



Jean-Marie Zogg-Weber

Empfangsmodule für GPS

Grundlagen zu GPS und DGPS sowie technische Daten kommerzieller Module

Immer mehr Fahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge sind mit GPS-Navigations- und Ortungssystemen ausgerüstet. Für den Entwickler solcher Systeme stellt die Industrie heute sehr leistungsfähige GPS-Module zur Verfügung. In diesem Artikel werden die bekanntesten dieser Module vorgestellt und ihre Grundeigenschaften erläutert.

Das «Globale Positionierungs System» GPS (die vollständige Bezeichnung lautet: NAVigation System with Timing And Ranging Global Positioning System, NAVSTAR-GPS) wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium (U.S. Department of Defense, DOD) entwickelt und kann von zivi-

len und militärischen Anwendern genutzt werden. Das zivile Signal SPS (Standard Positioning Service) ist von der Allgemeinheit frei nutzbar, während das militärische Signal PPS (Precise Positioning Service) nur von autorisierten Stellen genutzt werden darf.

Die GPS-Grundlagen in Kürze

Bei der Entwicklung des Systems wurde auf folgende Punkte besonderer Wert gelegt:

- * Ortung, Geschwindigkeits- und Zeitbestimmung für Nutzer, die sich in Bewegung oder in Ruhe befinden;
- * ständige, weltweite, wetterunabhängige dreidimensionale Ortung mit hoher Genauigkeit;
- * Möglichkeit der zivilen Nutzung mit eingeschränkter Ge-

nauigkeit.

1977 wurde der erste zum NAVSTAR-GPS-Programm gehörende Satellit gestartet. Am 17. Juli 1995 wurde von der U. S. Air-Force die volle Einsatzbereitschaft des Systems bekanntgegeben (FOC: full operational capability). Die Entwicklung kostete rund 20 Mrd. US\$, für den Unterhalt müssen jährlich 600 Mio. US\$ aufgewendet werden. Trotzdem ist das NAVSTAR-GPS-System mit eingeschränkter Genauigkeit für zivile Anwendern unentgeltlich verfügbar.

27 Satelliten in sechs um 55° zum Äquator geneigten Umlaufbahnen umkreisen z.Zt. die Erde. Rund 20 200 km von der Erde entfernt senden die 27 Satelliten ununterbrochen auf der gleichen Frequenz von 1575,42 MHz Zeitsignale und Daten aus, welche durch an Bord befindliche Atomuhren untereinander synchronisiert sind. Die minimale Leistung der auf der Erde empfangbaren Signale liegt bei ca. -158 dBW bis -160 dBW [1]. Gemäß den Spezifikationen kann die maximale auf der Erde empfangene Leistung ca. -153 dBW betragen, d.h. immer noch ca. 16 dB unterhalb des normalen Empfängergrundrauschens [2].

Die Daten werden mit einer Pseudofolge (PRN, Pseudo Random Noise) von 1,023 MHz codiert [3] und mit einer Transferrate von 50 bit/s gesendet. In den Datensätzen sind enthalten:

- * Genaue Bahndaten des sendenden Satelliten (Ephemeriden),
- * Bahndaten aller Satelliten (Almanach),
- * Daten der Satellitenuhren,
- * Informationen über den technischen Zustand (Status) der Satelliten,
- * Zeitinformationen,
- * Daten über die Ionosphäre.

Bei der Positionsbestimmung auf der Erde mit dem zivil nutzbaren Signal SPS (Standard Positioning Service) oder C/A-Code (Coarse Acquisition) ist die Ungenauigkeit bei 95 % aller Messungen besser als 100 m in der Horizontalen und 141 m in der Vertikalen; die Abweichung in der Zeitmessung liegt unter 340 ns [4].

Genauigkeit steigern mit Differential-GPS (DGPS)

Bei vielen Präzisions-Ortungsaufgaben (z.B. Koordinatenbestimmung für Forschungszwecke oder Spezialanwendungen in der Verkehrstechnik) muß der Fehler auf wenige Meter reduziert werden. Um dies zu erreichen wird bei der DGPS-Navigation auf einem koordinatenmäßig genau bekannten Punkt ein GPS-Empfänger (Referenzstation) aufgestellt, der laufend die Differenz zwischen dem aus den Satellitendaten errechneten Eigenpositions-Istwert und dem genau vermessenen Sollwert bestimmt. Diese Korrekturwerte werden den mobilen DGPS-Benutzern in bestimmtem Umkreis per Funksignal übermittelt. Diese Methode erlaubt es, die Abweichung der Positionsbestimmung für die DGPS-Nutzer in den Bereich von ca. 1 bis 10 m zu bringen.

