

# Unendliche Möglichkeiten: Preiswertes GPS-Modul für eigene Projekte (1)

Dr.-Ing. KLAUS SANDER – info@sander-electronic.de

Der rapide Preisverfall von GPS-Empfängern in den vergangenen Monaten führt zu immer neuen Anwendungen. Nicht immer ist ein fertiges GPS-Gerät sinnvoll. Neben der allgemein bekannten Positionsbestimmung, kann die exakte Zeit ermittelt werden, und es lassen sich weltweit Geräte und Prozesse mit hoher Genauigkeit synchronisieren – interessant für den jungen James Bond unter den Lesern des FUNKAMATEUR. Mit diesem Beitrag unternehmen wir einen Einstieg in diese neue Technik. Im Eigenbau lassen sich auf der Basis fertiger GPS-Empfangsmodule preiswert Projekte realisieren, die bisher undenkbar waren. Nach einer Einführung folgt dann die Praxis mit dem PLUTO.

Das Weltall, unendliche Weiten ... und in 20200 km Höhe über der Erde kreisen 24 Satelliten. Sie wurden aber nicht von der Enterprise ausgesetzt, sondern sind ganz irdischer Natur.

Dieses Satellitennetz wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium DOD (Department of Defense) in den siebziger Jahren entwickelt und in den achtziger Jahren vollständig ausgebaut. Ausgangspunkt war das SDI-Programm.

Bodengestützte Navigationssysteme gab es schon einige Jahre (z.B. LORAN). Sie haben aber einen – aus militärischer Sicht – gravierenden Nachteil. Was tun, wenn der Feind doch kommt und eine Bombe auf die Sendestationen dieses Systems wirft? Dann ist es aus mit der Navigation, und man hat ein Problem. Bei einem satellitengestützten System hat dagegen der Feind ein Problem.

## ■ Zivile Nutzung

Die Nutzung des GPS war nie auf militärische Zwecke beschränkt. Denn bereits bei der Bewilligung der finanziellen Mittel für die Entwicklung hat sich die Meinung durchgesetzt, daß ein solch teures System (teuer in der Entwicklung und sicher auch teuer in der Unterhaltung) eine zivile Nutzung erhalten muß.

Damit erklären sich auch die beiden unterschiedlichen Frequenzen L1 und L2 (mit unterschiedlicher Genauigkeit), die bereits bei der Konzeption berücksichtigt wurden. Und da man niemals sicher sein kann, hat der amerikanische Präsident 1996 ein Dokument unterzeichnet, welches die langfristige Nutzung des „GPS Standard Positioning Service“ für friedliche, zivile, kommerzielle und wissenschaftliche Zwecke garantiert – und das Ganze kostenlos. Noch heute ist der Betreiber des Systems das DOD und trägt auch die Kosten.

Um möglichen Unholden aber nicht zu viel Chancen für ihre Untaten zu geben, wurde die Genauigkeit für zivile Zwecke auf 100 m beschränkt. Aber wir werden noch sehen, daß sich durch einige Tricks die Genauigkeit erhöhen läßt.

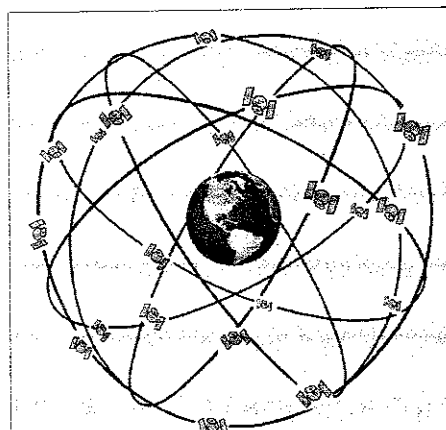


Bild 1: 24 Satelliten kreisen auf sechs, jeweils um 60° gegeneinander geneigten Bahnen um die Erde.

