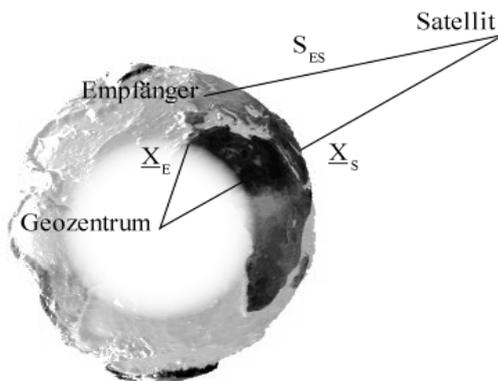


- Das satellitengestützte Radionavigationssystem NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System) wird seit 1973 im Auftrag des US-Verteidigungsministeriums (Department of Defense, DoD) entwickelt.
- GPS ermöglicht auf der gesamten Erde genaue Positions-, Geschwindigkeits- und Zeitbestimmungen im globalen Referenzsystem WGS84 (World Geodetic System 1984)
- Eine Positionsbestimmung mit GPS erfordert die Messung von Entfernungen zu mindestens vier GPS-Satelliten, deren elektronische Sichtbarkeit vom Systembetreiber jederzeit und wetterunabhängig garantiert wird.
- Die vier Entfernungsmessungen sind notwendig, da zusätzlich zu den drei Positionskomponenten der Fehler der Satellitenempfängeruhr mitbestimmt werden muss.
- Da sich der Uhrfehler fehlerhaft auf die Entfernungsmessung auswirkt, werden die gemessenen Entfernungen als Pseudoentfernungen bezeichnet.

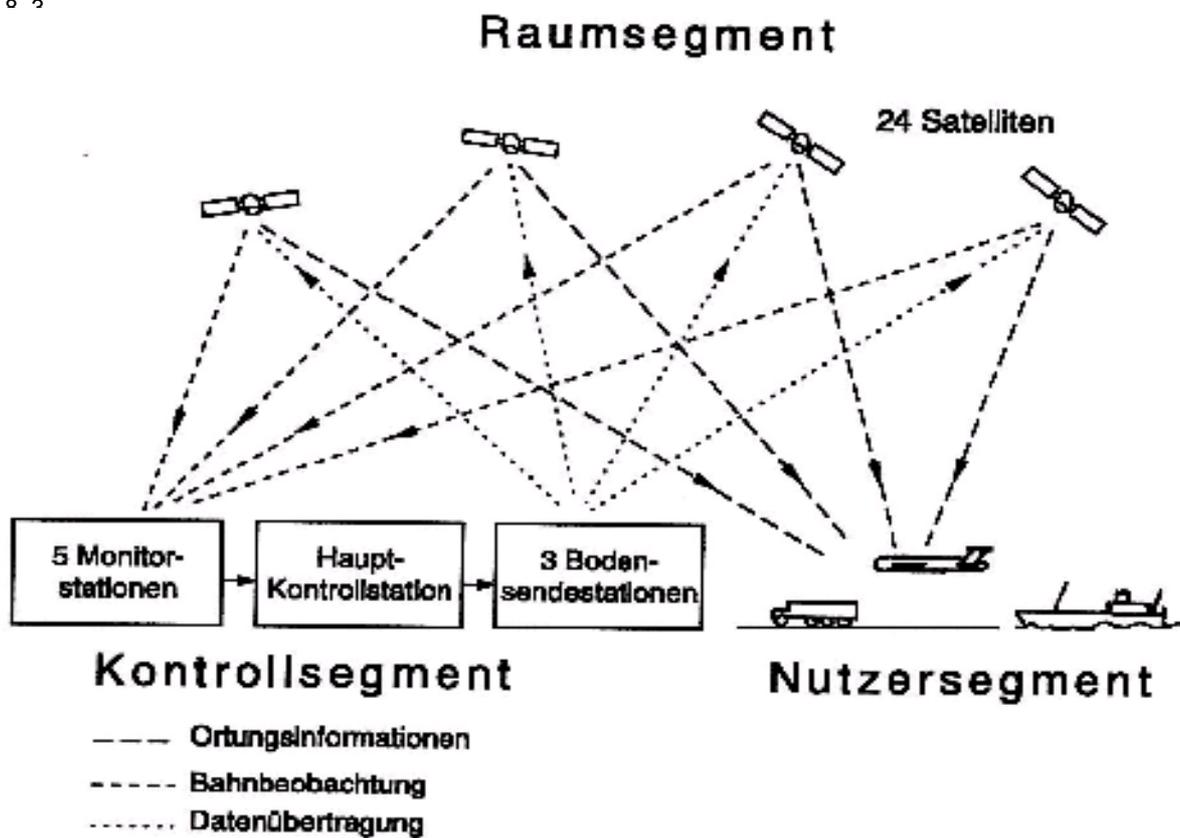
### Grundprinzip des GPS

Bild 5.8\_2



- Die gesuchte Position des Empfängers wird durch den Vektor  $\underline{X}_E$  (geozentrische Koordinaten X, Y, Z) vom Massenmittelpunkt der Erde (Geozentrum) zum Empfänger definiert.
- Die bekannte Position der Satelliten (Vektor  $\underline{X}_S$ ) wird im voraus von der Hauptkontrollstation berechnet (Ephemeriden) und wird von jedem Satelliten über den Code ausgesendet (Almanach).
- Die gemessenen Pseudoentfernungen zu mindestens vier Satelliten ermöglichen nach einem gewissen empfängerabhängigen Zeitraum eine Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit von ungefähr 100 m.

