

# GPS Grundlagen



# GPS Grundlagen

## Übersicht existierender positionsbasierter mobiler Anwendungen

### 5. Navigation

- **Fahrwegsberechnung und Optimierung für private KFZ, Speditionen (evtl. zur Flottensteuerung mit GSM-Positionsübermittlung), Taxiunternehmen, Einsatzfahrzeuge;  
Optional :  
Verwendung von Verkehrsinformationen zur weiteren Optimierung des Fahrwegs,  
Anzeigen von POI, Tankstellen, Hotels, Restaurants usw**
- **Positionsbestimmung auf Karten für Wanderer, Radfahrer, Geocacher (Off-road navigation)**
- **Führung von Ernte- und Saatgeräten der Landwirtschaft**
- **Fallschirmlastenabwürfe/Springer in Katastrophengebieten**

# GPS Grundlagen

## Übersicht existierender positionsbasierter mobiler Anwendungen

### 2. Sicherheitsmeldesysteme mit GPS-Positionsmeldungen

- **Notrufe von Fahrzeugen nach einem Unfall (z.B. ausgelöst durch Airbag), potentiell gesundheitlich gefährdete Personen beim Aufenthalt im Freien, Geldtransporte, THW, Polizei usw.**

### 3. Überwachungssysteme mit GPS-Positionsmeldungen

- **KFZ Ortung nach Diebstahl, Kinderortungsdienstleistung**

### 4. Positionsfeststellung

- **Vermessungswesen, Geologie, Archäologie, Expeditionen, MOB, Positionierung von Bohrplattformen**

# GPS Grundlagen

## Übersicht existierender positionsbasierter mobiler Anwendungen

### 5. Luftfahrt und Seefahrt

- Vermehrter Einsatz und Erprobung in Zivilluftfahrt für Anflugverfahren, Schlechtwetter Erdkollisionswarnung, Fahrwasser .....

### 6. Militärische Nutzung

- Unbemannte Luftfahrzeuge, Waffensteuerung

13.....

# GPS Grundlagen

## Geschichte der satellitengestützten Positionsbestimmung

- 1958** erstes Satellitensystem NNSS oder TRANSIT der US-Navy mit 6 Polumlaufernden Satelliten zur Navigation in der Seefahrt, später auch zivil genutzt.
- 1988** OmniTRACKS in den USA, später EutelTRACS als Untersystem der EUTELSAT Satelliten für europäisches Fuhrpark-Management mit Rückkanal
- 1973** Auftrag des US DoD (Verteidigungsministerium) zur Entwicklung eines Satellitengestützten Navigationssystems mit 24 Satelliten →
- 1978** Beginn des Aufbaus des NAVSTAR-GPS mit dem Start der ersten Satelliten, bis 1985 nur 11 Satelliten, dadurch mit unzureichender Funktionalität

# GPS Grundlagen

## Geschichte der satellitengestützten Positionsbestimmung

- 1983** Freigabe des GPS für zivile Nutzung (nach Abschuss einer vom Kurs abgekommenen koreanischen 747 Verkehrsmaschine)
- 1988** UDSSR gibt ihr GLONASS für kostenlose Nutzung ihrer Signale und Spezifikationen bekannt
- 1993** Freigabe des GPS für weltweite kostenlose zivile Nutzung
- 1995** Nach Komplettierung des GPS mit allen 24 Satelliten ist die volle Betriebsbereitschaft erreicht.
- 2000** Am 1.5. wird die SA (selective availability) des GPS abgeschaltet
- 2005** Start erster GALILEO Satellit der ESA, ungewisse Fertigstellung (2008 Ersatzsat., 2010 Auftrag f.14 Sat)

# GPS Grundlagen

## Grundlage Satellitenbahnen

Satelliten bewegen sich auf elliptischen Bahnen um die Erde.

Für viele Anwendungen sind kreisrunde Bahnen erwünscht  
z.B. bestimmte Wettersatelliten, Fernsehsatelliten, GPS, ....

