Dipl.-Ing.
Erich H. Franke
DK6II
Lenaustraße 20
D-7535 Königsbach-Stein 2

Das GPS-Satelliten-System

Eine Einführung

Skriptum zum Vortrag anläßlich der 37. UKW-Tagung am 19./20.9.1992 in Weinheim

Königsbach-Stein, im August 1992

1 Einführung

Hinter dem Begriff Global Positioning System, kurz GPS genannt steht ein weltweit verfügbares, satellitengestütztes Navigationssystem hoher Genauigkeit für terrestrische und erdnahe Anwendungen.

GPS war ursprünglich durch das amerikanische Verteidigungsministerium (U.S. Department of Defense, DoD) als rein militärisches System konzipiert, wurde jedoch 1978 durch den INMARSAT[1] Act sowie 1983 durch den Senat[2] für den zivilen Einsatz freigegeben. Dies ist im "Federal Radionavigation Plan (FRP)" niedergelegt.

Heute, nunmehr zehn Jahre nach dieser grundlegenden Entscheidung haben sich Anwendungen von GPS geradezu lawinenartig entwickelt und greifen immer weiter in den Alltag ein. Der Grund hierfür ist, daß sich am Markt eine wachsende Anzahl Hersteller qualitativ hochwertiger und kostengünstiger Empfänger etablieren, die nunmehr die für Konsumer-Anwendungen akzeptablen Preiskategorien erreichen.

Wir wollen uns nun anschauen, was sich hinter dem GPS-System verbirgt, wie es funktioniert und was man damit alles anfangen kann.

2 Satelliten und Segmente

Wie bereits gesagt, GPS ist ein präzise arbeitendes Navigationssystem, das sich auf Satelliten abstützt, die die Erde in 12-Stunden-Bahnen[3] umkreisen. Diese Satelliten bilden den in der Literatur als "Raumsegment" bezeichneten Anteil des Gesamtsystems.

Die Satelliten umkreisen dabei die Erde in verschiedenen Bahnebenen, die verschiedene Winkel zwischen polaren

---

[1] International Maritime Satellite

[2] Senate Resolution 69 and House Resolution 190 9/10 1983

[3] 11' 58"

und äquatorialen Bahnen abdecken. Wir haben es also mit umlaufenden Satelliten und nicht mit geostationären zu tun. Die Satellitenbahnen sind in sechs sogenannte Abstandskäfige eingeteilt, von denen jeder für ca. vier Satelliten ausgelegt ist. Der mittlere Erdabstand beträgt ungefähr 25000 km oder 13500 nautische Meilen.

Das Ziel dieser Anordnung ist, das zu jeder Zeit und an jedem Punkt der Erde mehr als vier Satelliten gleichzeitig 'zu sehen' sind. Genauer gesagt die Elevation der Satelliten soll mehr als 5° über dem Horizont betragen. Dies ergibt sich aus der Tatsache, damit der Betrieb auch unter Verwendung einfacher Empfangsantennen mit Rundstrahl-characteristik (z.B. Patch-Antennen) möglich ist.

Heute befinden sich von den 24 geplanten ungefähr 20 Satelliten[4] im Orbit, wodurch eine 24-Stunden-Abdeckung bereits sichergestellt ist. Hiermit sind in der nördlichen Hemisphäre häufig sechs bis acht Satelliten gleichzeitig sichtbar. Die 24-Stunden-Abdeckung der Erde ist nach Angaben des DoD bereits ab 18 Satelliten prinzipiell erreicht. Das 'mehr' an Satelliten soll die Redundanz und damit die Navigation unter schwierigen Empfangs-verhältnissen verbessern. Wir werden darauf noch zu sprechen kommen.

Das Satelliten-Startprogramm sah vor zwischen 1978 und 1989 insgesamt zehn Satelliten (Block I) zu plazieren, um die Entwicklung von Empfängern zu ermöglichen. Diese Satelliten besitzen eine begrenzte Lebensdauer. Wie viele von Block I noch im Dienst sind, ist dem Autor nicht bekannt.

