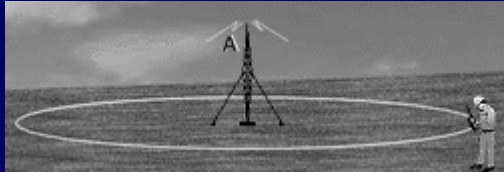


# Grundlagen der Positionsbestimmung mit GPS

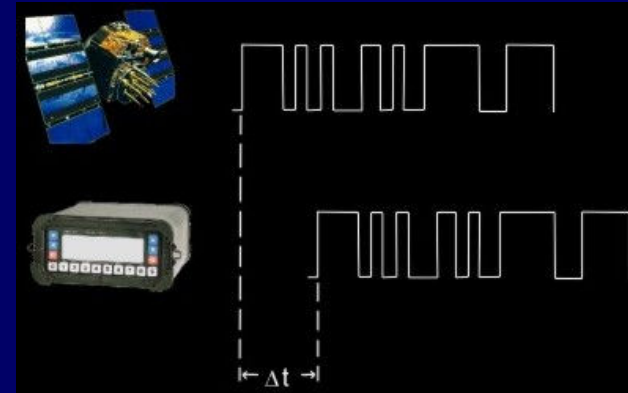
Autor: Michael Schulz, *GEOSOFT*

# 2D-Positionsbestimmung mit Radiowellen



- Messen der Zeitdifferenz, die ein Radiosignal benötigt, um von der Sendestation zur Empfangsstation zu gelangen.
- Die Zeitdifferenz multipliziert mit der Signalausbreitungsgeschwindigkeit ergibt die Entfernung zwischen Sender und Empfänger.
- Die Signalausbreitungsgeschwindigkeit von Radiowellen liegt wie die Lichtgeschwindigkeit bei  $\sim 300.000$  km/s.
- Genaue Messung der Signallaufzeit ist elementar, da ein Zeitmessfehler von einer Mikrosekunde (1.000.000ste Teil einer Sekunde) einen Entfernungsmessfehler von  $\sim 300$  m zur Folge hat.

# 3D-Positionsbestimmung mit Radiowellen

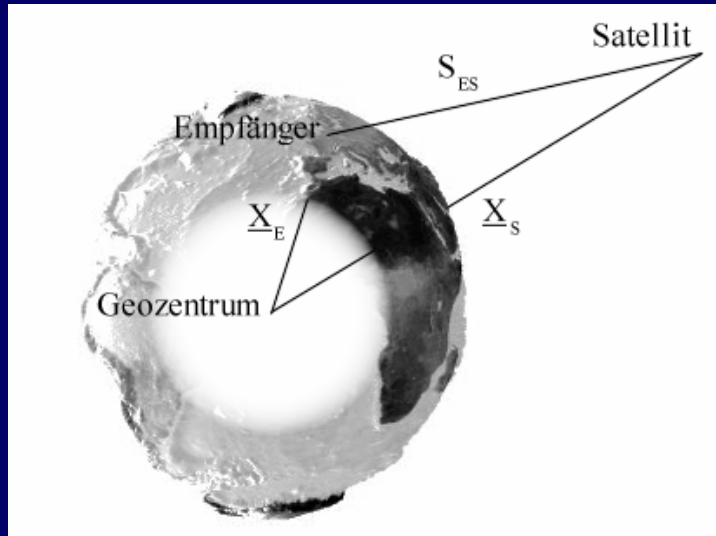


- GPS-Satelliten kann man sich als um die Erde bewegende Referenzpunkte vorstellen, die kontinuierlich Radiosignale aussenden.
- Bei der dreidimensionalen Positionsbestimmung ist der Beobachterstandpunkt als Schnittpunkt von mehreren Kugelschalen definiert, deren Radien durch die gemessenen Entfernungen zu den Satelliten festgelegt sind. (Räumlicher Bogenschlag)
- Die Bestimmung der Signallaufzeit erfolgt über die Phasenverschiebung des empfangenen Satellitensignals mit einem im Empfänger generierten identischen Signal, bis die maximale Korrelation erreicht ist.