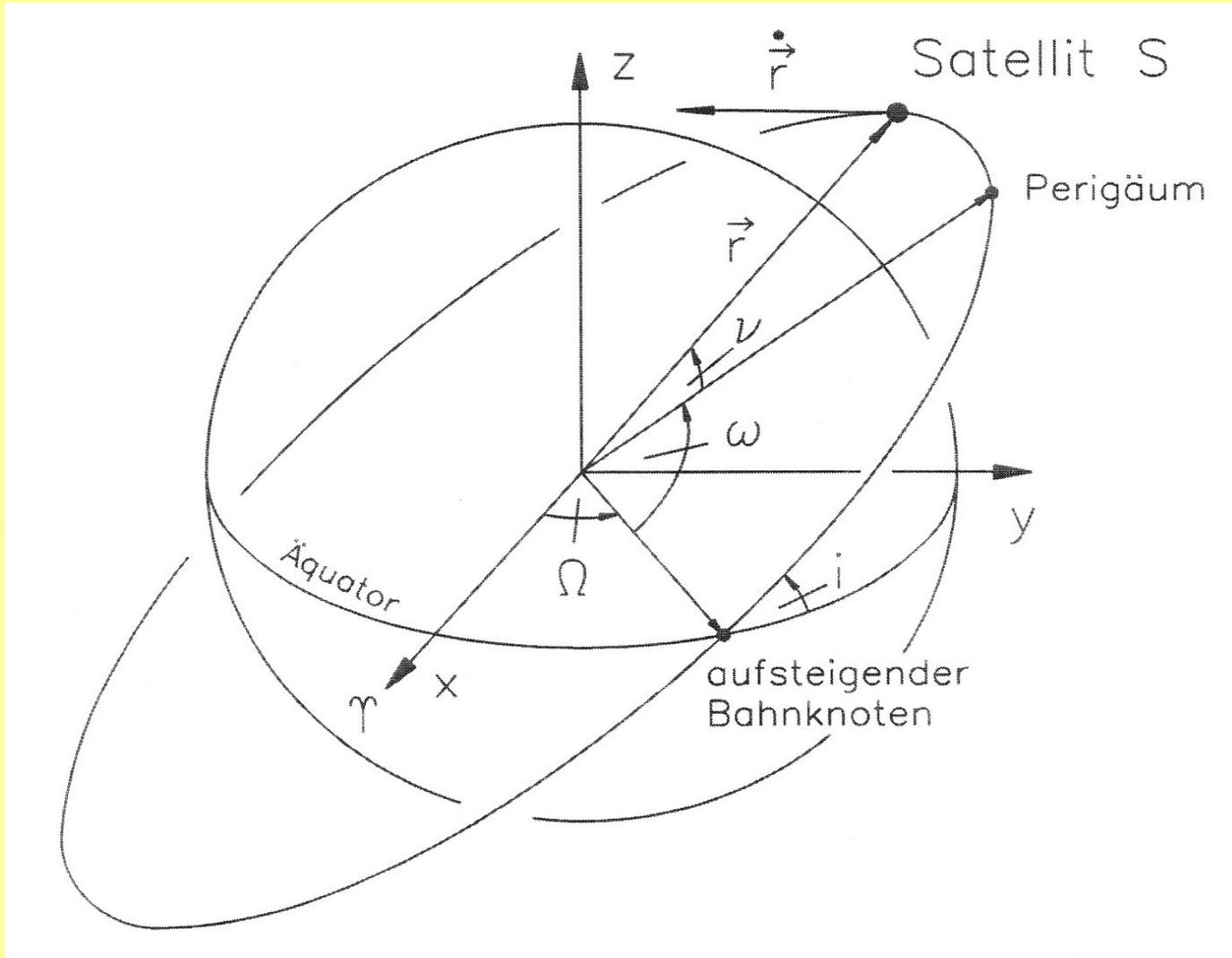
Um eine Satellitenbahn eindeutig beschreiben zu können  
sind 6 Parameter erforderlich:

- Länge der großen Halbachse der Ellipse ( $a$ )
- Exzentrizität ( $e$ )
- Inklination ( $i[^\circ]$ ) (Bahnneigung gegenüber Äquatorebene)
- Lage des Perigäum (Erdnächster Bahnpunkt) ( $\omega[^\circ]$ )
- Rektaszension ( $\Omega[^\circ]$ )
- Z.B. Zeit seit Perigäumsdurchgang

Punkte 1-5 werden als Kepler-Elemente bezeichnet

# GPS Grundlagen

## Grundlage Satellitenbahnen



# GPS Grundlagen

## Höheneinteilung von Satellitenbahnen

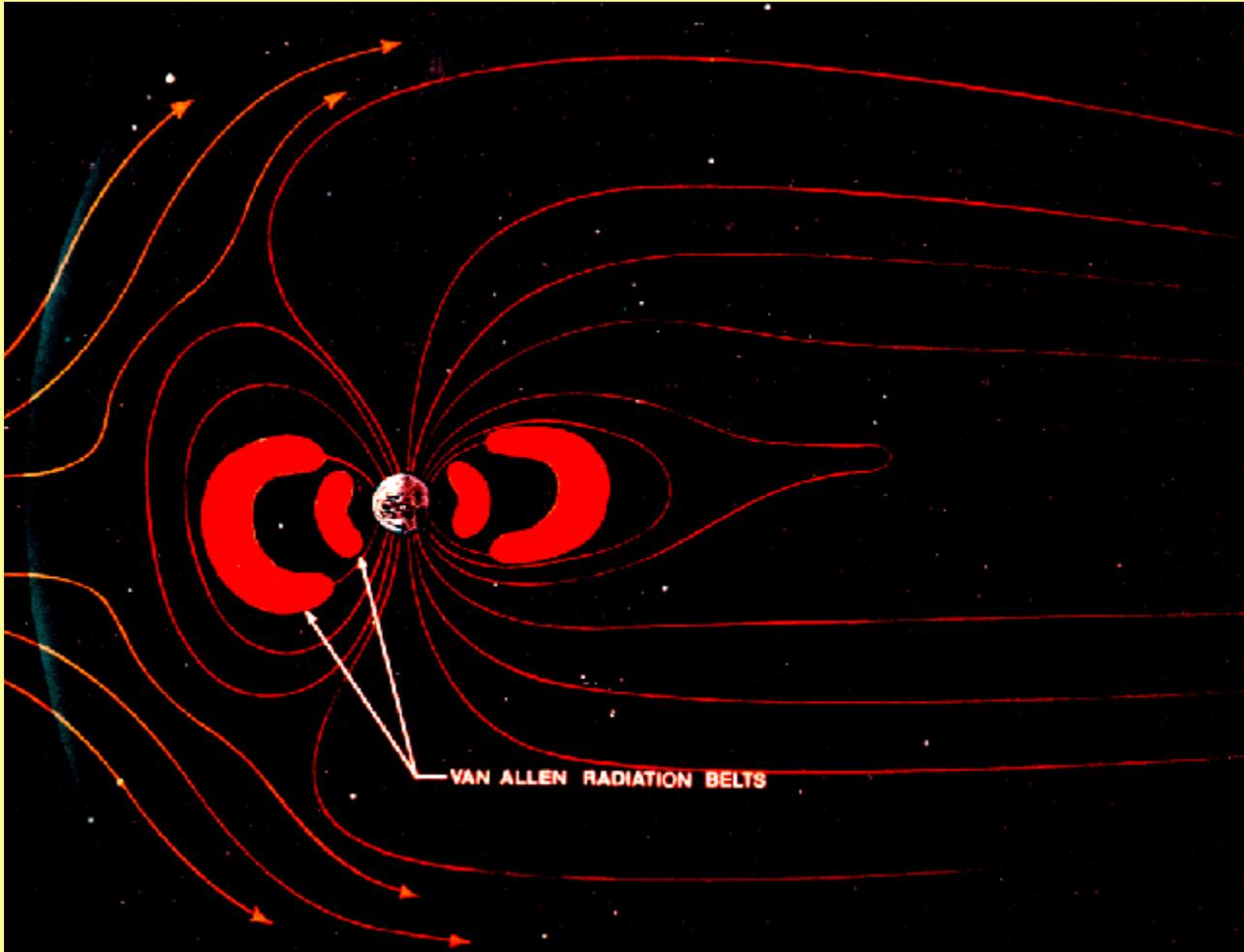
Je nach Art und Höhe des Orbits (Umlaufbahn) um die Erde unterscheidet man mehrere Höhenbereiche:

- **LEO (Low Earth Orbit)** in ca. 700 - 2000 km Höhe  
z.B. ISS, NOAA, GOES
- **MEO (Medium Earth Orbit)** in ca. 6000 - 22000 km Höhe  
z.B. GPS, GLONASS, GALILEO
- **GEO (geostationärer Orbit)** in ca. 36000 km Höhe  
z.B. Meteosat, Astra, Eutelsat
- **HEO (Highly Elliptical Orbit)** elliptische Orbits

Die Bereiche dazwischen sind durch die Van-Allen-Strahlungsgürtel mit ihren ionisierten Teilchen für Satellitenumlaufbahnen unbenutzbar.

# GPS Grundlagen

## Van-Allen-Strahlungsgürtel



# GPS Grundlagen



## Störfaktoren auf die Satellitenbahnen

Satellitenbahnen unterliegen Störungen, die ihre Bahn beeinflussen bzw. dauerhaft verändern.

7. Jahreszeitlich bedingte Wassermassenverlagerung
8. Gezeitenkräfte
9. Abplattung an den Polen
10. Ungleiche Massenverteilung auf der Erdkruste (z.B. Erzlager, Lufteschlüsse, Gebirge, ...)
11. Gravitation von Sonne und Mond
12. Magnetfeld der Erde

**Das Erdschwerefeld ist inhomogen**

Bahnkorrekturen müssen regelmäßig vorgenommen werden, um die Funktionalität des Satelliten zu gewährleisten, teilweise auch um Kollisionen zu vermeiden.

# GPS Grundlagen

## Das GPS Navstar System



# GPS Grundlagen



## Bestandteile des GPS-Systems

**Das GPS-System besteht aus folgenden Segmenten:**

- **Weltraumsegment**  
Die aktiven GPS Satelliten (24 – 32)
- **Kontrollsegment**  
Bodenstationen zur Überwachung und Steuerung des Systems
- **Benutzersegment**  
Die von den Benutzern verwendeten GPS-Empfänger

# GPS Grundlagen



## Weltraumsegment - Kenndaten der GPS-Satellitenbahnen

**Länge der großen Halbachse : 26538 km (20200km+6360km)  
(MEO)**

**Umlaufzeit : 11:58 h Sonnenzeit = 12:00 Sternzeit**

**Inklination : 55°**

**Mindestens je 4 aktive Satelliten (1-6) befinden sich auf 6  
verschiedenen Bahnebenen (A-F) deren Rektaszensions-  
winkel um jeweils 60° versetzt sind.**

**Von jeder Stelle der Erde aus sollen zu jeder Zeit mindestens  
4 Satelliten empfangbar sein. Dazu sind 24 aktive GPS  
Satelliten als Mindestanforderung erforderlich**

**Zur Zeit sind ca. 30 funktionsfähige Satelliten im Umlauf  
Die Satelliten auf den 6 Bahnen A-F und den Positionen 1-6 werden auch mit den  
Nummern 1-32 bezeichnet.**

# GPS Grundlagen

## GPS- Grundlagen, GPS-Satelliten

Satellit	Position	Start	PRN	Typ
NAVSTAR 22	E5	26.11.1990	32	IIA
NAVSTAR 23	D5	04.07.1991	24	IIA
NAVSTAR 24	A5	23.02.1992	25	IIA
NAVSTAR 26	F5	07.07.1992	26	IIA
NAVSTAR 27	A4	09.09.1992	27	IIA
NAVSTAR 33	A1	26.06.1993	9	IIA
NAVSTAR 34	B5	30.08.1993	5	IIA
NAVSTAR 35	D4	26.10.1993	4	IIA
NAVSTAR 36	C1	10.03.1994	6	IIA
NAVSTAR 37	C2	28.03.1996	3	IIA
NAVSTAR 38	E3	16.07.1996	10	IIA
NAVSTAR 39	B2	12.09.1996	30	IIA
NAVSTAR 43	F3	23.07.1997	13	IIR
NAVSTAR 44	A3	06.11.1997	8	IIA
NAVSTAR 46	D2	07.10.1999	11	IIR
NAVSTAR 47	E1	11.05.2000	20	IIR
.....	.	.	-	.
.....	.	.	-	.
NAVSTAR 62	A6	15.03.2008	7	IIR-M

# GPS Grundlagen



## Weltraumsegment - Ausrüstung der GPS-Satelliten

Die Satelliten sind je nach ihrem Herstellungsdatum unterschiedlich gebaut und bestückt (6 Typen). Zur definierten Mindestfunktionalität gehören 24 Satelliten.

