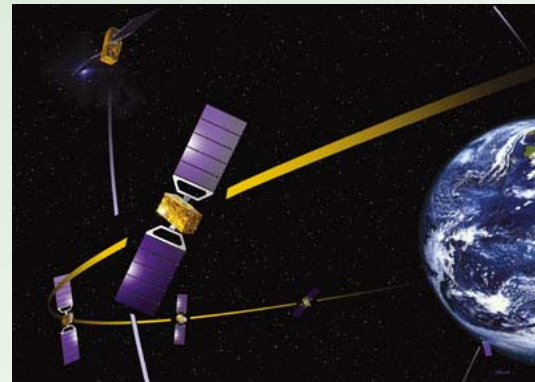
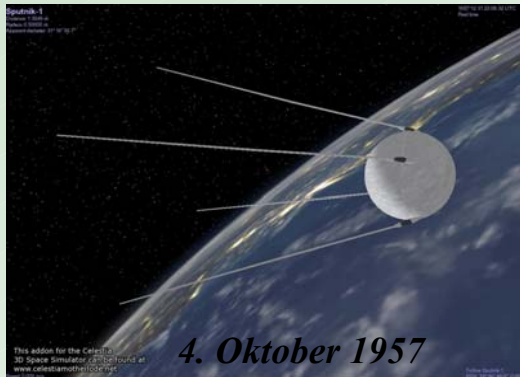


Ein halbes Jahrhundert Satellitennavigation

*Was hat das Geodätische Observatorium Wettzell
damit zu tun?*



Wolfgang Schlüter
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
GIZ Vortragsreihe, 22. November 2007



Navigation hat ein breites Anwendungsfeld zivil und militärisch



Zivile Anwendungsbereiche

- Schifffahrt
- Flugzeuge
- Auto
- Radfahrer/Fußgänger
- Satellitenbahn
- Nutzfahrzeuge
- öffentlicher Nahverkehr
- Straßenbau
- Schifffahrtswege
- Landwirtschaft
- Containerlager
- unbemannte Vehikel
- u.v.m.

**=> wirtschaftliche Bedeutung,
es gibt einen große
Markt**

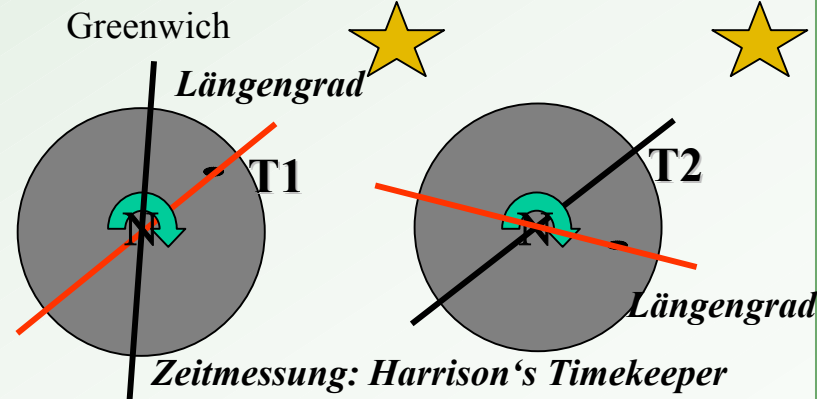
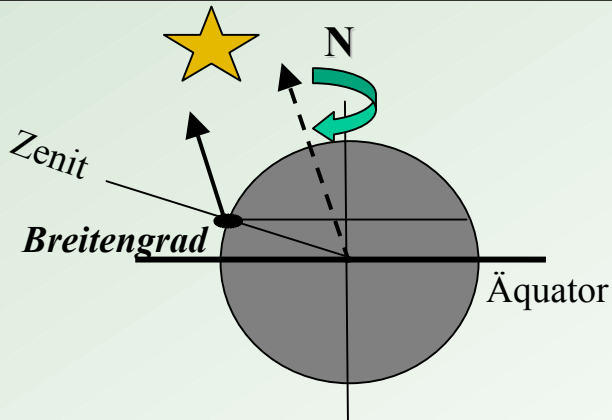
Navigation vor „Satellitenzeitalter“?



Orientierung an markanten
Konturen



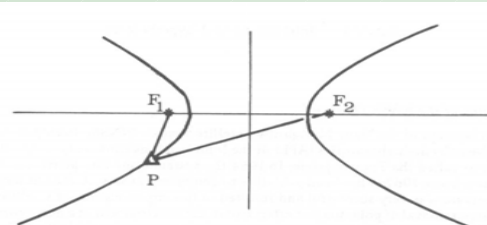
Orientierung an den Sternen



Radionavigation



LORAN C -Sylt

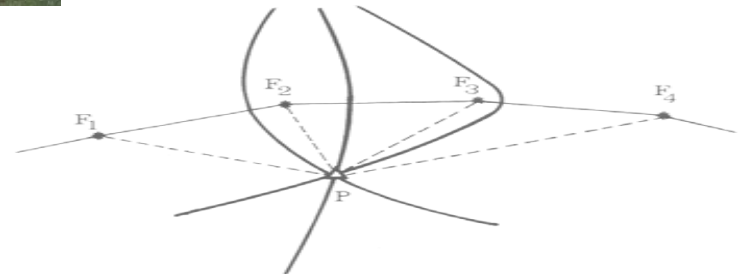


Hyperbel: geometrischer Ort gleicher Streckendifferenzen

Anwendung:

- Navigation (Schifffahrt)
- Zeitsynchronisation

- **z.B. LORAN C**
(Long Range Aid for Navigation)
- Senderkette mit 3-4 Sendern
 - Nordseekette, Mittelmeerkette, Nordatlantik, Ostküste, Nordwestpazifik, Hawaii
- Trägerfrequenz 85-115kHz,
- Reichweite bis zu 3000km
- synchrongesteuerte Pulsfolgen
- Laufzeitdifferenzen
=> Streckendifferenzen
=> **Hyperbelverfahren**



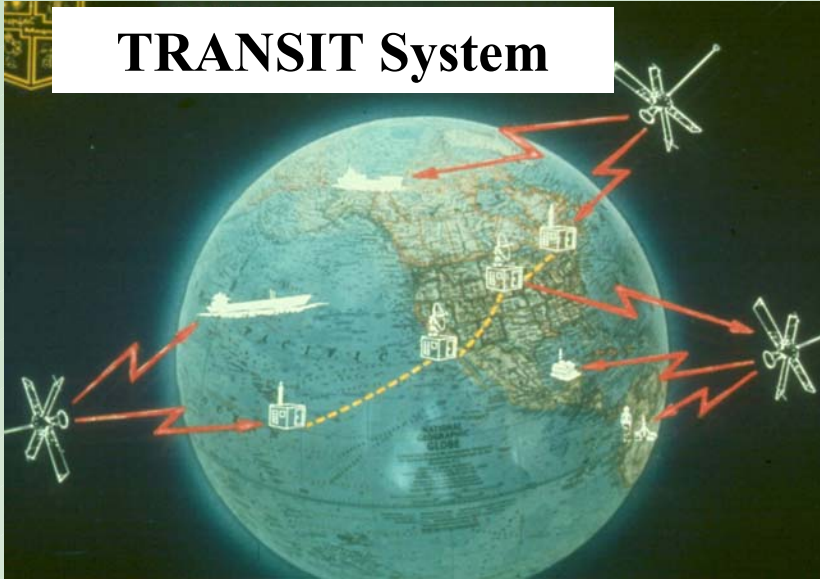
Grundprinzip: Ort als Schnittpunkt von Hyperbeln

„Satellitenzeitalter“

- US Navy Navigation Satellite System (TRANSIT)
- NAVSTAR GPS
- GLONASS
- Galileo

US Navy Navigation Satellite System

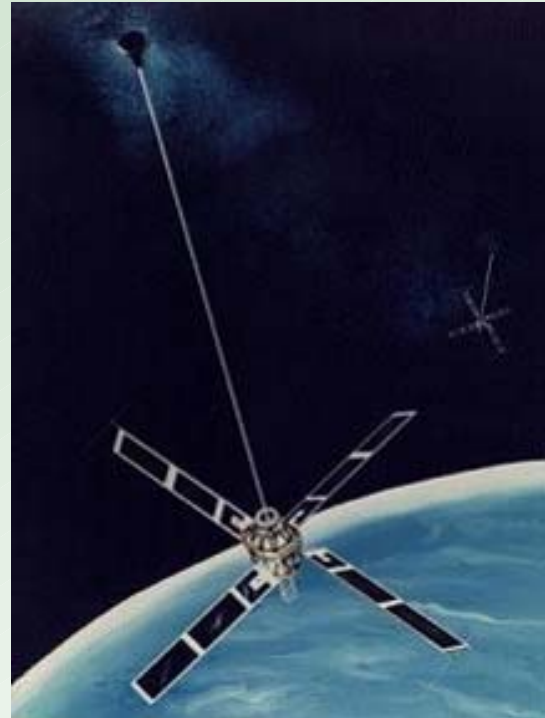
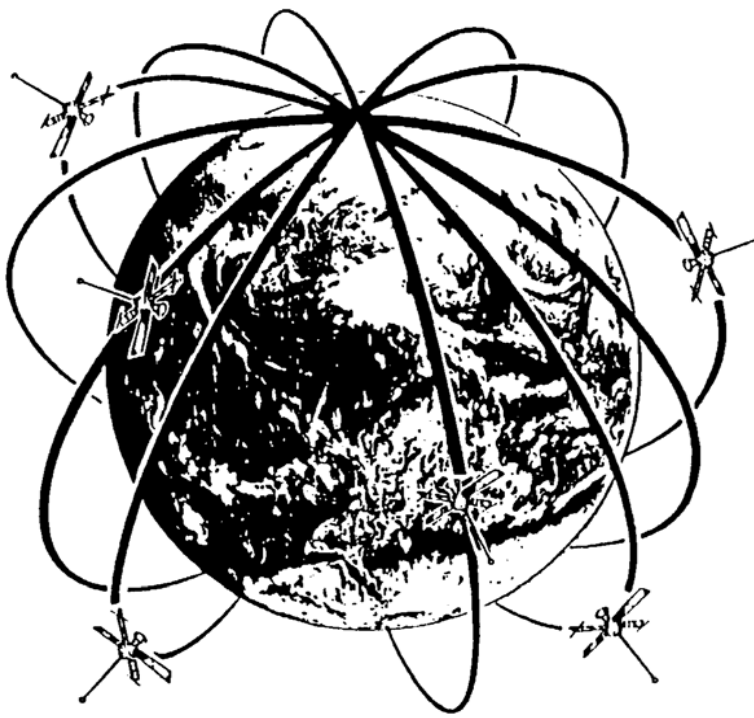
TRANSIT System



