

# CCD-Kameras und GPS für astronomische Anwendungen

DGP-Fortbildungskurs für Physiklehrer  
2004 / Bad Honnef

Dr. Frank Fleischmann

OES – Optische und elektronische Systeme GmbH  
91349 Egloffstein

Sternwarte Feuerstein  
91320 Ebermannstadt



# GPS

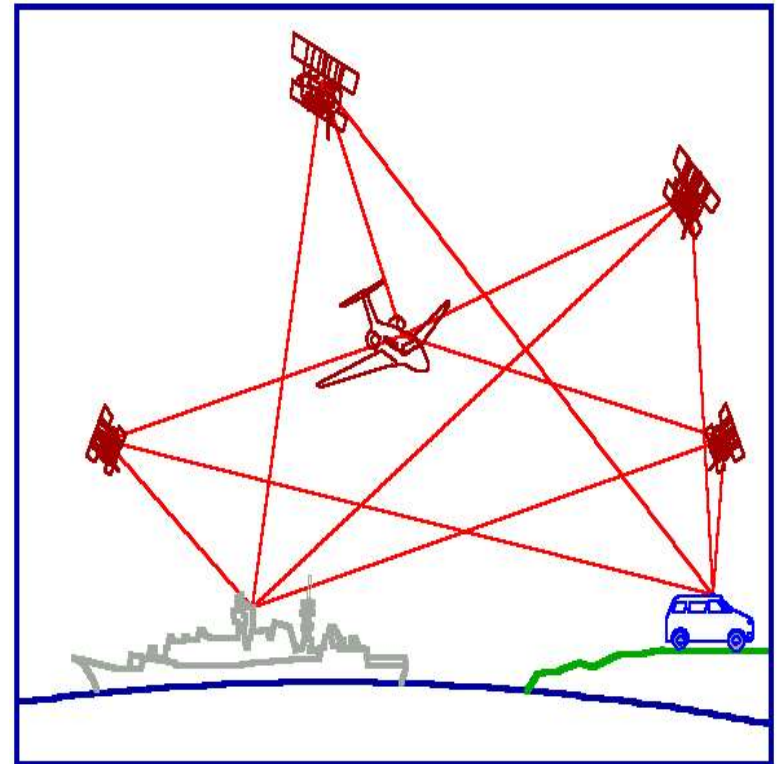
NAVSTAR Global Positioning System

# Übersicht

1. Geschichte
2. Theorie
3. Umsetzung
4. GPS aus Benutzersicht
5. Nutzung in der Astronomie
6. Zukunft

# GPS - Überblick

Satellitengestütztes  
Funk-Navigationssystem  
24 Satelliten,  
4 Bodenstationen,  
beliebig viele Benutzer  
Zur Zeit das genaueste  
System (Fehler von wenigen  
Millimetern)



# GPS - Alternativen

GLONASS: Erdumspannendes (russisches) Satellitennavigationssystem, es ist unvollständig

Galileo: Geplantes Navigationssystem Europas, soll ab 2008 in Konkurrenz zum amerikanischen GPS treten, aber mit kompatiblen Satelliten

# GPS - Geschichte (1)

## Alte Navigationsmethoden

### Landschaftsmerkmale/Gestirne

Unpräzise

Kompliziert

### Funksignale (Boden-Boden)

Nur zweidimensionale Bestimmung

Technischer Aufwand

# GPS - Geschichte (2)

## Entwicklung

1960: Idee, Planungsbeginn (USAF)

