

# GSP : ein neues Satelliten-Navigationssystem

Autor(en): **Petersen, Lutz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **81 (1990)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903054>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# GPS – ein neues Satelliten-Navigationssystem

Lutz Petersen

**Das derzeit im Aufbau befindliche Satellitennavigationssystem GPS (Global Positioning System), welches nach dem Endausbau eine hochgenaue weltweite Ortung unter allen Witterungsbedingungen, vierundzwanzig Stunden am Tag und in Realzeit erlaubt, wird die Navigation – aber nicht nur sie – auf ungeahnte Weise revolutionieren.**

**La navigation – et pas seulement elle – va être révolutionnée d'une manière inattendue par le système de navigation par satellites GPS (Global Positioning System) actuellement en voie d'aménagement qui, une fois terminé, permettra un repérage de très haute précision dans le monde entier, sous toutes les conditions météorologiques, 24 heures sur 24 et en temps réel.**

## Adresse des Autors

Dipl.-Ing. Lutz Petersen,  
Leiter Vertrieb und Projektbearbeitung  
Kommunikation u. Navigation, Telefunken  
Systemtechnik GmbH, Behringstrasse 120,  
D-2000 Hamburg 50.

GPS (Global Positioning System) ist ein neuartiges Satellitennavigationsverfahren der US-Streitkräfte. Obwohl von der Konzeption her militärisch, wird das System mit Billigung des Betreibers, des US-Department of Defense, zunehmend von zivilen Nutzern für die verschiedensten Zwecke in Anspruch genommen. Gebühren für die Nutzung des Systems werden nicht erhoben.

GPS basiert grundsätzlich auf dem Prinzip der Laufzeitmessung der von den Satelliten zeitsynchron abgestrahlten Signale. Da es sich um ein rein passives Ortungsverfahren handelt, können beliebig viele Nutzer teilnehmen. Das System besteht aus drei Segmenten,

- dem Raumsegment mit den Satelliten,
- dem Bodenkontrollsegment und
- dem Nutzersegment (GPS-Empfänger).

Das Raumsegment besteht im Endausbau aus 24 Satelliten, die sich in Umlaufbahnen in etwa 20 200 km Höhe über der Erdoberfläche befinden und eine Umlaufzeit von ungefähr 12 Stunden haben (Bild 1).

Das Bodenkontrollsegment dient der Überwachung des GPS-Systems (Ermittlung der Bahndaten, Bahnkorrekturen usw.) und wird vom US-DoD<sup>1</sup> betrieben. Die *Master Control Station* befindet sich in Colorado, USA (Falcon AFB), die vier Monitorstationen auf Hawaii, Kwajalein, Ascension Island und Diego Garcia, sind also relativ gleichmässig in niedriger geographischer Breite um die Erde verteilt.

Derzeit (Oktober 89) befinden sich 7 voll funktionsfähige Prototypsatelliten und 2 Seriensatelliten in Umlaufbah-

nen. Damit ist die Bedeckung noch nicht während 24 Stunden sichergestellt. Das System wird vom US-DoD so aufgebaut, dass schnellstmöglich eine Konfiguration erreicht wird, die weltweite 2-D-Positionierung, die für viele Navigationsprobleme bereits ausreichend ist, sicherstellt. Bei planmässigem Systemausbau ist mit der erforderlichen Bedeckung bis etwa Mitte 1990 zu rechnen.