- Navigation der U-Boote
 - 300m Genauigkeit
- 6 Satelliten
 - 1100km Flughöhe
 - Polbahnen
- Dopplereffekt
 - Frequenzänderung in Abhängigkeit der Radialgeschwindigkeit
 - Streckendifferenzen
 - Hyperbelverfahren

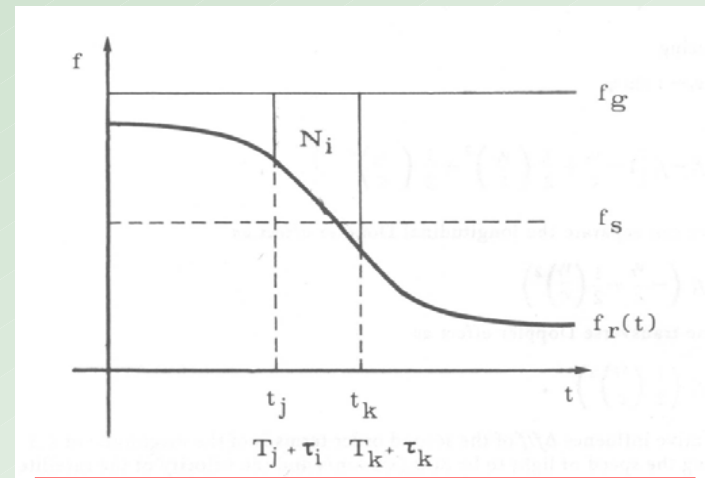
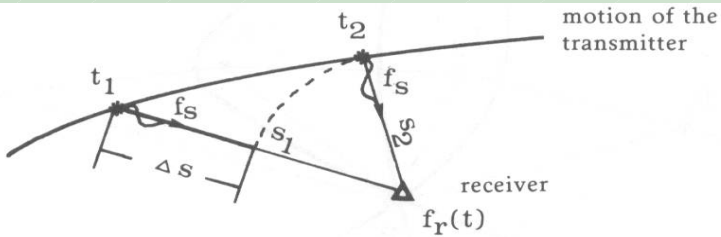
- 1958 finanzielle Bewilligung vom US DoD (Navy)
- 1959 bis 1964 Entwicklung von
 - geeigneten Satelliten
 - Erdschweremodell (Satellitenbahnbestimmung)
 - Ausrüstung für die Nutzer
- 1967 für zivile Nutzung freigegeben

TRANSIT (US NNSS)



- 6 Satelliten in Polbahnen auf 1075km Höhe
- Umlaufdauer 107 min
- Signal: konst. Frequenzen 150MHz und 400Mhz
- Alle 35- 100 min ein Satellitenüberflug (ortsabhängig)

TRANSIT Prinzip (1)



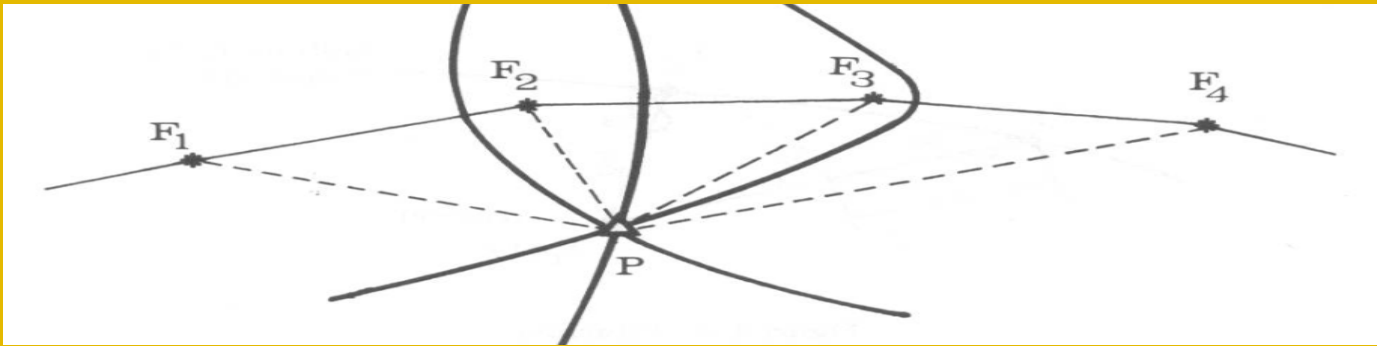
**Doppelreffekt: Frequenzverschiebung
Abhängig von der Radialgeschwindigkeit**

$$\Delta f = f_r - f_s \sim v_r$$

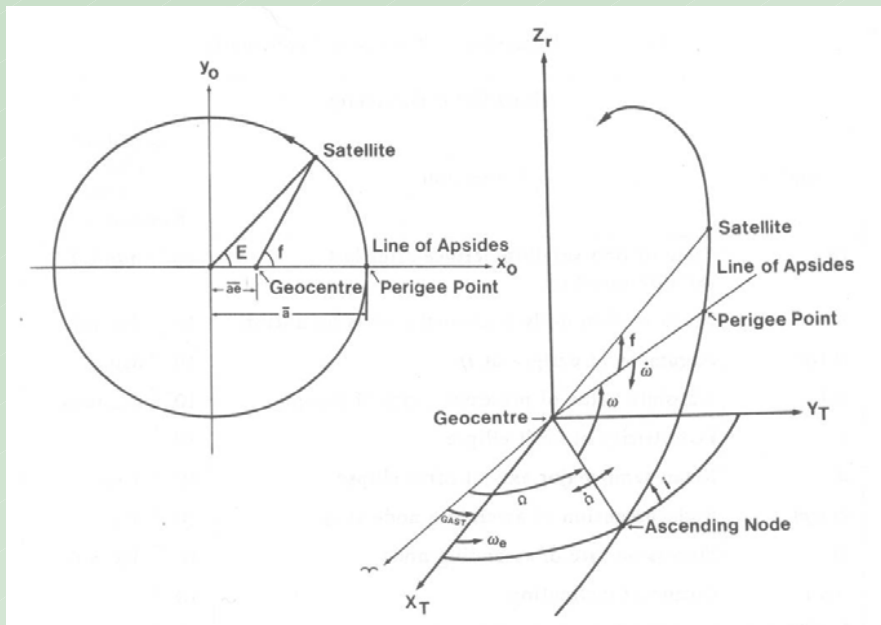
**Doppler Count: Integration Δf über die Zeit
=> Streckendifferenz**

$$N = \int_{t_1}^{t_2} (f_r - f_s) dt \sim \int_{t_1}^{t_2} v_r dt \sim \Delta s$$

Hyperbelverfahren: Standort => Schnitt 3er Hyperboloide



TRANSIT – Prinzip (2)



Bahn der Satelliten

- Keplerellipse
 - Halbachse
 - Exzentrizität
 - Bahnneigung
 - Aufsteigender Knoten
 - Lage des Perigäums
 - Mittlere Geschwindigkeit
 - Durchgangszeit durch das Perigäum



Signale der Satelliten

- 150 MHz und 400 MHz (Ionosphärenkorrektion)
- Phasenmodulation, 6103 bits in 2 min (~50 b/s)
 - Zeitmarken, Satelliten Identifikation
 - Kepler – Bahndaten
- Doppler Count etwa alle 4,6s

Bodenstationen / Bahnbestimmung



- OPNET, Operations Network (Broadcast Ephemerides)
 - Navigationsaufgaben
- TRANET, TRANSIT-Network (Precise Ephemerides)
 - Anwendungen in Geodäsie (Vermessung)