1972: Erstes Testsystem

1978: Erster Satellit im All

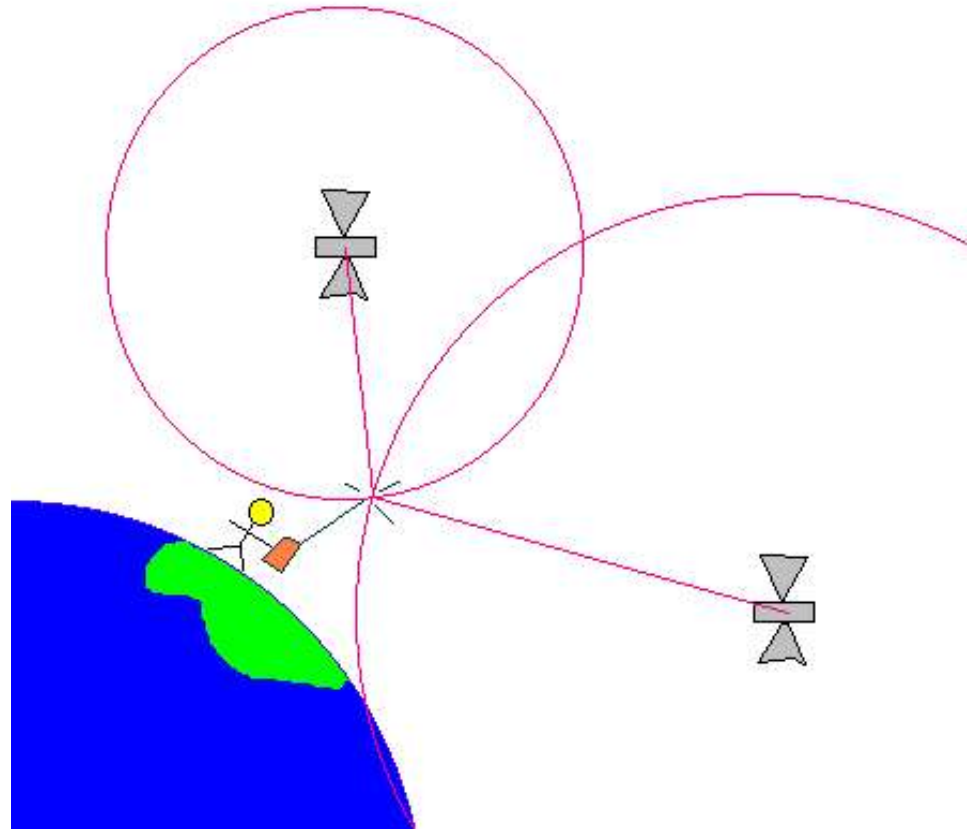
April 1995: volle Funktionsfähigkeit

Kosten bis heute: ca. 12 Milliarden \$

# GPS - Theorie (1)

Positionsbestimmung durch Distanzmessung

Messung der  
Entfernung zu  
verschiedenen  
Satelliten  
Schnittpunkt-  
berechnung





# GPS - Theorie (2)

Distanzmessung über Funksignale

Distanz = Geschwindigkeit  $\times$  Zeit

Radiowellen breiten sich mit  
Lichtgeschwindigkeit aus

Messen der zeitlichen Verschiebung  
zwischen empfangenem Signal und  
bekanntem Muster

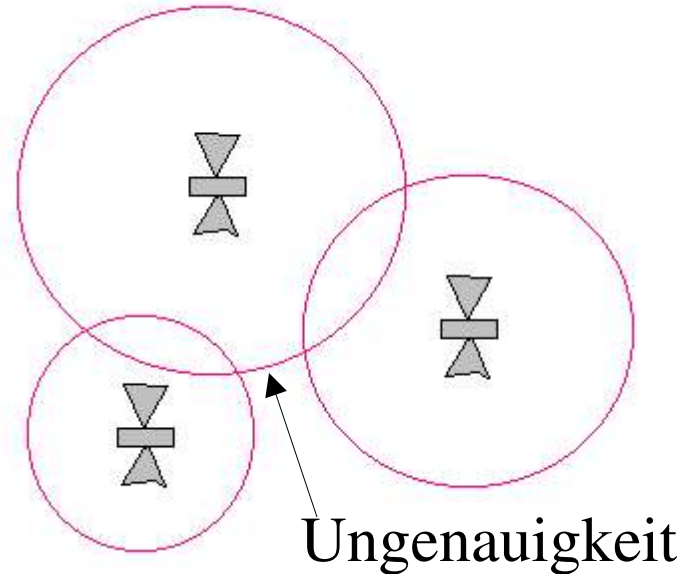
# GPS - Theorie (3)

## Synchronisation

Satelliten sind  
untereinander  
synchronisiert  
(Atomuhren)