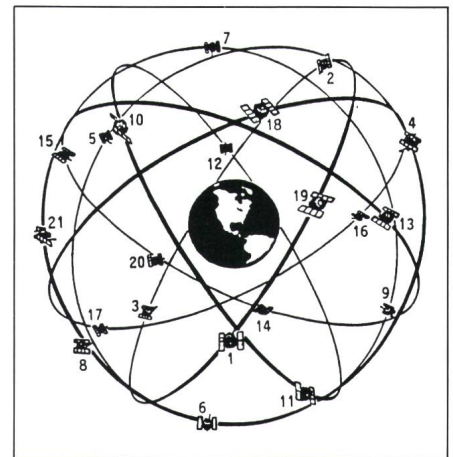


Bild 1 GPS-Satellitenkonstellation

## Systemkonzept

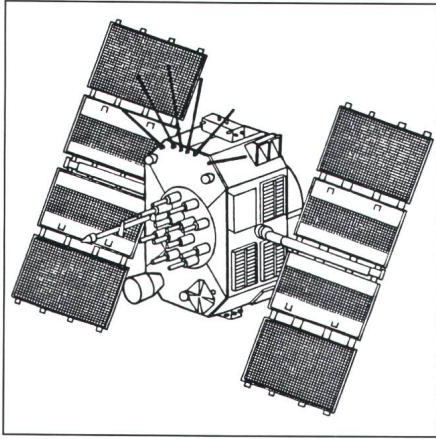
Das Raumsegment des GPS-Systems besteht aus 24 Satelliten, die auf 6 um 55° gegen den Äquator geneigten Bahnen die Erde in etwa 20 200 km umkreisen. Hieraus ergibt sich eine Umlaufzeit von etwa 11 Stunden und 58 Minuten.

Jeder Satellit (Bild 2) ist unter anderem mit Solargeneratoren für die Stromversorgung, zwei hochgenauen Frequenzstandards (Rubidium und Cäsium, 10<sup>-13</sup>), Empfängern für das «Uplink» der Kontrolldaten sowie Sendern auf den Frequenzen L1

<sup>1</sup> Department of Defense

(1575,42 MHz) und L2 (1227,60 MHz) für die Ausstrahlung der Navigationsnachricht und der Codes ausgerüstet.

GPS basiert auf dem Prinzip der Laufzeitmessung der von den Satelliten zeitsynchron abgestrahlten Signale. Auf der Basis der bekannten Bahnparameter der Satelliten und der vom



**Bild 2** GPS-Satellit

Empfänger festgestellten Laufzeitunterschiede der verschiedenen Satellitensignale lässt sich die Position des Empfängers vom Empfänger selbst mit hoher Genauigkeit bestimmen. Hierzu muss jeder Empfänger mit einer hochgenauen Uhr ausgerüstet sein. Zur Vermeidung allzu hoher Empfängerkosten wird die hochgenaue Systemzeit eines empfangenen Satelliten zur Synchronisation der Empfängeruhr verwendet.

Somit ist bei einer 2-D-Positionierung (d.h. bei bekannter Höhe über der Erdoberfläche) der ständige Empfang von 3 Satelliten erforderlich, während für eine 3-D-Position 4 Satelliten erforderlich sind.

## Signalaufbereitung im Satelliten

Nachrichtentechnisch handelt es sich bei GPS um ein CDMA (Code Division Multiple Access)-System, d.h. alle Satelliten senden auf exakt den gleichen Frequenzen, die Unterscheidung der Satelliten erfolgt im Empfänger auf der Basis von aufmodulierten

Pseudo-Random-Noise-(PRN)-Codes, die auch für die Spreizung des Spektrums sorgen.

Jeder Satellit sendet zwei individuelle Codes, den C/A- oder Coarse-Acquisition-Code und den P oder Precise-Code. Derzeit ist der P-Code noch frei zugänglich, nach dem Vollausbau

des Systems wird der P-Code vom Betreiber verschlüsselt werden (Y-Code), um so nur autorisierten Nutzern (Streitkräfte der Nato-Bündnispartner) die höchste Systemgenauigkeit verfügbar zu machen.

Die Codes (Gold Codes) der verschiedenen Satelliten sind orthogonal, haben also einen sehr geringen Kreuzkorrelationskoeffizienten. Diese Eigenschaft macht man sich im Empfänger zur Wiedergewinnung und Unterscheidung der Satellitensignale zunutze. Die Generatorpolynome für die Erzeugung der Codes sind frei zugänglich.

Aus der GPS-Grundfrequenz  $f_0$  von 10,23 MHz werden die beiden Sendefrequenzen von  $L1 = 1575,42 \text{ MHz} = 154 \cdot f_0$  sowie  $L2 = 1227,60 = 120 \cdot f_0$  abgeleitet. Auf diesen Frequenzen werden in BPSK-Modulation (Binary Phase Shift Keying) verschiedene, im folgenden dargestellte Informationen gesendet.

**L1, Phase  $90^\circ$ :** Aussendung des C/A-Codes mit einer Sendeleistung von 480 W

**L1, Phase  $0^\circ$ :** Aussendung des P-Codes mit einer Sendeleistung von 240 W

**L2, Phase  $0^\circ$ :** Aussendung des P-Codes mit einer Sendeleistung von 80 W

Bild 3 stellt das Modulationsschema vereinfacht dar.