Empfangssysteme

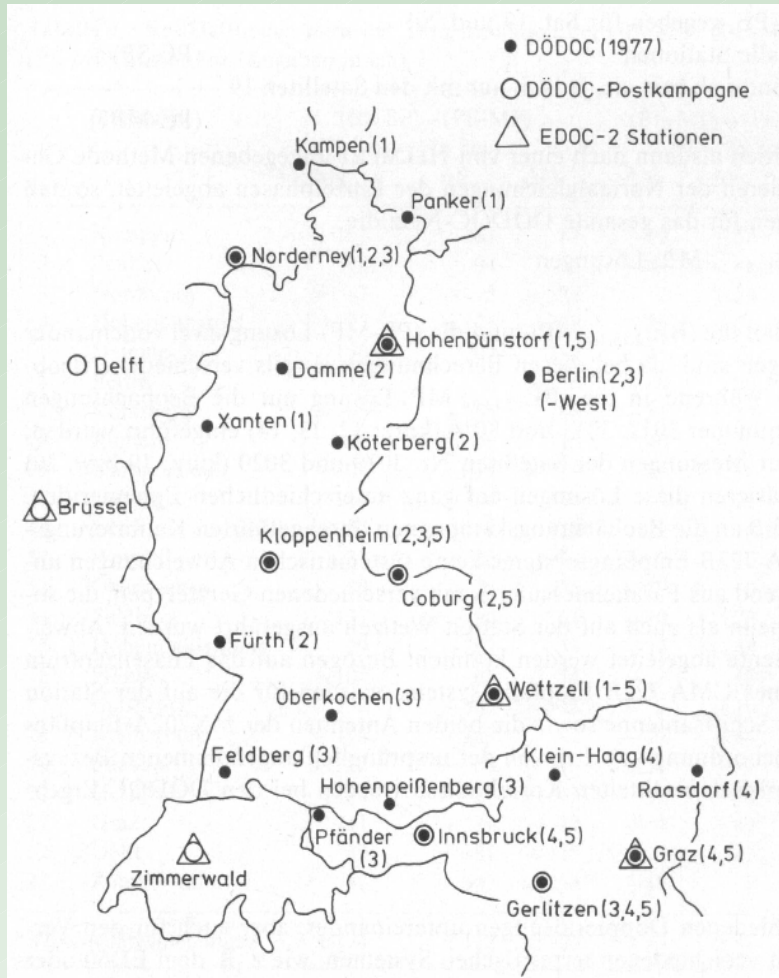


Geodäsie:

mobile Systeme: CMA 722B, MX1501, CMA 761 etc.

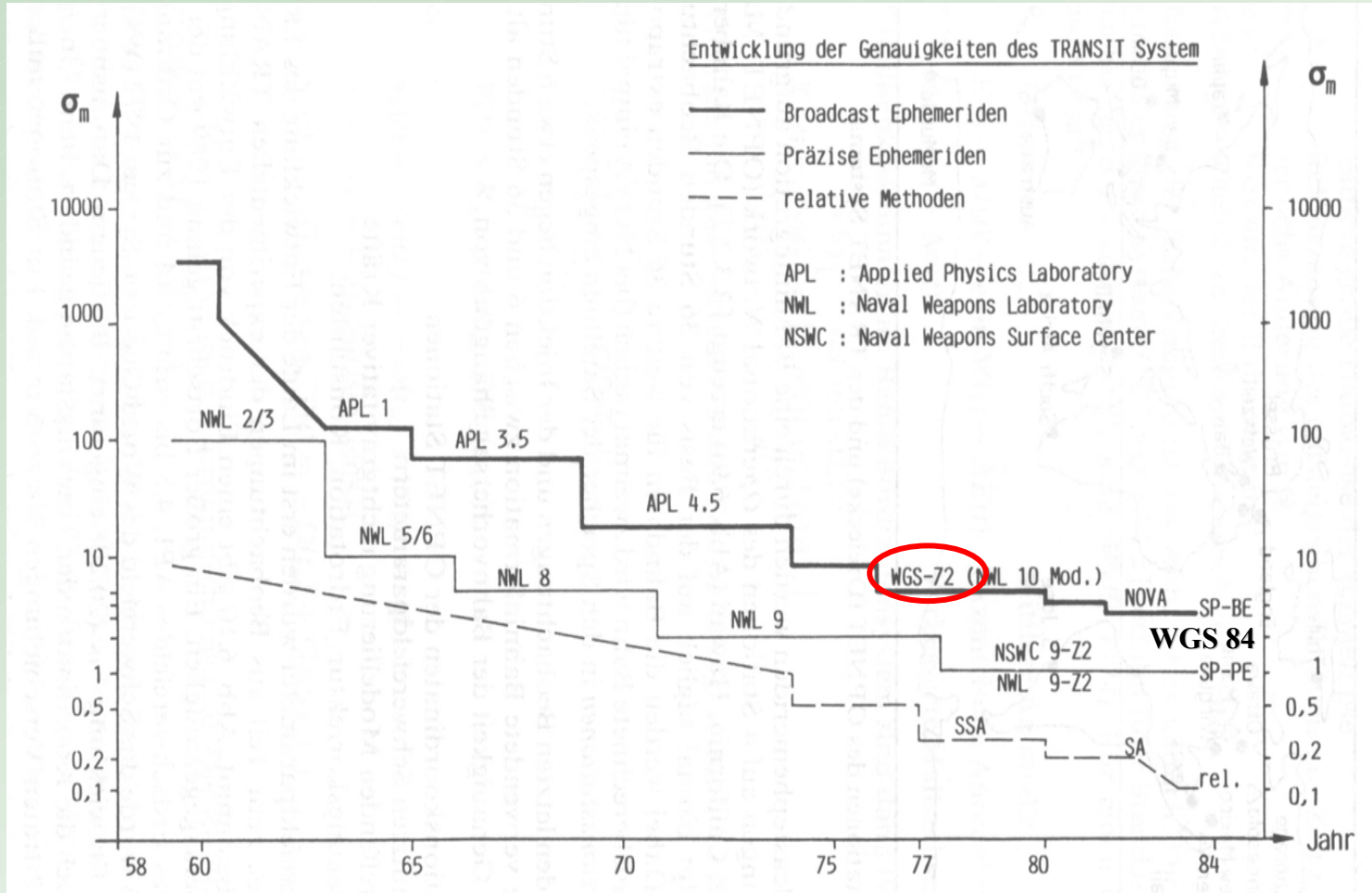
stationäres System: TRANET

Doppler-Aktivitäten



- 1975 Start der Aktivitäten in Deutschland
- stationär in Wettzell (CMA722B, TRANET)
 - Precise Ephemerides
 - Beitrag zum WGS 84
- Kampagnen
 - EDOC
 - DÖDOC
 -
- Vergleich Satellitentechnik mit klassischer Triangulation (Landesvermessung)
- Internationale Kooperationen

Entwicklung der Genauigkeit des TRANSIT



NAVSTAR GPS

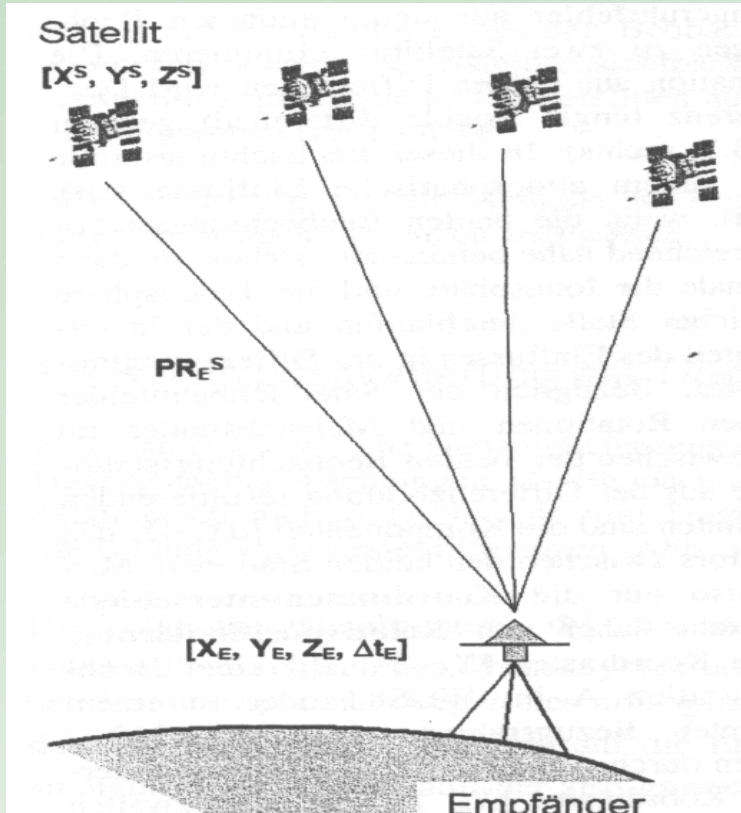
NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System

U.S. Department of Defense (DoD)
Militärische Zielsetzung (1973)

Ziele:

- » Positionbestimmung 10-15m genau
- » Zeitbestimmung 100ns genau
- » zu jeder Zeit an jedem Ort in Echtzeit
- » wetterunabhängig

Grundidee: “Pseudostrecken”



Räumlicher Bogenschlag

- Voraussetzung:
 - Position der Satelliten bekannt (X^S, Y^S, Z^S)
 - Gleichzeitige Messung von (Pseudo-) Strecken zu 4 Satelliten über Signallaufzeiten vom Satelliten zum Empfänger
 - Atomuhren im Satelliten
 - Uhr im Empfänger
- Lösung eines Gleichungssystems mit den Unbekannten
 - Koordinaten: (X_E, Y_E, Z_E)
 - Zeit: Δt_E

NAVSTAR GPS - Zeitplan

- **1973 Beschluss zum Bau (DOD)**
- **1974 Konzept und Testphase**
 - Navigationstechnologische Satelliten NTS1 und NTS2 zur Erprobung der Pseudo Random Noise Modulation
 - Beteiligung von Wettzell: Zeitübertragungsexperimente
- **1979 Beginn der Entwicklungsphase**
 - 7 Satelliten
 - Positionsbestimmung und Zeit in USA möglich
 - Global nur Zeitvergleiche möglich
 - Entwicklung der Empfänger
- **1983 Beschluss zur Freigabe für zivile Nutzung (DoD/DoT)**
- **1985 Beginn der Ausbauphase**
- **1995 Voller Ausbau des Systems**
 - 24 Satelliten plus 6 Reservesatelliten
- **2000 Abschaltung der künstlichen Verschlechterung**
- **2005 Start von GPS IIR-M –Satelliten (zusätzliche Signale, L5-Test)**
- **2008 geplanter Start GPS IIF Satelliten mit L5, 2 Cs-, 1 Rb-Atomuhr**
- **2012 geplanter Start GPS III R**