**Gewicht je Satellit : erste Satelliten 850kg, neueste 2t**

**Geplante Lebensdauer : 4,5 – 10 Jahre**

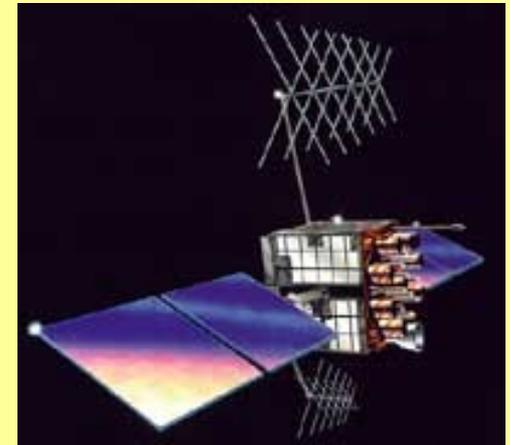
**Sendeleistung : ca. 50 Watt**

**Frequenznormale : 3-4 Atomuhren**

**Geschwindigkeit: 3,87km/s**



erste Satelliten



jetzige Satelliten

# GPS Grundlagen



## GPS-Anwendungen

**Zeitdefinitionen :**

**Sternzeit, Sonnentag, Weltzeit, Atomzeit, koordinierte Weltzeit, GPS-Zeit**

**Lichtgeschwindigkeit**

**Ca. 300.000 km/s**

**zurückgelegte Strecken: 1km in 3,335  $\mu$ s, 1m in 3,335 ns**

**Atomuhren Genauigkeit 1s in 300.000 Jahren**

**= ca. 10ns/Tag**

**= ca. 3m/Tag (Entfernungsfehler)**

**daher: ständige Korrektur notwendig**

# GPS Grundlagen

## GPS- Grundlagen, gesendete Signale

**Forderungen:**

- 6. Die Frequenz der ausgesendeten Signale soll so gewählt werden, dass möglichst wenige Störungen beim Durchlaufen der Erdatmosphäre auftreten können.**
- 7. Die Aussendung der Signale soll mit geringer Sendeleistung möglich sein, ohne dass Richtantennen zum Empfang benötigt werden.**
- 8. Die Frequenz muß weltweit unbenutzt sein.**

**2 Frequenzen werden benutzt :**

**L1 : 1575,42 MHz für die zivile und militärische Nutzung**

**L2 : 1227,60 MHz für die militärische Nutzung**

**Auf der L1 Frequenz werden die Positionsbestimmungs- und die Navigationsmitteilungen (C/A-code) ausgesendet.**

# GPS Grundlagen



## GPS- Grundlagen, gesendete Signale

**Jeder Satellit sendet einen eigenen 1023 chip langen PRN-Code (pseudo-random-code) mit einer Frequenz von 1,023 MHz aus. Dieser Code wiederholt sich alle  $1000\mu\text{s}$  (Entspricht 300km: Eine Station in 300 km Entfernung vom Satelliten aus gesehen hinter der 1. Station empfängt zur gleichen Zeit den gleichen Code).**

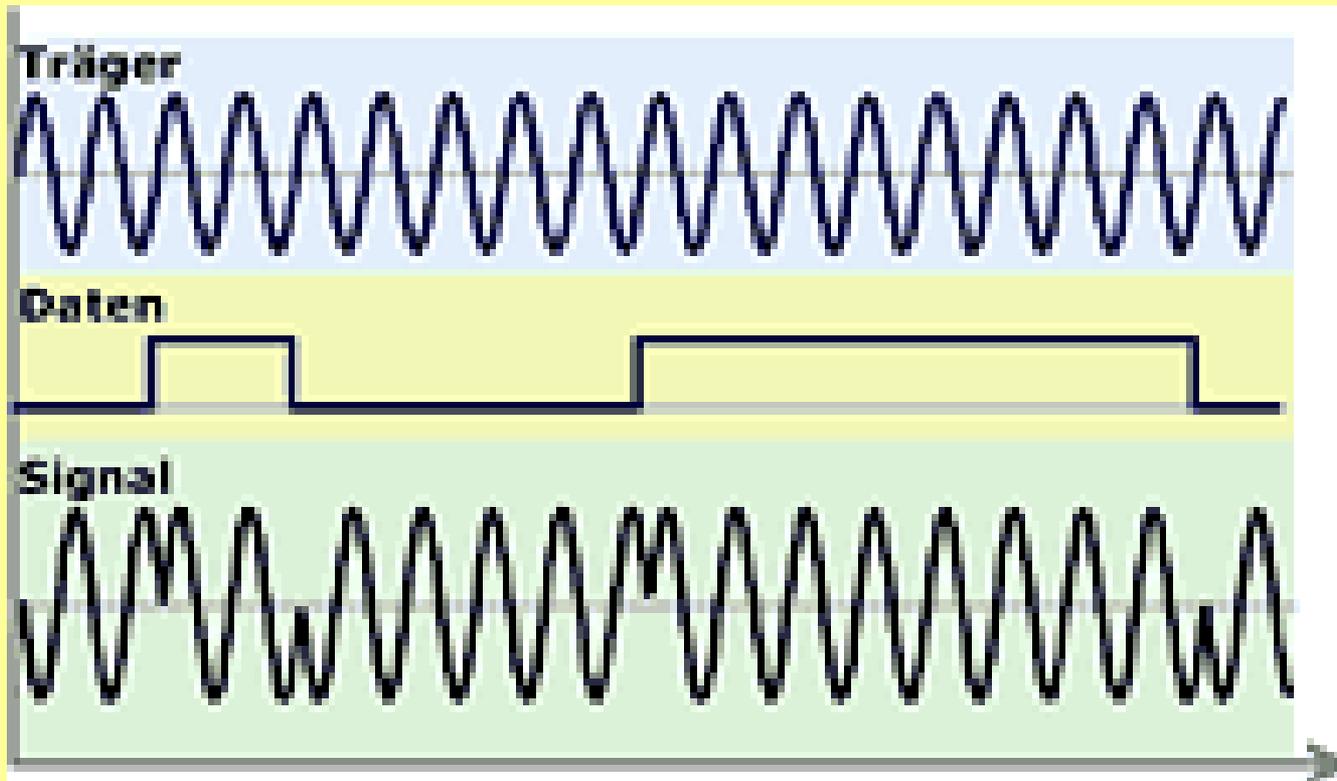
**Der PRN-Code wird durch Rückgekoppelte Schieberegister (Sequenzgenerator) erzeugt und auf die Trägerfrequenz aufmoduliert.**