Die Plazierung der Stalliten des Block II begann im Februar 1989. Dieser Block umfaßt sowohl die für den betrieblichen Einsatz vorgesehenen als auch eingeplante Reserven mit insgesamt 28 Satelliten. Das GPS-Stationierungsprogramm verzögerte sich nicht zuletzt durch die Challenger-Katastrophe am 28.1.1986, so daß die volle Verfügbarkeit nicht wie geplant 1991 sondern erst jetzt erreicht wurde.

Über Block II hinaus ist Block IIR mit 20 Einheiten als 'Replacement' vorgesehen, die ab 1994/95 gestartet werden sollen und neben weiteren Verbesserungen eine Lebensdauer von mindestens 10 Jahren besitzen sollen.

Zurück zum Raumsegment. Die Satelliten besitzen standardmäßig zwei Downlink-Strecken. Die eine arbeitet auf 1.2 GHz[5] und ist der militärischen Komponente von GPS vorenthalten. Die zweite, für den zivilen Bereich interessante arbeitet im L-Band auf 1.6 GHz[6]. Auf dieser Strecke werden Daten sowohl für die militärische als auch für die zivile Nutzung in unterschiedlichen Modulationsverfahren und verschiedenen Codierungen übertragen. Wir werden die Unterschiede gleich näher diskutieren.

Zu den beiden Downlink-Strecken gehört ein Uplink im S-Band, auf dem Steuer- und Korrekturdaten vom "Steuersegment" zum Satelliten übertragen werden. Die Datenrate beträgt hier zwischen 500 und 4000 Bit/sec.

Hinter dem Begriff "Steuersegment" steht eine weltweit operierende, komplexe Organisation von Monitorstationen und dem Master Control Center (MCC), das sich in der Falcon Air Force Base in Colorado befindet.

Die Monitor-Stationen sind dabei über die ganze Erde verteilt und überwachen permanent die Signale der Satelliten und melden Abweichungen über eine 9.6 kBit/s-Strecke in das MCC. Dies ist notwendig, da die Navigation im GPS-System im wesentlichen auf der Messung und dem Vergleich von Signallaufzeiten basiert, die wetterbedingt wesentlichen lokalen Schwankungen unterworfen sein können. Ebenfalls sind die Satellitenbahnen Schwankungen durch Inhomogenitäten des Erdmagnetfeldes sowie der Interaktionen mit anderen Himmelskörpern unterworfen. Deshalb müssen die Bahn- und Ausbreitungsdaten permanent kontrolliert und 'nachgeregelt' werden, wobei die so aufgebaute 'Regelschleife' die Monitorstationen, das MCC sowie das Raumsegement, also die Satelliten selbst,

---

[4] bezogen auf das Jahr 1992

[5] 1227.60 MHz. Wird auch als L2-Frequenz bezeichnet

[6] 1575.42 MHz. L1-Frequenz

umfaßt. Die korrigierte Information wird nun über die Satelliten im sog. Nav-String an die Benutzer geschickt.

Das dritte, als "Benutzersegment" bezeichnete Segment, wird durch die GPS-Empfänger selbst bestimmt. Die Empfänger sind rein passiv, das heißt, sie hören lediglich auf die Information vom Satelliten und werten diese in Form des Nav-Strings aus. Ein Rückkanal, wie er bei anderen satellitengestützten Systemen[7] implementiert ist, ist bei GPS nicht vorgesehen. Schauen wir uns das Verfahren der Informationsaussendung und die Vorgänge im Empfänger näher an.

3 Zweierlei Codes

Der militärisch nutzbare Dienst benutzt ein breitbandiges Modulationsverfahren auf Basis eines Bandspreizverfahrens[8], wobei Spreizcode und Inhalt nicht öffentlich zugänglich sind. Dieser Dienst wird als PPS[9], oder in der Literatur als P-Code bezeichnet, wobei man das "P" mit den Begriffen "Precision" oder "Protected" erweitern kann.

