

Satellitennavigation

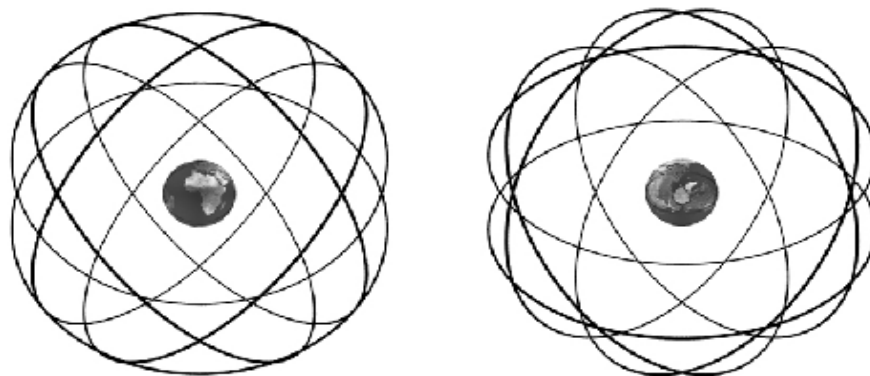
n GPS è Systemaufbau

- (Welt-) Raumsegment
- Kontroll- oder Bodensegment
- Nutzersegment

n Raumsegment

- 24 Satelliten (derzeit 28); 6 Bahnen
- 20200 km MEO
- 55° Inklination; 60° Zueinander

Raumsegment



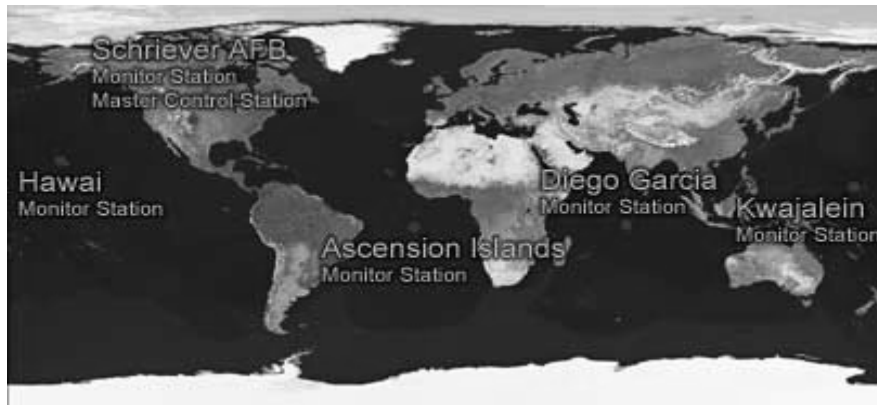
Raumsegment

- n Mehrere Atomuhren (10,23 MHz)
- n Uhrenstabilität 10^{-13} Sek. $\Rightarrow \pm 1$ Sek. In 1 Mio. Jahre
- n Trägerfrequenzen:
 - L1 = 1575,42 MHz (zivil)
 - L2 = 1227,60 MHz (militärisch)
 - L3 = 1381,05 MHz (militärisch)
 - L5 = 1176,45 MHz (zivil; ab 2006)

Kontroll- / Bodensegment

- n US-Verteidigungsministerium
- n 1x Hauptkontrollstation (MCS)
 - Colorado Springs (CO, USA)
- n 5x Überwachungsstationen (MS)
 - Schriever AFB (CO, USA)
 - Hawaii (USA)
 - Ascension Islands (UK)
 - Diego Garcia (Chagos Archipelago, UK)
 - Kwajalein (Marshall Islands)

Kontroll- / Bodensegment



Kontroll- / Bodensegment

- n Messdatensammlung durch MS → Weiterverarbeitung erfolgt in MCS
- n Auswerten der Daten in Echtzeit
- n Dient der Kontrolle und Korrektur der Bahnen sowie Atomuhren
- n Genauigkeit von ± 5 m der Satellitenpositionen erreichbar

Nutzersegment

- n Kompakte GPS Empfänger
- n 12 Kanäle
- n Je mehr Satelliten, desto genauer ist die Position
- n Funktionen
 - Passive Positionsbestimmung
 - Zeitbestimmung
 - Laufzeitberechnung der Signale

Funktionsprinzip der Positionsbestimmung

- n Satellit sendet in regelmäßigen Intervallen folgende Information:
 - Kennung (ID) des Satelliten
 - Aktuelle Position des Satelliten
 - Sendezeitpunkt des Signals
- n Empfänger vergleicht Sendezeit mit Empfangszeit und ermittelt über c die Entfernung