Die ersten zivilen Anwendungen waren durch den Preis der GPS-Empfänger noch stark auf solche Gebiete beschränkt, wo eine präzise Navigation erforderlich ist und Geld für den Empfänger keine so große Rolle spielt. Bei den Kosten eines Öltankers oder eines Flugzeugs machen sich einige tausend bis zehntausend DM für das Navigationssystem sicher nicht bemerkbar. In den letzten Jahren sind jedoch die Preise für GPS-Empfänger extrem gefallen. Fertige Geräte für das Auto oder für die Hosentasche gibt es je nach Ausstattung auch für bereits weit unter 1000 DM. Das Highlight für den Hobbyelektroniker sind die in letzter Zeit preiswert verfügbaren GPS-Empfangsmodule, die bereits ein dekodiertes Ausgangssignal zur weiteren Verarbeitung liefern. Und damit können Anwen-

dungen realisiert werden, die industrielle Fertigeräte nicht ermöglichen.

## ■ Wie funktioniert GPS?

Das, was einem Atommodell ähnelt, sind 24 Satelliten (drei der 24 Satelliten sind Reservesatelliten), die in 20200 km Höhe auf sechs Bahnen die Erde umkreisen (Bild 1). Die Bahnen zwischen jeweils zwei Satelliten sind in Äquatornähe gegeneinander um 60° geneigt. Damit ist eine gleichmäßige Verteilung der Satelliten über die gesamte Erde gewährleistet, wodurch mindestens vier, meist jedoch fünf bis sieben Satelliten von jedem Punkt der Erde aus „sichtbar“ (d.h. empfangbar) sind.

Zur Bestimmung der eigenen Position müssen mindestens vier Satelliten sichtbar sein (Bild 2). Aus der Position der Satelliten und der Entfernung zu ihnen (diese läßt sich über die Signallaufzeit berechnen) kann die eigene Position errechnet werden.

Damit das Ganze exakt funktioniert, besitzt jeder Satellit eigene Rubidium- und Cäsium-Atomuhren. Aber auch auf der Seite des Empfängers ist eine zur Satellitenuhr synchrone Zeitbasis notwendig.

Aus Kostengründen erhalten die Empfänger nur eine Quarzzeitbasis, die gegenüber der Satelliten-Atomuhr nicht ganz so genau ist. Ihr Gangfehler läßt sich jedoch berechnen und korrigieren. Das ist auch der Grund, weswegen zur Positionsbestimmung nicht drei, sondern vier Satelliten erforderlich sind.

Auf der Erde selbst sind für Management und Kontrolle eine Master-, fünf Kontroll- und drei Verbindungsstationen zuständig. Die Masterstation hat eine eigene Cäsium-Atomuhr. Mit dieser werden die Daten aller wahrnehmbaren Satelliten verglichen. Die Ergebnisse werden im Intervall von 15 Minuten an die Satelliten übertragen.

Die Kontrollstationen sind so positioniert, daß jeder Satellit sie mindestens einmal am Tag überfliegt. Ähnlich wie bei der eigenen Positionsbestimmung „sieht“ umgekehrt jeder Satellit mindestens vier Kontrollstationen. Dadurch kann auch die Position des Satelliten exakt bestimmt und die Genauig-

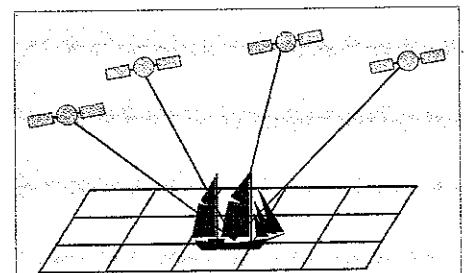
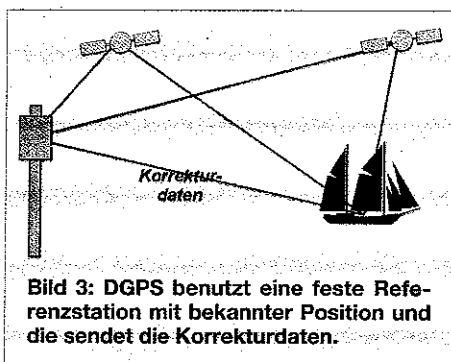


Bild 2: Die eigene Position wird nach Laufzeitmessung der Satellitensignale aus den Positionsdaten der Satelliten berechnet.

keit seiner Uhr geprüft und eventuell korrigiert werden.