Der C/A-Code hat eine Länge von 1023 bit und wiederholt sich nach exakt einer Millisekunde, hat also eine Chiprate von 1,023 MHz oder  $f_0/10$ . Der P-Code ist wesentlich länger, er wiederholt sich erst nach etwa 267 Ta-

gen und wird mit einer Chiprate von 10,23 MHz auf den Träger moduliert. Aus den Chipraten ergeben sich die Bandbreiten für das C/A-Code-Signal von 2,046 MHz und das P-Code-Signal von 20,46 MHz (Bild 4).

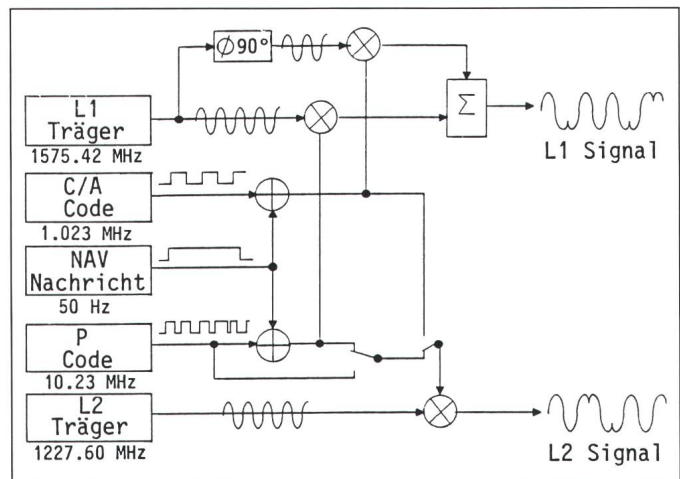
Zusätzlich zu den Codes wird allen gesendeten Signalen die sogenannte Navigationsnachricht mit 50 bit/s und ebenfalls im BPSK-Verfahren aufmoduliert. Die Navigationsnachricht eines Satelliten enthält im wesentlichen die Bahnparameter, wobei jeder Satellit die ungefähren Bahnparameter (Almanach) aller Satelliten sowie seine eigenen präzisen Bahnparameter (Ephemeris) überträgt. Darüber hinaus werden Statusinformationen, Qualitätskriterien und Ähnliches übertragen.

Die Struktur der Navigationsnachricht ist in Bild 5 dargestellt. Die gesamte Navigationsnachricht (Frame) besteht aus 5 Subframes mit 10 Worten zu 30 bit, also aus insgesamt 1500 bit. Die Subframes 4 und 5 bestehen aus jeweils 25 Pages, die nacheinander bei jeder Übermittlung eines Frames gesendet werden. Hieraus ergibt sich für die Übermittlung aller Daten eine Zeitdauer von  $25 \cdot 1500/50$  Sekunden oder 12,5 Minuten.

## Grundsätzliche Arbeitsweise des Empfängers

Bei gegebener Entfernung und Sendeleistung ergibt sich für den C/A-Code auf der Erdoberfläche ein Signalpegel, der mit  $-160 \text{ dBW}$  deutlich unter dem Rauschpegel liegt. Die extrem schwachen Signale können nur mit erheblichem Aufwand im Empfänger empfangen, decodiert und ausgewertet werden.

**Bild 3** Modulationsschema



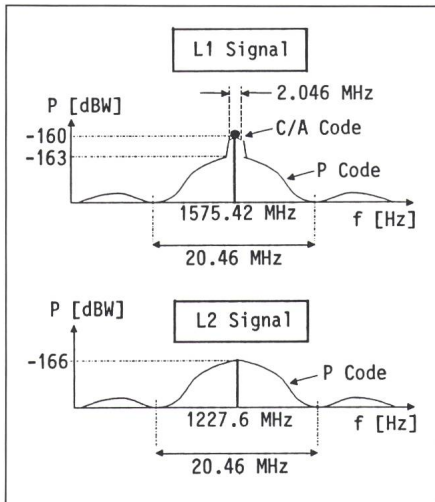


Bild 4 Bandbreiten und Signalpegel

Wie bereits oben dargestellt, besteht das Prinzip der Positionsbestimmung mit GPS in der Messung der Laufzeiten der Satellitensignale vom Satellit zum Empfänger. Die extrem schwachen Satellitensignale werden durch Kreuzkorrelation mit den im Empfänger duplizierten individuellen Satellitencodes wiedergewonnen. Dies erfolgt im Empfänger in mehreren Stufen, in denen zunächst die Frequenz verändert wird, um den Dopplereffekt durch Relativbewegung von Empfänger und Satellit zu kompensieren.

gen der Orthogonalität der Codes nur für ein Satellitensignal der Fall sein. Die Phasenverschiebung der Codephase ist ein Maß für die Laufzeit des Satellitensignals.