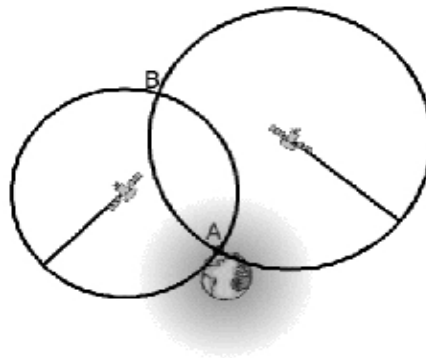
Funktionsprinzip der Positionsbestimmung

- n Mit weiteren Satelliten kann Position trianguliert werden
 - 3 Satelliten für 2D-Position
 - 4 Satelliten für 3D-Position
- n Grund:
 - Zusätzlicher Satellit dient als Zeitreferenz

Funktionsprinzip der Positionsbestimmung

»2D Beispiel«

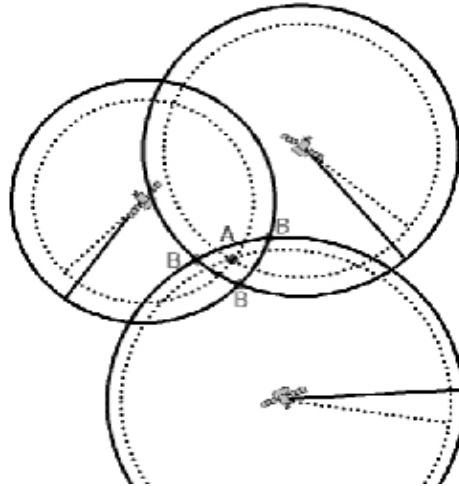
- n 2 Kreise \Rightarrow 2 Schnittpunkte A und B
- n Voraussetzung: Empfängeruhr ist synchron mit Satelliten



Funktionsprinzip der Positionsbestimmung

»2D Beispiel mit Uhrenkorrektur«

- n Empfängeruhr geht Bruchteil vor è 3 Schnittpunkte B
- n GPS Empfänger sucht nach Korrektur durch Veränderung der Empfängeruhr (A)



Funktionsprinzip der Positionsbestimmung

- n **Mathematische Betrachtung**
 - Kartesisches Koordinatensystem
 - n Ursprung ist Erdmittelpunkt
 - n x-Achse zeigt (0°/180°, 0°)
 - n y-Achse zeigt (90° ÖL+WL, 0°)
 - n z-Achse zeigt (0°, 90° NB+SB)
 - 4 Gleichungen mit 4 Unbekannten
 - n Kreis-/Kugelgleichung
 - x, y, z = Koordinaten des Empfängers
 - u = Entfernungsbetrag (asynchr. Uhr)

Funktionsprinzip der Positionsbestimmung

n 2D: x_i, y_i è Koordinaten des Satelliten
+ r_i dessen Entfernung

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = (r_1 + u)^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = (r_2 + u)^2$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = (r_3 + u)^2$$

n 3D: x_i, y_i, z_i + r_i

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = (r_1 + u)^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = (r_2 + u)^2$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = (r_3 + u)^2$$

$$(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 = (r_4 + u)^2$$

Modulation der Satellitensignale

n Modulation der Trägersignale durch 3
Frequenzen

- C/A-Code moduliert L1

- n sich wdh. PRN-Code; 1,023 MHz; 1023 Bit Länge

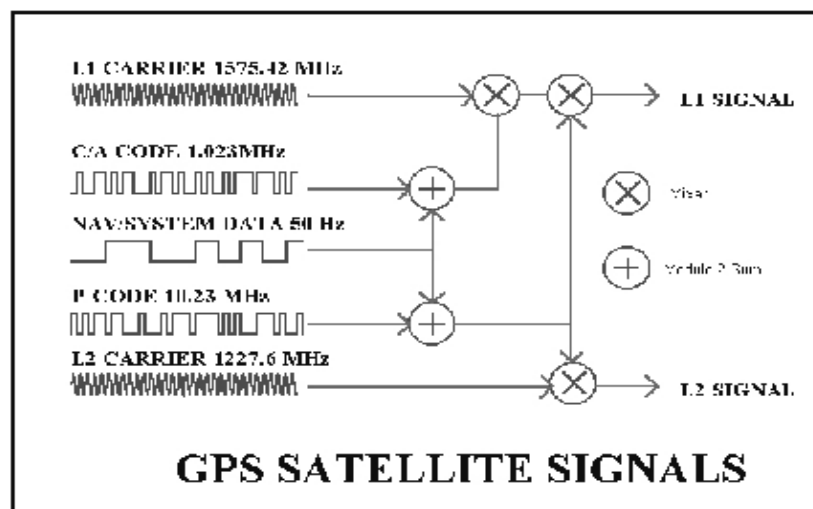
- n Jeder Satellit hat unterschiedlichen C/A-Code mit unterschiedlichen PRN è Zuweisung einer Nummer zw. 1 und 32

- n Grundlage für den Standard Positioning Service (SPS)