### Positionsbestimmung mit GPS-Satelliten



**Segmente des GPS**

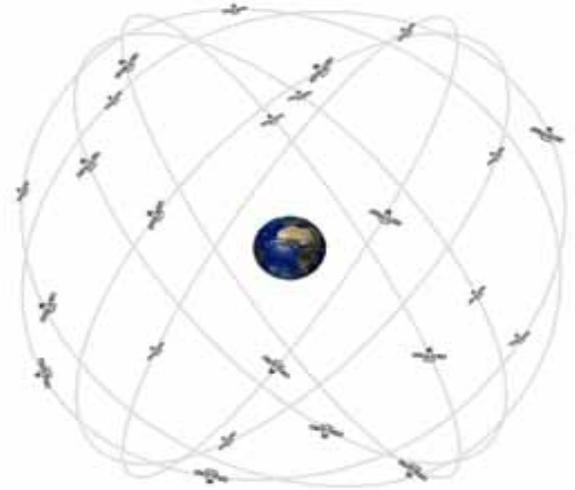
Segment	ankommende Signale bzw. Informationen	Funktion	Ergebnis
Raumsegment	von Bodenstationen: Navigationsmitteilung	Erzeugen: - hochfrequente Träger  - Ortungssignale - Navigationsmitteilung	Senden: - hochfrequente Träger L1 und L2  - C/A-Code, P(Y)-Code - Datenstrom
Kontrollsegment	von Satelliten: - P(Y)-Code - Uhrzeit Außerdem: Beobachtung der Satelliten	Berechnen: Ephemeriden Erzeugen: GPS-Zeit	Navigationsmitteilung
Nutzersegment	von Satelliten: - hochfrequente Träger L1, L2 - Ortungssignal (Code) - Navigationsmitteilung	- Ortung (Positionsbestimmung) - Geschwindigkeitsbestimmung - Zeitinformationsgewinnung	Ausgabe (Anzeige): - Position (Standortkoordinaten) - Geschwindigkeit - Zeit

**Die drei GPS - Segmente**

➤ Das GPS-Raumsegment besteht nominell aus 24 Satelliten (zur Zeit 27), die in etwa 20200 km Höhe in 6 Bahnebenen mit je 4 Satelliten die Erde umkreisen.

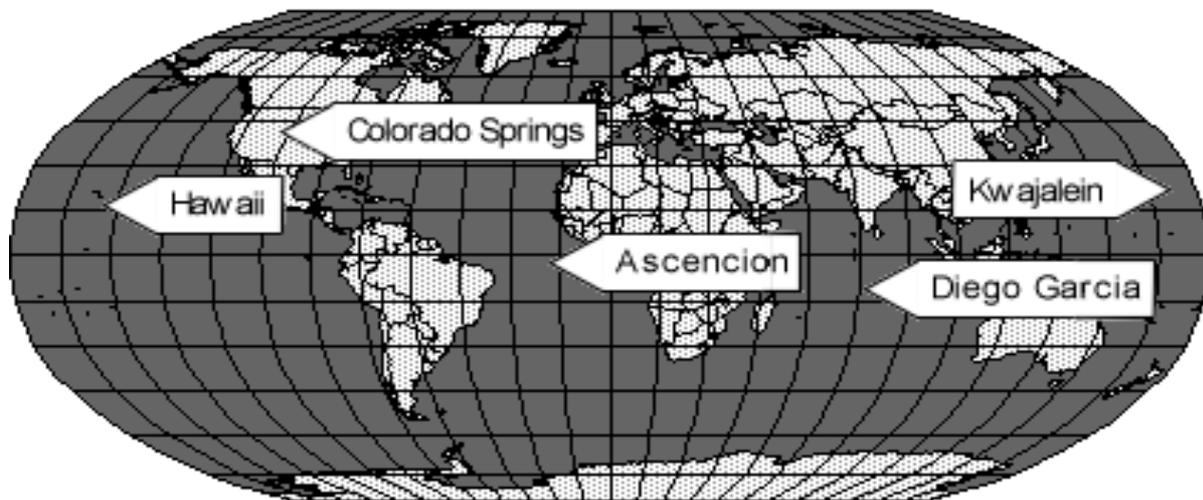
➤ Die Bahnen (Orbits) der Satelliten besitz von  $55^\circ$  gegenüber der Äquatorebene, wovon ungefähr 12 Stunden beträgt.

➤ Im Jahre 1995 wurde GPS für voll operationell erklärt (FOC, Full Operational Capability). Mit der FOC wird die elektronische Sichtbarkeit von mindestens vier Satelliten jederzeit global ermöglicht. Nicht selten können sogar die Signale von acht bis zu zehn GPS-Satelliten simultan empfangen werden.



Satellitenbahnen

### Raumsegment der GPS-Satelliten



➤ Die Master Control Station in Colorado Springs kontrolliert den Systembetrieb und die Systemzeit. Hierfür werden die Daten der Monitor Stationen gesammelt und daraus die voraussichtlichen Orbits und Uhrparameter der Satelliten berechnet, die über die Ground Control Stationen zu den Satelliten gesendet werden.