Zivile Anwendungen von GPS

Klassische Anwendungsfelder für GPS sind Vermessung,

Schifffahrt und Luftfahrt. Ein explosionsartiges Wachstum erlebt zur Zeit der Markt für elektronische Auto-Navigationssysteme. Begründet wird der immense Zuwachs vor allem mit der Nachfrage aus der Automobilindustrie, die mit diesen Systemen eine bessere Nutzung der Straßenverkehrsnetze erwartet. Applikationen wie Automatische Fahrzeugortung (Automatic Vehicle Location, AVL) und Flottenmanagement sind ebenfalls im Zunehmen begriffen. Auch in der Kommunikationstechnik findet GPS immer mehr Einsatz; beispielsweise wird das präzise Zeitsignal von GPS verwendet, um Telekommunikationsnetze weltweit zu synchronisieren.

Interessant in diesem Zusammenhang: Ab dem Jahre 2001 verlangt die USA-Telekommunikations-Behörde FCC (Federal Communications Commission), daß bei einem Notruf über die Telefonnummer 911 automatisch die Position des Anrufenden mit einer Genauigkeit von ca. 125 m lokalisierbar ist. Dieses Gesetz, bekannt unter dem Namen E-911 (Enhanced 911), wird zur Folge haben, daß mobile Telefone mit neuen Technologien ergänzt werden müssen. Die Telekommunikations-Industrie verfolgt zwei Wege, um die E-911-Anforderung zu erfüllen: Entweder wird die Position mit einem im Handy eingebauten GPS-Empfänger ermittelt und an die Notrufzentrale während des Anrufes übertragen, oder die Position wird anhand der Signal-Laufzeit zu drei verschiedenen Mobilfunk-Basisstationen berechnet. Um die Laufzeiten mit genügender Genauigkeit messen zu können, müssen aber die Basis-Stationen mit GPS-Zeitreferenzen ausgerüstet werden. Mobiltelefon-Hersteller wie Nokia und Ericsson haben mit GPS-Chip-Herstellern einen Kooperationsvertrag abgeschlossen, um auf solche zukünftigen Markt- und Gesetzes-Anforderungen vorbereitet zu sein [5].

Die wichtigsten Funktionen von GPS-Modulen

GPS-Module müssen die schwachen Antennensignale von mindestens vier Satelliten auswerten, um eine Position dreidimensional korrekt bestimmen zu können. Zusätzlich zu den Werten für geografische Länge, Breite und Höhe (die Position) gibt ein solches Modul oft auch noch ein Zeitsignal aus, das zur Weltzeit UTC (Universal Time Coordinated) synchronisiert ist. Aus der Positionsbestimmung und der exakten Zeit können dann weitere physikalische Größen wie z.B. Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet werden. In der Regel geben GPS-Module auch noch Informationen über die Konstellation, den technischen Zustand und die Anzahl der sichtbaren Satelliten aus.

Die meisten Module haben einen ähnlichen Aufbau, wobei die Eigenschaften und die Benennung der einzelnen Stufen von Hersteller zu Hersteller sehr unterschiedlich sein können; *Bild 1* zeigt ein typisches Blockschema.

Die empfangenen Signale (1575,42 MHz) werden vorverstärkt und auf eine niedrigere Zwischenfrequenz (1 MHz bis 6 MHz) transformiert. Der Referenz-Oszillator liefert die für die Frequenzumsetzung erforderliche Trägerschwingung und zum anderen die notwendigen Taktfrequenzen für Prozessor und Korrelator. Die analoge Zwischenfrequenz wird mit einem 1- oder 2-bit-A/D-Umsetzer in ein digitales Signal umgewandelt.

Die Signallaufzeit zwischen Satellit und GPS-Empfänger wird durch Korrelation von sogenannten PRN-Impulsfolgen ermittelt. Hierfür muß die zum Satelliten gehörende PRN-Datenfolge appliziert werden, sonst ergibt sich kein Korrelationsmaximum. Die Daten werden letztlich durch Mischung

mit der richtigen PRN-Folge zurückgewonnen, wobei das Nutzsignal über das Rauschen angehoben wird [6].

Je nach Modultyp kommen gleichzeitig acht bis zwölf Satellitensignale zur Auswertung (meist sind tatsächlich mehr als nur vier Satelliten «sichtbar»). Die Steuerung und Generierung der PRN-Folgen und die Rückgewinnung der Daten übernimmt ein Signalprozessor, für die Berechnung und Speicherung der Position und der davon abgeleiteten Größen ist ein weiterer Prozessor mit entsprechendem Speicher zuständig.