# Grundprinzip des GPS

- 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.

# Positionsbestimmung mit GPS-Satelliten

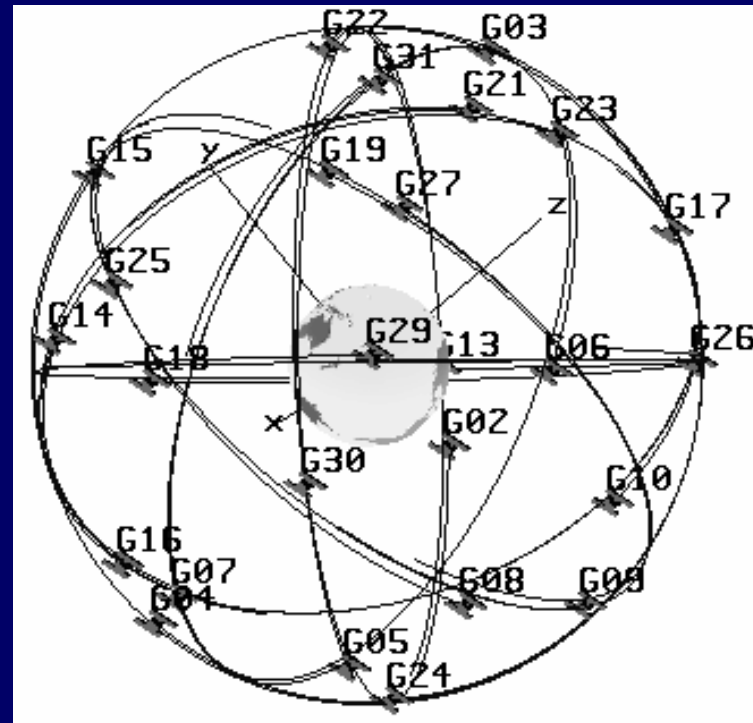


- Die gesuchte Position des Empfängers wird durch den Vektor  $\underline{X}_E$  (geozentrische Koordinaten X, Y, Z) vom Massenmittelpunkt der Erde (Geozentrum) zum Empfänger definiert.
- Die bekannte Position der Satelliten (Vektor  $\underline{X}_S$ ) wird im voraus von der Hauptkontrollstation berechnet (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.

Autor: Michael Schulz, **GEOSOFT**

# Raumsegment (GPS-Satelliten)

- 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 besitzen eine Neigung (Inklination) von  $55^\circ$  gegenüber der Äquatorebene, wobei die Umlaufzeit der Satelliten 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.