**Innerhalb eines 1023 chip langen Codes wiederholt sich kein 10 bit breites Bitpattern.**

**Modulationsart : Phasenmodulation**

# GPS Grundlagen

## gesendete Signale



**Phasenmodulation eines Datensignals  
auf einen Träger**

# GPS Grundlagen



## gesendete Signale

**Auf den PRN-Code werden mit 50 bit/s die Navigationsdaten aufmoduliert die aus 37500 bits bestehen und in 25 Blöcken unterteilt sind (Übertragungsdauer 12 ½ Minuten). Darin sind enthalten:**

- 1. Die Almanachdaten (Informationen zu den Bahndaten aller Satelliten)**
- 2. Die Ephemeriden (Bahndaten des übertragenden Satelliten)**
- 3. Uhrenkorrekturdaten**
- 4. Ionosphärenkorrekturdaten, Status der Satelliten, usw.**

# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise, Störungen

**Die Genauigkeit beeinflussende Störungen**

**Mehrwegempfang**

**Hindernisse**

**Ionosphäre (variabel)**

**Troposphäre (variabel, besonders Schnee)**

**Veränderungen der Satellitenbahn**

**Satellitenuhren**

**Ungünstige Satellitenkonstellation (Satellitengeometrie)**

**Bereits korrigierte Störungen :**

**Relativistische Effekte durch Frequenzmodifikation der Uhren**

**Integrity monitoring für kritische Anwendungen bei**

**Satelliten-Störungen für See- und Luftfahrt innerhalb 6 s.**

# GPS Grundlagen



## GPS- Grundlagen Arbeitsweise, Benutzersegment/Empfänger

**Verarbeitung der Signale vom GPS-Empfänger :**

**Empfangen und verstärken**

**Filtern gegen Rauschen, demodulieren und erneut 3-stufig verstärken (ca. 100db)**

**Digitalisieren**

**Trennung der C/A und Navigationsdaten (und Verarbeitung)**

**Vergleichen/kreuzkorrelieren ankommender C/A-Code mit im Empfänger gespeicherten C/A-Kopien in mehreren Kanälen**

**Feststellung der Laufzeit von mehreren (min.4) Satelliten zum Empfänger**

**Feststellung der Dopplerverschiebung zur Geschwindigkeitsbestimmung durch Frequenzverschiebung**

**Berechnung einer dreidimensionalen Position (xyz)**

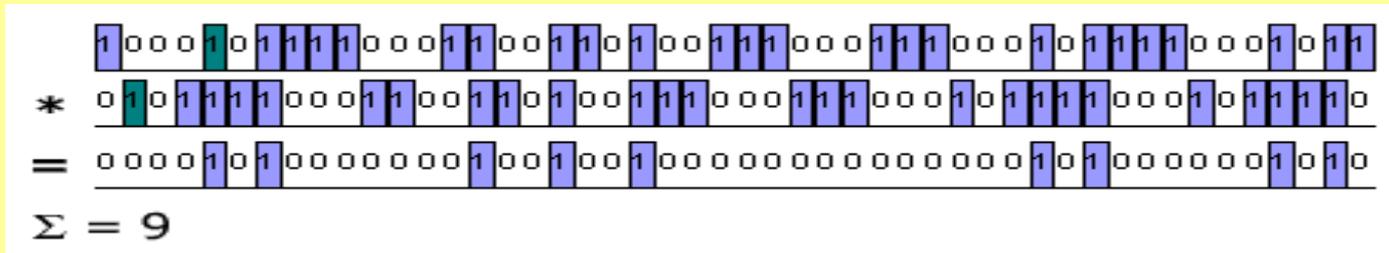
**Umrechnung in NMEA-Code [und Userdaten (entsprechend gewähltem Koordinatenformat und Kartendatum)]**



