

# Grundlagen des Globalen Positionierungssystems

*Michael Mayer, Bernhard Heck*

## Satellitenspezifische Einflussfaktoren



- **Satellitenbahn:** Eine Grundvoraussetzung bei der GPS-basierten Positionsbestimmung ist die Kenntnis der Satellitenposition mit einer der Anwendung entsprechenden Genauigkeit.
- **Satellitenuhr:** Jeder GPS-Satellit ist mit mehreren hochgenauen Frequenznormalen (Rubidium, Cäsium) ausgestattet, die eine hohe Frequenzstabilität gewährleisten.
- **Satellitenantenne:** Das Sendeantennensystem besteht aus mehreren einzelnen Antennen, deren Aufgabe darin besteht, Bereiche der Erdoberfläche mit elektromagnetischen Signalen des L-Bandes nahezu gleicher Qualität zu versorgen.
- **GPS-Signal:** Das breitbandige und schwach intensive GPS-Signal wird basierend auf zwei Trägerfrequenzen (1227.60 MHz, 1575.42 MHz) abgestrahlt. Auf die Trägersignale werden u.A. Codes (C/A, P) sowie die Navigationsnachricht aufmoduliert.

## Atmosphärische Einflussfaktoren



- **Ionosphäre:** Subsummiert alle signifikant ionisierten Bereiche der Erdatmosphäre. Übt einen signifikanten Einfluss auf die Ausbreitung von GPS-Signalen aus. Die untere (obere) Schichtgrenze liegt ca. 50-100 km (1000-1500 km) über der Erdoberfläche. Der Ionosphäreinfluss kann prinzipiell durch elektromagnetische Mehrfrequenzbeobachtungen des L-Bandes reduziert werden, da er abhängig von der Wellenlänge ist.
- **Neutrosphäre:** Subsummiert die Troposphäre, die Stratosphäre und Teile der Mesosphäre. Den größten Einfluss übt die Troposphäre aus. Im Gegensatz zur Ionosphäre kann der Einfluss der elektrisch neutralen Atmosphärenbereiche auf GPS-Beobachtung nicht durch Mehrfrequenzmessungen eliminiert werden. Deshalb erfolgt i.d.R. eine Modellierung in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern. Der Einfluss in Zenitrichtung beträgt auf Meeressniveau ca. 2.4 m und nimmt mit zunehmendem Zenitwinkel zu ( $75^\circ$ : ca. 10 m;  $80^\circ$ : ca. 15 m).

## Stationspezifische Einflussfaktoren



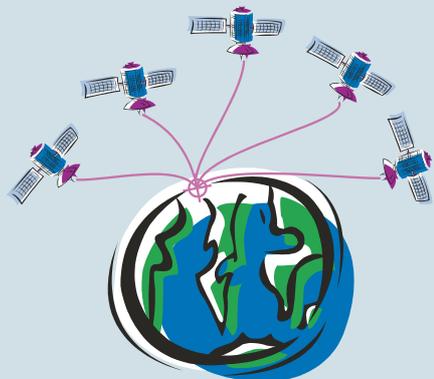
- **Empfängeruhr:** Resultiert aus der unterschiedlichen Qualität der Uhrinformation von atomgestützter Sende- und quarzbasierter Empfangseinheit. Kann mittels Code-Beobachtungen eliminiert werden.
- **Empfangsantenne:** Besteht aus mehreren Bauteilen, deren physikalisches Zentrum als mechanisches Phasenzentrum bezeichnet wird. Aus Wechselwirkungen mit umliegenden Bauteilen resultiert ein nicht lagestabiles elektrisches Phasenzentrum, dessen Position bekannt sein muss.
- **Mehrwegeefflüsse:** Nicht nur das vom GPS-Satelliten ausgesandte Signal erreicht auf direktem Weg die Empfangsantenne, sondern auch weitere, reflektierte Signale, welche das direkte Signal überlagern. Vermeidung durch günstige Stationswahl und Beobachtungszeitraum.
- **Abschattung:** Durch Hindernisse wie Bäume oder Häuser erreichen nicht alle prinzipiell möglichen GPS-Signale die Empfangsantenne. Vermeidung durch günstige Stationswahl und Beobachtungszeitraum.

## GPS-gestützte Positionsbestimmung

### Geometrisches Grundprinzip

Zur **uneindeutigen Festlegung** einer Position unter Verwendung des GPS werden **vier unabhängige Beobachtungen** benötigt. Dies können bspw. vier zeitgleich empfangene GPS-Signale verschiedener Satelliten sein. Diese vier Beobachtungen werden notwendig, um die **vier Unbekannten** (zusammengesetzt aus x-, y- und z-Komponente des **dreidimensionalen Raumvektors** vom Zentrum eines kartesischen **Bezugssystems** zur gesuchten Position und **Empfängeruhrfehler**) ermitteln zu können.