Autor: Michael Schulz, *GEOSOFT*

# Beispiele für GPS-Satelliten

## Start:

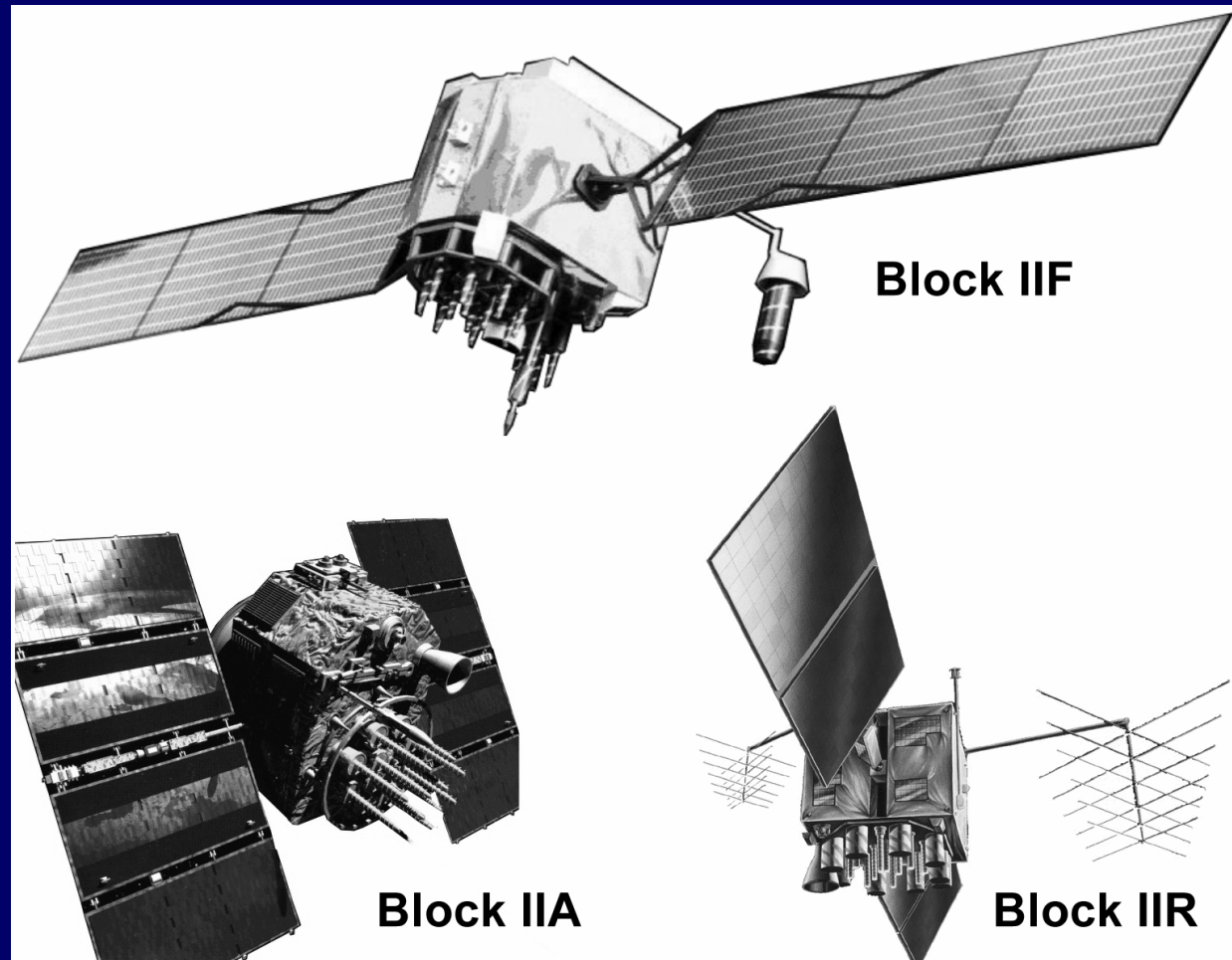
- Block I (1978-85)
- Block II (1989-90)
- Block IIA (1990-97)
- Block IIR (1997-2004)
- Block IIR-M (2005-08)
- Block IIF (2008-2011)
- Block III (ab 2013)

