

# GPS-Global Positioning System

WAP 2021/22

Langmayr Clemens, Schäfer Pascal

Universität Salzburg

21.01.2022

# Inhalt

- 1 Was ist GPS?
- 2 Geschichte
- 3 Funktionen Allgemein
- 4 Segmente
- 5 Signal (Frequenzen)
- 6 Distanzbestimmung
- 7 Positionsbestimmung
- 8 Fehler/Einflüsse
- 9 und heute?

# Was ist GPS?

# Was ist GPS?

- Wird oft synonym für alle Systeme verwendet, die Ortung durch Satelliten durchführen
- GPS ist ein Globales Navigations satellitensystem (GNSS)
- System zur Positionsbestimmung anhand von Satellitensignalen

# Was ist GPS?

- GPS ist Kurzform für Navigational Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System (NAVSTAR)
- Von den USA entwickelte Satellitennavigationssystem
- Offizieller Nachfolger des weltweit ersten Systems Transit

# Geschichte

# Geschichte

- Erste Entwürfe durch das US-Militär im Jahre 1960
- einheitliches Konzept für Navy, Army und Air-Force
- 1983 für zivile Nutzung freigegeben
- erst seit 1995 voll einsatzfähig

# Funktionen Allgemein

# Funktionen Allgemein 1/2

- Satelliten fliegen in Umlaufbahnen um die Erde
- Spannen dadurch eine Art Sichtnetz auf
- Mindestens vier Satelliten von jedem Punkt aus sichtbar

## Funktionen Allgemein 2/2

- Senden permanent Signalcode mit Uhrzeit und Position
- Empfängergerät wertet jedes erhaltene Signal aus und berechnet Abstand
- Durch Abstandsberechnung zu den verschiedenen Satelliten wird Position bestimmt

# Segmente

# Allgemein

- Segmente sind verschiedene benötigte physische Komponenten
- werden auf Weltraumsegment, Kontrollsegment und Nutzersegment aufgeteilt

# Weltraumsegment 1/3

- Für den Betrieb werden mindestens 24 einsatzbereite Satelliten benötigt
- Aktuell 29 einsatzbereite Satelliten auf 6 Umlaufbahnen
- zusätzlichen Satelliten über der Mindestzahl sind Reservesatelliten
- Es werden laufend neue Satelliten in den Orbit gebracht und alte ausgetauscht

## Weltraumsegment 2/3

- Derzeit sind 4 verschieden Generationstypen in Verwendung
- Der älteste aus dem Jahr 1997 und der neuste aus dem Jahr 2021
- Ursprüngliche Lebensdauer 7.5 Jahre
- Jeder heute in den Orbit gebrachte Satellit, hat mehrere Atomuhren an Bord (Cäsium/Rubidium)

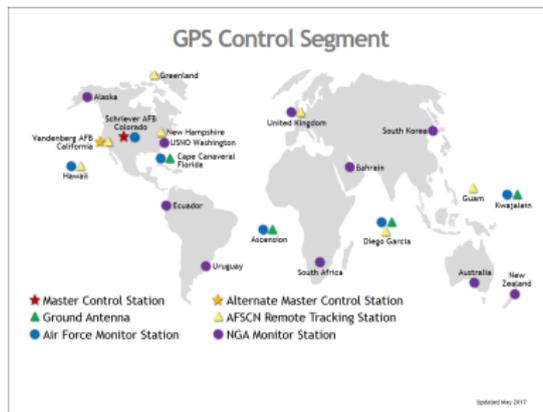
## Weltraumsegment 3/3

- Die Bahnebenen sind um  $55^\circ$  gegen die Äquatorialebene geneigt
- Jeweils Gegeneinander um  $60^\circ$  versetzt, um die Grundabdeckung am Boden zu garantieren
- Umkreisen Erde auf elliptischer Bahn alle 12h in einer Höhe von 20.200 km
- Satelliten sind nicht geostationär!