Navigation Technology Satellite (NTS)



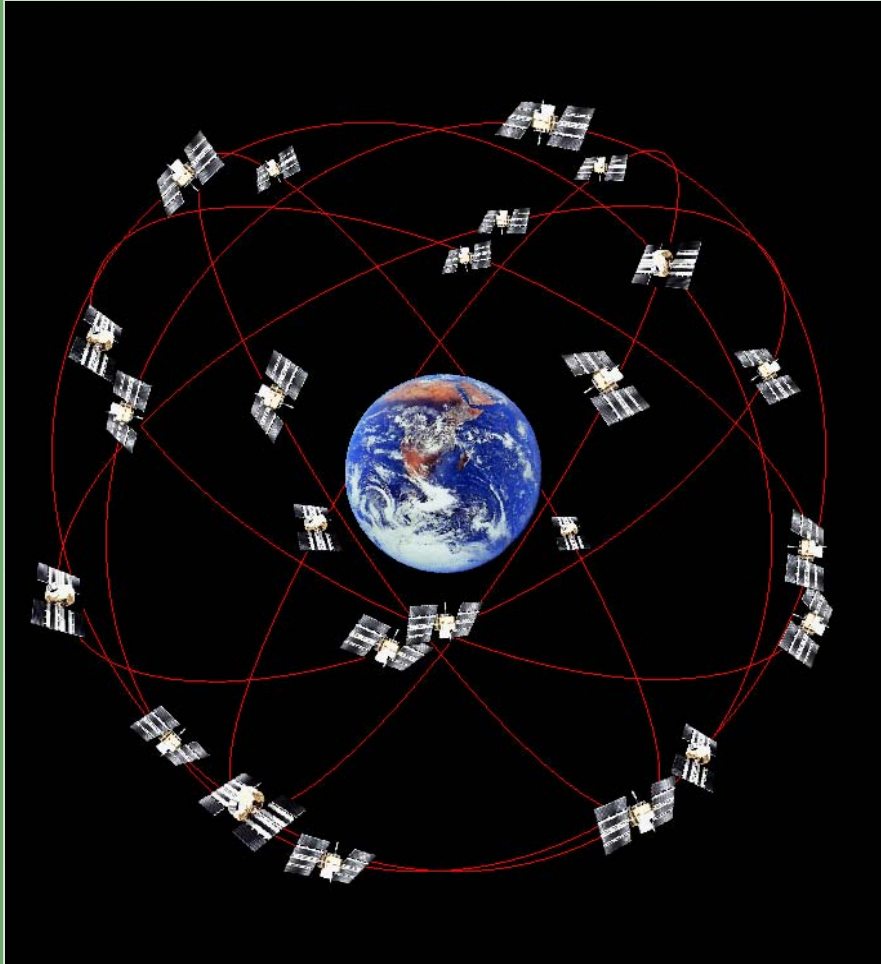
Testphase

- NTS 1 (Quartz Clock) 1978
- NTS 2 (Rb-Atomuhr) 1979
 - Ziel:
 - Test „Pseudo Random Noise Code“ Modulation
 - Zeitübertragung
 - Experiment mit Stationen:
 - NRL (Washington DC)
 - Greenwich Observatory
 - Satellitenbeobachtungsstation Wettzell
 - Ororral –Australien

Entwicklungsphase

- Routine Zeitübertragung ab 1981
- Interferometrische Verfahren (vgl. VLBI)

GPS Raumsegment



1995 voller Ausbau

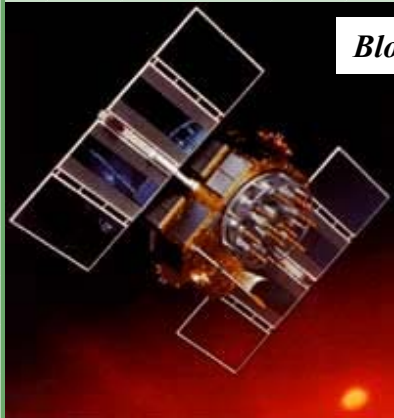
Satelliten 24 (3 + 3 spare)

- große Halbachse 20.400km
- Umlaufperiode 11h 58 min
- Bahnneigung 55°
- Bahnebenen 6
- Frequenzen:
 - L1 1 575 MHz
 - L2 1 228 MHz

Planungen

- L5 ab 2010 1 176 MHz
(Savety of Life, Luftfahrt)

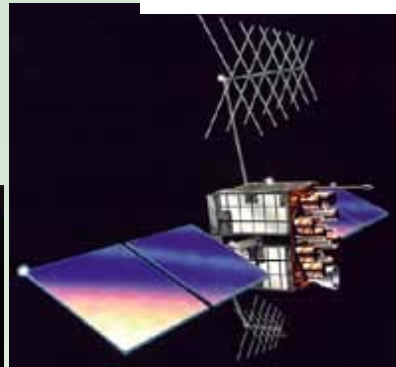
GPS-Satelliten



Block IIA



Block IIF



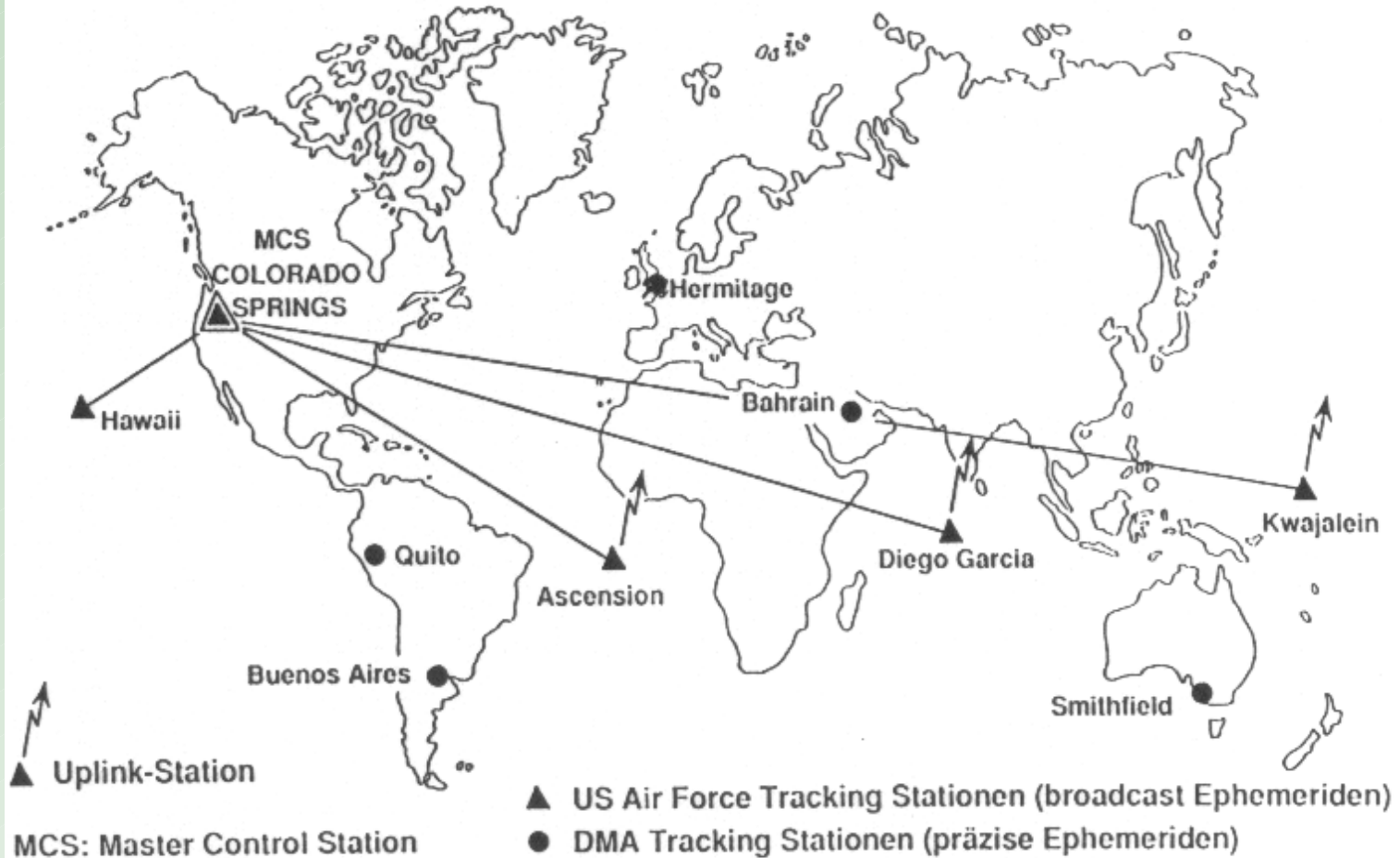
Block IIR

Eigenschaften:

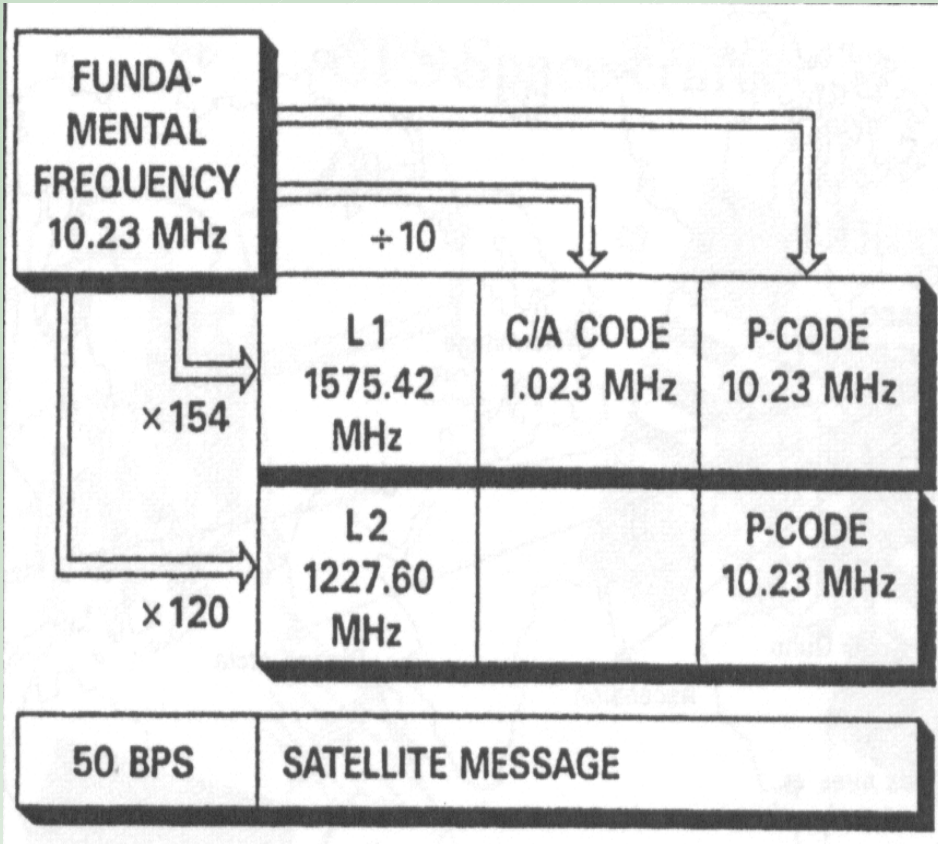
- 7.5 – 13 Jahre Lebensdauer
- 7m² Sonnen Panels
- 2 - 3 Atomuhren
- Gewicht bis zu 2 to

- **Block I**
 - Starts 1978-1985 (nicht mehr aktiv)
- **Block II**
 - Start Febr. 1989 (Verschlüsselung, SA, AS, bis Mai 2000)
- **Block IIA**
 - seit Nov. 1990
 - Erw. Speicher, Reflektoren
- **Block IIR**
 - Juli 1997
 - R= Replacement für Block IIA
- **Block IIR-M (modernized)**
 - September 2005
 - L5 Test
- **Block IIF**
 - ab 2009
 - 3. Frequenz, L5 (zivile Anwendung)
- **Block III**
 - ab 2012
 - Nächste Generation

Kontrollsegment

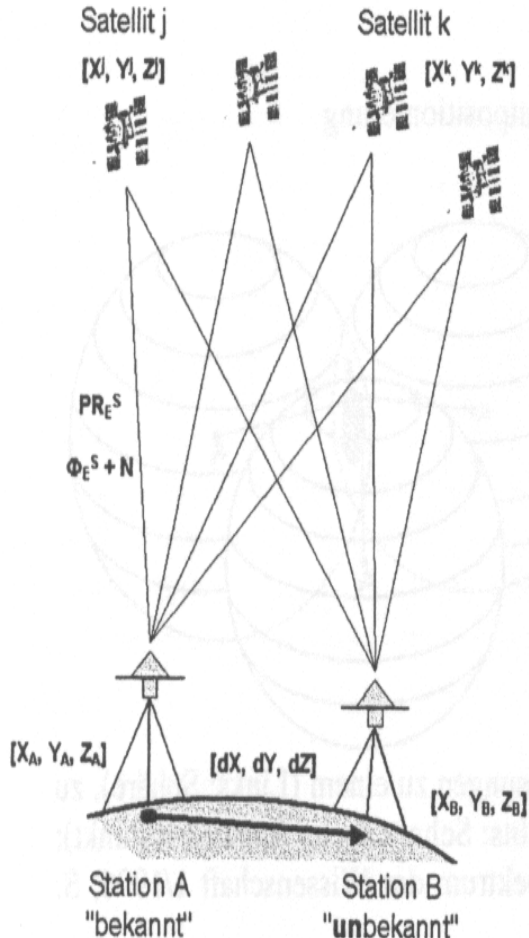


GPS - Signale



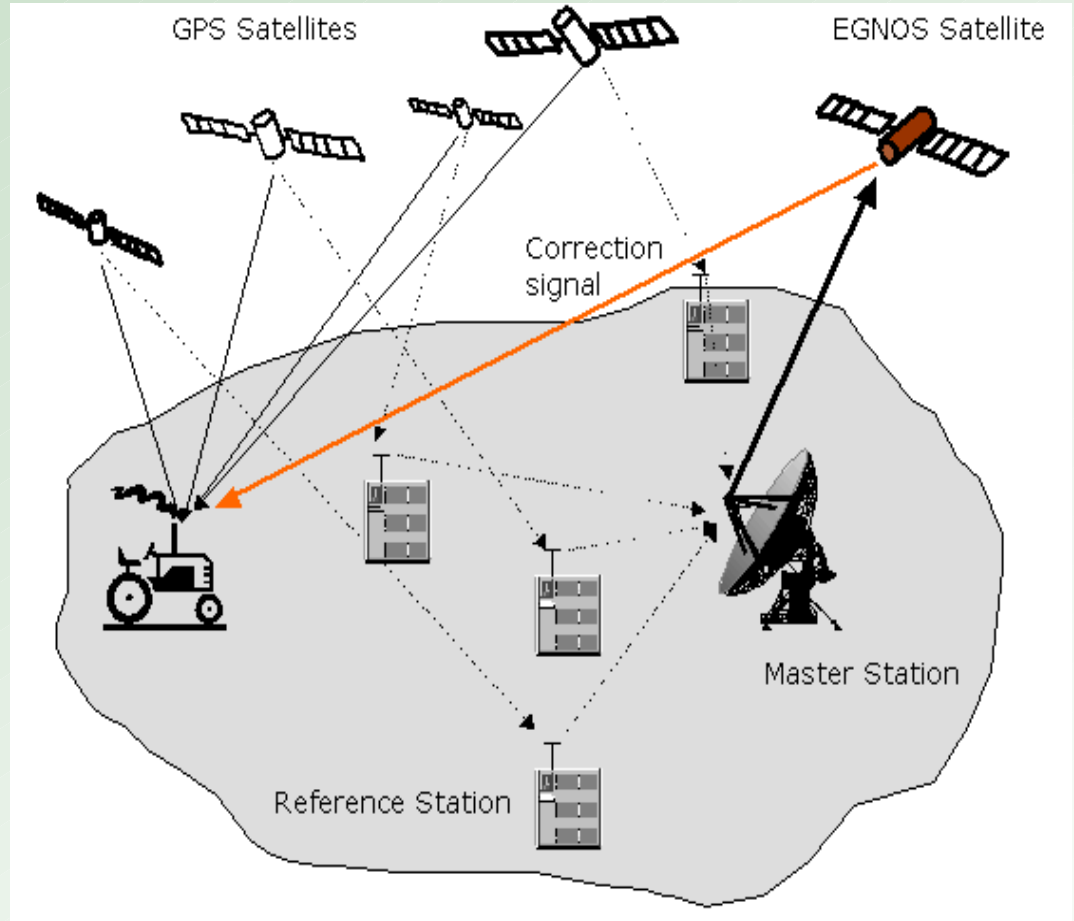
- **L1**
 $f = 1575,43 \text{ MHz}$
 $\lambda = 19,05 \text{ cm}$
- **L2**
 $f = 1227,60 \text{ MHz}$
 $\lambda = 24,45 \text{ cm}$
- **L5**
 $f = 1176,45 \text{ MHz}$
 Robustheit, Luftfahrt, Safety and Rescue
- **Phasenmodulation (PRN)**
C/A-code (Clear Acces/Coarse Aquisition)
P/Y -code (protected/precise)
- **Navigation Message**
 Broadcast Ephemeriden
 Satellitenuhr Korrektur
 Almanach Daten, Status

Differentielles GPS

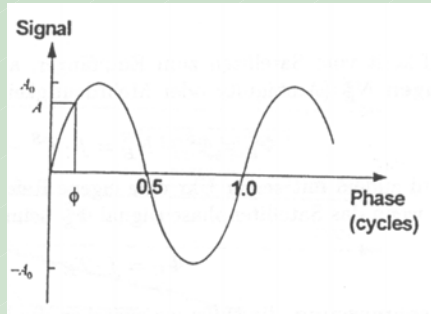


- **Fehlerquellen**
 - Satellitenbahn/Satellitenpositionen
 - Ionosphärische Refraktion
 - Troposphärische Refraktion
- **Differentielle Verbesserungen (DGPS)**
 - gleichzeitiges Beobachten auf einer einer Referenzstation (bekannte Position) und auf einer Neuposition (Rover)
 - Berechnung der Abweichungen zwischen gemessener Position und Soll-Position (Korrekturwerte)
 - Einführung der Korrekturwerte (**Positionsgenauigkeit <1m**)
 - **ALF-System, UKW-RDS Kanal**
 - Bereitstellung der Korrekturwerte z.B. durch LW-Verbreitung
 - **EGNOS (Europa), WAAS (Amerika)**
 - geplant: **MSAS (Japan), GAGAN (Indien)**
 - Bereitstellung der Korrekturwerte und Systemzustände über Geostationäre Satelliten