Die GPS-Modul-Schnittstellen

Antenne

Die GPS-Module lassen sich entweder mit passiven oder mit aktiven Antennen betreiben. Aktive Antennen, d.h. mit eingebautem Vorverstärker (Low Noise Amplifier, LNA, siehe Bild 1) werden vom Modul mit Spannung über die HF-Signal-Leitung versorgt. Für mobile Navigationszwecke gibt es kombinierte Antennen (z.B. GSM-Mobilfunk + FM-Rundfunk + GPS).

Speisung

GPS-Module müssen von einer externen Spannungsquelle mit 3,3 V bis 6 V versorgt werden; recht unterschiedlich ist der jeweilige Stromverbrauch.

Datenschnittstellen

Die vom GPS-Modul gelieferten Informationen und berechneten Größen werden in der Regel über serielle Schnittstellen ausgegeben. Je nach Modul stehen zwei unabhängige Schnittstellen (NMEA- oder proprietäre Schnittstellen) zur Verfügung, oder der Modus der Schnittstelle muß mit einem externen Steuerbefehl für den jeweiligen Verwendungszweck umgeschaltet werden.

* NMEA-Schnittstelle: Um die berechneten GPS-Größen wie Position, Geschwindigkeit, Kurs usw. zu einem Peripheriegerät (z.B. Computer, Bildschirm, Handy) zu übermitteln, verfügen GPS-Module über eine serielle Schnittstelle (TTL-Pegel), über die die wichtigsten Empfängerinformationen nach einem speziellen Datenformat ausgegeben werden. Zur Gewährleistung eines problemlosen Datenaustauschs wurde das Format von der «National Marine Electronics Association (NMEA) normiert. Heutzutage werden die Daten nach der NMEA-0183-Spezifikation übermittelt. NMEA hat für verschiedene Anwendungen, z.B. GNSS (Global Navigation Satellite System), GPS, Loran, Omega, Transit usw., verschiedene Hersteller-Datensätze spezifiziert. Um GPS-Informationen zu übermitteln, sind folgende Datensätze weit verbreitet [7]:

- RMC (Recommended Minimum Specific GNSS Data): umfaßt Informationen über Zeit, geografische Breite, Länge und Höhe, Status des Systems, Geschwindigkeit, Kurs und Datum;
- GGA (Global Positioning System Fix Data): umfaßt Informationen über Zeit, geografische Länge und Breite, Qualität des Systems, Anzahl der genutzten Satelliten und Höhe;
- VTG (Course over Ground and Ground Speed): umfaßt Informationen über Kurs und Geschwindigkeit;

- GLL (Geographic Position - Latitude/Longitude): umfaßt Informationen über geografische Breite und Länge, Zeit und Status;

- GSV (GNSS Satellites in View): umfaßt Informationen über Anzahl der gesichteten Satelliten, Identifikation, Elevation und Azimut der Satelliten und Signal-Rausch-Abstand der Satellitensignale;

- GSA (GNSS DOP and Active Satellites): umfaßt Informationen über den Meßmodus (2D oder 3D), die Anzahl der zur Bestimmung der Position verwendeten Satelliten und die Genauigkeit der Messungen (DOP: Dilution of Precision).

Die Übertragungsgeschwindigkeit der Daten beträgt 4800 Baud, und es werden ausschließlich druckbare 8-bit-ASCII-Zeichen verwendet.

* Proprietäre Schnittstelle: Die meisten Hersteller definieren eigene Steuerbefehle und Datensätze. Beispielsweise können gezielte Informationen wie Position, Geschwindigkeit, Höhe, Status etc. übermittelt werden.

* DGPS-RTCM: Um die DGPS-Korrekturwerte zu übertragen, wird der RTCM-SC-104-Standard verwendet. RTCM SC-104 steht für «Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104» und ist heute der weltweit anerkannte Industriestandard, um Korrekturdaten zu übertragen. Die «RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service» gibt es in zwei Versionen:

Version 2.0 (herausgegeben im Januar 1990) und Version 2.1 (herausgegeben im Januar 1994).

Version 2.1 ist eine Weiterentwicklung der Version 2.0 und unterscheidet sich vor allem durch zusätzliche Informationen für die Echtzeit-Navigation (Real Time Kinematic RTK). Dabei gibt es:

- Nachrichtentyp 1: PSR-Korrekturdaten (PSR: pseudo range, fehlerbehaftete Entfernungsmessung) für alle der Referenzstation sichtbaren GPS-Satelliten, basierend auf den aktuellsten Bahndaten (Ephemeriden).

- Nachrichtentyp 2: Delta-PSR-Korrekturdaten, basierend auf älteren Bahndaten. Diese Information wird benötigt, wenn der GPS-Anwender seine Satellitenbahndaten noch nicht aktualisieren konnte. Im Typ 2 wird die Differenz zwischen den auf den alten und den neuen Ephemeriden beruhenden Korrekturwerten übermittelt.