# Kontrollsegment 1/2

- Kontrollsegment besteht aus einem Globalen Netzwerk von Kontrolleinrichtungen
- Hierzu gehören
  - 1 eine Hauptkontrollstation
  - 2 eine alternative Hauptkontrollstation
  - 3 16 Monitorstationen
  - 4 11 Bodenantennen in der Nähe des Äquators

# Kontrollsegment



Quelle: <https://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>

## Kontrollsegment 2/2

- Die Hauptkontrollstation in Colorado wertet Daten der Monitorstationen aus
- Vorausberechnung der Satellitenbahnen im geozentrischen kartesischen Koordinatensystem
- Kontrolle des Verhaltens der Atomuhren in den Satelliten, UTC als Referenz
- Korrekturdaten werden 1-3-mal täglich über Bodenantennen zurückgesendet
- Satellit korrigiert die Laufbahn und sendet diese Daten an den Nutzer

## Nutzersegment 1/2

- Das Nutzersegment ist recht groß, da es viele verschiedene Anwendungsmöglichkeiten gibt
- Die Gesamtheit aller Empfänger- bzw. GPS-Geräte sowie dessen Nutzer
- Um GPS-Signale nutzen zu können wird ein GPS-Empfänger benötigt.

## Nutzersegment 2/2

- Die Hauptkomponenten bestehen aus:
  - 1 Einer Antenne mit Vorverstärker
  - 2 Einem Hochfrequenzteil für Signalverarbeitung
  - 3 Einem Mikroprozessor für die Kontrolle, Datenerfassung und Navigationsrechnung
  - 4 Einem Datenspeicher

# Signal (Frequenzen)

# Allgemein

- als dual-use System konzipiert
- zivile und militärische Funktionen
- SPS = Standard Positioning Service (zivil)
- PPS = Precise Positioning Service (militärisch)
- zwei Grundfrequenzen L1 und L2

# Unterschied L1 und L2

## 1 primäre Frequenz L1

- 1575,42 MHz
- Wellenlänge 19 cm
- C/A - Code und P-Code

## 2 sekundäre Frequenz L2

- 1227.60 MHz
- Wellenlänge 24 cm
- C/A - Code und P/Y - Code

# Frequenz Berechnung

- Frequenz besteht aus der Grundfrequenz (10.23) der Rubidium-Atomuhr welche eine Genauigkeit von  $1 * 10^{-12}$  aufweist
- und einer speziell ausgesuchten Frequenz im L-Band. L1=152, L2=120
- multipliziert ergeben sie die Trägerfrequenz von L1 und L2.

# C/A Code

- öffentlicher Code (zivil)
- jeder Satellit hat eigenen C/A-Code
- Übertragungsrate 1.032 Mbps
- Code wird durch "Golden-Folgen" erzeugt