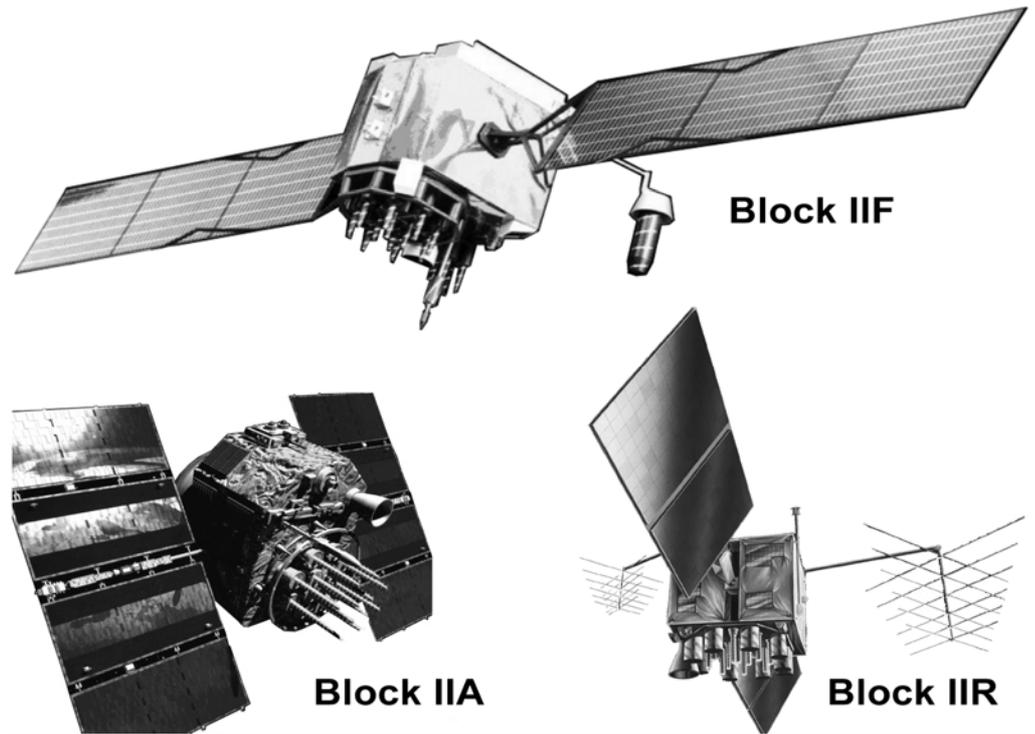
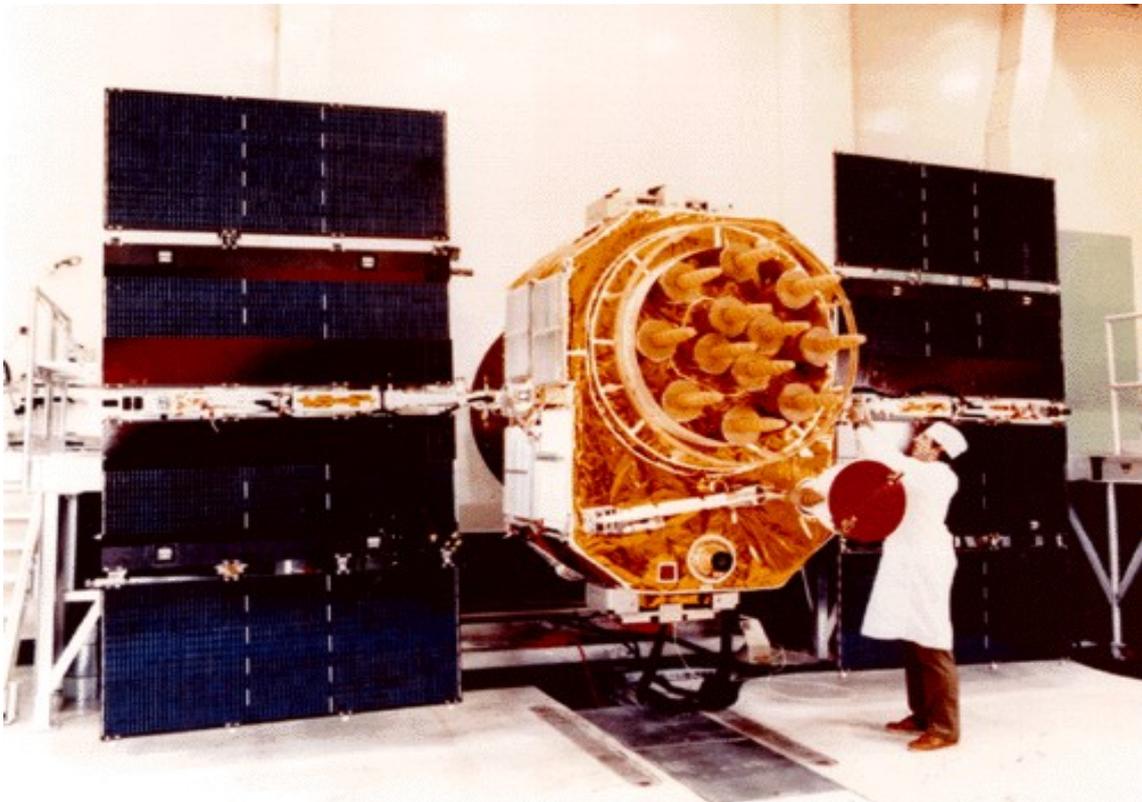
### Kontrollsegment der GPS-Satelliten

**Start:**

- **Block I**  
(1978-85)
- **Block II**  
(1989-90)
- **Block IIA**  
(1990-96)
- **Block IIR**  
(1996-2001)
- **Block IIF**  
(2001-2010)

