

GPS – ein Navigationssystem für alle

Das Vermessungsamt setzt seit anfangs 2006 für spezielle Vermessungsarbeiten einen GPS-Empfänger ein. Sie selbst verwenden GPS-Empfänger möglicherweise in Ihrem Auto, beim Wandern, Biken usw. Doch wie funktioniert GPS eigentlich? Wo liegen die Unterschiede zwischen Ihrem GPS und demjenigen des Vermessungsamtes?

Wahrscheinlich versuchte der Mensch bereits kurz nachdem er sich auf seine Hinterbeine gestellt und angefangen hatte, auf der Welt herumzulaufen, herauszufinden, wo er war und wohin er ging. Das ist so ein grundlegendes Problem, dass man annehmen müsste, der Mensch hätte längst eine Methode entwickelt, die wirklich funktioniert. Aber bis heute hatte jedes System seine Schwachpunkte. Reisende in grauer Vorzeit markierten ihre Pfade mit Steinhäufen. Um die Ozeane zu erforschen, nutzte der Mensch die Sterne zur Navigation. Dies war oft aber zu ungenau, besonders wenn man nachts eine Hafeneinfahrt finden musste. Der moderne „homo technicus“ mit all seinen „elektronischen Spielzeugen“ hat schon einige trickreiche, neue Systeme ausprobiert, aber auch sie hatten ihre Tücken. Schliesslich hatte jemand genug und sagte: „Es reicht! Wir erstellen ein System, das funktioniert.“ So begann 1973 die Entwicklung des GPS.



GPS ist ein vom amerikanischen Verteidigungsministerium ersonnenes, realisiertes und betriebenes System, das aus 24 Satelliten besteht, welche die Erde in einer Höhe von 20'200 km umkreisen. GPS-Satelliten senden Signale aus, welche die genaue Ortsbestimmung eines GPS-Empfängers ermöglichen. GPS wird sowohl in der Luft-, Land- (z.B. Sie in Ihrem Auto) und Seefahrtnavigation als auch bei der Landvermessung (z.B. wir in der Stadtvermessung) und anderen Anwendungen eingesetzt, bei denen es auf

genaue Positionsbestimmung ankommt. Das GPS-Signal wird jedem kostenlos zur Verfügung gestellt, der einen GPS-Empfänger besitzt. Die Abkürzung GPS steht für „Global Positioning System“.

Wie funktioniert ein GPS?

Stark vereinfacht gesagt sendet jeder Satellit eine Nachricht der Art: "Ich bin Satellit Nr. X, meine Position ist gerade Y und diese Nachricht wurde zum Zeitpunkt Z versandt". Zusätzlich sendet er noch Informationen über seine Umlaufbahn.

Um die Position zu bestimmen, vergleicht der GPS-Empfänger die Zeit, zu der das Signal ausgesandt wurde mit der Zeit, zu der das Signal empfangen wurde. Aus dieser Zeitdifferenz kann die Entfernung des Satelliten berechnet werden (Lichtgeschwindigkeit \times Zeit = Entfernung). Werden nun von weiteren Satelliten Messungen hinzugefügt, so kann die aktuelle Position durch Trilateration (Entfernungsmessung von drei Punkten aus) bestimmt werden. Mit

Hilfe von vier oder mehr Satelliten kann die absolute Position im Raum samt der Höhe über der Erdoberfläche bestimmt werden. Durch ständige Neuberechnung der aktuellen Position kann der GPS-Empfänger auch genau die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung berechnen.

Im Folgenden nun eine Erklärung, wie die Positionsbestimmung beim GPS-System vonstatten geht. Die Zeit, die ein Signal von einem Satelliten bis zu unserem Standpunkt benötigt wird beispielsweise mit 4 Sekunden angenommen. Dieser Wert ist zu hoch, denn tatsächlich ist die Laufzeit der Signale vom Satelliten zur Erdoberfläche bei einer Lichtgeschwindigkeit von 299 792 458,0 m/s nur etwa 0,07 Sekunden. Wenn wir nur diese Information haben, können wir immerhin schon sagen, dass unsere Position irgendwo auf einer Kugel mit der "Entfernung" 4 Sekunden um diesen Satelliten sein muss. Nun berücksichtigen wir noch die Laufzeit eines zweiten und eines dritten Signals. Im Schnittpunkt der 3 Kugeln liegt unser Standort, die Position ist bestimmt.