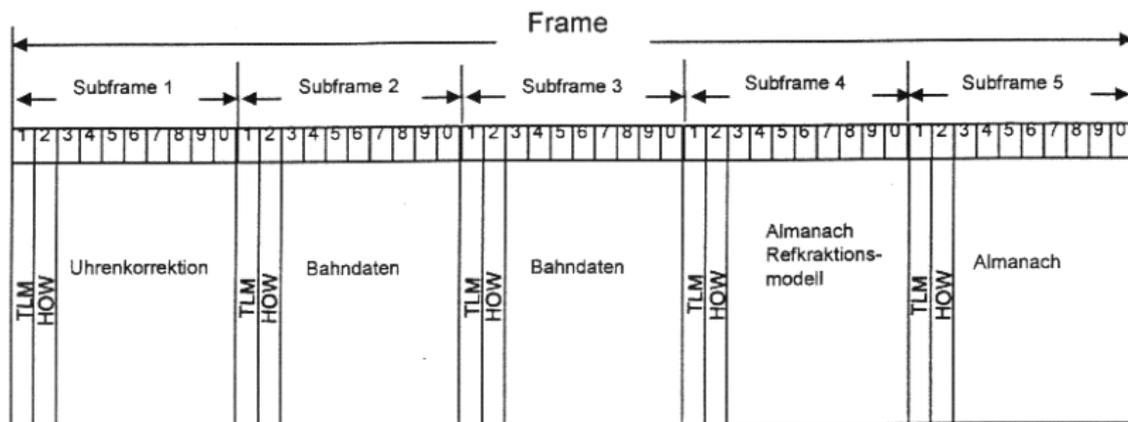
# P-Code

- 10-mal schneller wie C/A-Code
- Code wird in 37 Segmenten unterteilt
- Übertragungsrate 10.23 Mbps
- Erzeugung JPL-Folge, durch vier linear rückgekoppelten Schieberegistern
- Durch Erweiterung P/Y-Code verschlüsselt

# Navigationsnachricht

- Übertragung auf Code über Modulo 2 Additionen
- alle 30 Sekunden gesendet
- 50Bit/s 1500 Bits pro Nachricht
- enthält alle wichtigen Informationen
  - 1 Uhren-Korrektur
  - 2 Bahndaten
  - 3 Almanach Refraktionsmodell
  - 4 Almanach

# Navigationsnachricht



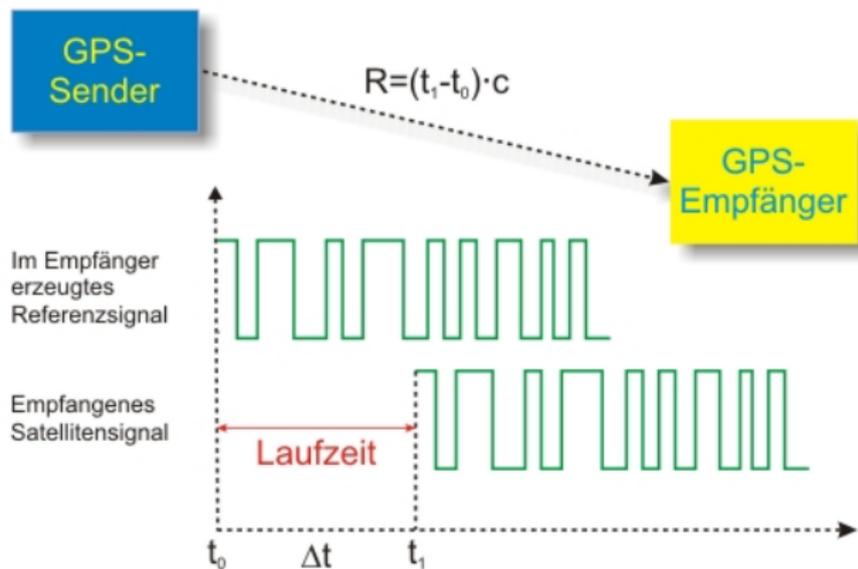
Quelle: <https://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>

# Distanzbestimmung

# Code-Messung

- Einfachste Form der Distanzberechnung
- GPS-Sender sendet ein Signal im 30 Sekunden Intervall
- Empfänger erzeugt Referenzsignal (synchron)
- Laufzeit wird gemessen bis Original- und Referenzsignal exakt übereinander passen.

# Code-Messung



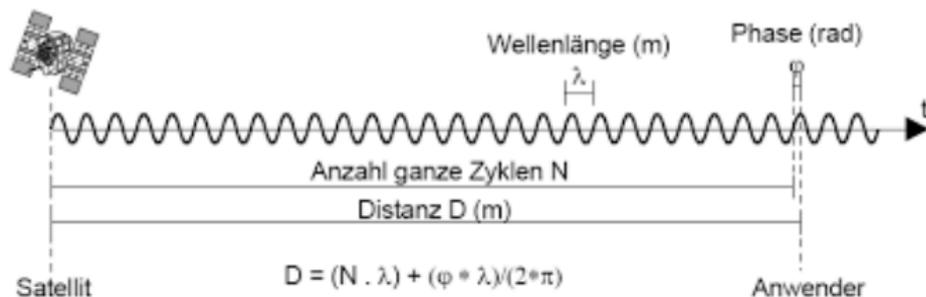
Quelle: : <http://www.decodesystems.com/gps.html>