**Aktuelle  
Konstellation:  
Block II / IIA / IIR**

**Lebensdauer:  
~ 10 Jahre**

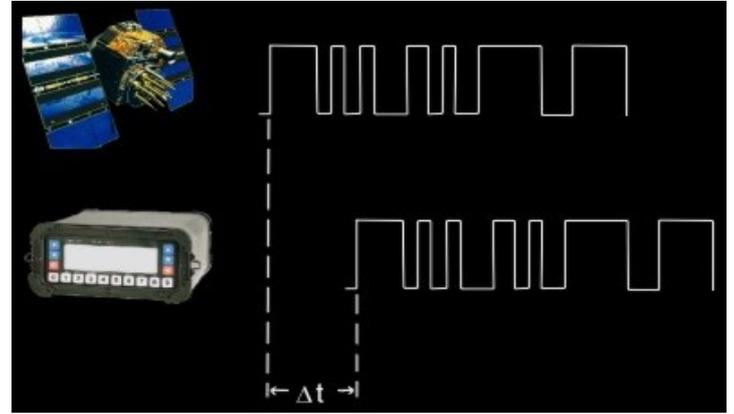
**Beispiele für GPS Satelliten I****Beispiele für GPS Satelliten II**

Vorgabe	Konzeption
Aufgabe	Positionsbestimmung (Ortung) Geschwindigkeitsbestimmung Zeitinformationsgewinnung
Ortungsverfahren	Entfernungsmessverfahren
Ortungsumfang	dreidimensional
Satelliten Art Anzahl Bahnhöhe	umlaufend 24 20 230 km
Sendefrequenzen der Satelliten Träger L1 Träger L2	1575,42 MHz 1227,60 MHz
Ortungssignal	codierte Impulsfolge
Navigationsmitteilung	binäre Daten
Meßgrößen	Entfernung durch Messen von – Signallaufzeiten (Impulslaufzeitverfahren) – Trägerphasendifferenz (kontinuierliche Schwingungen, CW-Verfahren)
Genauigkeit der Positionsbestimmung – bei Messung der Signallaufzeit – bei Messung der Trägerphasendifferenz	Positionsfehler bei Wahrscheinlichkeit W = 95% = 30 ... 100 m = 3 ... 30 cm
Genauigkeit der Geschwindigkeitsbestimmung	Geschwindigkeitsfehler: 3 m/s
Genauigkeit der Zeitinformation	Zeitfehler: 100 ns

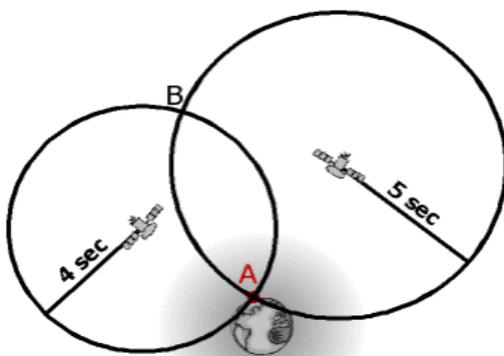
### Grundkonzeption GPS

- **Nur die Satelliten vom Typ Block I standen jedem Nutzer mit voller Systemgenauigkeit zur Verfügung.**
- **Durch künstliche Systemverschlechterung gestattet der Systembetreiber dem nicht autorisierten Nutzer die Verwendung des GPS nur mit eingeschränkter Genauigkeit (SPS).**
- **SPS (Standard Positioning Service):**
  - 100 m Lagegenauigkeit
  - 156 m Höhengenaugigkeit
  - 340 nsec Zeitgenauigkeit
- **PPS (Precise Positioning Service):**
  - 22 m Lagegenauigkeit
  - 27.7 m Höhengenaugigkeit
  - 100 nsec Zeitgenauigkeit
- **Selective Availability (SA):**
  - Manipulation der Genauigkeit der Ephemeriden
  - Systematische Destabilisierung der Grundfrequenz der Satellitenuhr
  - Am 01.05.2000 wurde Selective Availability deaktiviert