## Aktuelle Konstellation:

Block IIA / IIR / IIR-M

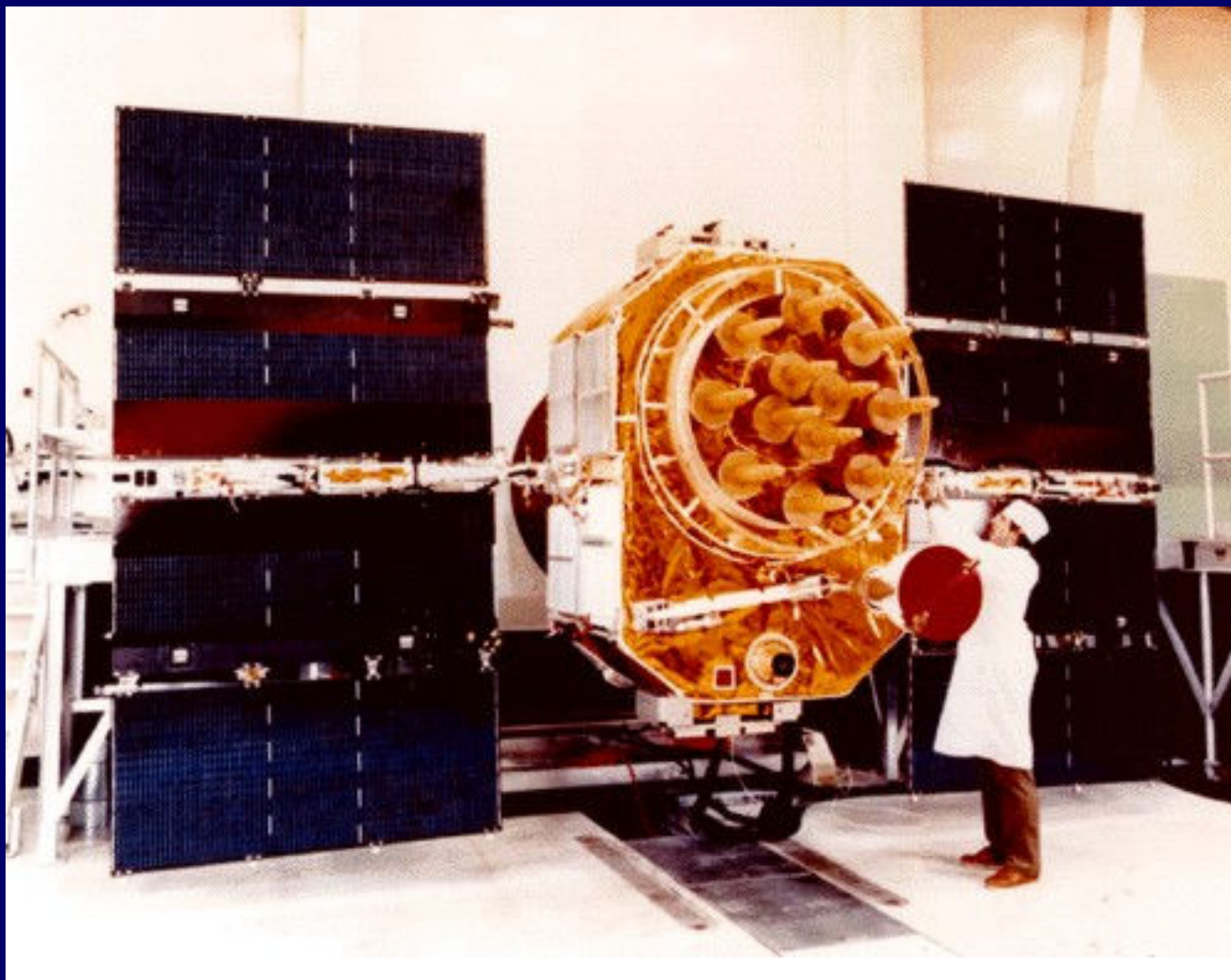
## Lebensdauer:

~ 10 Jahre



Autor: Michael Schulz, *GEOSOFT*

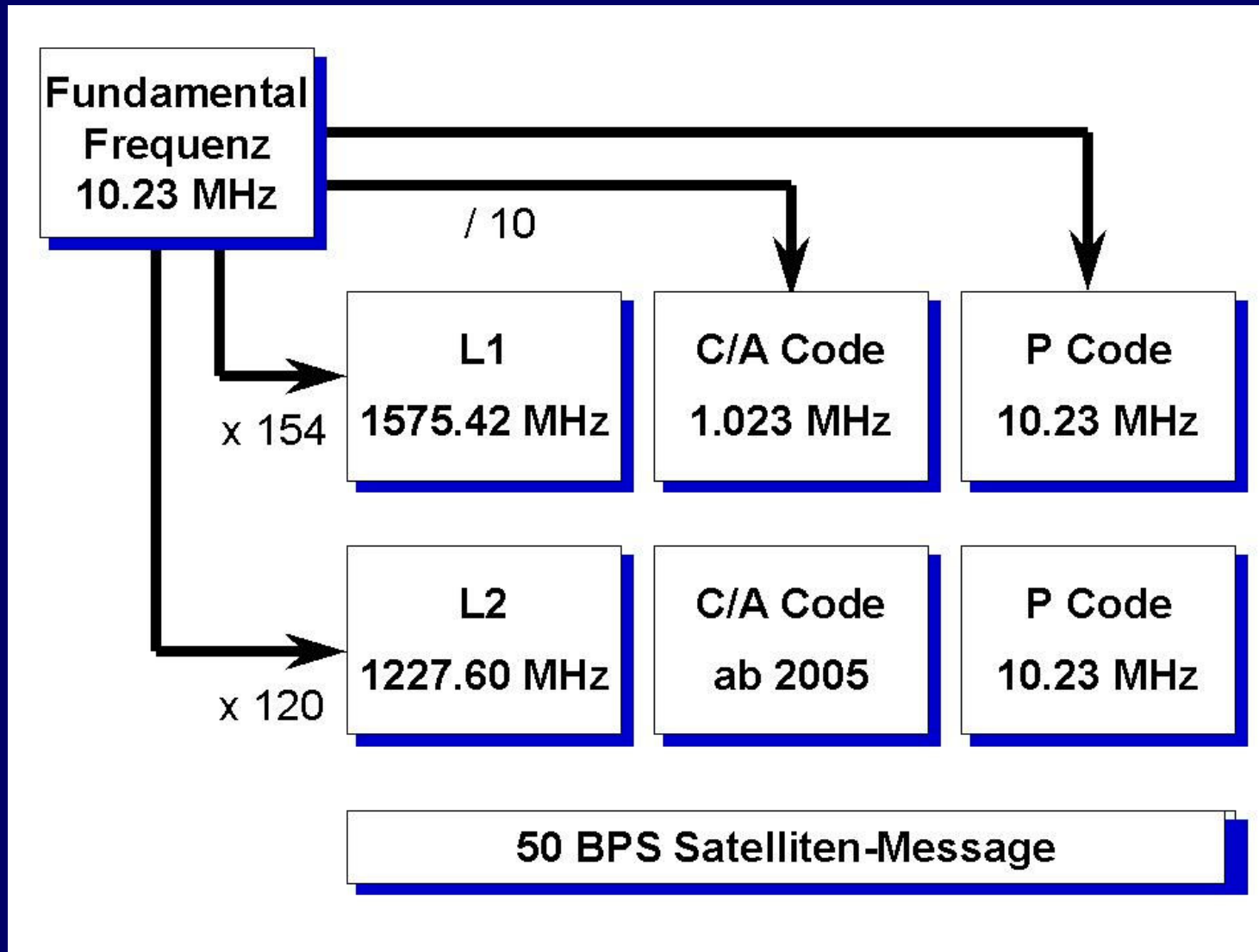
# Beispiele für GPS-Satelliten



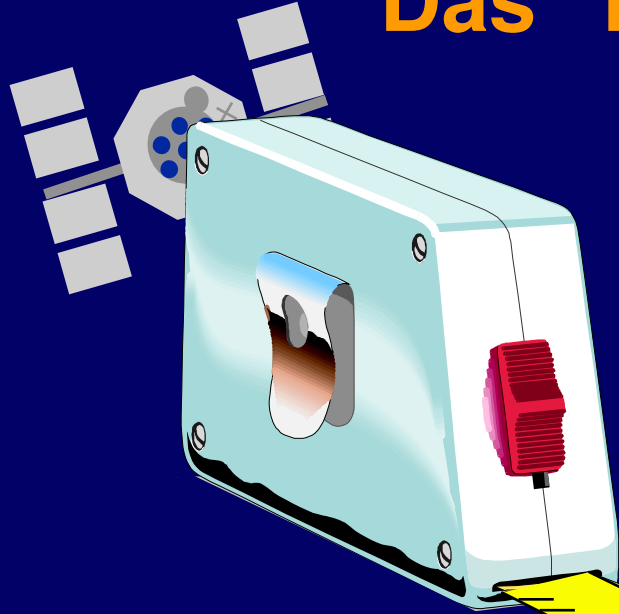
Autor: Michael Schulz, *GEOSOFT*