Jeder dieser Satelliten sendet seine kodierten Signale im L-Band auf den Frequenzen 1575,42 MHz (auch als L1 bezeichnet) und 1227,60 MHz (L2). Die beiden Frequenzen sind unterschiedlichen Diensten zugeordnet. L1 ist für allgemeine zivile Nutzung freigegeben und wird auch als SPS (Standard Positioning Service) bezeichnet. L2 ist wesentlich genauer und wird deshalb auch PPS (Precise Positioning Service) genannt. Dieser Dienst ist nur für militärische Anwendungen zugelassen.

Diese Frequenzen werden aus einer Grundfrequenz von 10,23 MHz abgeleitet, die die in den Satelliten befindlichen Atomuhren liefern. Ebenso werden weitere Frequenzen aus der Grundfrequenz durch Vervielfachung und Teilung abgeleitet.



**Bild 3: DGPS benutzt eine feste Referenzstation mit bekannter Position und die sendet die Korrekturdaten.**

Die zur späteren Positionsbestimmung benötigten Daten werden nach einem speziellen Verfahren kodiert und in Frames, die sich wiederum aus Subframes zusammensetzen, übertragen. Unter anderem sind im Datensignal enthalten:

- Kennung (identifiziert den jeweiligen Satelliten),
- die Bahndaten des Satelliten,
- allgemeine Bahndaten des gesamten Systems,
- Korrekturdaten für die Satellitenzeit.

Den Trägerfrequenzen wird das Datensignal nach einem Spread-Spektrum-Verfahren aufmoduliert. Dadurch ist es nicht nur gegen natürliche Störungen besonders sicher, sondern kann auch nicht durch Dritte gestört werden.

### ■ Wie genau ist GPS?

Wie erwähnt, gibt es zwei verschiedene Sendefrequenzen L1 und L2. Beide enthalten unterschiedlich codierte Daten. Über L1 wird der C/A-Code (Coarse Acquisition) und über L2 der P-Code (Precision Code) gesendet. Uns interessiert hier nur der zivil nutzbare L1-Dienst.

Mit dem C/A-Code ist theoretisch eine Positionsgenauigkeit des ermittelten eigenen Standortes auf 30 m genau möglich. Damit nun nicht die dunkle Seite der Macht

(oder ein Terrorist) irgendwelche GPS-gesteuerten Bomben oder ähnliches baut, wurden die codierten Daten künstlich verschlechtert (die GPS-lose DDR hat zu gleichem Zweck alle öffentlich zugänglichen Landkartendarstellungen verzerrt).

Das Verfahren dazu nennt sich Selective Availability (SA). Das DOD als Betreiber – und vorweg die politische Führung – behält sich vor, zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Genauigkeit zu ändern. Und davon wird niemand informiert. Sie, als Nutzer, wissen damit nicht, wie genau Ihr GPS gerade ist. Sie können jedoch davon ausgehen, daß mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99 % das Meßergebnis genauer als 300 m und mit 95 % genauer als 100 m ist.

Durch trickreiche Programmierung auf der Empfängerseite läßt sich das Ergebnis aber noch verbessern, z.B. nutzen einige Systeme den Dopplereffekt zur Geschwindigkeitsmessung und korrigieren so die aktuellen Positionswerte.

Ebenso wird in manchen Systemen der Mittelwert über die vorangegangenen Meßwerte gebildet. Würden Sie die Meßwerte direkt erfassen und grafisch darstellen, so würde ein Diagramm mit einem zufällig um die aktuelle Position verteilten Punktmuster entstehen. Da der Mensch aber nicht die Fortbewegungsart eines Flohs hat und urplötzlich die Position um einige zehn Meter ändern kann, funktioniert dieser Glättungsalgorithmus.

Ihr GPS-Empfänger zeigt also nicht die tatsächlichen Meßwerte an, sondern täuscht eine höhere Genauigkeit vor. In der Praxis, wenn es nicht gerade um Landschaftsvermessung oder ähnliches geht, ist das meist unwichtig. Wenn Sie nach einem Schiffsuntergang auf einem selbstgebauten Floß und nur mit einem GPS-Gerät bewaffnet (Nahrungsmittelvorräte vorausgesetzt) irgendwann eine Insel sehen, spielen die letzten 100 m keine Rolle mehr ... den Strand sehen Sie mit Ihren eigenen Augen.