Sodann wird das Satellitensignal mit dem nachgebildeten Code multipliziert und der Code auf diese Weise vom Nutzsignal, der Navigationsnachricht, entfernt.

Durch Multiplikation mit der Lichtgeschwindigkeit ergeben sich hieraus die mit bestimmten Fehlern behafteten sogenannten Pseudoentfernungen. Aus vier Pseudoentfernungen lässt sich eine dreidimensionale Position mit hoher Genauigkeit bestimmen. Die grundsätzliche Arbeitsweise eines GPS-Empfängers ist in Bild 6 dargestellt.

### Empfängertypen

Bei der Vielfalt der möglichen Anwendungen ist es klar, dass viele verschiedene Empfängerkonzepte realisierbar sind. In bezug auf die Signalakquisition und -verarbeitung unterscheidet man grundsätzlich drei verschiedene Typen von Empfängern:

- Sequentielle Empfänger
- Parallele Empfänger (Mehrkanalempfänger)
- Multiplexempfänger

Sequentielle Empfänger verfolgen die erforderlichen vier Satelliten mit

Mehrkanalempfänger stellen die technisch beste Lösung für Anwendungen mit hoher Dynamik und kürzester Satelliten-Akquisition dar. Sie verfügen in der Regel über vier bis sechs diskrete Hardware-Kanäle zur parallelen Verfolgung von mindestens vier Satelliten. Für spezielle Anwen-

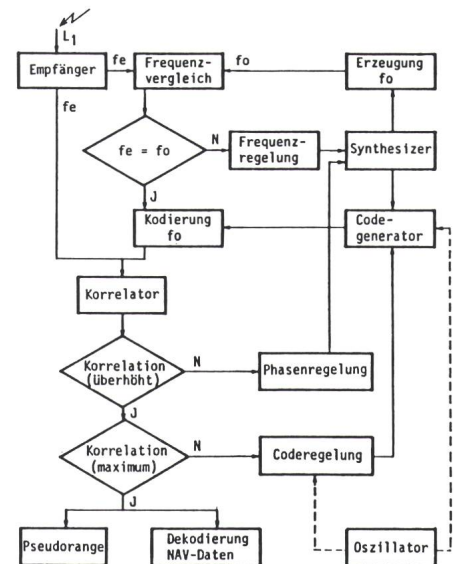


Bild 6 Funktionalität eines GPS-Empfängers

dungen (Geodäsie und Referenzstationen) werden Empfänger mit bis zu 12 Kanälen (All in View Receivers) angeboten.

Multiplexempfänger verfügen nur über einen Hardwarekanal, der sehr schnell nacheinander auf alle Satellitensignale aufgeschaltet wird. Im Gegensatz zum sequentiellen Empfänger geschieht dies für alle Satelliten innerhalb von 20 ms, also der Dauer eines bit der Navigationsnachricht. Auf diese Weise werden die Navigationsnachrichten aller verfolgten Satelliten kontinuierlich gelesen. Diese Realisierung stellt erhebliche Anforderungen an den empfängerinternen Rechner und die zugehörige Software.