# GPS-Signalstruktur



# Das "Messband" aus dem Weltraum



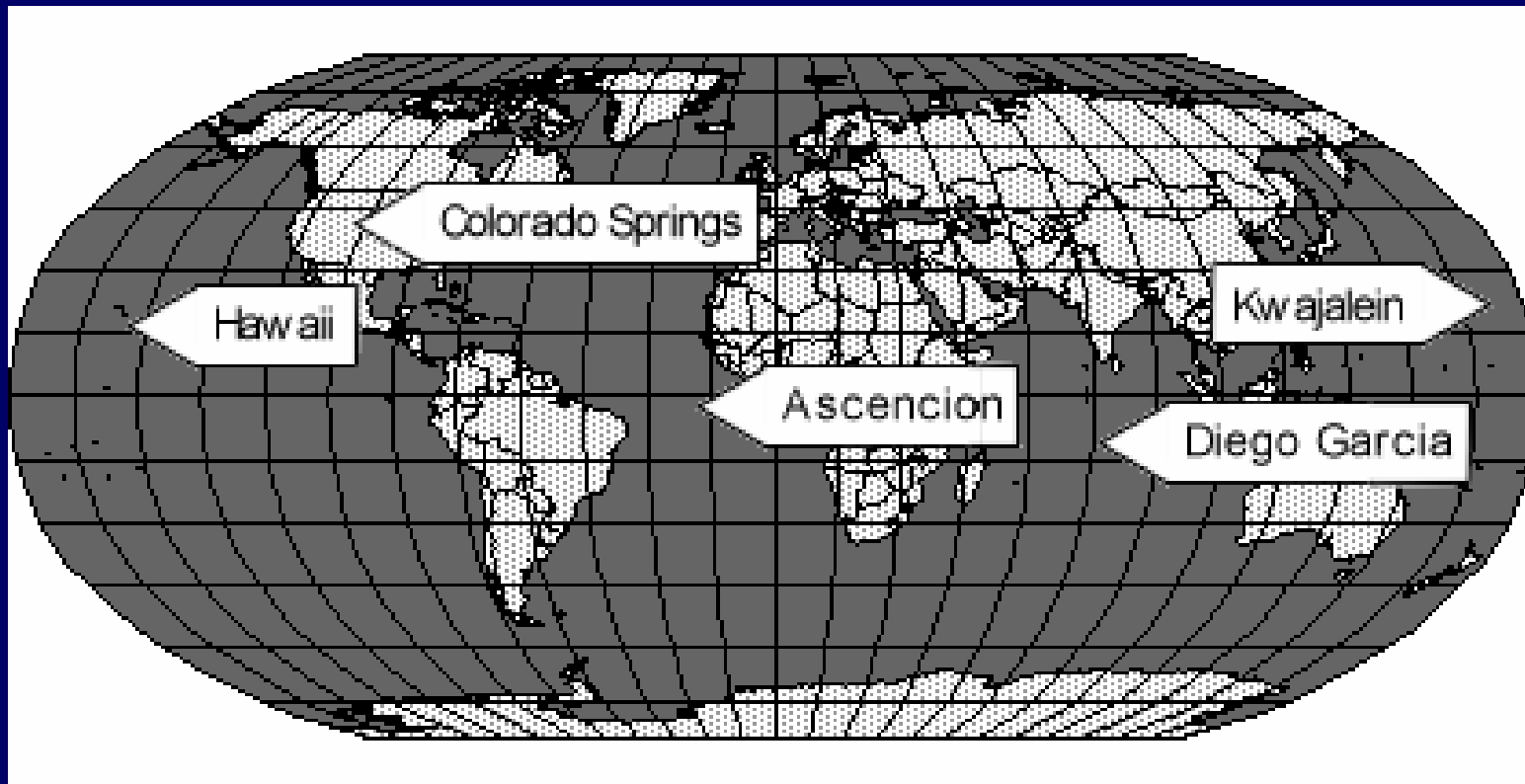
Die von den GPS-Satelliten ausgesendeten Signale bestehen aus den beiden Trägerphasen (L1, L2) mit einem aufmodulierten Code (C/A-, P-Code).