### ■ DGPS bringt mehr Genauigkeit

Wirklich genauer geht es mit DGPS (Differential Global Positioning System). Der Trick ist ganz einfach. Irgendwo befindet sich in der Nähe (das können auch einige

100 km sein) eine feste Referenzstation. Sie empfängt ständig von allen sichtbaren Satelliten kommende Daten und kann, da sie ihre Koordinaten selbst exakt kennt, die (künstlich erzeugten) Fehler der Satelliten für die eigene Position ermitteln.

Diese Fehler gelten natürlich auch für alle anderen (beweglichen) GPS-Empfänger, die die gleichen Satelliten empfangen. Und damit können diese ihre eigene Genauigkeit erhöhen. Der Verbesserungsfaktor liegt etwa bei 10. Man kann also im günstigsten Fall eine Genauigkeit in der Größenordnung von etwa 5 m erreichen.

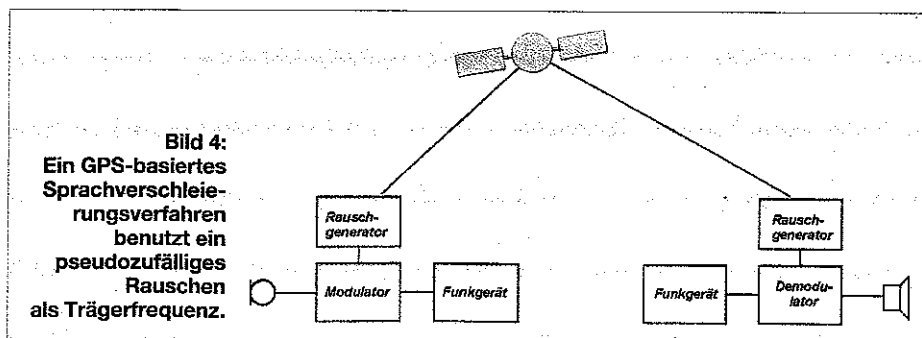
Die Referenzstationen werden von öffentlichen und privaten Einrichtungen betrieben. Einerseits sind es Rundfunkanstalten, welche die Korrekturdaten im RDS-Signal (Radio Data System) mit senden. Daneben gibt es Langwellensender und auch Schiffs- und Flughäfen betreiben solche Stationen. Die Telekom hat vor einigen Jahren ein solches System im Langwellenbereich vorgestellt, und auch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie betreibt in Mainflingen eine Referenzstation.

Ein kleiner Nachteil: Der militärische Vorteil der Unzerstörbarkeit durch feindliche Angriffe geht dabei natürlich teilweise verloren. Aber hier geht es ja um die zivile und friedliche Nutzung.

Ein weiterer, nicht unerheblicher Nachteil ist die derzeit geringe Geschwindigkeit für das DGPS. Da die Referenzstation erst einmal die Korrekturwerte errechnen muß sowie anschließend die Korrekturdaten mit (derzeit) relativ geringer Geschwindigkeit übertragen werden und dann noch der Empfänger des Nutzers das Meßergebnis korrigieren muß, kann es z.B. bei Flugzeugen doch schon zu Problemen kommen. Sie landen schneller neben der Landebahn, als das korrigierte Meßergebnis bereitsteht. Aber auch dieses Problem wird bald gelöst sein.

Vielleicht erübrigt sich das Ganze mit DGPS aber, weil nach einer Information in [1] in zwei bis drei Jahren standardmäßig die Genauigkeit auch für zivile Anwender um den Faktor des DGPS verbessert werden soll.

Eines jedoch sollten Sie nie tun: Kaufen Sie nie ein Grundstück von einem Immobilien-



**Bild 4: Ein GPS-basiertes Sprachversleierungsverfahren benutzt ein pseudozufälliges Rauschen als Trägerfrequenz.**

händler, der es nur mit GPS vermessen hat. Einer von beiden kann dabei gewinnen, für den anderen wird es teuer, da aufgrund der Flächenberechnung der Fehler quadratisch in das Ergebnis eingeht.