# Phasenmessung 1/2

- Phasenmessung höhere Genauigkeit (Millimeterbereich)
- Statt Code wird die Trägerphase ausgewertet
- Wird für geodätische Anwendungen herangezogen
- In der Regel mit differentiellen GPS (DGPS) kombiniert

## Phasenmessung 2/2

- Berechnung der Distanz  $D$
- Wellenlänge ist bekannt  $L1 = 19\text{cm}$ ,  $L2 = 24\text{cm}$
- Phase kann genau nach gemessen werden
- Zyklen  $N$  sind unbekannt und diese können nur durch umfangreiche Gleichungssysteme bestimmt werden



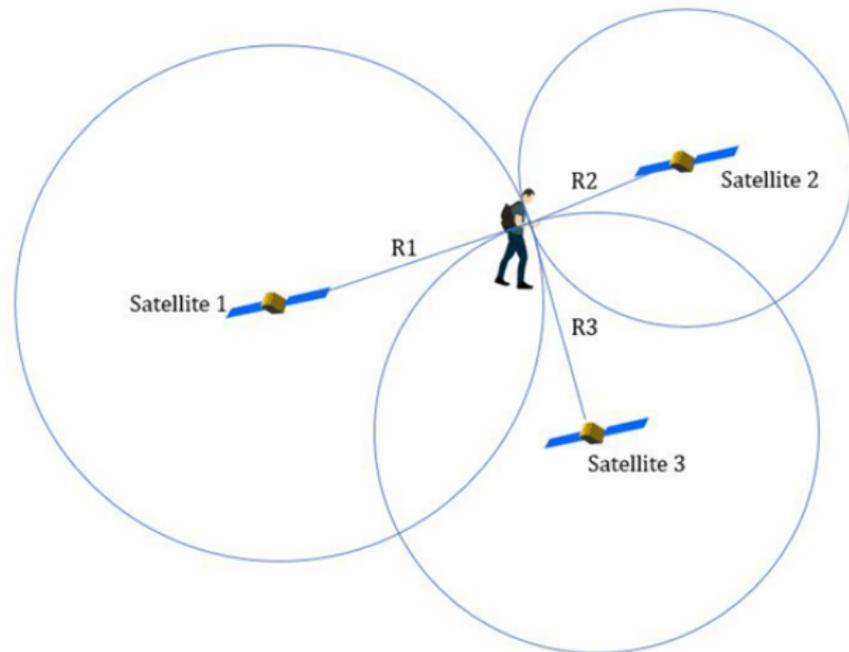
Quelle: : Zogg 2009, S.108

# Positionsbestimmung

# Positionsbestimmung

- GPS ist ein passives System (Signale werden nur von Satelliten ausgesendet)
- Vorteil mehrere Empfänger können das System gleichzeitig nutzen
- Für eine exakte Trilateration sind zwei wesentliche Informationen erforderlich
  - 1 Entfernung zum Satelliten
  - 2 Die Position des Satelliten

# Positionsbestimmung



Quelle: [:https://actisense.com/news/gps](https://actisense.com/news/gps)

# Fehler/Einflüsse

## Fehler/Einflüsse 1/7

- Genauigkeit des GPS-Systems wird von vielen Faktoren beeinflusst
- Einer der Hauptpunkte: Genauigkeit der Empfängeruhr
- Meist Quarzuhr verbaut, welche auf die 1/1000 Sekunde genau
- GPS-Signal legt 30 Meter in zehn Milliardstel Sekunden zurück
- Positionsbestimmung dann nur auf 300km genau möglich und unbrauchbar

## Fehler/Einflüsse 2/7

- Bei jeder Distanzmessung tritt gleicher Fehler auf
- Lässt sich durch einen vierten Satelliten beheben
- Erhalten eindeutige Lösung einer Gleichung mit vier Unbekannten
- Dadurch Synchronisation von Empfängeruhr und Atomuhr des Satelliten