Das Hauptproblem besteht nun aber darin, die tatsächliche und exakte Laufzeit der Signale bestimmen zu können. Die Satelliten übermitteln wie gesagt mit jeder Nachricht eine Art Zeitstempel, wann die Nachricht abgesandt wurde. Ausserdem wissen wir, dass die Uhren aller Satelliten absolut genau und synchron gehen, schliesslich sind Atomuhren an Bord. Das Problem ist jedoch die Uhr unseres GPS-Empfängers. Kein GPS-Empfänger hat eine eingebaute Atomuhr, das würde ihn ungeheuer teuer machen. Unsere GPS-Empfänger haben "nur" Quarzuhren und die gehen im Vergleich zu Atomuhren wirklich nicht sehr genau. Wie wirkt sich das nun in der Praxis aus?



Quarzuhr wird zur „Atomuhr“

Bleiben wir bei unserem Beispiel und nehmen an, die Uhr in unserem GPS-Empfänger geht gegenüber den Uhren der Satelliten eine halbe Sekunde vor. Damit erscheint uns die Laufzeit der Signale von den Satelliten um 0,5 Sekunden länger. Ein Uhrenfehler von jedoch nur 1/100 Sekunde, was die Vorstellungskraft bereits strapaziert, macht in der GPS-Navigation eine Fehlbestimmung der Position um ca. 3'000 km aus. Um eine Positionsbestimmung auf 10 m genau zu erreichen muss die Laufzeit bis auf 0,00000003 Sekunden genau sein. Da keine Atomuhren in GPS-Empfängern zu finden sind, muss das Problem auf eine andere Art gelöst werden. Diese Aufgabe übernehmen die Signale eines vierten Satelliten. Betrachtet man zunächst den Fall, dass die Uhr des Empfängers absolut genau geht, so erhält man die eindeutig bestimmte Position. Betrachtet man den gleichen Fall aber unter der Voraussetzung, dass die Empfänger-Uhr eine halbe Sekunde vorgeht, so erhält man keinen eindeutigen Schnittpunkt mehr. Verschiebt man nun die Zeit der Empfängeruhr solange, bis sich die 4 „Zeitkugeln“ um die 4 Satelliten in einem einzigen Punkt schneiden, so hat man den Uhrenfehler korrigiert und die Empfängeruhr läuft absolut synchron zu den Atomuhren der GPS-Satelliten. Der GPS-Empfänger wird zur "Atomuhr". Für eine 3-dimensionale Positionierung braucht man demnach Signale von mindestens vier der insgesamt 24 Satelliten.

Genauigkeit von rund 2 Zentimetern

Einfache GPS-Empfänger, wie sie zu Navigationszwecken verwendet werden, erreichen eine absolute Genauigkeit von weltweit 10 Metern. Das genügt praktisch immer. Anders sieht es aus beim Einsatz von GPS-Empfängern in der Landvermessung. Hier werden Genauigkeiten von 1 bis 3 Zentimetern gefordert und auch erreicht. Allerdings müssen dazu einige Bedingungen erfüllt sein:

Die technische Ausrüstung der Empfänger ist wesentlich umfangreicher und komplexer. Die Geräte sind entsprechend teurer. Die Messungen erfolgen in der Regel durch Stationierung auf dem zu bestimmenden Punkt und dauern etwas länger, weil ganze Messreihen erstellt werden (allerdings auch in wenigen Sekunden). Diese hohen Genauigkeiten können aber nur dadurch erreicht werden, dass zu jeder Messung gleichzeitig auf einer zweiten, lagemässig genau bekannten Referenzstation ebenfalls gemessen wird. Dabei darf davon ausgegangen werden, dass sich bei identischen Satellitensignalen die unvermeidlichen Fehlerquellen wie z.B. atmosphärische und ionosphärische Bedingungen, Ungenauigkeit der Satellitenbahnen usw. zu einem gewissen Grad aufheben. In der Stadtvermessung wird jedoch



keine eigene Referenzstation betrieben. Wir benützen ein via Natel und Internet bezogenes Korrektursignal. Dieses wird von der schweizerischen Landestopographie auf der Basis von 25 Permanentstationen des automatischen GPS-Netzes Schweiz, kurz AGNES ermittelt und zur Verfügung gestellt. Zu jedem von uns zu messenden Punkt wird innert Sekunden in der Nähe eine virtuelle Referenzstation gerechnet und via GPRS (Datenübertragung auf dem GSM-Netz) direkt auf den GPS-Empfänger übermittelt. Die Standortkoordinaten stehen also in kürzester Zeit mit einer Genauigkeit von 1 bis 3 Zentimetern zur Verfügung.

Mehr Informationen zu GPS

GPS ist eine faszinierende Technologie. Vieles habe ich im Artikel (aus Platzgründen) verschwiegen, dunkle Seiten wie der militärische Einsatz, Spielerisches wie Geocaching, Technisches zu den Fehlerarten und ihren Einflüssen auf die Genauigkeit, Kommendes wie das europäische System Galileo, usw. Es gibt aber viele Bücher und zahlreiche Links in den Suchmaschinen im Internet.

Urs Baumgartner

Leiter Vermessungsamt