Der aktuelle Ausbaustand des GPS-Raumsegments ermöglicht jedoch den Empfang von mehr Satellitensignalen als zur eindeutigen Bestimmung notwendig sind, so dass eine Ausgleichung zur Parameterschätzung durchgeführt wird. Dabei werden i.d.R. mehrere Beobachtungsepochen gleichzeitig ausgewertet.

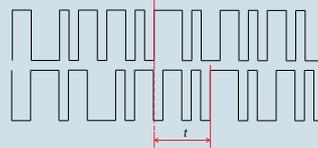


Die Positionsbestimmung basiert auf der Bestimmung und Verarbeitung von **Laufzeiten** und daraus abgeleiteten **räumlichen Distanzen** zwischen den GPS-Satelliten und der Empfangsantenne (Bogenschlag).

### Grundprinzipien der Entfernungsbestimmung

Durch die Art, wie die Distanzen zwischen GPS-Satellit und Beobachtungsstandpunkt bestimmt werden, kann eine **Klassifizierung** der Positionierungstechniken erfolgen.

- **Codemessung:** Basiert auf dem Prinzip der **Laufzeitmessung** zwischen Satellit und Empfänger. Die Zeitdifferenz zwischen Sende- und Empfangszeitpunkt kann bei Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit und der potentiellen Uhrfehler von Satellit und Empfänger in die gesamte gesuchte Distanz umgerechnet werden. Die resultierenden Positionsgenauigkeiten liegen im Bereich **weniger Meter**.



- **Phasemessung:** Im Gegensatz zur Codemessung, bei der die gesamte Distanz zwischen Satellit und Antenne ausgemessen wird, erfolgt bei der Phasemessung lediglich die Ausmessung des **Phasenreststücks**. Dies ist bspw. auf Grund der sehr viel kleineren Strecke mit einer deutlich höheren Genauigkeit möglich. Hierin sind u.A. auch die deutlich besseren Ergebnisse (**wenige Zentimeter ... Millimeter**), die mit dieser Messart im **relativen Modus** erzielt werden können, begründet. Zur Bestimmung der kompletten Distanz ist die korrekte Bestimmung der sog. **Phasemehrdeutigkeiten** (Anzahl ganzer Wellenlängen) notwendig.

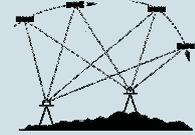
### Wann stehen die Ergebnisse zur Verfügung?

- **(Near-)Real-Time:** Die Ergebnisse der GPS-Positionsbestimmung stehen in Echtzeit bzw. ohne merkliche Verzögerung zur Verfügung. Kurze Beobachtungsdauer.
- **Post-Processing:** Zwischen der GPS-Messung und der Ergebnisbestimmung verstreicht eine diskrete Zeit. Wird i.d.R. bei größeren Netzdimensionen oder höheren Genauigkeitsanforderungen angewandt. Längere Beobachtungszeiten. Statische Beobachtung.

### Auswertetechniken

Durch zwei verschiedene Auswertetechniken können die Auswirkungen limitierender Einflussfaktoren bei der Positionsbestimmung unter Verwendung des GPS teilweise reduziert werden.

- **Differenzbildung:** Liegen auf mehreren GPS-Stationen für eine diskrete **Zeitspanne simultan** erfasste Beobachtungen vor, so können Differenzen dieser Beobachtungen gebildet werden. Hieraus entstehen **neue Beobachtungstypen**, welche teilweise andere Eigenschaften (z.B. Uhrfehlerelimination, Reduktion atmosphärischer Einflüsse, Elimination der Phasenmehrdeutigkeiten) aufweisen. Man unterscheidet **Einfach-, Zweifach- und Dreifachdifferenzen** sowie **Zeitepochen-, Satelliten- und Empfängerdifferenzen**.



- **Linearkombinationen:** Im Gegensatz zur Fehlerreduktion durch Differenzierungstechniken wird hierbei ausgenutzt, dass GPS-Satelliten Signale auf **zwei Trägerfrequenzen** aussenden und die Auswirkungen mancher wirkenden Einflüsse mit der Wellenlänge variieren (**Dispersion**). Beispielfhaft sei die ionosphärische Linearkombination angeführt, bei der die Auswirkungen der Ionosphäre erster Ordnung eliminiert werden. Es entstehen ebenfalls **neue Beobachtungstypen** mit unterschiedlichen Eigenschaften.

### Information

Geodätisches Institut  
Englerstraße 7  
D-76131 Karlsruhe



Information im Internet  
[www.gik.uni-karlsruhe.de](http://www.gik.uni-karlsruhe.de)

### Kontakt

[mmayer@gik.uni-karlsruhe.de](mailto:mmayer@gik.uni-karlsruhe.de)  
[heck@gik.uni-karlsruhe.de](mailto:heck@gik.uni-karlsruhe.de)

Phone +49- (0) 721 6083668  
Fax +49- (0) 721 6086808



Universität Karlsruhe (TH)  
Forschungsuniversität • gegründet 1825

Geodätisches Institut