■ **Y2K auch bei GPS**

Das Jahr-2000-Problem gibt es möglicherweise auch bei älteren GPS-Empfängern. Da das GPS relativ neu ist, versichern die Gerätehersteller, dies berücksichtigt zu haben. Prüfen Sie es trotzdem.

[11] weist noch auf ein anderes Problem hin. Im GPS werden die Monate seit 1980 in einer 10stelligen Binärvariablen gezählt. In der Nacht vom 21. zum 22. August ist die 1024. Woche erreicht, und der Zähler läuft über (GPS week number rollover).

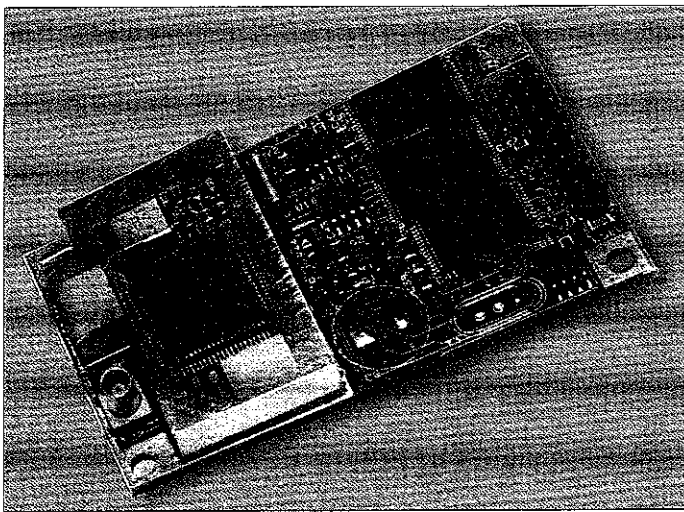


Bild 5:  
Ein preiswertes  
GPS-Modul wird  
unter dem Namen  
JUPITER angeboten.

Foto: Rockwell

Dann geht die Wochenzählung von vorn bei 0 los. Ältere Empfänger wissen dann nicht mehr, wo sie sind. Nach einer automatisch ablaufenden Reinitialisierung sollte dann jedoch wieder alles normal weitergehen (... sagen die Hersteller).

■ **Nicht nur Navigation**

Die Hauptanwendung eines GPS-Empfängers ist natürlich die Navigation jeglicher Art. Dazu gehört natürlich nicht nur die von Schiffen und Flugzeugen. Auch LKWs und private Autos werden immer mehr mit GPS ausgerüstet. Handheldgeräte (oder solche für die Hosentasche) gewinnen künftig auch immer mehr an Bedeutung. Insbesondere die elektronische Speicherung von Landkarten und Stadtplänen machen GPS zu einem wertvollen Orientierungshilfsmittel. Besonders interessante und effektive Anwendungen ergeben sich im zivilen Bereich, wenn ein weiterer Funkkanal für den Nutzer zur Verfügung steht. So lassen sich ganze Fahrzeugflotten von Ferne aus überwachen und bei Bedarf steuern. Einige Beispiele sollen das verdeutlichen.

Bei herkömmlichen GPS-Systemen im Auto erhalten Sie nur Ihre aktuelle Position, und Ihnen wird eine Straßenkarte angezeigt.

Nun stehen Sie aber im Stau. Die Stauinformation haben Sie zwar über den Rundfunk (z.B. durch die RDS-Verkehrsmeldungen) erhalten, die anderen Autofahrer allerdings auch. Existieren Seitenstraßen, so können Sie versuchen, darüber auszuweichen. Die anderen versuchen das gleiche, und der nächste Stau ist vorprogrammiert.

Hätte ein zentraler Verkehrsleitreechner Informationen über den aktuellen Standort und das Fahrziel jedes einzelnen Autos im Stau, so könnte er eine optimale Strategie festlegen und einzelnen Autos per Funk Ausweichmöglichkeiten empfehlen (es müssen natürlich mehrere Seitenstraßen vorhanden sein). Auch große Transportunternehmen können auf diese Weise ihre Fahrzeuge überwachen.

Ein Schritt in diese Richtung ist schon Realität. Autoverleihfirmen beschränken den Bereich des durch Sie gemieteten Autos, und bei Überschreitung wird Ihnen per Funk die elektronische Wegfahrsperr aktiviert (aus Sicherheitsgründen erst dann, wenn Sie länger anhalten).