Differentielle Dienste ALF, EGNOS



Geodäsie: Trägerphasenmessungen



$$\Phi = f t$$

Korrekturen:

- Satelliten-, Empfängeruhr
- Antennen-, Empfänger-Delay
- Ionosphäre
- Troposphäre
- Relativistische Korrekturen
- Mehrwegeeffekte
- Phasenzentrum der Antenne

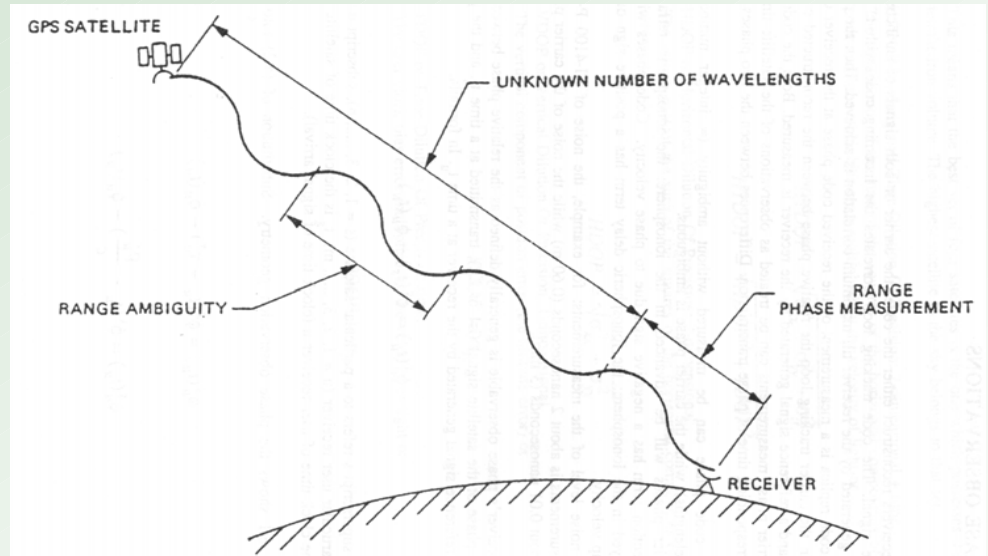
Genauigkeit 1-2 mm

Beobachtungsgleichung: Phase

$$L_r^s = \lambda (\Phi^s - \Phi_r) + \lambda N_r^s + \text{Korr.}$$

$\Phi^s - \Phi_r$ Phasennmessung

N_r^s ganzzahliges Vielfache λ



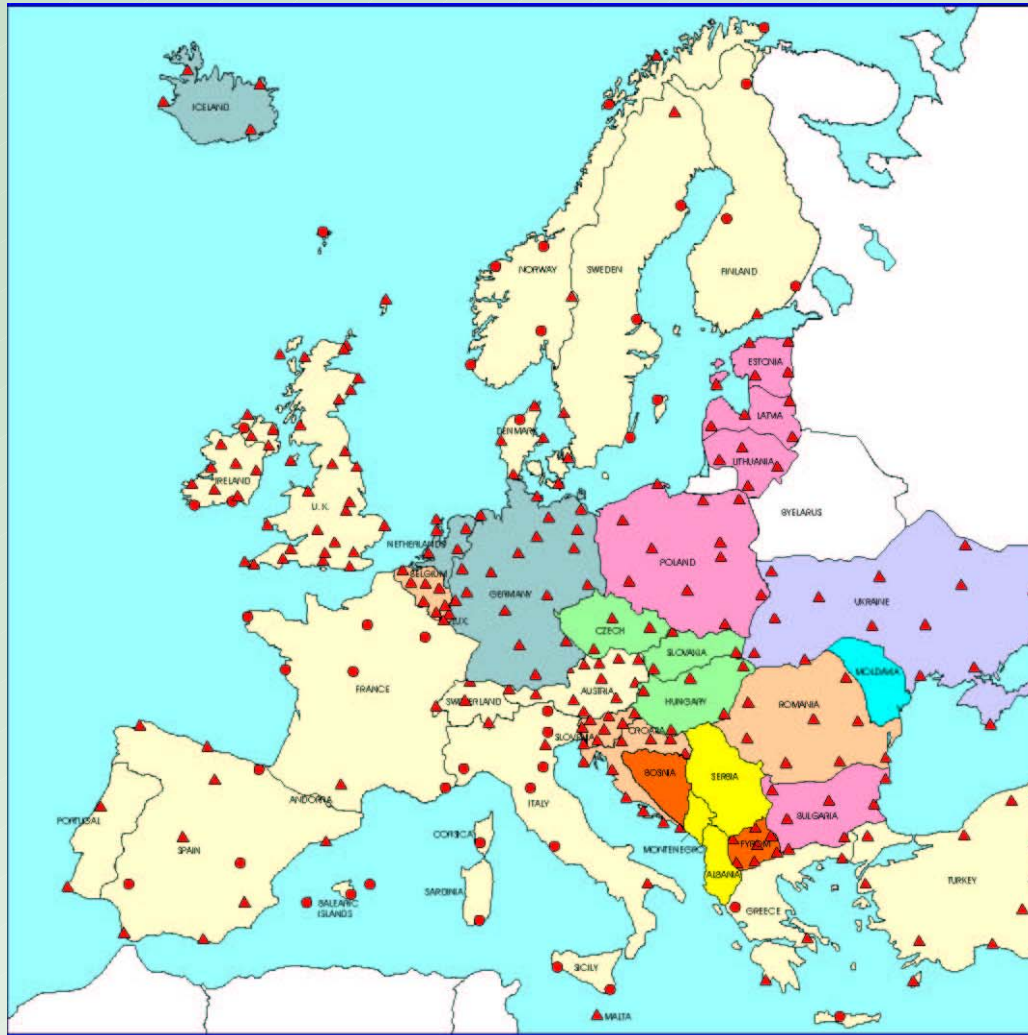
Anwendungen in der Geodäsie

- Zeitübertragung seit 1979
- Positionsbestimmung
 - Kampagnenweise seit 1988
 - EUREF (European Reference Frame)
 - DREF (Deutsches Referenznetz nach der Wiedervereinigung)
 - Einsätze zur Bestimmung von Plattenbewegung (Ägäis, Geodyssea, ...)
 - Permanent eingerichtete Stationen (Referenzstationen)
 - CIGNET (Kooperatives Internationales GPS Netz) **seit !987**
 - IGS (Internationaler GNSS Service)
 - EUREF-Permanent Netz (Europa)
 - GREF (Deutschland)
 - SAPOS Deutsche Landesvermessung
- Bestimmung der Satellitenbahnen
(Erderkundungssatelliten/Altimetrie)
- Bestimmung atmosphärischer Parameter
-

Vorbereitungen für EUREF-Kampagne (1989)



European Reference Frame EUREF



EUREF

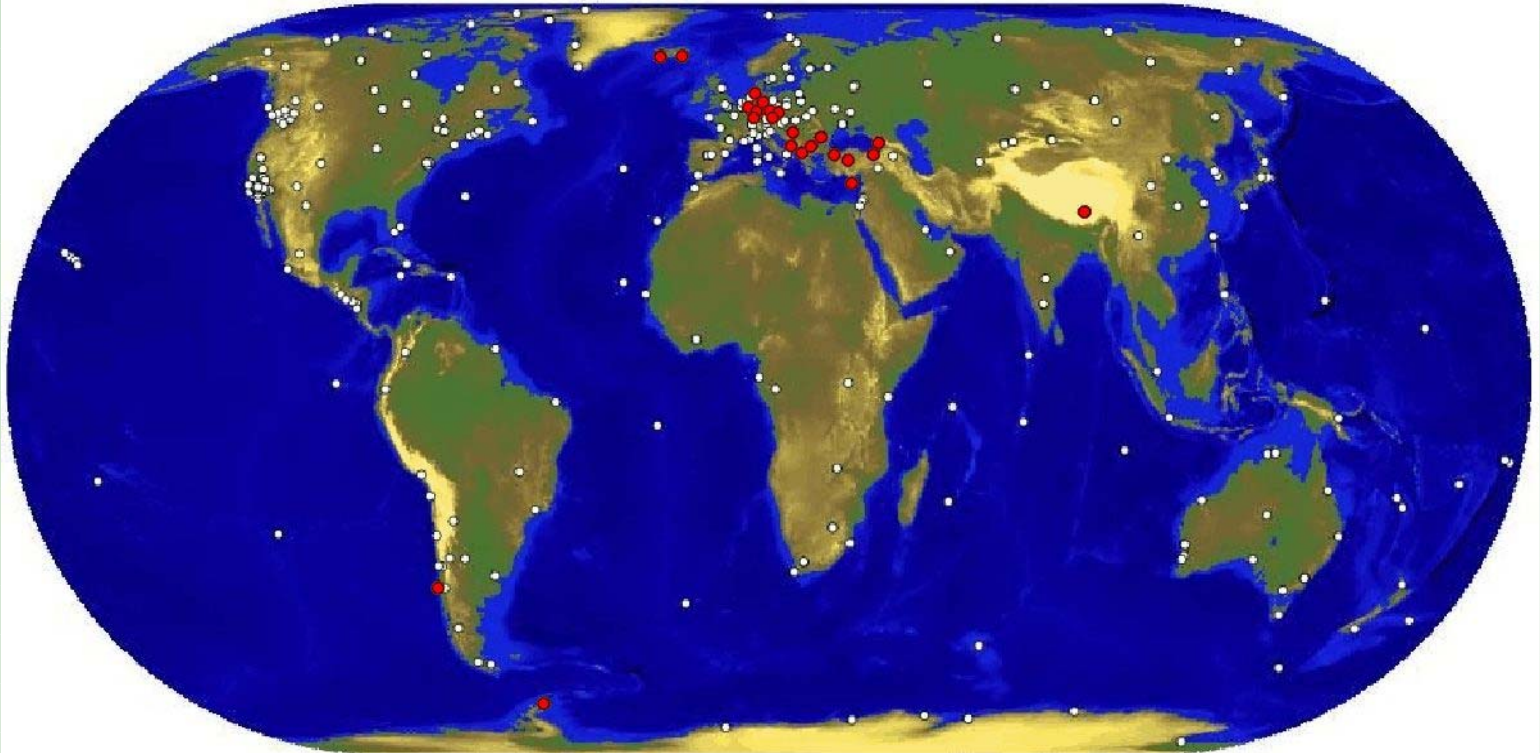
- class C accuracy (1988)
- ▲ class B accuracy (1989&later)