Wie dem auch sei, der PPS ist nur Nutzern zugänglich, die durch das U.S. Department of Defense authorisiert sind und das dürften nach Lage der Dinge ausschließlich militärische Dienststellen sein. Die Zugangsberechtigung wird durch die Verschlüsselung des P-Code-Signales sichergestellt. Der PPS ermöglicht ohne weitergehende besondere Maßnahmen eine Genauigkeit im Bereich von Metern.

Für zivile Anwendungen kommt im Gegenzug ausschließlich der sogenannte C/A-Code in Betracht. Hinter dieser Abkürzung steht der Begriff "Coarse Acquisition", aus dem sich bereits ablesen läßt, daß der zivile Dienst SPS[10] eine geringere Genauigkeit besitzt als der militärisch genutzte PPS.

Das Modulationsverfahren das dem C/A-Code zu grunde liegt ist ebenfalls ein phasenmoduliertes Spreizverfahren, jedoch ist die Bandbreite gegenüber dem P-Code deutlich geringer. Es wird hier mit einer Schaltrate (switching rate) von 1.023 MHz gearbeitet. Der Unterschied zum P-Code hat etwas mit der Störbarkeit des Systems zu tun und soll an dieser Stelle nicht näher diskutiert werden.

Die Datenrate, mit der die Sendungen von den Satelliten abgestrahlt werden sind recht niedrig. Es wird mit 50 Bit/sec gearbeitet, wobei das Signal über den Spreizcode über den gesamten Empfangskanal verteilt wird. Der Spreizcode hat hier nichts mit Verschlüsselung zu tun. Er stellt lediglich sicher, daß alle Satelliten quasi auf der gleichen Frequenz arbeiten können ohne sich gegenseitig zu stören. Zu diesem Zweck wird aus der Satellitennummer ein Pseudozufallsmuster gebildet, das mit dem Sendesignal gemischt wird und für die Spreizung sorgt.

Im Empfänger können einzelne Satellitensignale per Korrellation erkannt und über 'Herausrechnen' des Pseudo-Zufallsmusters wieder getrennt werden.

Dies macht es einem Empfänger erst möglich quasi gleichzeitig mehrere Satelliten zu beobachten und aus den beobachteten Signallaufzeiten die eigentliche Positionsbestimmung vorzunehmen.

---

[7] z.B. EUTELTRACS (OmniTracs)

[8] Spread Spectrum Direct Sequence

[9] Precise Positionig Service

[10] Standard Positioning Service

Gute Empfänger sind dabei in der Lage, sechs Kanäle gleichzeitig zu empfangen und auszuwerten. Wir haben vorhin gehört, daß zur dreidimensionalen Navigation vier Satelliten ausreichen, warum also sollen mehr Kanäle gleichzeitig empfangen werden?

Die Frage ist einfach zu beantworten. Stellen wir uns einen Empfänger vor, der sich in hügeligem Gelände oder in einer Stadt mit höheren Gebäuden bewegt.

Ein derartiger Empfänger wird immer nur einen Teil des gesamten Himmels sehen, wobei dieses Segment je nach örtlicher Bebauung und Bedeckung ständig seine Lage ändert.

Somit verändert sich auch laufend die Sichtbarkeit der Satelliten. Ein Empfänger, der lediglich vier 'Kanäle' besitzt, ist dabei hoffnungslos überfordert, denn er verliert bei der geringsten Änderung der Satellitenkonstellation den 'Track' und damit die Position.

Empfänger, die mehr als die vier absolut notwendigen Satelliten auswerten können, sind im terrestrischen Einsatz auf dem Festland deutlich im Vorteil.

Neben Sechskanal-Empfängern, die in guter Qualität aktuell verfügbar sind, werden derzeit Achtkanalgeräte entwickelt, die in Kürze den Markt erreichen werden[11].