- Nachrichtentyp 9: Vermittelt die gleiche Information wie Nachrichtentyp 1, jedoch nur für eine beschränkte Anzahl (max. 3) von Satelliten. Übermittelt werden nur die Daten derjenigen Satelliten, bei welchen sich die Korrekturwerte rasch ändern.

Damit eine merkliche Genauigkeitssteigerung mittels DGPS eintritt, sollten die übermittelten Korrekturdaten nicht älter als ca. 10 bis 12 Sekunden sein. Mit zunehmendem Abstand zwischen Referenz- und Anwenderstation sinkt die Genauigkeit.

Zeitimpuls: 1 PPS

Die meisten GPS-Module generieren jede Sekunde einen zur Weltzeit UTC synchronisierten Zeitimpuls, genannt 1 PPS (1 Pulse per Second). Dieses Signal hat meist TTL-Pegel.

Grundsätzliches zu den erhältlichen kommerziellen Modulen

Im Laufe der letzten Jahre sind viele verschiedene GPS-Module (*Bild 2 bis Bild 5*) auf den Markt gekommen. Diese Module unterscheiden sich bezüglich Größe, Leistungsverbrauch, Spezifikationen usw. Die in der *Tabelle* angegebenen Werte stammen aus Angaben der Hersteller. Da jeder Hersteller die technischen Daten anders ermittelt, ist ein direkter Vergleich der Spezifikationen nur bedingt möglich.

Erläuterung der Spezifikationen

In der Tabelle sind verschiedene Spezifikation angegeben. Dazu einige Erklärungen:

* Kanäle: Anzahl der parallel verarbeiteten Satellitensignale. Die Zahl gibt an, wieviele Korrelatoren sich im Modul befinden.

* Schnittstelle: Gibt an, welche Schnittstellen verfügbar sind (N für NMEA, P für proprietär, R für RTCM und I für I PPS).

* Reacquisition Time (Wieder-Erfassungszeit): Zeit, die das Modul benötigt, um eine korrekte Positionsbestimmung durchzuführen, nachdem kurzzeitig der Kontakt zu einem Satelliten ausgefallen ist (z.B. beim Fahren unter einer Brücke oder in einer engen Straßenschlucht).

* Hot Start Time: Zeit, die das Modul benötigt, um mit gültigem Almanach eine korrekte Positionsbestimmung durchzuführen. Die Almanach-Daten bleiben zwei bis drei Stunden gültig. Diese Angabe dient zum Abschätzen der Zeit, welche das Modul benötigt, um nach einer mehrminütigen Unterbrechung des Kontaktes wieder funktionsfähig zu sein.

* Warm Start Time: Zeit, die das Modul benötigt, um eine korrekte Positionsbestimmung durchzuführen, wenn die Almanach-Daten bereits veraltet, aber noch nicht ungültig, sondern nur ungenau sind.

* Cold Start Time: Zeit, die das Modul benötigt, um eine korrekte Positionsbestimmung durchzuführen, wenn keine Almanach-Daten mehr verfügbar sind und neu geholt werden müssen.

* 1-PPS-Genauigkeit: Abweichung und Streuung der Zeitmarke 1 PPS zur absoluten Weltzeit UTC.

* Leistungsaufnahme: Mittlere Leistungsaufnahme des Moduls ohne aktive Antenne. Manche Module verfügen über einen Stromsparmodus, in welchem das Modul funktionsfähig bleibt, jedoch die Anzahl der Messungen reduziert und die HF-Stufe kurzzeitig abgeschaltet wird. Die Leistungsaufnahme im Stromsparmodus ist meist in Klammern angegeben.

Viele Hersteller haben verschiedene GPS-Module in ihrem Lieferprogramm. Um möglichst viele Hersteller in die Evaluation einzubeziehen, ist pro Hersteller jeweils nur ein Modul in der Tabelle aufgeführt.

Wie geht es weiter?

Gleichzeitig mit neuen leistungsstarken integrierten Schaltungen erscheinen immer mehr GPS-Module auf dem Markt. Zur Zeit scheinen die Möglichkeiten zur Verbesserung der Spezifikationen ausgereizt zu sein. Begrenzender Faktor für wichtige Daten wie Geschwindigkeit, Positions- und Zeitbestimmung ist vor allem das GPS-System selbst. Punktuelle Verbesserungen bei den Modulen sind vor allem bezüglich Größe und Leistungsverbrauch zu erwarten. *ha*