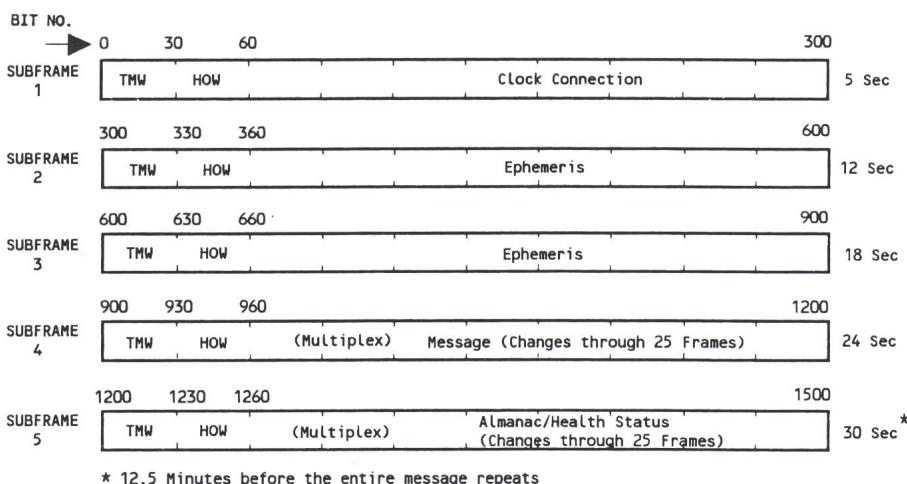


Bild 5 Struktur der Navigationsnachricht

Auf den jeweils eingestellten Frequenzen werden sodann nacheinander die nachgebildeten Codes der über dem Horizont vermuteten Satelliten mit dem empfangenen Signal verglichen und in der Code- und Trägerphase solange verschoben, bis maximale Korrelation erreicht ist. Dies kann we-

nur einem oder meist zwei diskreten Hardware-Kanälen. Die vier erforderlichen «Pseudoentfernungen» werden nacheinander gewonnen. Sequentielle Empfänger sind preiswerter als andere, unterliegen jedoch Beschränkungen hinsichtlich ihrer Dynamik (Geschwindigkeit und Beschleunigung).

### Systemleistungsdaten

Ursprünglich war GPS so ausgelegt worden, dass für den C/A-Code eine Genauigkeit von 100 m (SEP 50) unter allen Bedingungen erreicht werden sollte. Für Anwendungen mit besonders hohen Genauigkeitsforderungen (im militärischen Bereich) sollte der P- oder Y-Code mit einer Genauigkeit von rund 16 m (SEP 50) zur Verfügung

stehen. Dieser Planung lag das in Bild 7 dargestellte Fehlerbudget zugrunde.

Aus dem hierin angegebenen UERE (User Equivalent Range Error) errechnet sich durch Multiplikation mit dem PDOP (Position Dilution of Precision)

## Anwendungen

Obwohl als rein militärisches Navigationssystem konzipiert, hat sich sehr schnell gezeigt, dass im zivilen Bereich ein mindestens ebenso grosses Interes-

- die Geodäsie
- die Positionierung (z.B. im Off-shorebereich)
- die Zeitbestimmung und Zeitsynchronisation
- die Geschwindigkeitsmessung

Hierzu werden jeweils beispielhaft einige Anwendungen dargestellt.

Segment	Fehlerquelle	Pseudodistanzfehler in Metern	
		P-Code	C/A-Code
Raum	Uhren- und Navigationssystem	3.0	3.0
	Satellitenstörungen	1.0	1.0
	Andere	0.5	0.5
Kontroll	Ephemerisvorhersage (Modell)	4.2	4.2
	Andere	0.9	0.9
Nutzer	Ionosphäre	2.3	5.0 - 10.0
	Troposphäre	2.0	2.0
	Empfängerrauschen und Auflösung	1.5	7.5
	Mehrwegeausbreitung	1.2	1.2
	Andere	0.5	0.5
Summe	System UERE (RMS)	6.6	ca. 12.0

**Bild 7**  
GPS-Fehlerbudget

## Navigation

GPS ist aufgrund seiner vielseitigen Einsetzbarkeit und der hohen erzielbaren Genauigkeit für fast alle Navigationsaufgaben zu Wasser, zu Lande und in der Luft ideal geeignet. Schon heute ist am Markt eine Vielzahl von Empfängern, besonders für maritime Anwendungen, verfügbar. Hierbei handelt es sich in aller Regel um autonome Geräte, die aus den ermittelten Rohdaten eine Vielzahl weiterer für die Navigation nützlicher Informationen ableiten, wie z.B. Daten zur Wegpunktnavigation, Kurs über Grund usw. Grosse Bedeutung wird GPS auch im zivilen Luftverkehr als Sekundärsensor für Navigationsdaten und Geschwindigkeit gewinnen. Ein Einsatz als Primärsensor wird derzeit von den Luftfahrtgesellschaften wegen der Eigentumsverhältnisse und der damit verbundenen fehlenden Möglichkeit der Einflussnahme noch nicht in Erwägung gezogen. Im Landverkehr wird GPS besonders in unwegsamen Gegenden der Welt von grossem Nutzen sein.

die Positionsgenauigkeit. Der PDOP seinerseits ist ein Qualitätsfaktor; er wird dargestellt durch eine dimensionslose Grösse, die proportional dem Kehrwert des Volumens des über den benutzten Satelliten und dem Empfänger aufgespannten Körpers ist.