Der Code liefert die dicken Striche ~jede 300m, mit eindeutiger Zuordnung

Die Trägerphase liefert die feinen Striche ~jede 20 Zentimeter, aber ohne eindeutige Zuordnung

Autor: Michael Schulz, **GEOSOFT**

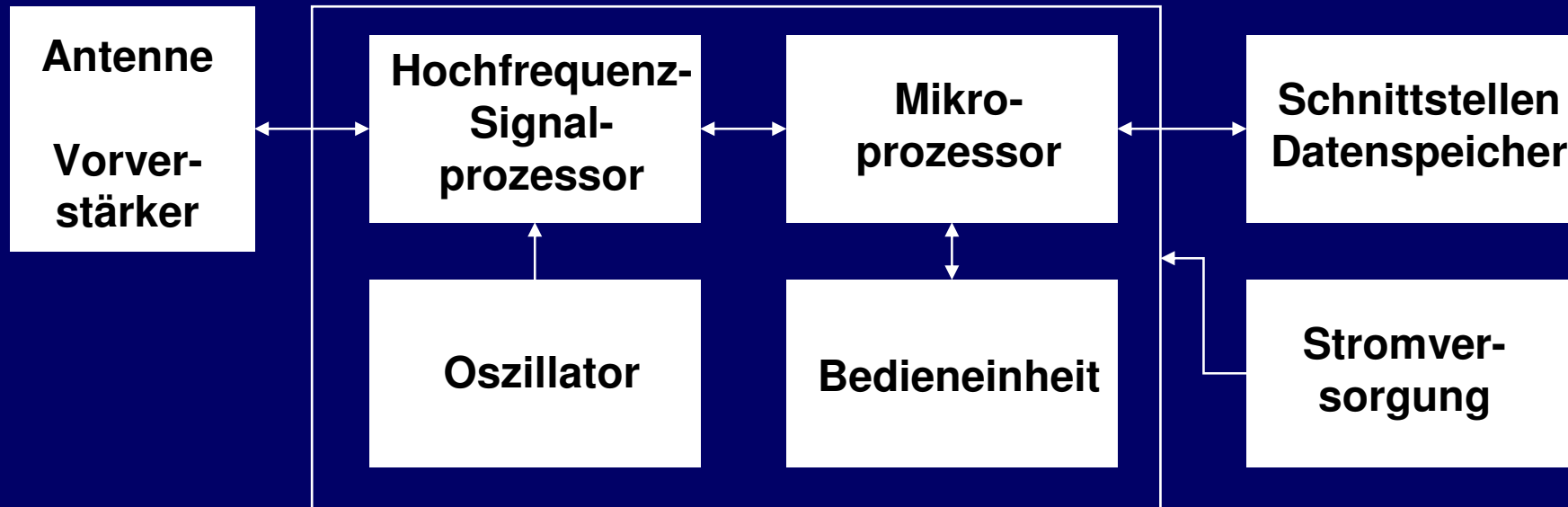
# Kontrollsegment



- 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 (Broadcast Ephemeriden) und Uhrparameter der Satelliten berechnet, die über die Ground Control Stationen zu den Satelliten gesendet werden.