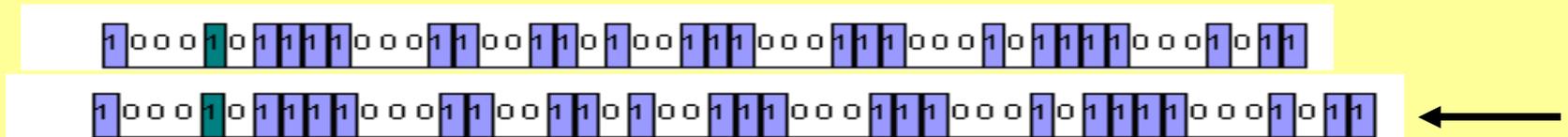
# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise



**Jede Verschiebung um ein Chip entspricht 900m Entfernung**

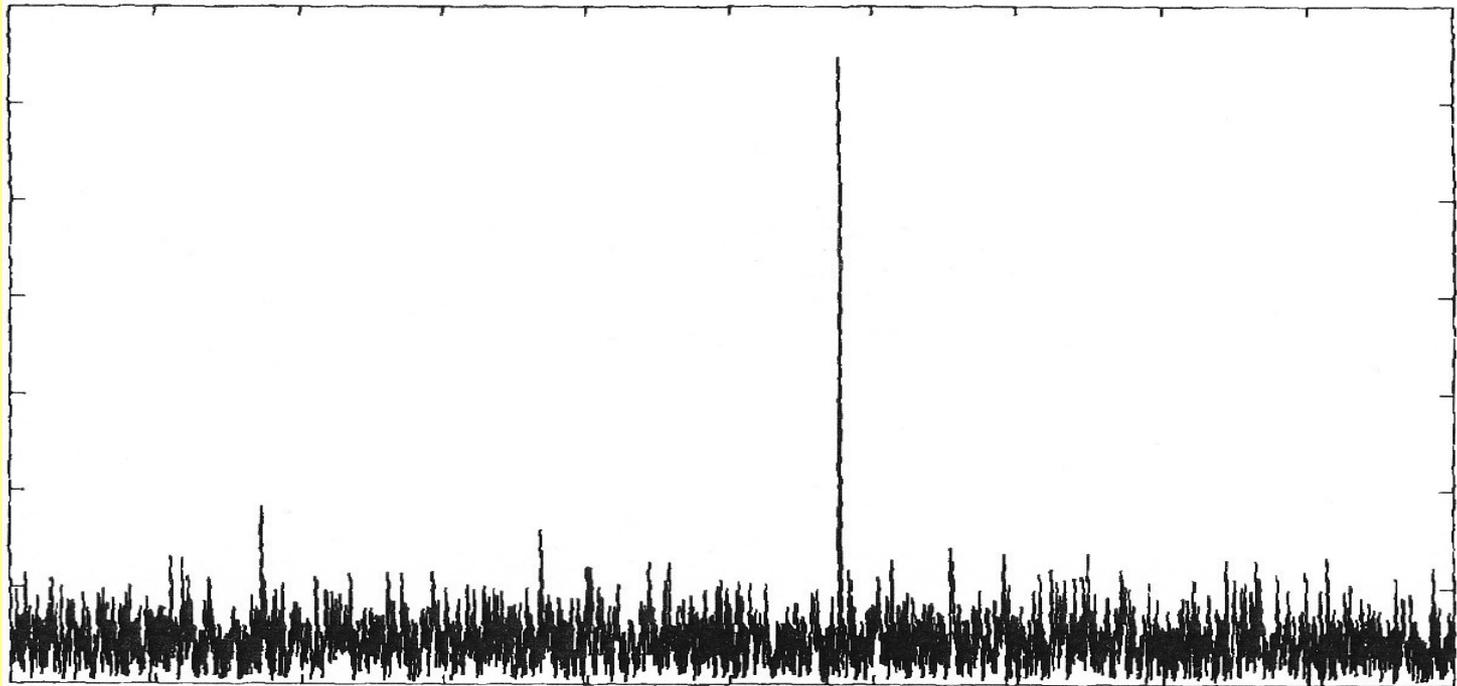


**Zur Feststellung des Dopplereffektes (um die Geschwindigkeit des GPS-Empfängers zu berechnen) muss die Frequenz vom Empfänger bis zur Übereinstimmung geändert werden.**

# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise



**Ergebnis einer realen Kreuzkorrelation**

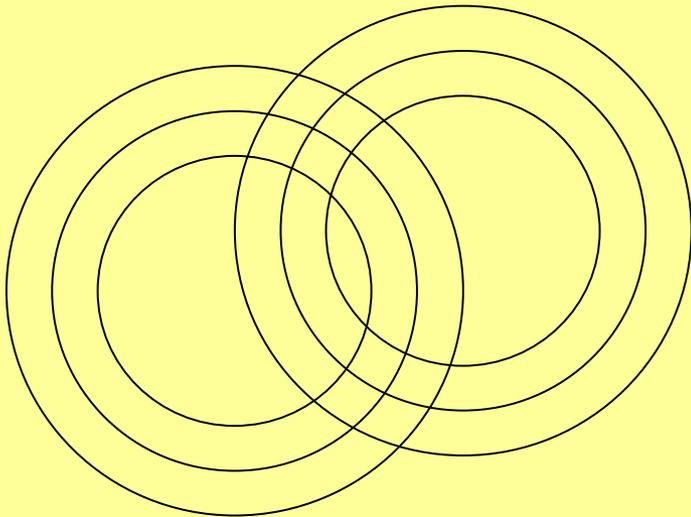
# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise

**Die Standlinie auf der sich das GPS nach Laufzeitmessung von einem Satelliten befindet, ist ein Kreis, bzw. mehrere Kreise mit einem Abstand von 300km.**

**Nach Laufzeitmessung des Signals von einem 2. Satelliten gibt es nur noch Schnittpunkte**

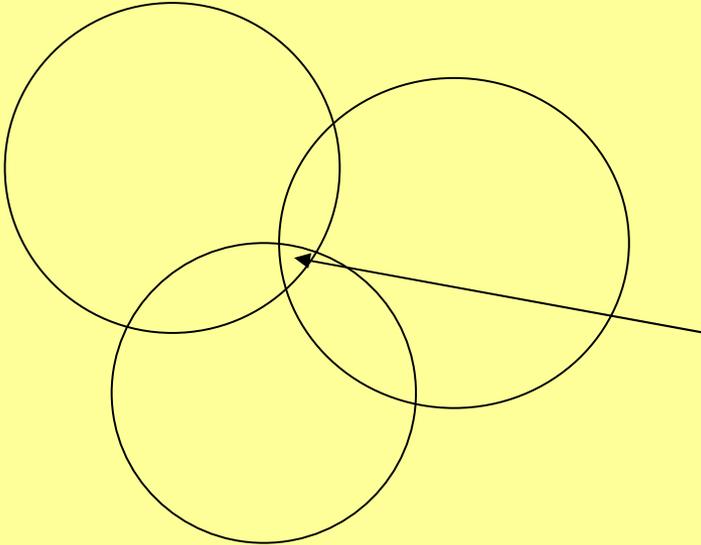


**Je genauer dem GPS die Uhrzeit bekannt ist, desto mehr mögliche Kreise können pro Satellit ausgeschlossen werden. Das GPS verfügt nicht über eine Atomuhr wie die Satelliten. Im GPS-Empfänger ist eine Quarzuhr eingebaut.**

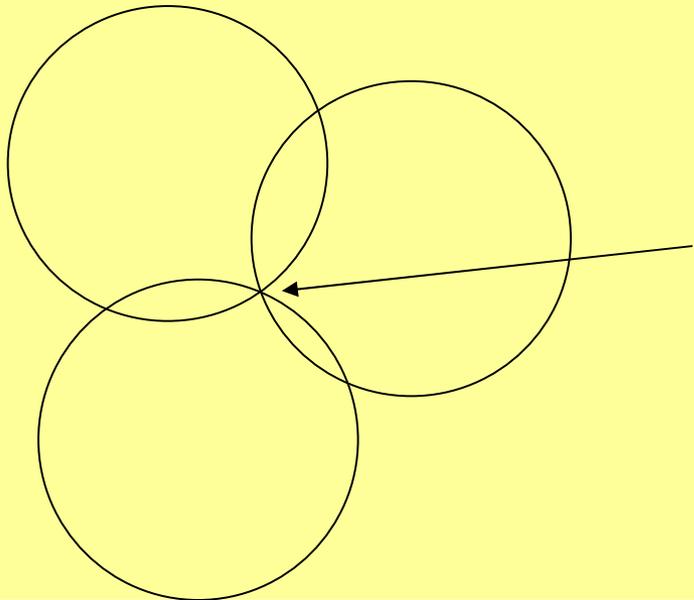
# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise



Beim Empfang eines dritten Satelliten muss es einen eindeutigen Schnittpunkt geben. Da die GPS-Uhr noch nicht genau justiert ist, wird hier zu den Satelliten eine zu weite Entfernung ermittelt.



Nach dem justieren der GPS-Uhr ergibt sich ein eindeutiger Schnittpunkt der aber auf Meereshöhe bezogen ist.

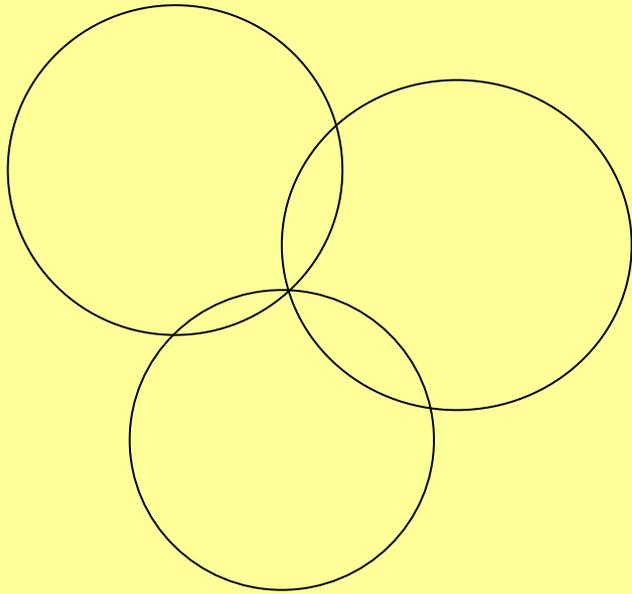
Erst wenn die relativ ungenaue GPS-Uhr durch einen 4. Satelliten synchronisiert ist, gibt es einen 3D - Fix