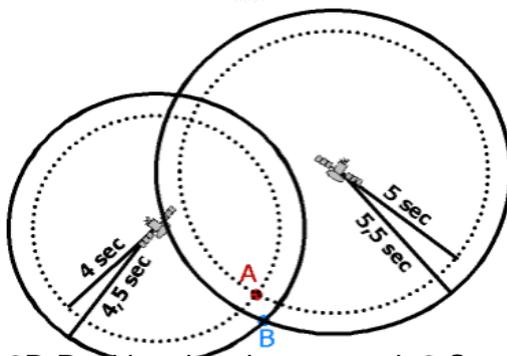
### Sicherungspolitik



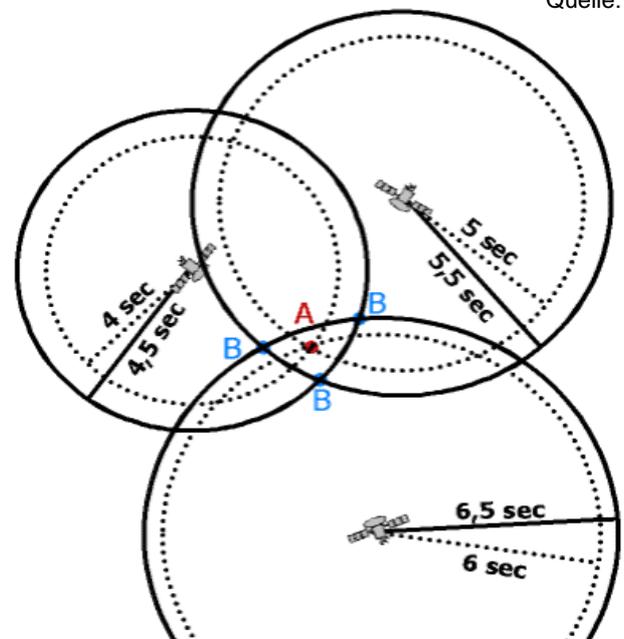
## Entfernungsbestimmung



2D Positionsbestimmung mit zwei Satelliten

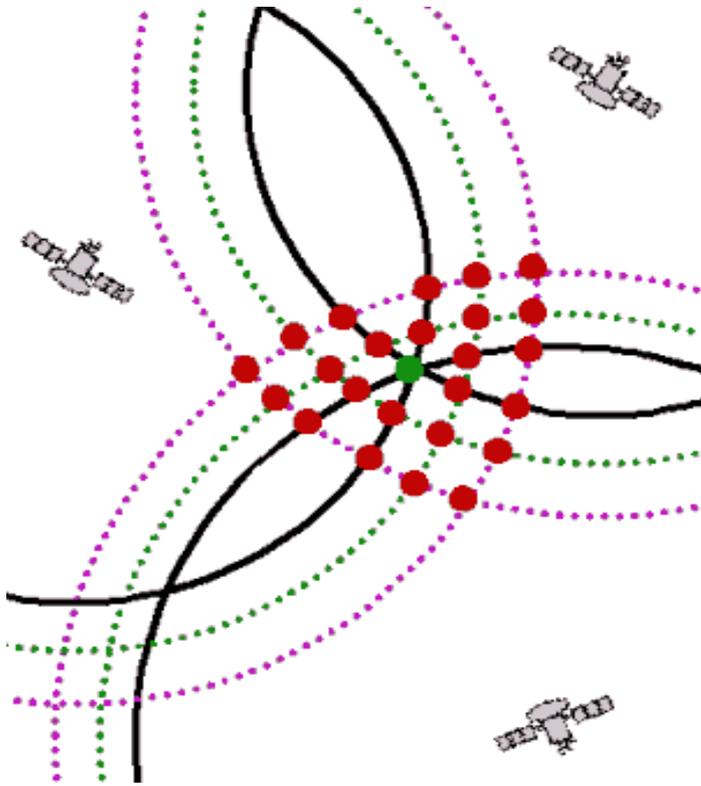


2D Positionsbestimmung mit 2 Satelliten  
und angenommenem Uhrenfehler