4 Es steht im Almanach

Wie die Positionsbestimmung nun arbeitet haben wir bereits kurz angedeutet. Die Basis hierfür ist eine äußerst präzise Laufzeitmessung des Empfangssignals, wobei die einzelnen Satellitensignale durch Korrellation aus dem Signalgemisch herausgeschält werden.

Durch Vergleich von vier Satellitensignalen kann die eigene Position in allen drei Dimensionen exakt bestimmt werden.

Entscheidend hierfür ist, daß alle Satelliten mit der exakt gleichen Zeitreferenz arbeiten, damit die Korrellationszeitpunkte auch wirklich übereinstimmen und den Rückschluß von der Laufzeit auf die Entfernung zulassen.

Zu diesem Zweck besitzt das GPS-System eine inherente Zeit, die mittels Atomfrequenznormale, die in den Satelliten eingebaut sind und über das MCC permanent synchron gehalten werden. Die Genauigkeit der GPS-Zeit beträgt 10^{-8}.

Die GPS-Zeit steht allen Nutzern des Systems zur Verfügung und kann in den verschiedensten Bereichen eingesetzt werden[12]. Basis für die GPS-Zeit ist prinzipiell die Standardzeit UTC, wobei das GPS-System in anderen Intervallen korrigiert wird als UTC. Zu diesem Zweck sind im GPS-System Schaltsekunden definiert, die einen Zeitangleich auf Ankündigung erlauben.

Ein GPS-Empfänger muß sich zunächst auf diese hochgenaue Zeit aufsynchronisieren, bevor er mit der Navigation beginnen kann.

Als nächstes benutzt der GPS-Empfänger den sogenannten Almanach zur Bestimmung der Sichtbarkeit der

---

[11] Diese Aussage basiert auf der Lage in 1992

[12] Die Anwendung zur Synchronisation externer Zeitbasen wird im Folgevortrag behandelt.

Satelliten und damit zur ersten groben Auswahl, welche er zur Positionsbestimmung heranziehen will.

Der Almanach ist eine Art 'Grundlagenwerk' in dem die Positionen letztendlich aller am System beteiligten Satelliten, jedoch mit geringerer Genauigkeit gespeichert ist. Normalerweise werden die Almanach-Daten in einem gepufferten Schreib-Lesespeicher im Empfänger abgelegt und laufend aufdatiert.

Sinn und Zweck des Almanach ist es, die Zeit bis zur ersten Positionsbestimmung (Time to First Fix, TTFF) möglichst gering zu halten. Der Almanach erlaubt dem GPS-Empfänger eine Grobauswahl geeigneter Satelliten, deren exakte Bahndaten, die sog. 'Ephemeriden', er im nächsten Schritt empfangen und verrechnen muß.

Der Almanach wird über alle Satelliten abgestrahlt. Somit genügt in diesem Schritt der Empfang eines einzigen Satelliten. Die gesamte Aufdatierung dauert 12.5 Minuten, falls der gesamte Almanach 'out-of-date' ist. Ist er aufdatiert, so genügt eine entsprechend kurze Zeit ihn 'up-to-date' zu halten.

Die Ephemeriden, also die exakten Bahndaten werden vom jeweiligen Satelliten individuell ausgestrahlt und alle 30 Sekunden aufdatiert. Der Empfänger muß also nach erstmaliger Grobauswahl über den Almanach die Ephemeriden empfangen und ist dann in der Lage, die Laufzeitunterschiede zwischen den Satelliten in Ortsinformation umzusetzen.

5 Fehler und ihre Ursachen

Im vorangegangenen Abschnitt haben wir das Prinzip der Orstbestimmung beschrieben. Wie man sich denken kann, ist dieses Verfahren bestimmten Ungenauigkeiten unterworfen die verschiedene Ursachen haben.