Autor: Michael Schulz, **GEOSOFT**

# Benutzersegment (GPS-Empfänger)



- In der Hochfrequenzeinheit werden die Satellitensignale verstärkt und im Analog/Digital-Wandler zu einem hochfrequenten digitalen Datenstrom transformiert.
- In den Codegeneratoren des Signalprozessors werden der C/A- bzw. P-Code nachgebildet und mit dem empfangenen Satellitensignal korreliert. Daraus ergeben sich Informationen über Codeverzögerung und die Dopplerverschiebung des Signals, mit der die Entfernungsmessung und die Verfolgung der Satellitensignale möglich ist.

# Empfängertypen

## Unterteilung nach den Datentypen:

- C/A-Code
- C/A-Code + L1 Trägerphase
- C/A-Code + L1, L2 Trägerphase
- C/A-Code + P-Code + L1, L2 Trägerphase

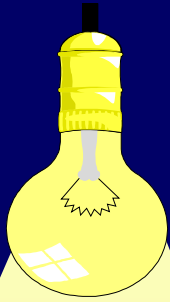
## Unterteilung nach dem Genauigkeitspotential:

- Geodätische Empfänger ( $\pm 1\text{cm}$ )
- Differential-GPS Empfänger ( $\pm 1\text{m}$ )
- Autonome GPS Empfänger ( $\pm 100\text{m}$ )

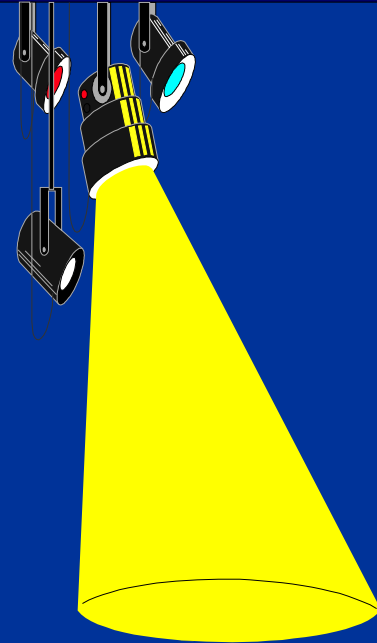
## Unterteilung nach der Ausführung:

- Vermessung / GIS
- Handhelds
- OEM-Boards

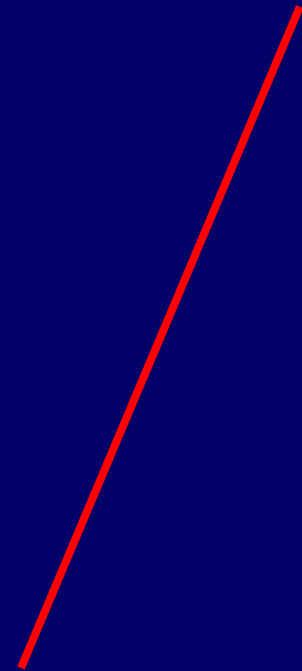
# Genauigkeitspotential des GPS



**GPS**  
 **$\pm 20\text{m}$**



**DGPS**  
 **$\pm 1\text{m}$**



**RTK**  
 **$\pm 1\text{ cm}$**

# Anwendungsbeispiele für GPS



**Navigation**



**Landwirtschaft**



**Vermessung**



**GIS**

- Autos
- Schiffe
- Flugzeuge
- Flottenmanagement
- Maschinensteuerung
- Katastropheneinsatz

- Bodenproben
- Sähen
- Ernten
- Pflügen
- Kontrolliertes Düngen

- Grenzvermessungen
- Topogr. Karten
- Überwachungsmess.
- Seismische Kontrollmessungen
- Geodätische Netze

- Natürliche Ressourcen
- Eigentumssicherg.
- Wertermittlung
- Städteplanung
- Forstbestand