- 1988** EUNAV-88 (precampaign)
SLR & VLBI stations
- 1989** EUREF-89 (densification)
Phase A & B: 92 stations
TURKEY (postcampaign)
3 SLR + 20 1st order stations
- 1990** EUREF-NW (postcampaign)
Iceland:4, Greenland:4, Farøer:1, Jan
Mayen:1, Bjvernøya:1, Spitsbergen:3,
North America:10, EUREF:13
- 1991** EUREF-EAST
Hungary:5, Slovakia:3, Czech:3
HUNGARY(densification: 19 stations)
- 1992** EUREF-POLAND (10 stations)
EUREF-BALTIC
Lithuania:4, Latvia:4, Estonia:5
EUREF-BULGARIA (7 stations)
- 1993** EUREF-CYPRUS (6 stations)
EUREF-ICELAND (repetition)
4 from 1990 + 115 new stations
EUREF-D/NL (postcampaign)
- 1994** EUREF-LUX/D
Luxembourg:4, Belgium:4 old+4 new
EUREF-SLOVENIA (8 stations)
EUREF-CROATIA (10 stations)
EUREF-ROMANIA (7 stations)
- 1995** EUREF-UKRAINE (15 stations)
EUREF-SLOVENIA (repetition)
- 1996** EUREF-FYROM/BOSNIA
EUREF-CROATIA (10 stations)
EUREF-MALTA (6 stations)
- 1998** EUREF-SERBIA/MONTENEGRO
EUREF-ALBANIA
- 1999** EUREF-MOLDAVIA

GPS-Empfänger (1. Gen.)



IGS - Internationaler GNSS Dienst



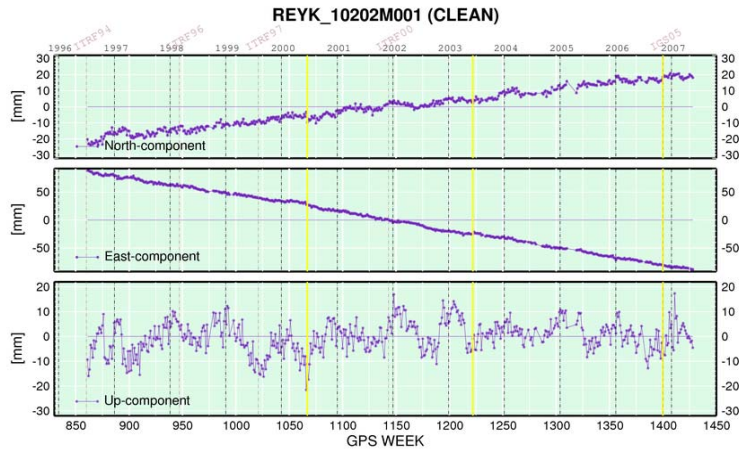
Koordinierung

- Beobachtungen
- Organisation des Datenflusses
- Datenanalysen
- Veröffentlichung der Ergebnisse

Ergebnisse/Produkte

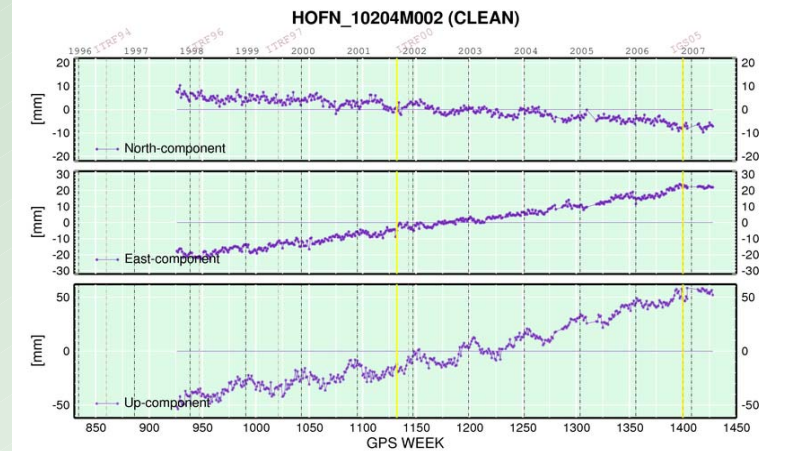
- Bahndaten der Satelliten
- Erdrotationsparameter (Polbewegung)
- Stationskoordinaten
- Ionosphärische, troposphärische Parameter
- Zeitvergleiche