Empfänger nicht  
synchronisiert

Bestimmung eines  
Korrekturfaktors



# GPS - Theorie (4)

## Fehlerquellen

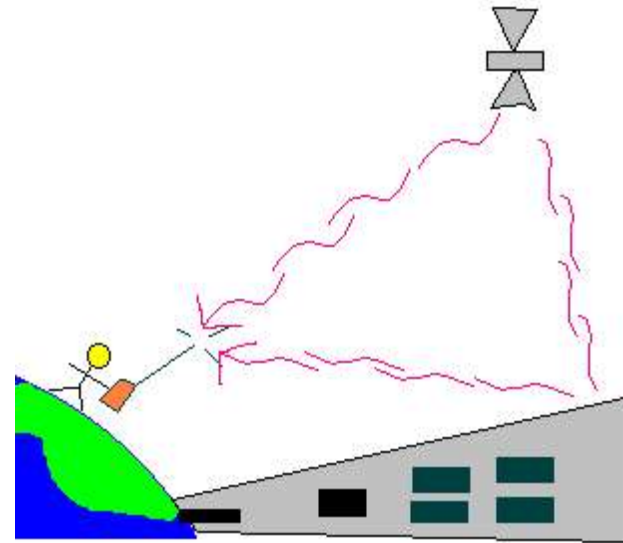
Reflektion der Funksignale

Geschwindigkeits-  
abweichungen

(Atmosphärische Einflüsse)

Ungenauigkeit in der  
Satellitenposition

Ungünstige Satellitenkonstellation  
(GDOP - Geometric Delusion of  
Precision)



# GPS - Theorie (5)

## Relativistische Fehlerquellen

spezielle Relativitätstheorie (Geschwindigkeit):

bei Beschränkung auf Messungen im Ruhssystem der Erde) überschätzt man die Zeitabläufe im Satelliten um etwa  $0.835 \times 10^{-8}$  Prozent (Frequenzen im Satelliten werden um denselben Prozentsatz unterschätzt)

allgemeine Relativitätstheorie:

bei Beschränkung auf Messungen im Ruhssystem der Erde) unterschätzt man die Zeitabläufe im Satelliten um etwa  $5.28 \times 10^{-8}$  Prozent (Frequenzen im Satelliten werden um denselben Prozentsatz überschätzt)

Summe:

Die Satellitenuhren verhalten sich so, als ob sie um  $4.44 \times 10^{-8}$  Prozent schneller gingen, als sie auf der Erde geeicht worden sind

Sagnac-Effekt (Erdrotation)

Während jeder Sekunde Meßzeit fiele ein Fehler der Positionsbestimmung in der Größenordnung von 13 Zentimetern an. Während einer Stunde wären das bereits fast 500 Meter

# GPS - Umsetzung (1)

## Anordnung der Satelliten

24 Satelliten in 6 Ebenen

21 aktive Satelliten, 3 Reserve

Umlaufbahn in ca. 22.000 km

Höhe, nicht geostationär

Jederzeit sind von jedem

Punkt der Erde (mindestens)

4 Satelliten sichtbar



# GPS - Umsetzung (2)

## Abstimmung der Satelliten

Überwachung durch 4  
Bodenstationen

Position der Satelliten  
wird in einem  
Almanach zur  
Verfügung gestellt

```
ALMANAC FOR SATELLITE 1 :
PRN number for data ..... 1
Health of SV ..... 0
Reference Week of Almanac ..... 797
Eccentricity ..... 0.00346661
Corr: inclination angle (rad) ... 0.00388718
Mean Anomaly @ ref time (rad) ... 2.79387
Argument of Perigee (rad) ..... -1.31888
Rate right ascension (rad/sec) .. -8.01176E-09
Right ascension @ ref time (rad) -0.296182
Sqrt semi-major axis (m^1/2) .... 5153.58
Clock correction term 1 ..... 0.000148773
Clock correction term 2 ..... 7.63976E-11
Reference time almanac ..... 466944
Semi-Major Axis (meters) ..... 2.65594E+07
Corrected Mean Motion (rad/sec) . 0.000145862
Inclination angle (rad) ..... 0.95469
```

*Auszug aus einem Almanach*

# GPS - Umsetzung (3)

## Funksignale

Zwei Signale (spezifisch für den Satelliten)

C/A (Coarse Acquisition), Wiederholung jede Millisekunde

P (Precision), Wiederholung jede Woche

Beides Pseudo Random Noise (PRN)