Es zeigt sich, dass die wesentlichen Beiträge zum Gesamtfehler bei der Erstellung des Fehlerbudgets erheblich überschätzt wurden, so dass heute die erreichbare Genauigkeit für C/A-Code-Empfänger in der Grössenordnung von etwa 10 m (SEP 50) liegt, während mit dem P-Code etwa 5 m erreichbar sind.

Neben der hochgenauen Position lässt sich mit GPS auch eine hochgenaue Geschwindigkeit ermitteln. Je nach verwendetem Empfängertyp können dynamisch Genauigkeiten bis zu 0,01 m/s erreicht werden. Diese Geschwindigkeiten werden in der Regel unabhängig von der Position durch Auswertung der Dopplerinformation gewonnen. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit einer zusätzlichen Plausibilitätsprüfung.

se an einem solchen System besteht, und das nicht nur in Bereich der Navigation.

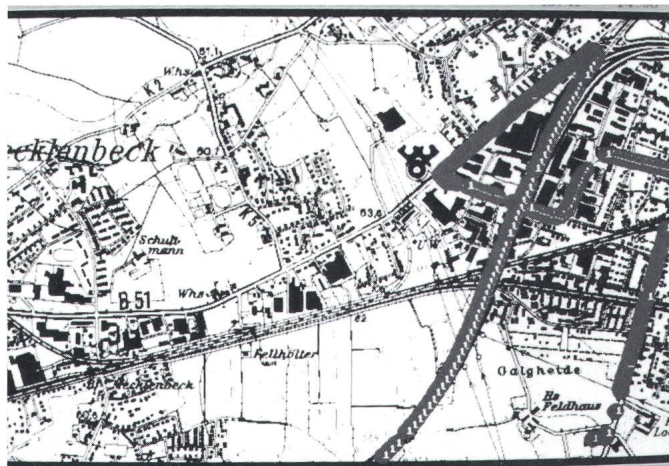
Hauptanwendungsgebiete des Systems sind:

- die Navigation (wie komme ich von A nach B)
- die Ortung (wo bin ich, oder wo sind andere)

## Ortung

Im Bereich der Ortung wird GPS eine überragende Bedeutung besonders im Bereich der Flottenortung und der Fahrzeugfernortung gewinnen.

**Bild 8** Veloc-Track



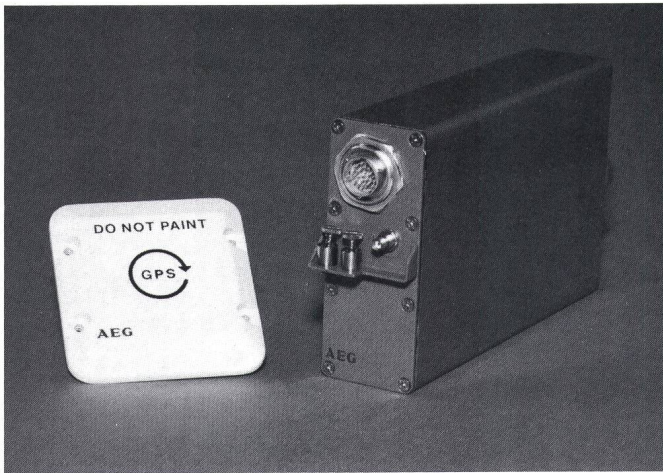


Bild 9 GPS-Sensor

Hierbei werden Fahrzeuge z.B. aus den Bereichen

- Polizei,
- Gefahrguttransporte,
- öffentlicher Personennahverkehr,
- Spedition,
- Personenschutz

mit GPS-Positionssensoren und entsprechenden meist schon vorhandenen Kommunikationsmitteln ausgerüstet. Diese Fahrzeuge können dann permanent von einer Zentrale mit Hilfe einer digitalen Kartendarstellung geleitet werden, um so Einsätze zu optimieren. Bild 8 zeigt die Spur eines Fahrzeugs auf einer digitalisierten Karte.