Literatur

- [1] Global Positioning System, Standard Positioning System Service, Signal Specification, 2nd Edition, 1995, Seite 18. <http://www.navcen.uscg.mil/gps/geninfo/gpsdocuments/sigspec/gpspsps1.pdf>
- [2] Mansfield, W.: Satellitenortung und Navigation, S. 154. Vieweg Verlag.
- [3] Zogg-Weber, J.M.: ICs für GPS-Empfänger. *Elektronik* 1997, H. 1, S. 30 bis 34.
- [4] Global Positioning System, Standard Positioning System Service, Signal Specification, Annex A, 2nd Edition, 1995, Seite A-3. <http://www.navcen.uscg.mil/gps/geninfo/gpsdocuments/sigspec/gpspspsa.pdf>
- [5] Ericsson Selects SiRFs Global Position System Technology for Future Wireless Phones and Terminals und Nokia Invests \$3 Million in SiRF Technology. Siehe: http://www.sirf.com/as_pr.htm
- [6] Mansfield, W.: Satellitenortung und Navigation, S. 157. Vieweg-Verlag.
- [7] NMEA 0183, Standard For Interfacing Marine Electronics Devices, Version 2.30.
- [8] Herstellerinformation: <http://www.garmin.com/>.
Dokument: <http://www.garmin.com/main/spk251p.pdf>
- [9] Herstellerinformation: <http://www.conexant.com/>. Dokument: <http://www.conexant.com/products/gps/jupiter/default.asp>
- [10] Herstellerinformation: <http://www.mot.com/>.
Dokument: <http://www.mot.com/AECS/PNSB/pdfs/ggt.pdf>
- [11] Herstellerinformation: <http://www.u-blox.ch/>. Dokument: http://www.u-blox.ch/gps-ms1/gpsms1_brochure.pdf
- [12] Herstellerinformation: <http://www.marconi.ca/>. Dokument: <http://www.marconi.ca/Docs/CMC/Components/cmt1200e.html>
- [13] Herstellerinformation: <http://www.trimble.com/>. Dokument: http://www.trimble.com/products/specs/frm_om06.htm
- [14] Herstellerinformation: <http://www.ashtech.com/>.
Dokument: <http://www.ashtech.com/>
- [15] Herstellerinformation: <http://www.rojone.com.au/>.
Dokument: <http://www.rojone.com.au/gpsgenius.htm>
- [16] Herstellerinformation: <http://www.chapmantech.com/>.
Dokument: <http://www.chapmantech.com/OEM/specs.html>
- [17] Herstellerinformation: <http://www.sanav.com/>.
Dokument: <http://www.sanav.com/fv-12.htm>
- [18] Herstellerinformation: <http://www.sigem.ca/>.
Dokument: <http://www.sigem.ca/DataSheets/SGM5608PM.pdf>

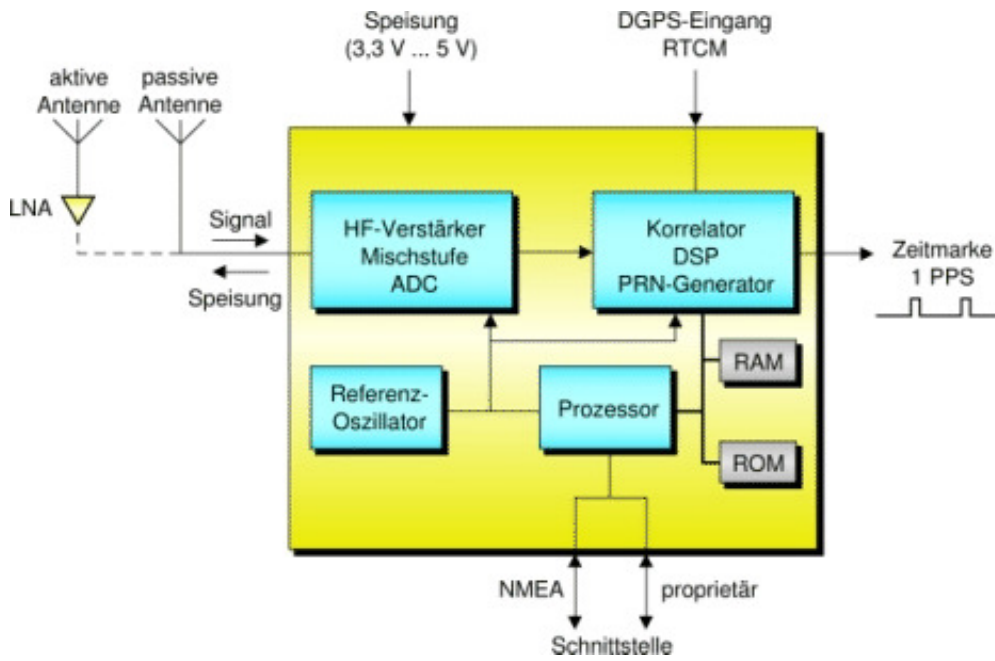


Bild 1. Typisches Blockschema eines GPS-Moduls.