Zwei Trägerfrequenzen

L1: 1.5 GHz, Übertragung von C/A und P

L2: 1.2 GHz, nur P

# GPS - Umsetzung (4)

Militärische Nutzung

Dual-Receiver (Beide Frequenzen P-Code)

Genauigkeit

Best Case: 1m

Worst Case: 15m



# GPS - Umsetzung (5)

## Zivile Nutzung

Aus Sicherheitsgründen Beschränkung der Genauigkeit

Kein Empfang des P-Codes

Selective Availability (zufällige Störung der Präzision des C/A-Codes)

Kurz "SA": Künstliche Verfälschung der GPS-Signale durch das amerikanische Militär für den zivilen Nutzer. Die Zentimetergenauigkeit wurde hierdurch in den 100 m Bereich verfälscht. Seit dem 01.05.2000 nicht mehr in Betrieb, so dass Messfehler eines normalen GPS-Empfängers mittlerweile im Bereich von unter 10 m liegen

Genauigkeit: zufällig schwankend  
zwischen 15m und 100m

# GPS - Umsetzung (6)

## Differential GPS

Zusätzliche Bodenstation mit bekannten Koordinaten berechnet Korrekturterme aus empfangenem Satellitensignal

Genauigkeit: 1mm - 1cm

Nachteil: keine globale Verfügbarkeit mehr

# GPS aus Benutzersicht (1)

## Koordinatensysteme

### Longitude/Latitude

Abbildung des ganzen Globus

Verschieden große Planquadrate

### UTM

Unterteilung in 60 Zonen

In den Zonen gleiche Planquadrate

Ablesen der Entfernung

# GPS aus Benutzersicht (2)

Einsatzmöglichkeiten heute

Auto-Navigationssysteme

Luftverkehr

Tracking von Transporten

Wandertouren

Rallies

Geodäsie

Astronomie