### Geodäsie

Schon sehr früh haben die Geodäten entdeckt, dass GPS für die Landesvermessung und verwandte Aufgaben ein erhebliches Potential bietet. Hier ist auch bereits heute erkennbar, dass GPS das Vermessungswesen bis hinein in die Ingenieurvermessung und die Katastervermessung revolutionieren wird. Durch besondere Verfahren bei der Signalverarbeitung im Empfänger wie z.B. Trägerphasenauswertung lassen sich extrem hohe Relativgenauigkeiten erzielen. Hierbei wird jeder zu messende Punkt mit einem Empfänger besetzt und die während der Messung im Empfänger gespeicherten Daten nach der Messung von einem Computer ausgewertet. Die erzielten Genauigkeiten liegen hierbei in der Größenordnung von 1 ppm, d.h. 1 mm Fehler bei einer Basislinie von 1 km.

Für geodätische Anwendungen werden grundsätzlich Spezialempfänger mit mindestens 6 parallelen Kanälen eingesetzt. Bei der Messung langer Ba-

sislinien werden zur Kompensation der ionosphärischen und troposphärischen Fehlereinflüsse in aller Regel sogenannte Zweifrequenz-Empfänger, die sowohl L1 als auch L2 empfangen, eingesetzt.

### Positionierung

Im Offshore-Bereich wird GPS schon heute zur Positionierung von Bohrinseln und zu ähnlichen Aufgaben eingesetzt. Wegen der hohen Genauigkeitsforderungen wird hierbei häufig auf differentielle Techniken mit einer festen Referenzstation und einem oder mehreren mobilen Empfängern zurückgegriffen. Hierbei übermittelt die auf einer hochgenau vermessenen Position stehende Referenzstation permanent Korrekturdaten an die mobilen Stationen.

Auch im Rahmen der immer mehr an Bedeutung gewinnenden Geographischen Informationssysteme (GIS) entwickelt sich GPS zu einem nützlichen Hilfsmittel zum Bestimmen und Wiederauffinden von Positionen.

### Zeitsynchronisation

Wegen der hochgenauen im Empfänger verfügbaren Systemzeit (etwa 35 ns) lässt sich GPS vorzüglich für Synchronisationszwecke nutzen. Neben der militärischen Kommunikation (Frequency Hopping) gibt es im zivilen Bereich eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten wie z.B. die Synchronisation von Energieversorgungsnetzen oder Sendestationen.

### Geschwindigkeitsmessung

Wie oben dargestellt, bietet GPS die Möglichkeit einer hochgenauen Ge-

schwindigkeitsmessung über die Auswertung der Dopplerverschiebung. Im Gegensatz zu anderen Verfahren ist die GPS-Geschwindigkeit praktisch frei von Nullpunkts- und Skalenfaktorfehlern sowie völlig frei von Schlupf und anderen Fehlereinflüssen. Sie steht weiterhin als Vektor in drei Dimensionen zur Verfügung. Beispielhafte Anwendungen sind hier die Messung der Geschwindigkeit über Grund auf Schiffen und die exakte Bestimmung der Geschwindigkeit bei Bahnen.

### Antenneninterferometer

Bei entsprechender Anordnung von zwei oder drei Antennen lassen sich mit GPS präzise Interferometer zur Bestimmung von Lagewinkeln (Azimut, Roll und Nick) aufbauen. Wegen der kurzen Wellenlänge und der damit verbundenen Baugröße von GPS-Microstrip-Antennen lassen sich solche Interferometer auf relativ kleinem Raum realisieren. Im Gegensatz zu konventionellen Lagereferenzsystemen sind solche Interferometer bei gleichen Leistungsdaten wahrscheinlich zu erheblich geringeren Kosten herstellbar.

### Geräte realisierungen

Die folgenden Abbildungen zeigen GPS-Empfänger für verschiedene Anwendungen. Bild 9 zeigt einen GPS-Sensor einschliesslich Microstrip-Antenne, wie er heute als ausgereifte Technologie zur Verfügung steht. Je nach Anforderung enthält der Empfänger 3 sequentiell oder 6 parallel arbeitende Kanäle. Der rauscharme Vorverstärker ist in die Antenne integriert. Der Empfänger ist weitgehend in SMD-Technik aufgebaut und enthält für die Aufbereitung der GPS-Signale zwei ASIC. Der Empfänger verfügt über keinerlei Bedienelemente, alle Funktionen können über zwei RS-422-Schnittstellen von einem übergeordneten Rechner gesteuert werden. Die Daten werden ebenfalls an diesen Schnittstellen zur Verfügung gestellt. Die Stromversorgung erfolgt aus +5 V, die Leistungsaufnahme liegt unter 3 W.