Zum einen sind es physikalische Vorgänge in der Atmosphäre sowie Kurzzeitschwankungen in den System- und Empfängeruhren, die dazu führen, daß die Laufzeit nicht exakt gemessen werden kann. Deshalb spricht man in diesem Zusammenhang auch von 'Pseudo-Range'-Messung.

Die Zeitungenauigkeit bildet sich dann auf die Ortsungenauigkeit ab. In diese Klasse fallen zudem Fehler, die durch Mehrwegeausbreitung und Signalreflexionen hervorgerufen werden.

Die zweite Fehlerklasse hat ihre Ursache in der Geometrie der Erde und der Satellitenbahnen. Die Erde ist weit davon entfernt eine exakte Kugel zu sein. Die Form der Erde wird vielmehr in Form eines sog. WGS-84-Ellipsoides[13] beschrieben. Dabei wird ein erdbezogenes Koordinatensystem ECEF[14] benutzt, dessen Z-Achse parallel zur Drehachse steht und die X-Achse den Punkt (0/0) schneidet.

Bezogen hierauf wird der Fehler GDOP[15] mit den Unterklassen HDOP, PDOP, TDOP und VDOP definiert. HDOP und VDOP geben einen Richtwert an, wie die Geometrie der Satellitenbahnen in Bezug zur Erdoberfläche in horizontaler Richtung (Ebene Nord/Ost) sowie in vertikaler Richtung, also senkrecht dazu, die Positionsbestimmung verschlechtert.

Der PDOP gibt die Positionsverschlechterung an, die dadurch herrührt, daß die Satelliten selbst eine ungünstige Position zum Empfängerstandort besitzen. Die aus der Laufzeitmessung resultierende Positionsberechnung basiert

---

13 Das World Geodetic System-1984 wird als weltweite Referenz der Lage der Erdoberfläche benutzt

14 Earth Centered Earth Fixed

15 Geometric Dilution of Precision

wie die klassische Dreieckspeilung darauf, daß die Stützstellen möglichst günstig zueinander stehen. Befinden sich beispielsweise alle Satelliten in einem Quadrant des Himmels, so ist die Positionsbestimmung wesentlich schlechter als wenn die Satelliten gleichmäßig verteilt in verschiedenen Richtungen stehen.

Der TDOP schließlich gibt die Positionsverschlechterung durch die Zeitabweichungen zwischen dem synchronen GPS-Satellitensystem und der empfängerinternen Uhr an.

Insgesamt kann bei guten Empfängern im SPS, d.h. mit C/A-Code aohne zusätzliche Maßnahmen in 95% aller Fälle mit einer Positionsgenauigkeit von 29m horizontal und 46m vertikal gerechnet werden. Hieraus ergibt sich eine dreidimensionale Gesamtgenauigkeit von 51m[16].

Eine weitere Quelle des Fehlers sei nicht verschwiegen. Sie wird künstlich erzeugt und ist unter dem Begriff 'Selective Availability' (SA) bekannt.

6 Selektive Verfügbarkeit

Am 25. März 1990 brachte das U.S. DoD formal die sogenannte 'Selective Availability' kurz SA in das GPS-System ein. Hinter diesem Begriff steht ein Verfahren, die Signale des SPS, also innerhalb des offenen C/A-Codes, die Zeitgenauigkeit der Satellitensignale individuell zu verschlechtern und damit die auf der Laufzeit basierende Pseudorange-Messung in ihrer Genauigkait einzuschränken.

Die Intention ist, die militärische Nutzung des GPS-Systems, zum Beispiel zum Zielanflug (Cruise Missile), nachhaltig zu verhindern. Zu diesem Zweck wird die HDOP auf 100m und VDOP auf 159m begrenzt, wodurch sich ein Fehlerellipsoid von ca. 174m einstellt.

Für nichtmilitärische Nutzer, zum Beispiel im Rahmen der Seenavigation ist diese Genauigkeit vollkommen ausreichend.

Auch die mit aktiviertem SA erzielbare Zeitgenauigkeit von 500 ns erscheint immer noch ausreichend.