Die Technik ist selbstverständlich nicht auf Fahrzeuge beschränkt. Irgendwann wird es GPS und Funkgeräte in der Größe einer Armbanduhr geben. Und dann können medizinisch z.B. durch Herzinfarkt gefährdete Personen ständig überwacht werden, und im Notfall steht schnellstmöglich medizinische Hilfe zur Verfügung.

Sinnvoll ist diese Überwachung vermutlich immer, wenn es um Verbrechensbekämpfung und medizinische Hilfe geht. Ist die Technik einmal da, wer verhindert den Mißbrauch? Gesetzliche Vorschriften allein werden das nicht garantieren können. Hoffen wir, daß die Technik immer verantwortungsbewußt eingesetzt wird. Wir sollten uns aber nicht bedingungslos darauf verlassen. Doch damit genug der Beispiele...

Nun steht also mit dem GPS-Signal auch ein exaktes Zeitsignal zur Verfügung. Damit lassen sich weltweit Geräte und Prozesse

synchronisieren. Eine sehr interessante Anwendung ergibt sich bei der Verschleierung der Sprachübertragung über Funk.

Normalerweise wird das Sprachsignal zur Übertragung per Funk mit einem sinusförmigen Träger moduliert. Nun kann man die Trägerfrequenz jedoch auch durch ein Rauschsignal ersetzen. Das Ergebnis dieser Modulation ist ein Rauschsignal und damit für alle, die mit einem Scanner den Funkkanal abhören, nicht erkennbar. Man hört lediglich ein stärkeres Rauschen, bemerkt, daß hier nur eine Trägerfrequenz vorhanden ist, das Nutzsignal aber fehlt, und sucht am Scanner die nächste Frequenz.

Die Empfangsstation hätte hier auch ein Problem, weil Rauschen ja rein zufällig ist. Ersetzt man aber sendeseitig das Rauschen durch ein pseudozufälliges Rauschen (dieses kann mit einem langen Modulo-2-rückgekoppelten Schieberegister und nachfolgendem DA-Wandler erzeugt werden), so läßt sich mit dem gleichen Rauschträger auf der Empfangsseite das Signal wieder demodulieren, und man erhält das Sprachsignal.

Das einzige Problem ist, daß beide Rauschträger absolut synchron sein müssen, d.h., die Schieberegister müssen zum exakt gleichen Zeitpunkt gestartet werden. Und das geht mit GPS, da einige Empfänger nicht nur die Zeitinformation im Datenstrom liefern, sondern auch einen Synchronausgang besitzen. Und der gibt weltweit zum gleichen Zeitpunkt einen Takt aus.

Allerdings sind dabei noch Korrekturfaktoren zu berücksichtigen, da die Empfänger sicher unterschiedliche Abstände zu den gerade sichtbaren Satelliten haben. Dieses Verschleierungsverfahren ist fast perfekt und wird möglicherweise von Geheimdiensten bereits benutzt. Aber auch der junge James Bond unter den Lesern des FUNKAMATEUR findet hier sein Betätigungsfeld.

Im zweiten Teil unseres Beitrags werden wir die GPS-Module PLUTO und JUPITER kennenlernen. Eine kleine Schaltung schafft die Verbindung zum PC, und mit der Software können wir dann erste eigene GPS-Versuche starten.

Literatur

- [1] Strohschenk: GPS-Empfänger „NavCore Micro-tracker“: Positionsbestimmung via Satellit; FUNKAMATEUR 3/96 S. 260...263
- [2] Datenblätter JUPITER und PLUTO der Firma Rockwell/Connexant
- [3] Faul, M.; Ohsmann, M.: DGPS-Navigation mit RDS; RFE 8/1995 S.53
- [4] Datener als das Militär erlaubt: Differentielles GPS; Elektor 3/1996 S. 14/15

Internet-Links

- [11] <http://home.t-online.de/home/schlobach/>
- [12] <http://members.aol.com/woemer/hmpmain.htm/>
- [13] <http://home.t-online.de/home/matthias.berkhan/>
- [14] <http://www.kraxel.com/lang/5713.htm>