## Fehler/Einflüsse 3/7

- Eine bewegte Uhr geht langsamer als eine ruhende Uhr
- Relativistische Korrektur nach Einstein als Lösung
- Satelliten bewegen sich mit 3,9 km/s relativ zum Empfänger
- Damit läuft Satellitenuhr  $0,83 * 10^{-8}$  Prozent zu langsam und muss mit einberechnet werden
- Scheint vernachlässigbar, aber bedeutet auf 12 Stunden gerechnet, 1km Ungenauigkeit

# Fehler/Einflüsse 4/7

## ■ Gravitation:

- 1 Nach Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie
- 2 Je größer die Schwerkraft, desto langsamer vergeht die Zeit
- 3 Schwerkraft ist auf Satelliten nur etwa 6 Prozent von Schwerkraft auf der Erde
- 4 Deshalb läuft Zeit auf Satelliten um  $5,28 * 10^{-12}$  Prozent zu schnell
- 5 Wieder auf 12h gerechnet wären dies 5km Ungenauigkeit
- 6 Deshalb wurde als Lösung Frequenz von 1023 MHz auf 1022,999.999.545 MHz gesetzt

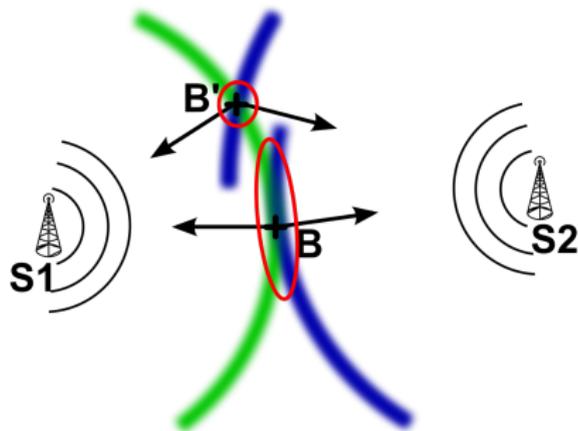
## Fehler/Einflüsse 5/7

- Laufzeitverlängerung in Troposphäre und Ionosphäre
- Geladene Teilchen und Ionen beeinflussen Signale da dies eine elektromagnetische Welle ist
- Beeinflussung durch Druck, Temperatur und Wasserdampfgehalt
- Ausbreitungsverzögerung muss einberechnet werden, da sonst Fehler von 150 Meter entstehen
- meteorologische Modelle zum Aufbau der Atmosphäre als Fehlerbehebung

## Fehler/Einflüsse 6/7

- Durch ungünstige Konstellationen kann es zu einer schlechten Satellitengeometrie kommen
- Satelliten die Sichtkontakt haben befinden sich alle in einer Linie oder nah beieinander
- Kommt vor allem bei Schluchten oder in Städten vor
- Keine Präzise Geometrische Berechnung der Position, es kommt zu Fehlern von über 100 Metern

# Fehler/Einflüsse



Quelle: : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/Dopfrp.svg>

# Fehler/Einflüsse 7/7

- Als Verbesserung kann man die Anzahl der Satelliten erhöhen
- Eine Möglichkeit ist die Verwendung von verschiedenen GNSS
- Verwendung von Multi-GNSS, z.B GPS-Galileo

und heute ?

# und heute?

- Zwischen 2026 und 2034 Erneuerung durch 22 Satelliten von Block III F
- Beschleunigen der Lokalisierung von Notfallsignalen von 1h zu 5 min mit erhöhter Genauigkeit
- Bessere Signalstärke, neue Frequenz L1C für Kompatibilität mit Galileo
- Bestimmung von Position der Satelliten anhand eines laser-basierten Systems am Boden

# und heute?

- Seit 2011 werden im zivilen Bereich auch Multisysteme verbaut welche auch in Smartphones verwendet werden
- Galileo ist in Vollbetrieb ein System von 30 aktiven Satelliten
- Heute bereits überwiegend Multi-GNSS fähige Geräte
- Zusammenschluss von GPS, Galileo und GLONASS würde Positionsbestimmung im Millimeterbereich möglich machen

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?