Modulation der Satellitensignale

- P-Code moduliert L1 und L2
 - wird auf 10,23 MHz übertragen; wird alle 7 Tage erneuert
 - P-Code \rightarrow Y-Code durch Verschlüsselung
 - Basis für den Precise Positioning Service (PPS)
- Navigation Message
 - Moduliert das L1 C/A Code Signal
 - 50 Hz Signal; enthält Ephemeriden-, Almanachdaten und Uhrenkorrekturen

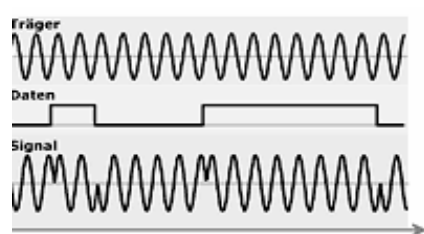
Satellitensignale



Datenübertragung

n Erfolgt durch Phasenmodulation

- Bei Änderung des Datensignals wird Sinusschwingung des Trägersignals abgebrochen und mit einer Phasenverschiebung wieder aufgenommen



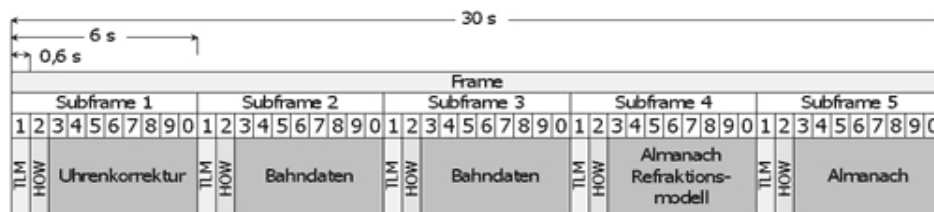
Signalaufbau

- 25 Frames mit je 1500 Bit \Rightarrow 37500 Bit Gesamtlänge; Geschw.: 50 Bit/s \Rightarrow min. 12,5 Min. kompletter Download
- 1 Frame \Rightarrow 5 Subframes mit je 300 Bit
- 1 Subframe \Rightarrow 10 Words mit je 30 Bit
 - n Word 1 \Rightarrow Telemetry Word (TLM)
 - n Word 2 \Rightarrow Handover Word (HOV)
 - n Enthalten Informationen über Aktualität der Ephemeridendaten

Signalaufbau

- Subframe 1 = Uhrenkorrekturen
 - Subframe 2+3 = Bahndaten
 - Subframe 4+5 = Almanach
- n Subframe 1, 2, 3 jedes Frames sind vollkommen identisch
- n Somit werden alle 30 sek. die wichtigsten Daten übertragen und ermögliche eine schnelle Positionsbestimmung

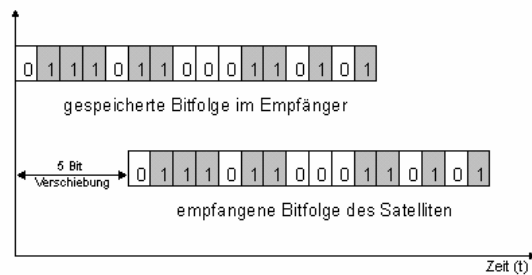
Signalaufbau



Entfernungsbestimmung

- PRN-Code ist im Datenalmanach des Empfängers gespeichert
- Bitfolge des Satelliten wird mit der Bitfolge des Empfänger verglichen
 - è Parallelverschiebung der Signale
- Verschiebung wird bestimmt mit dem Verfahren der Kreuzkorrelation

Entfernungsbestimmung



- Alle untereinander stehenden Bits der Bitfolgen werden addiert
- Summe ist maximal wenn Bitfolgen untereinander stehen
- Bitverschiebungen werden gezählt è Signallaufzeit lässt sich ermitteln mit Übertragungsrate und Signallaufzeit (fixe Größen)

Fehlerquellen

Fehlerquelle	Abweichung
Schwankungen der Satellitenumlaufbahnen	$\pm 2,5$ m
Mehrwegeeffekte und Reflexionen	$\pm 1,5$ m
Störungen durch Ionosphäre	$\pm 5,0$ m
Störungen durch Troposphäre	$\pm 2,0$ m
Uhrenfehler der Satelliten	$\pm 2,0$ m
Rundungs- und Rechenfehler	$\pm 1,5$ m

- Gesamtungenauigkeit von etwa ± 15 m
- Gewährleistet werden ± 20 m

Quellen

- n <http://www.pocketnavigation.de/>
- n http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
- n <http://www.dlr.de/>
- n <http://www.eurofix.tudelft.nl/dgps.htm>
- n <http://www.esa.int/>
- n <http://gps.faa.gov/>
- n <http://www.groenveld.de/>
- n <http://www.kowoma.de/gps>