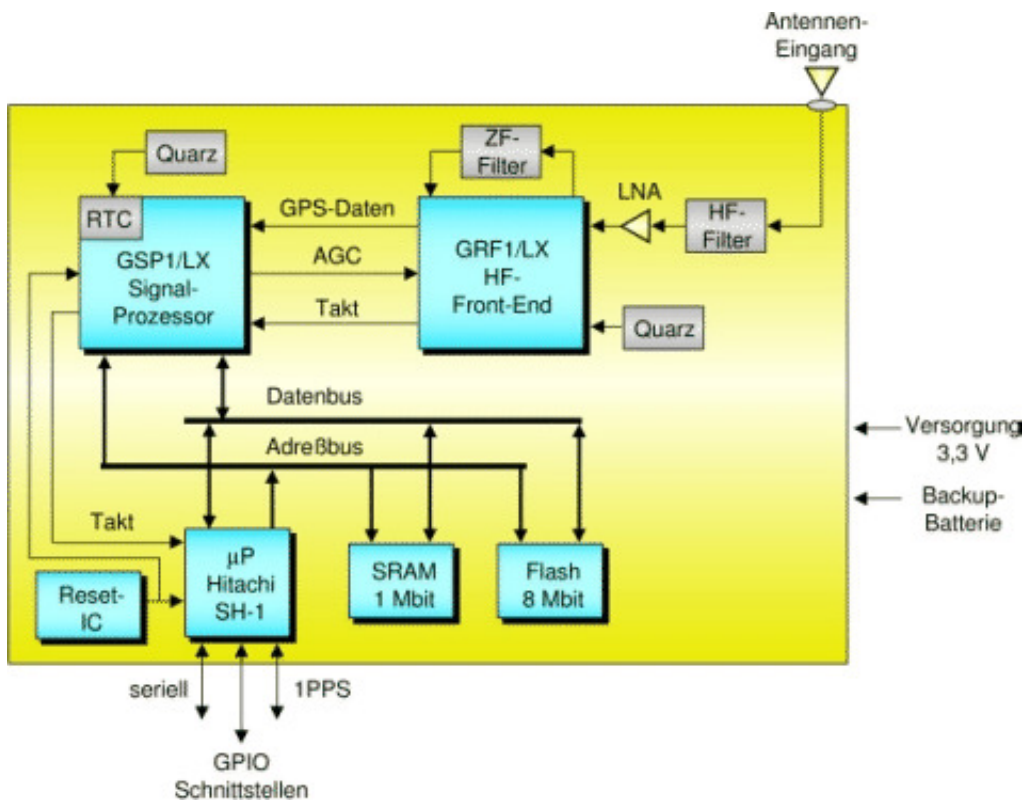
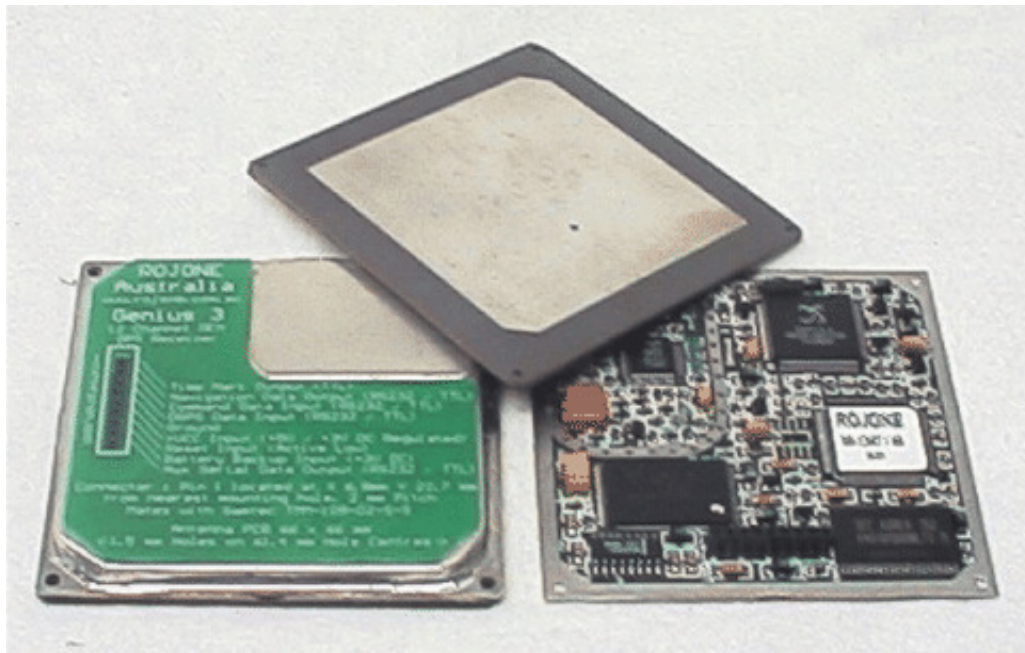


Bild 2.
Das μ -Blox-Modul GPS-MS1 und seine Blackschaltung.