Für bestimmte Anforderungen im zivilen Bereich, zum Beispiel zum Einfahren in einen Hafen genügt die Genauigkeit jedoch nicht mehr. dies führt im zivilen Sektor zur Entwicklung des sog. 'Differential GPS'.

7 Abweichung kompensiert

Hinter dem Begriff 'Differential GPS' steckt die zivile Antwort auf SA. Wie dies funktioniert kann ohne viel Mathematik leicht und einfach erklärt werden.

Gegeben sei eine Station mit fester Lage, deren Standort bzw. Koordinaten mit geodätischen Methoden exakt bestimmt worden ist. Als Beispiel könnte ein Leuchtfeuer im Bereich einer Hafeneinfahrt herangezogen werden. Diese Station wollen wir als 'Referenzstation' bezeichnen.

Die Referenzstation ihrerseits besitzt einen GPS-Empfänger, der einen Standort aus der Satellitenposition bestimmt. Wie gerade diskutiert ist dieser gemessene Standort einem Fehler unterworfen, der von den naturgegebenen und den künstlich eingebrachten (SA) herrührt.

---

[16] Basis: ALCATEL SEL GLOBOS 2000

Ein Rechner in der Referenzstation kann nun seinerseits die vom GPS gemessene Position mit der wirklichen, vorherbestimmten vergleichen und hieraus einen dreidimensionalen Korrekturwert ermitteln.

Diesen Korrekturwert kann die Referenzstation nun über Funk, z.B. als Seefunk-Rundstrahldienst (Bakensendung) aussenden.

Jeder bewegliche Empfänger kann diese Sendung nun aufnehmen und seinerseits in die Standortberechnung seines bordeigenen GPS-Empfängers einspeisen.

Befindet sich der bewegliche Empfänger in der Nähe (~20 NM) der Referenzstation und arbeitet er mit dem gleichen Set an Satelliten, so können die Fehler am Standort des beweglichen Empfängers mit denen am Standort der Referenzstation gleichgesetzt und kompensiert werden.

Was in dieser vereinfachten Darstellung leicht und einfach erscheint, setzt in praxi jedoch ein gerüttelt Maß an Mathematik und Rechenaufwand voraus. Ebenfalls muß berücksichtigt werden, daß die Satellitenkonfiguration sowie die Funkübertragung (Lebensdauer der Korrekturwerte) erheblich in die erzielbare Genauigkeit eingeht.

Das Verfahren an sich ist jedoch zuverlässig und wird in der Seeschiffahrt bereits mit Erfolg angewandt.

8 Glossar

Almanach	Im Almanach sind die ungefähren Orbitalparameter aller GPS-Satelliten als Position und Geschwindigkeit gespeichert. Er erlaubt dem GPS-Empfänger, die Sichtbarkeit einzelner Satelliten in der Akquisitionsphase zu bestimmen. Die Almanachdaten werden von allen Satelliten für das gesamte System im Raster von 12.5 Minuten ausgestrahlt und wöchentlich aktualisiert.
Altitude Hold	Falls nur drei Satelliten verfügbar sind, kann die Position nur zweidimensional, d.h. ohne Höhenangabe bestimmt werden. Die Höhe muß entweder vorgegeben werden, wird aus der letzten dreidimensionalen Navigation übernommen oder wird bezogen auf den Erdmittelpunkt im WGS-84-Ellipsoid berechnet. Brauchbar für Anwendungen in der Seefahrt.
CEP	Circular Error Probable. Der Radius eines Kreises um den wahren Ort des Empfängers, der 50% aller Positionsangaben des Navigationssystems enthält.
Clock Error	Die unkompensierte Zeitdifferenz zwischen der des GPS-Empfängers zur synchronen GPS-Zeit
C/A-Code	Coarse Acquisition Code. Ein DS-Spreizcode zur Bestimmung des Abstandes zum sendenden Satelliten. Gedacht für nichtmilitärische Benutzer des GPS-Systems.
DGPS	Differential GPS. Verfahren zur Verbesserung der Positionsgenauigkeit durch Verwendung einer Referenzstation
DS	Direct Sequence. Signal-Spreizverfahren auf Basis der Modulation mit einer Pseudo-Zufallsfolge.
ECEF	Earth Center Earth Fixed. Koordinatensystem, das auf den WGS-84-Ellipsoid bezogen ist und dessen Z-Achse parallel zur Drehachse der Erde steht und die X-Achse den Punkt, an dem sich Äquator mit dem Nullmeridian schneidet. Die Y-Achse steht senkrecht zu den beiden anderen Achsen.