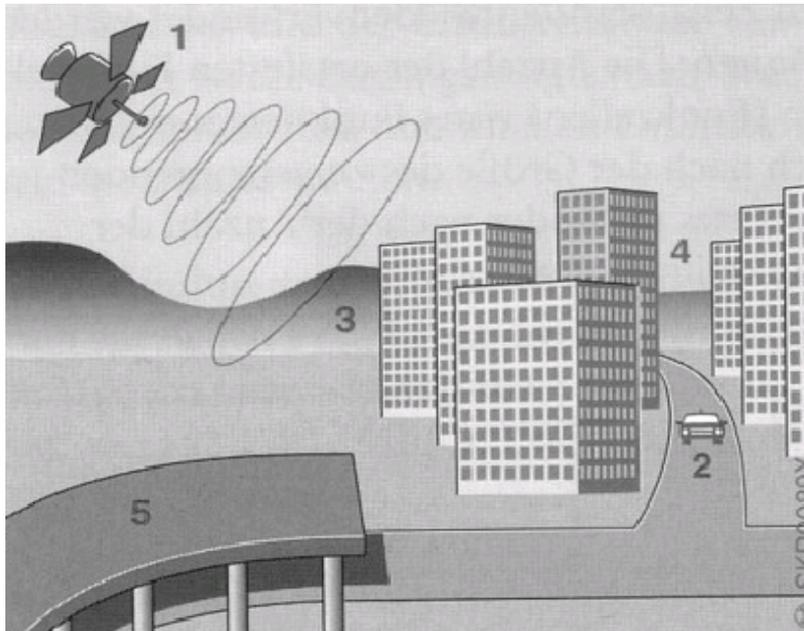


2D Positionsbestimmung mit 3 Satelliten  
und Korrektur des Uhrenfehlers

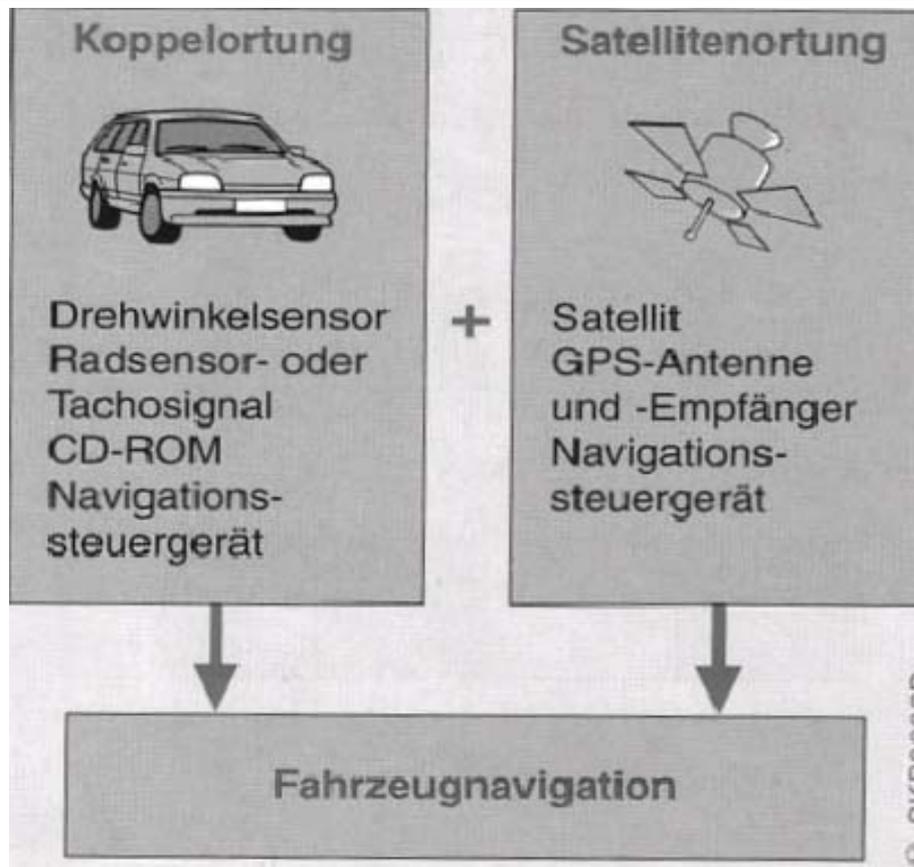
## Positionsbestimmung mit mehreren Satelliten



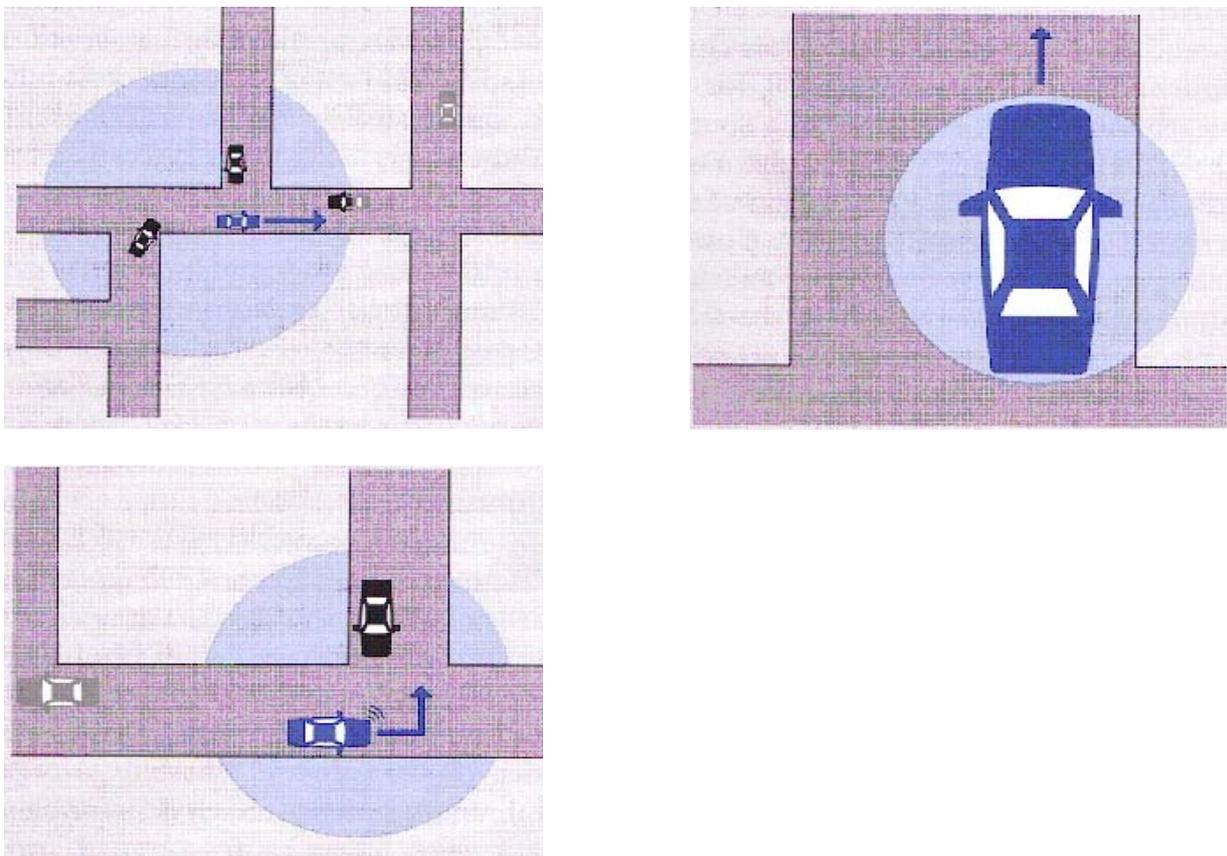
**Annäherung an die tatsächliche Position durch Iteration**