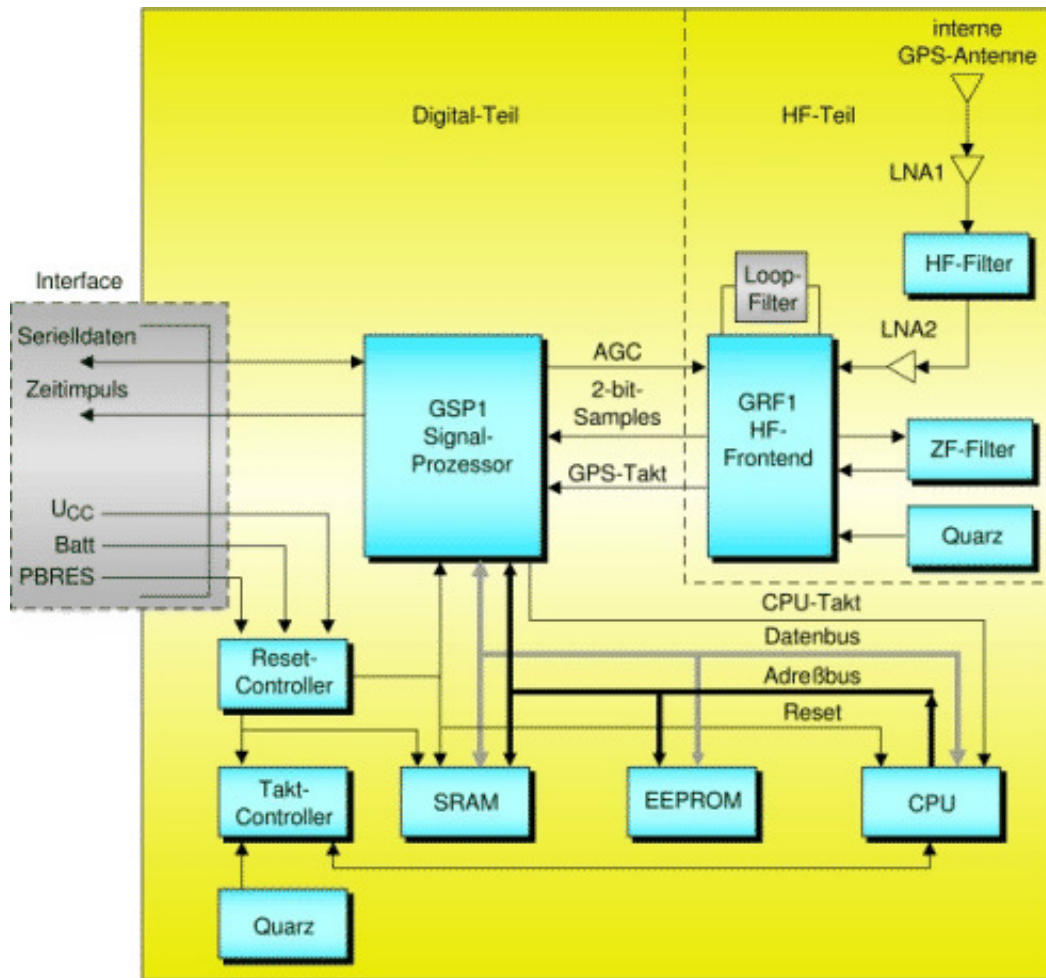


Bild 3. Das Rojone-Modul «GPS Genius» mit Patch-Antenne und seine Blockschaltung.



Bild 4.
Das Garmin-
Modul GPS-25-LVC.