# GPS Grundlagen



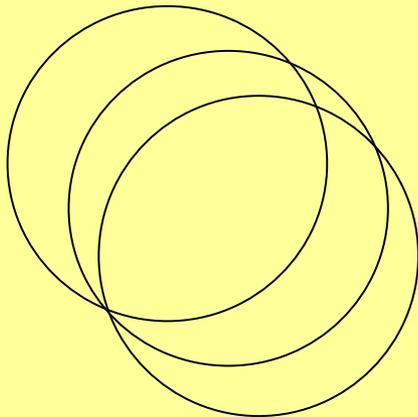
## Arbeitsweise

**Günstige Anordnung der Satelliten  
für hohe Genauigkeit der  
Positionsbestimmung.**



## **Ungünstige Anordnung**

**Einige GPS-Empfänger berechnen  
aus den Satellitenkonstellationen  
die Güte der Positionsbestimmung,  
DOP-Werte genannt (dilution of  
precision)**



# GPS Grundlagen

## Arbeitsweise

**GDOP (Geometric Dilution Of Precision); Gesamtgenauigkeit;  
3D-Koordinaten und Zeit**

**PDOP (Positional Dilution Of Precision) ;  
Positionsgenauigkeit; 3D-Koordinaten**

**HDOP (Horizontal Dilution Of Precision);  
Horizontalgenauigkeit; 2D-Koordinaten**

**VDOP (Vertical Dilution Of Precision); Vertikalgenauigkeit;  
Höhe**

**TDOP (Time Dilution Of Precision); Zeitgenauigkeit; Zeit**

# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise

### Erreichbare Genauigkeit

Störungen durch die Ionosphäre	± 5 Meter
Schwankungen der Satellitenumlaufbahnen	± 2.5 Meter
Uhrenfehler der Satelliten	± 2 Meter
Mehrwegeeffekt	± 1 Meter
Störungen durch die Troposphäre	± 0.5 Meter
Rechnungs- und Rundungsfehler	± 1 Meter
	-----
Ortungsfehler	± 12 Meter

Darin sind keine Fehler durch ungünstige Satellitengeometrie enthalten

# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise

### Verbesserungen, kooperative Ortungssysteme

#### **DGPS: Differential GPS**

**Eine Bodenstation mit bekannter Position vergleicht die vom Satelliten empfangenen Laufzeitdaten mit den errechneten Solldaten. Die Differenz ergibt den Entfernungsfehler, der für jeden empfangenen Satelliten berechnet wird. Die Korrekturdaten werden über einen Langwellensender der Bodenstation ausgesendet. Daher ist ein zusätzlicher Empfänger notwendig, der mit einem geeignetem GPS-Empfänger gekoppelt wird. Die Korrekturdaten sind für nahe an der Station liegende Empfänger besonders effektiv.**

# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise

### Verbesserungen, kooperative Ortungssysteme

**WAAS (Wide Area Augmentation system) in den USA und EGNOS (Euro Geostationary Navigation Overlay Service) arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie das DGPS. Die Korrekturdaten werden jedoch nicht über Langwellensender verbreitet sondern an bestimmte geostationäre Satelliten übermittelt. Von dort werden die Korrekturdaten wie von einem GPS übermittelt und von neueren GPS-Empfängern nach entsprechender Einstellung ausgewertet. Diese Pseudo-GPS-Satelliten werden mit entsprechenden Satelliten IDs angezeigt. Z.B. für Garmin Geräte:**

**PRN120 (Garmin ID33), PRN131 (Garmin ID44), PRN126 (Garmin ID39)**

# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise

### Verbesserungen, kooperative Ortungssysteme

<b>Ortungsfehler für GPS</b>	<b>± 12 - 15 Meter</b>
<b>Ortungsfehler für DGPS</b>	<b>± 1 - 3 Meter,</b>
<b>teilweise für Vermessung im Zentimeterbereich</b>	
<b>Ortungsfehler für WAAS o. EGNOS</b>	<b>± 1 - 3 Meter</b>

# GPS Grundlagen



## Arbeitsweise

**Hot-Start** : Wenn innerhalb der letzten 4 h +/- 2 h das GPS eingeschaltet war und dadurch Almanachdaten und Ephemeriden sowie Uhrzeit bekannt sind. Eine Ortsbestimmung ist dann in 5-15 s möglich.

**Warm-Start** : Wenn die Ephemeridendaten veraltet sind und diese nachgeladen werden müssen ist eine Ortsbestimmung nach ca. 45 – 60s möglich.

**Cold-Start** : Wenn dem GPS keine Ephemeriden- und Almanach-Daten und auch keine letzte Position bekannt ist, müssen diese Daten erst empfangen werden. Unter sonst guten Empfangsbedingungen kann dies bis 12 ½ Minuten dauern.

# **GPS Grundlagen**

**Arbeitsweise; NMEA Datensätze**

**NMEA :**

**Inhalt der NMEA Datensätze im Praxisteil**

# GPS Grundlagen

## Arbeitsweise; Kontrollsegment

**Zur Überwachung und Steuerung des GPS Systems gibt es Bodenstationen mit unterschiedlichen Aufgabenbereichen:**

**Monitorstationen sind reine Empfangsstationen, die die Satellitensignale empfangen und ihre Messungen an die**

**Master Control Station in Colorado weiterleiten. Die notwendigen Befehle an die Satelliten werden dann an**

**Sendestationen über die Erde verteilt, die diese Daten an die Satelliten übertragen.**

# GPS Grundlagen

## Arbeitsweise

**Links :** [www.kowoma.de/gps/index.htm](http://www.kowoma.de/gps/index.htm)

[www.haid-services.de](http://www.haid-services.de)

[www.esa.int/esaCP/Germany.html](http://www.esa.int/esaCP/Germany.html)

[www.ngs.noaa.gov/orbits/](http://www.ngs.noaa.gov/orbits/)

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

**Literatur :** W. Mansfeld, Satellitenortung und Navigation  
Vieweg