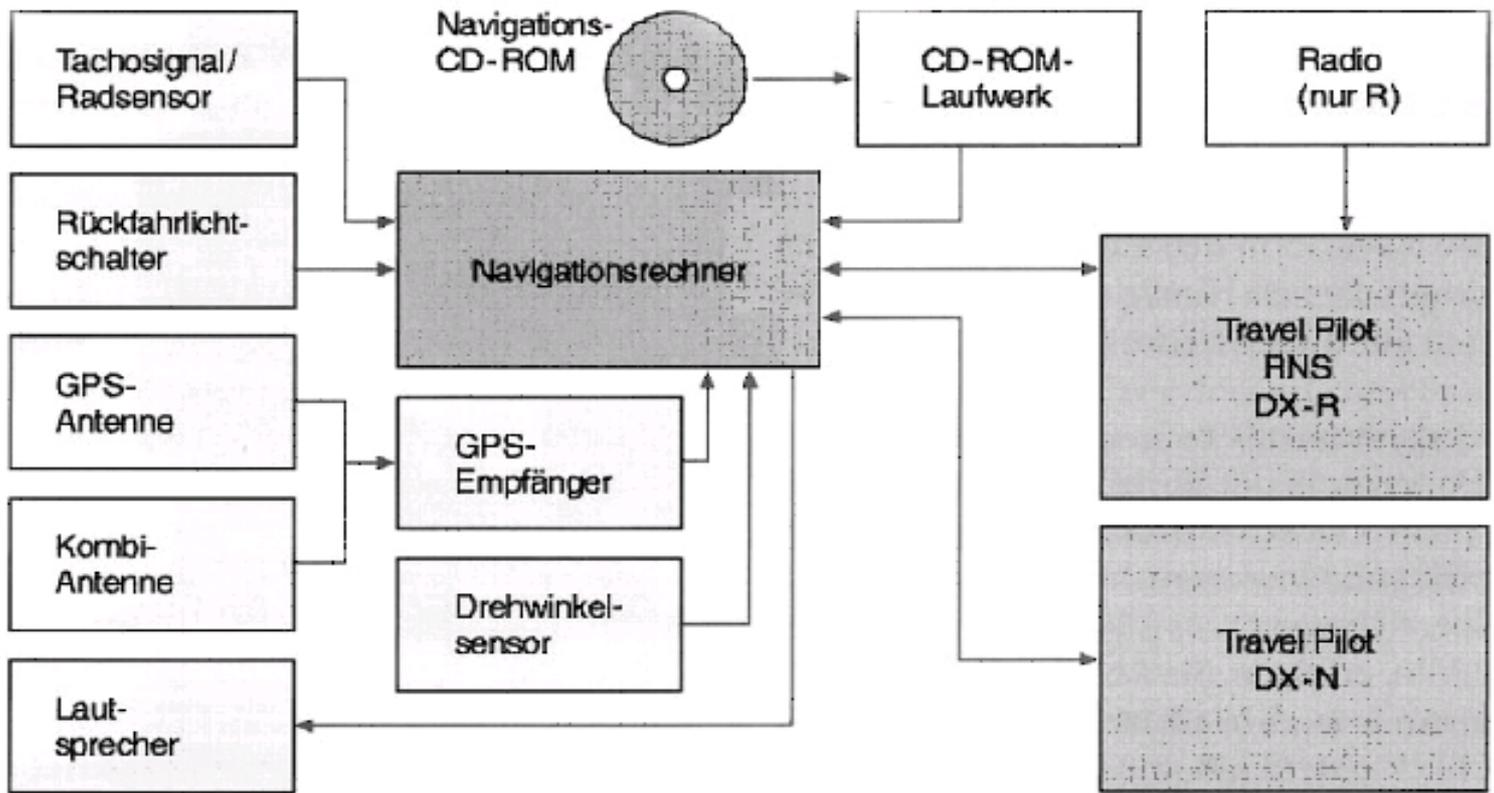
**Abschattung der GPS Signale**



**Kombination von Koppelortung und Satellitenortung (GPS) für die Fahrzeugnavigation**



**GPS Ortung**



### Komponenten Travel-Pilot



### DGPS-Station: GroßMohrdorf (NordDeutschland)

- Positionsbestimmung: gleiches Prinzip
- Schwerpunkte:
  - Galileo: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit
  - GPS: Militärische Nutzung
- Satelliten:



	Galileo	GPS
Satellitenanzahl	30 (27+3)	24 (21+3)
Flughöhe	23.616 km	20.183 km
Bahnanzahl	3	6
Inklination	56°	55°