Hersteller	Garmin	Conexant	Motorola	µ-blox	CMC	Trimble	Ashtech	Rojone	Chapman	Sanav	SiGem
Typ	GPS 25-LVC	Jupiter LP	GT Plus Oncore	GPS-MS1	Allstar	Lassen-SK8	G8	GPS Genius	Receptor	FV-12	SGM 5608PM
Quellen	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]
Kanäle	12	12	8	12	12	8	8	12	12	12	12
Schnittstelle (N/P/R/1)	N/P/R/1	N/P/R/1	-/P/R/1	N/P/R/1	N/P/R/1	N/P/R/1	N/P/R/1	N/P/R/1	N/P/R/M	N/M/P/1	N-/R/-
Speisung: aktive Antenne	ja	ja	ja	extern	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Maße (mm)	46 × 70	47 × 71	51 × 83	30 × 30	67 × 102	41 × 48	39 × 60	72 × 72	71 × 41	71 × 41	89 × 33
Reacquisition Time (s)	2	1	1	0,1	1	2	1	0,1	2	0,1	1
Hot Start Time (s)	15	15	15	8	15	20	10	8	8	8	7
Warm Start Time (s)	45	45	45	40	45	45	45	40	24	40	45
Cold Start Time (s)	300	120	90	60	120	120	120	60	150	60	90
1-PPS-Genauigkeit (ns)	1000	1000	500	180	200	500	1000	300	90	1000	-
Betriebsspannung (V)	3,6 bis 6,0	3,3	9	3,3	5	5	5	3,3	3,3	5	5
Leistungsaufnahme mW (Stromsparmodus)	500 (-)	250 (-)	900 (-)	500 (150)	1200 (-)	750 (-)	700 (-)	435 (-)	480 (-)	900 (-)	650 (-)

Ausgewählte typische kommerzielle GPS-Module

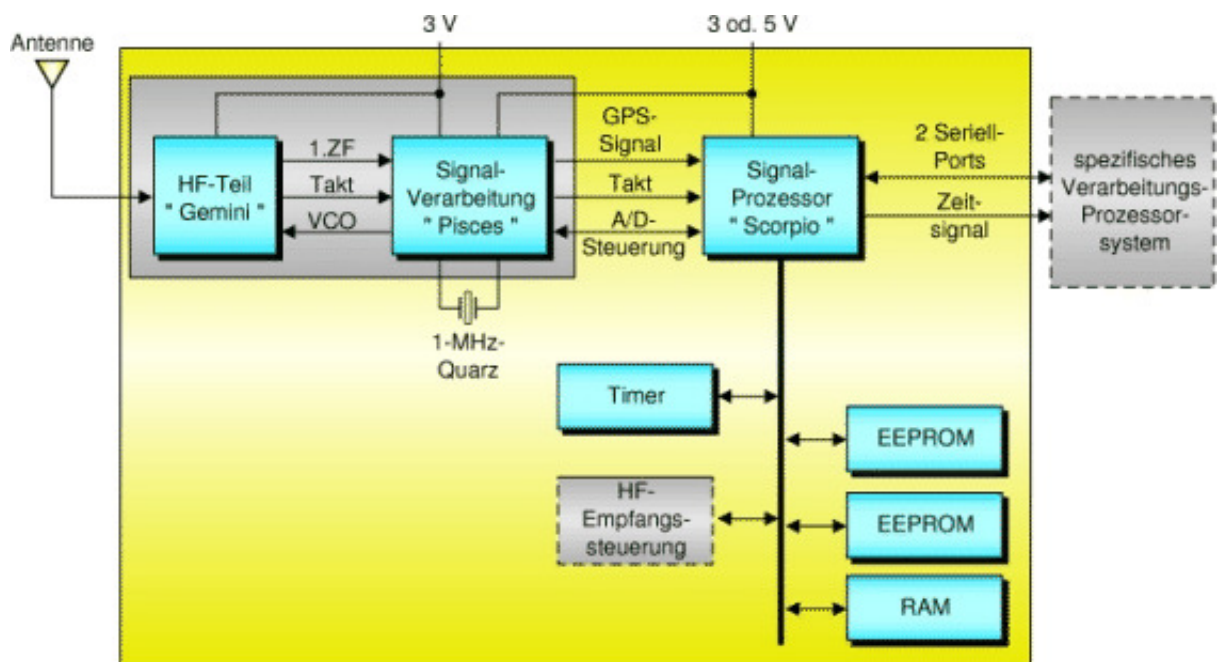
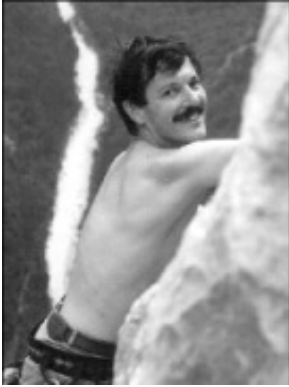


Bild 5. Das Conexant-Jupiter-LP-Board und sein Blockschema.



Dipl.-Ing. Jean-Marie Zogg-Weber ist als Dozent für Elektrotechnik und Elektronik an der Abteilung «Telecom» der Hochschule für Technik und Architektur HTA Chur (Schweiz) tätig, wo er sich intensiv mit den Grundlagen und Anwendungen von GPS beschäftigt.