# GPS aus Benutzersicht (3)

## Produkte

Einfache GPS Empfänger ab 90EUR

Genauigkeit: 100m / 30m

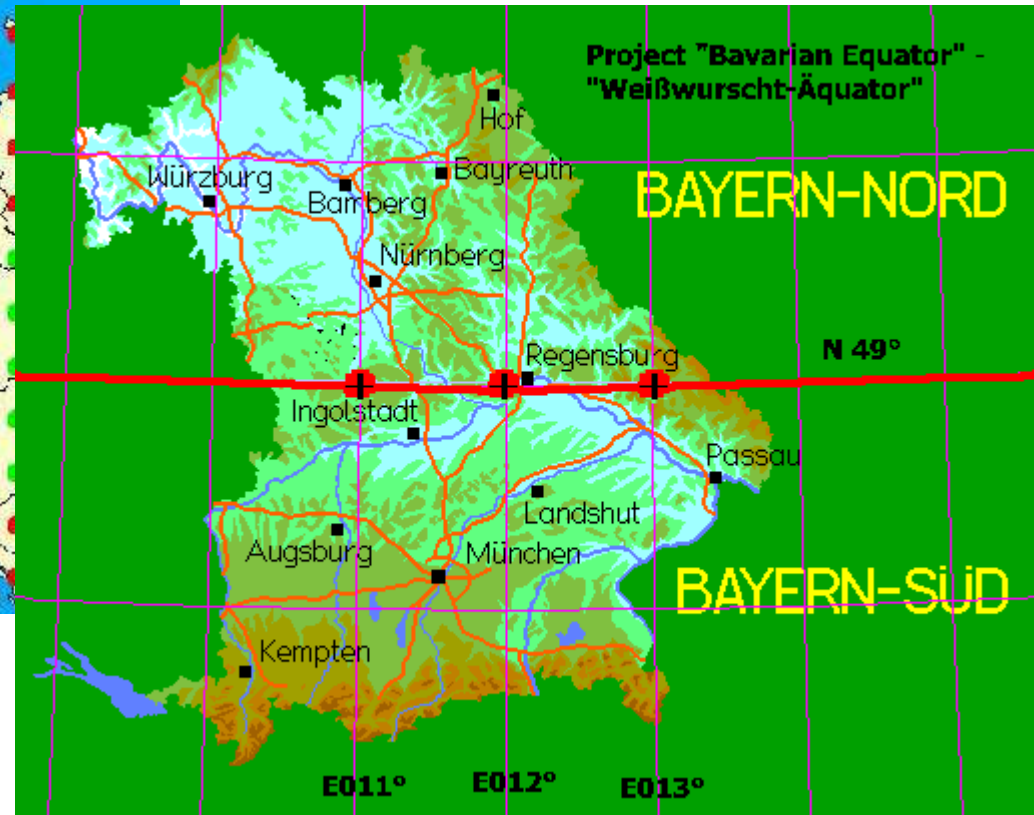
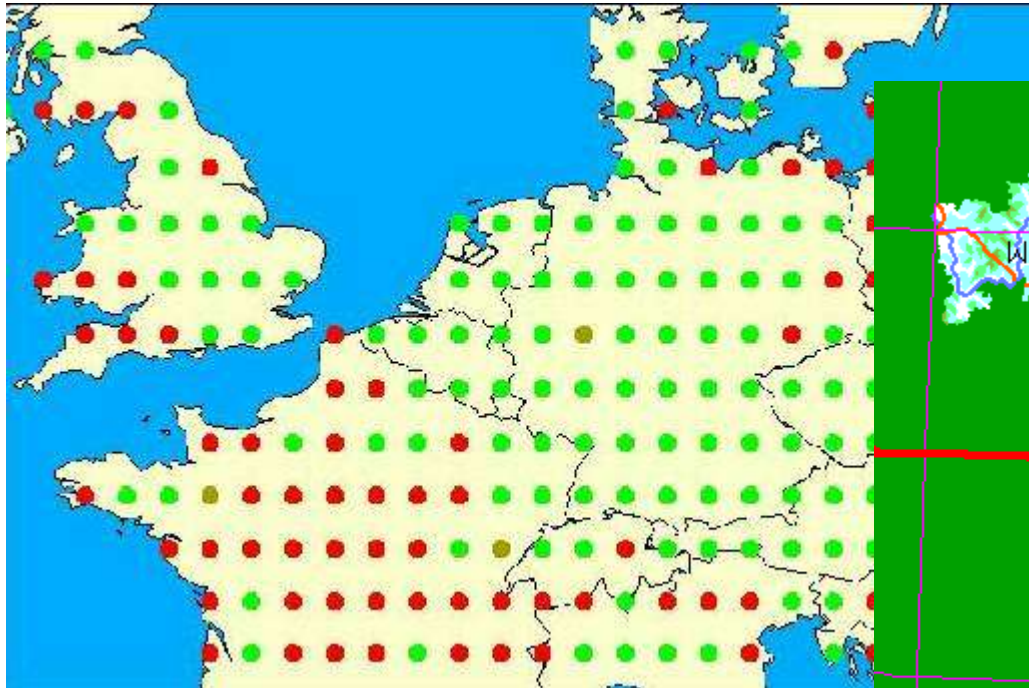
Viel teurere Modelle können als DGPS  
Base Station dienen

Empfänger mit Kartenarchiv

PC-Anschluss

# GPS aus Benutzersicht (4)

## Spiele



# GPS - Astronomie

## Technik

Ortsbestimmung des Teleskops

Zeitbestimmung (Nachführung)

## Objekte

Veränderliche, Pulsare, Bedeckungen

Sonne, Mond, Planeten, Kometen

Erde-Mond, Geodäsie, Satelliten

Entfernung von Objekten

## Theorie

Relativitätstheorie



Meade 16" LX200GPS with Permanent Altazimuth Pier. As shown, the telescope fits comfortably inside a 2-meter (7 ft.) dome.



Meade 7" Maksutov

# GPS - Zukunft

Verbreitung der Technologie (aktuell)

Mobiltelefone

Zubehör für Laptops

PDAs

Orts-/Zeitbasis für Robot-Teleskope

Neue Anwendungsgebiete

Location Awareness

Neue Systeme

Gallileo (27.02.2004 verabschiedet)



# GPS - Quellen

<http://www.gpsworld.com>

<http://www.trimble.com/gps>

[http://www.colorado.Edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.Edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

<http://members.aol.com/explorezwo/gps.htm>

Letham, Lawrence: „GPS made easy“, The Mountaineers; Seattle, 1999

## Vortrag –

## OpenOffice / StarOffice / MS-Office

[http://www.fonline.de/home/ff/freiz\\_as/page1.htm](http://www.fonline.de/home/ff/freiz_as/page1.htm)