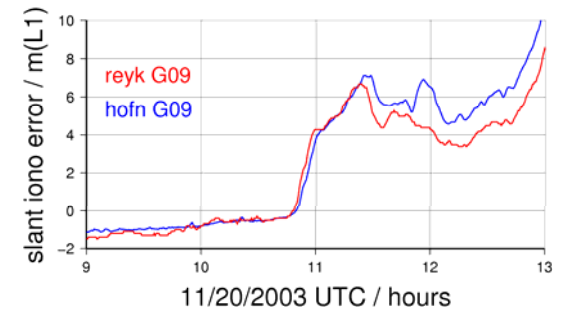
- Empirische Modelle (TEC)
- Datengetriebene physikalische Modelle
- Nutzung der Modelle (z.B. GPS Handy Nokia)



Anwendung - sichere Luftfahrt



GPS- loss of lock
Ref: Projekt PRIS



Ionosphären- ,Threat model' erforderlich

Ref: Projekt LINA → ITMA / DFS

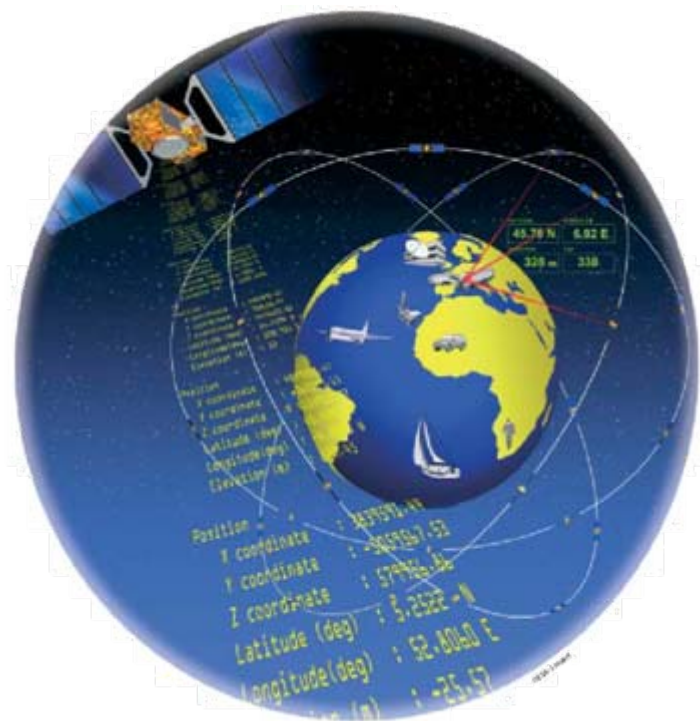
GNSS- Anwendungen in der Luftfahrt
→ Integrität, Kontinuität, Verfügbarkeit der Signale

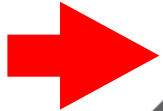
Operationelle Detektierung ionosphärischer Störungen erforderlich!

DLR-Initiative: Aufbau eines europäischen Ionospheric Perturbation Detection and Monitoring (IPDM) Netzwerks

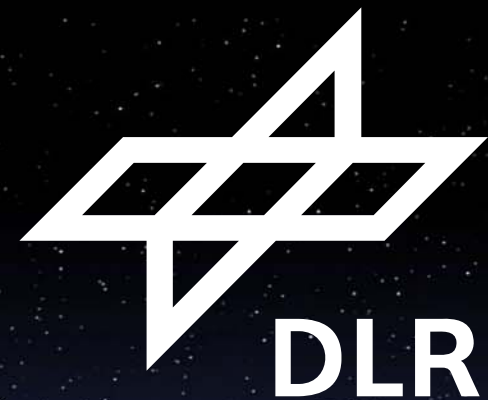
Technische Vorteile von Galileo gegenüber GPS

- Verbesserte Satellitenkonstellation und Ground-Relay-System
- Bessere Signaleigenschaften (Mehrwegeausbreitung, Coderaussehen, größere Bandbreite)
- Mehrträgerverfahren möglich zur zuverlässigen Trägerphasenschätzung und Elimination der ionosphärischen Ausbreitungsfehler
- Interoperabilität mit GPS bei Design berücksichtigt
- Systemmonitoring und Zuverfügungstellung von Integritätsnachrichten für sicherheitskritische Anwendungen (Safety of Life, SoL)
- Galileo → Service-Garantien !



 Galileo: höhere Genauigkeit, größere Verfügbarkeit und Integrität





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!