Lage-, Höhen-Zeitreihen, Genauigkeiten



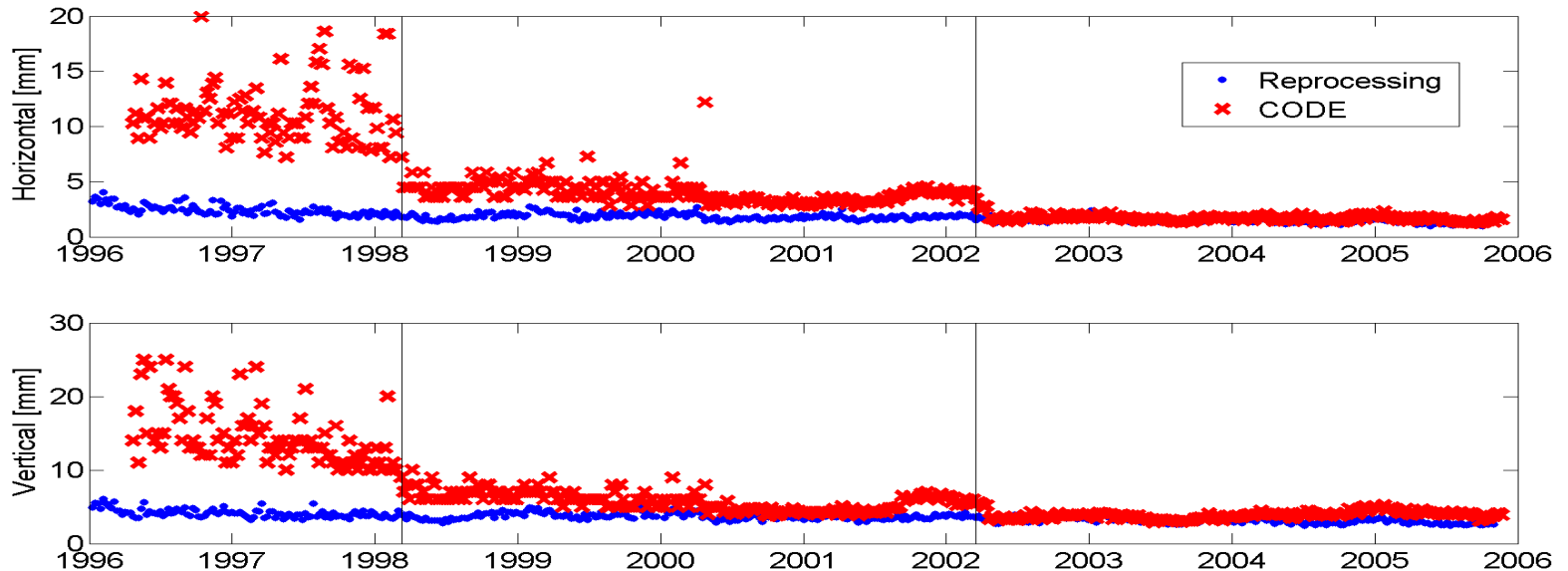
EPN TSA_SP

Tue Jul 31 21:12:55 2007



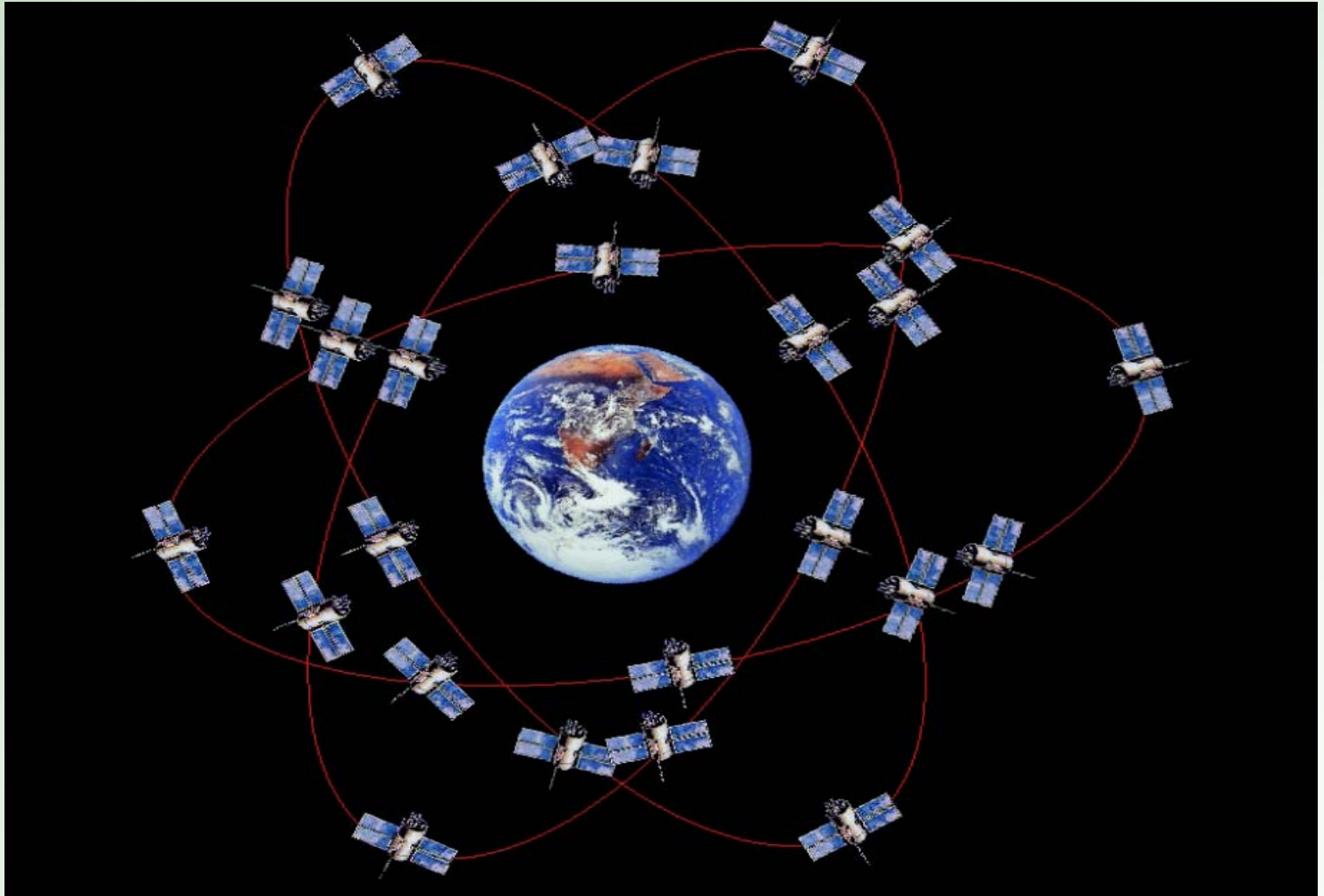
EPN TSA_SP

Tue Jul 31 21:08:47 2007



GLONASS (Russisches System)

Global Navigation Satellite System



GLONASS

- 1982 1. Satellit in Umlauf
- 1996 mit 24 Satelliten (21+3) vollständig ausgebaut
- 3 Bahnebenen, Inklination $64,8^\circ$
- Bahnhöhe 19.100km (Umlaufzeit $11^{\text{h}}:15^{\text{min}}$)
- Frequenzbereiche L1, L2 (L5)
- Alle Satelliten haben gleichen Code aber verschiedene Frequenz
- Militärische und Zivile Nutzung (Konkurrenz zu GPS und Galileo)



1998 nur noch 12 Satelliten
2001 nur noch 07 Satelliten
2002 Neustart weiterer Satelliten
2006 12 Satelliten
2007 15 Satelliten
2008 18 Satelliten
2009 24 Satelliten
2010 vergleichbar GPS (Galileo)

Einsatz von Syrius in Wettzell 1992

Satelliten-Interferometer zur Beobachtung von GLONASS und GPS Satelliten



Galileo

- Europäisches Navigationssystem
- Finanzierung ungeklärt, aber 2011? operationell
- für zivile Zwecke konzipiert
- vergleichbar GPS, GLONASS
- Dienste:
 - offene Dienste, vgl. GPS
 - Kommerzielle Dienste
 - qualitative unterschiedliche Datendienste (Korrekturdaten)
 - „Savety of Life“ Dienst
 - sicherheitskritische Bereiche (z.B. Flugsicherung, Landeanflüge)
 - Service wird garantiert
 - Public Regulated Service
 - hoheitlichen Aufgaben (Polizei, Küstenwache, Militär, Zeit ...)
 - „Search and Rescue“ erlaubt schnelle Ortung von Notsendern von Schiffen oder Flugzeugen in Verbindung mit COSPAS -SARSAT

GIOVE A

First Galileo Satellite Begins Broadcasts

European Space Agency (ESA) and Surrey Satellite Technology Ltd. (SSTL) operators have completed the on-orbit preparations and activated the navigation payload for GIOVE A, the first Galileo satellite launched December 28. Galileo RF transmissions began January 12, and ESA and SSTL operators have successfully received and decoded the payload signals.

GIOVE A was placed in orbit at an altitude of 23,260 kilometers by a Russian Soyuz-Fregat rocket operated by Starsem that lifted off from the Baikonur cosmodrome in Kazakhstan. The 600-kilogram satellite, built for ESA in just 30 months and for €28 million by SSTL of Guildford, United Kingdom, has three primary objectives: securing use of the frequencies allocated by the International Telecommunications Union (ITU) for the Galileo system, demonstrating critical technologies for the navigation payload of future operational Galileo satellites, and assessing the radiation environment of the orbits planned for the Galileo constellation.

GIOVE A will transmit in the frequencies allocated to Galileo: E2, L1, E1, E5, and E6. Evaluation of the signals is being made through the Chilbolton Observatory Facilities for Atmospheric and Radio Research in the UK and ESA's station in Redu, Belgium. A Galileo Experimental Test Receiver developed by Belgian GNSS company Septentrio Satellite Navigation NV is one of the receivers that is being used to verify the acquisition, tracking, and noise characteristics of all transmitted signals.

Formerly known as GSTB-V2/A, the GIOVE A satellite is carrying two redundant, small-size rubidium atomic clocks built by Temex Neuchatel Time (Switzer-



- 1. Test- Satellit von Galileo (Galileo In-Orbit Validation Element)
- 28. Dezember. 2005/ 6:19 MEZ
- Sicherung der Sendefrequenzen
- 600kg
- 1,3m x 1,8m x 1,65m
- Sojus-FG/Fregat
- Rb Atomuhr
- GIOVE B

Vergleich GPS + GLONASS + GALILEO (1)

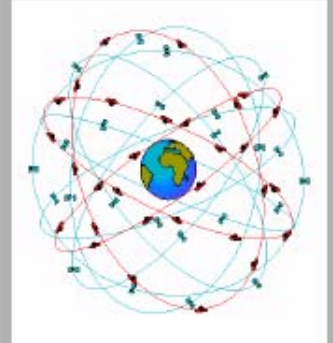
	GPS	GLONASS	GALILEO
Beginn der Entwicklung	1973	1972	2001
1. Satellitenstart	27.06.1977	12.10.1982	vor. Dez. 2005
Gesamtanzahl Satelliten	21 + 3 Ersatz 10/05: 28 aktiv	21 + 3 Ersatz 10/05: 14 aktiv	27 + 3 Ersatz
Bahnebenen	6	3	3
Inklination	55°	64,8°	56°
Bahnhöhe	20.180 km	19.100 km	23.222 km
Umlaufzeit	11h 58min	11h 15min	~ 14h

Vergleich GPS + GLONASS + GALILEO (2)

	GPS	GLONASS	GALILEO
Geodätisches Datum	WGS 84 Broadcast Ephemeriden	SGS 85 Broadcast Ephemeriden	GTRF Broadcast Ephemeriden
Zeitsystem	GPS-Zeit	GLONASS-Zeit	GALILEO-Zeit (GST)
Zeitkorrektur	UTC _{USNO}	UTC _{SU}	GGTO
Signalcharakteristik	Code-Identifikation	Frequenz-Identifikation	Code-Identifikation
Frequenzen	L1, L2 (L2C, L5)	L1, L2 (L5)	E5a, E5b, E6, L1
Codes	für jeden Satellit verschieden	Identisch für alle Satelliten	für jeden Satellit verschieden
Künstliche Systembeeinflussungen	S/A bis Mai 2001 AS	keine	PRS- Signale werden verschlüsselt

GNSS = GPS + GLONASS + Galileo

- Interoperabilität aller 3 Systeme ist gewährleistet
- insgesamt 80 Satelliten
- höhere Verfügbarkeit
- höhere Zuverlässigkeit
- Steigerung der Genauigkeit durch bessere Satellitengeometrie
- zusätzliche Integritätsinformation, Redundanz
- bessere Überdeckung der nördlichen Breiten



[3]



Satellitennavigationsverfahren können in Zukunft auch in Bereichen eingesetzt werden, in denen die alleinige Verwendung von GPS keine zufriedenstellenden Lösungsmöglichkeiten bietet.



Was macht China....



**Für Ihre Aufmerksamkeit
ein herzliches Dankeschön**