Ephemeriden	Im Gegensatz zu den Daten des Almanach sind die Ephemeriden genauer. Sie werden von jedem Satelliten individuell ausgesendet und im Raster von 30 Sekunden aufdatiert.
GDOP	Geometric Dilution of Precision. Ein Wert, der die Auswirkungen der Geometrie des GPS-Systems auf die Positions- und Zeitgenauigkeit am Empfangsort beschreibt. Hierzu gehören PDOP, TDOP sowie HDOP und VDOP.
HDOP	Horizontal Dilution of Precision. Ein Wert, der die Auswirkungen der Geometrie des GPS-Systems auf die horizontale Positionsgenauigkeit der Ebene parallel zur Erdoberfläche am Empfangsort beschreibt.
L1	Empfangsfrequenz 1575.42 MHz, über die sowohl die Sendungen im C/A- als auch die im P-Code übertragen werden. Diese Frequenz wird betrieblich genutzt.
L2	Empfangsfrequenz 1227.60 MHz, über die Sendungen im P-Code übertragen werden. Diese Frequenz wird intern zu Messungen der atmosphärischen Laufzeiten genutzt.
P-Code	Precision- (Protected-) Code. Ein DS-Spreizcode zur Bestimmung des Abstandes zum sendenden Satelliten. Gedacht für militärische Benutzer des GPS-Systems.
PDOP	Position Dilution of Precision. Dieser Wert beschreibt Fehler, die durch ungünstige Satellitenpositionen hervorgerufen werden.
PPS	Precise Positioning Service. GPS-Dienst auf Basis des P-Codes
Pseudorange	Abstandsberechnung zum sendenden Satelliten auf Basis der Messung der Phase zwischen dem Pseudozufallssignal des Satelliten zu dem des im Empfänger generierten. Die Messung unterliegt Ungenauigkeiten durch physikalische Effekte.
SA	Selective Availability. Künstliche Verschlechterung des C/A-Code-Signales im SPS gegenüber dem des PPS.
SPS	Standard Positioning Service. GPS-Dienst auf Basis des C/A-Codes
TTFF	Time To First Fix. Zeitbedarf zwischen dem Einschalten des Empfängers und dessen erster Positionsausgabe. Hängt ab von der Aktualität der Almanachdaten.
VDOP	Vertical Dilution of Precision. Ein Wert, der die Auswirkungen der Geometrie des GPS-Systems auf die vertikale Positionsgenauigkeit senkrecht zur Ebene parallel zur Erdoberfläche am Empfangsort beschreibt.

9 Literatur

/1/ SEL ALCATEL "Improving GPS Accuracy by Using Differrential Techniques"; Application Note ANA03 12/91, ALCATEL STANDARD ELEKTRIK LORENZ AG, Lorenzstraße 10, D-7000 Stuttgart 40

/2/ Schlemper, E. "GPS und seine zivilen Anwendungen", Manuskript zum Kurzvortrag, ALCATEL SEL

/3/ Herwish, M., Turbé, G. "GPS comes of age", Defense Electronic & Computing, IDR 7/91

/4/ Rockwell Int'l "NavCore V, Designer Guide", März 1992, Rockwell International

/5/ Klotz, E "Satelliten zeigen den gewünschten Weg", Funkschau 24/90, S 42ff.