### Galileo vs. GPS

*„ A system that both competes with and complements the American GPS system “*

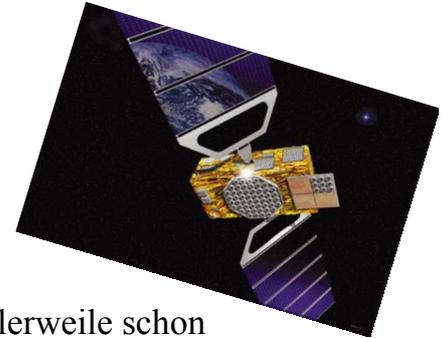


1. Galileo Satellit „GIOVEA“

### Galileo

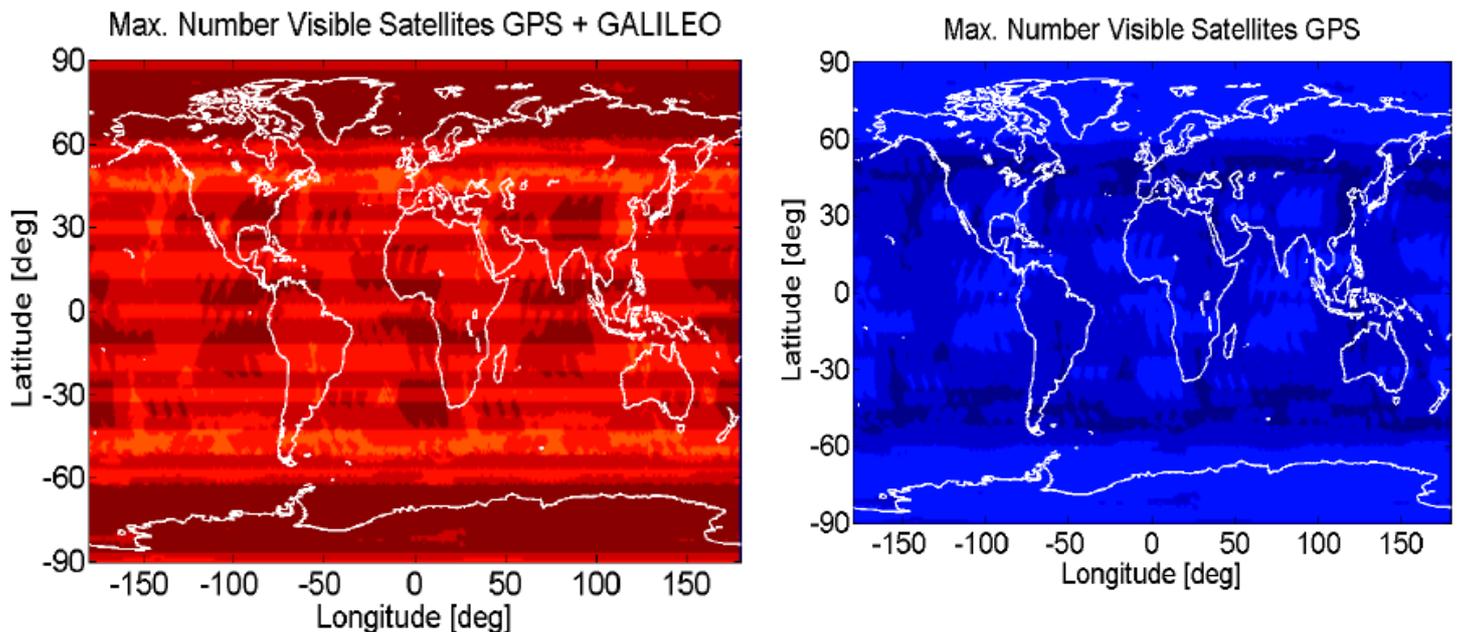
Bild 5.8\_21

- Projekt der EU zur Installation eines europäischen Satellitennavigationssystems
- Bessere Berücksichtigung ziviler Nutzeranforderungen
- Start des Betriebes: voraussichtlich 2008
- Positionierungsgenauigkeit: 45 cm
- 30 Satelliten auf 3 Bahnen
- vielfältig einsetzbar:
  - Transport (Fahrzeugsuchdienste, Routenplanung, Geschwindigkeitskontrollen, etc.)
  - soziale Service (z.B. Hilfe für behinderte oder ältere Menschen)
  - Justiz (Grenzüberwachung)
  - Bergungstrupps Europäische Antwort auf GPS
- Zivile Kontrolle
- Militärische und Zivile Nutzung
- Planungen noch nicht abgeschlossen
- Geplanter Betriebsbeginn: 2008
- Erste Prototypen: 2005
- Entwicklungs- und Aufbaukosten ungefähr 3.5 Mrd. Euro (mittlerweile schon überschritten...)
- Jährliche Kosten etwa 220 Mio Euro.
- Hauptträger: Deutschland, Italien, Frankreich und Großbritannien
- Hauptkoordinator: **Astrium** (EADS (75%) und BAE Systems (25%))



## Daten Galileo

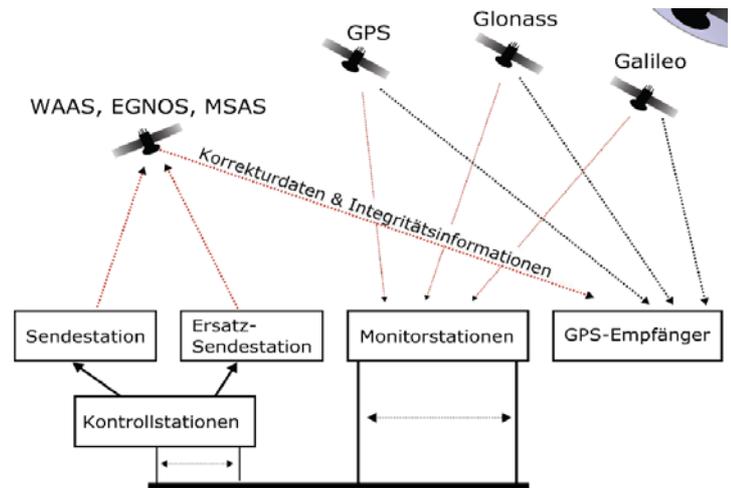
Bild 5.8\_22



12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

## Anzahl der Satelliten

- **GLONASS (Russland)**
  - „russisches GPS“ freies & verschlüsseltes Signal
  - Genauigkeit (zivil):  $\pm 25\text{m}$
  - Problem:
  - nur 7 aktive Satelliten zu wenig für weltweite Nutzung
  - Kooperation mit Indien verspricht neue Satelliten (abwarten)
  - $i = 65^\circ$ , 3 Ebenen
  - 2 Frequenzen, FDMA statt CDMA
  - kein Anti-Spoofing, keine Selective Availability
- **Galileo (Europa)**
  - 27 Satelliten + 3 Spares, 3 Ebenen
  - 11 Signale, öffentliche und kommerzielle Nutzung, SAR
  - Anti-Spoofing durch Signatur, Public-Key-Verfahren
  - erste Satelliten 2005, FOC 2008



## Alternativen zu GPS