Bild 10 zeigt einen Empfänger für den Einsatz in einem Landfahrzeug oder als «Manpack». Die Technologie ist im wesentlichen mit der des oben genannten Sensors identisch. Die Antenne ist in das Gerät eingebaut, eine externe Antenne ist jedoch ebenfalls

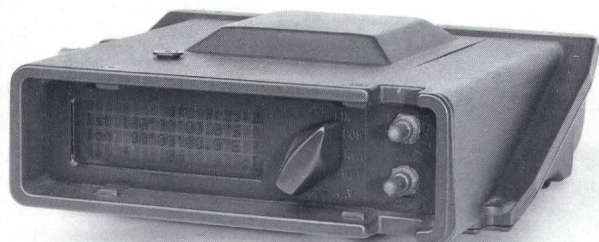


Bild 10 Manpack



Bild 11 GPS-Empfänger für geodätische Anwendungen

anschliessbar. Es ist eine alphanumerische LCD-Anzeige mit  $4 \times 16$  Zeichen für die Darstellung der diversen Daten vorgesehen.

Bild 11 zeigt einen Empfänger für geodätische Anwendungen. Dieser Empfänger hat 8 oder 12 parallel arbeitende Kanäle, die Antenne ist ebenfalls eingebaut. Die Stromversorgung erfolgt über eine wiederaufladbare Batterie, die Leistungsaufnahme liegt bei etwa 7 W. Für die Speicherung von Daten sind bis zu 4 MByte Hauptspeicher vorgesehen, dies reicht für etwa 48 Stunden ununterbrochener Datenaufzeichnung. Die Benutzerführung erfolgt menügesteuert. Zum Gerät gehört ein umfangreiches, auf jedem PC-AT lauffähiges Softwarepaket (rund 3 MByte) für die Auswertung der aufgezeichneten Daten.

## Ausblick

Gegenwärtig wird alle 60 Tage ein weiterer Satellit gestartet. Wenn keine weiteren Verzögerungen des Programms eintreten und wenn die Block-1-Satelliten (die 7 noch funktionieren-

den Prototypen) auch weiterhin ihren Dienst verrichten, kann mit einer weltweiten, 24-stündigen 2-D-Bedeckung ab Mitte 1990 gerechnet werden. Eine vollständige 3-D-Bedeckung wird unter diesen Bedingungen etwa 6 bis 12 Monate später hergestellt sein.

Die Benutzung von GPS ist für jedermann kostenfrei, mit einer Änderung dieser Politik durch das US-DoD ist allein schon wegen der ausserordentlich komplizierten administrativen Probleme eines Gebühreneinzugs nicht zu rechnen, obwohl diese Option offengehalten wird. Der Zugang zum hochgenauen Y-Code bleibt zivilen Benutzern jedoch verschlossen.

Wegen der Abhängigkeit des Nutzers vom US-DoD als Betreiber des Systems werden immer wieder ähnliche Systeme vorgeschlagen, die entweder von Firmen als Dienstleistung angeboten werden oder die von multinationalen Organisationen betrieben werden sollen. So attraktiv eine solche Lösung auch ist, stehen ihr doch die immensen Kosten des Raumsegments gegenüber, die letztlich von den Teilnehmern der Dienste getragen werden müssen.

GPS wird nach Vollausbau etliche Milliarden Dollar gekostet haben. Die Umlage dieser Kosten auf z.B. eine Million Nutzer würde für jeden Empfänger einen Beitrag von mehreren Tausend Dollar bedeuten, also Kosten in einer Grössenordnung, die in vielen Fällen über dem vom Markt akzeptierten Empfängerpreis liegt.

## Literatur

- [1] Introduction to Navstar GPS user equipment. Nato unclassified document ANP-2. Los Angeles, Air Force Station California/Navstar GPS Joint Program Office, 1988.
- [2] Navstar global positioning system (GPS); system characteristics. Nato Military Agency for Standardization, Standardization Agreement (STANAG) 4294, Draft Issue I 15 April 1988 and Amendment 31 January 1989. Annapolis/MD, Arinc Research Corporation, 1989.
- [3] D. Wells a. o.: Guide to GPS-positioning. Fredericton/Canada, Canadian GPS Associates, 1987.
- [4] M. Bauer: Vermessung und Ortung mit Satelliten. Karlsruhe, Verlag H. Wichmann, 1989.
- [5] J. Hurn: GPS - Die Zukunft in Ortung und Navigation hat bereits begonnen. Hamburg, Telefunken System Technik, 1989.