

SATELLITENSYSTEM FÜR DEN VERKEHR

Ph. Hartl, Stuttgart

ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren wurde insbesondere NAVSTAR- GPS als zukünftiges Satellitensystem für die Lösung verkehrstechnischer Aufgaben bekannt. Hierbei steht die Navigation im Vordergrund. Es gibt eine Reihe anderer Systeme, die teils ähnliche Funktionen haben, teils der mobilen Kommunikation dienen. Aber auch kombinierte Systeme sind in der Diskussion. Die wichtigsten Systeme und -konzepte werden beschrieben und kurz diskutiert. Diese Möglichkeiten könnten auch für andere Dienste, z.B. für die Geodäsie, von Interesse sein.

ABSTRACT

During the last years especially NAVSTAR- GPS has become known as a future satellite system capable to solve tasks related to transportation. Navigation is predominant in this system. There exist other satellite systems with similar functions and/or mobile telecom service as primary task. The most important systems are described and shortly discussed. These possibilities could also be of interest for other services, such as the geodesy.

1. EINLEITUNG

Navigationsatelliten wurden in den vergangenen Jahren von zunehmend größerer Bedeutung für die Geodäsie. Es wurde bereits beim TRANSIT-System ganz offensichtlich, daß man diese Satelliten bei den wissenschaftlichen und technischen Aufgaben des Vermessungswesens bestens nutzen kann (BAUER,1989; SEEBER,1989; WELLS,1986).

Die GPS- Technik zeigt dies noch wesentlich deutlicher. Von ganz besonderer Wichtigkeit für die Praxis ist die Tatsache, daß man bei solchen Satellitensystemen nicht nur digitale, hochgenaue Meßtechniken weltweit verfügbar hat, die den Globus einheitlich zu vermessen gestatten, sondern daß die Satellitensysteme kostenlos genutzt werden können; die Geodäsie könnte sich ein eigenes operationelles System, das einen enormen finanziellen Aufwand erfordert, selbst leisten.

Allerdings ergibt sich aus dieser Abhängigkeit auch eine Problematik, die z.B. in Hinblick auf GPS derzeit erhebliche Unsicherheiten bringt. Es ist offen, ob GPS und ggf. unter welchen Bedingungen in der bevorstehenden operationellen Phase des GPS-Betriebs auch das sog. P - Code Signal für die geodätischen Zwecke zugänglich sein wird und welche technischen Verfahren der Verschlechterung des C/A- Codes angewandt werden. Dadurch ist auch unklar, inwieweit die vielversprechenden GPS - Anwendungsmöglichkeiten, die z.Z. erprobt werden, auch tatsächlich operationell im Vermessungswesen eingeführt werden können.

Die Anwendung von GPS im zivilen Bereich der Verkehrstechnik - GPS und TRANSIT sind militärische Systeme - ist aus denselben Gründen der Abhängigkeit z.Z. umstritten. Auch dort ist die Abhängigkeit und Unsicherheit von eminenter Bedeutung. Deshalb sind z.Z. alternative Systeme zu GPS in der Diskussion bzw. Einführung. Ergänzend zu GPS könnten diese auch für die Geodäsie von Interesse sein. Dabei werden auch die alternativen und/oder komplementären Systeme zu GPS in die Planung mit einbezogen. Es ist das Ziel der vorliegenden Übersicht, eine entsprechende Diskussion bei den Geodäten anzuregen.

2. DERZEITIGE LAGE BEI GPS

Das operationelle GPS- System ist derzeit im Aufbau. Der neue Zeitplan (Start von 3 "Block 2" = operationelle Satelliten in 1989, 6 weitere in 1990, 6 weitere in 1991, 4 in 1992, 3 in 1993 und 2 in 1994) dürfte im wesentlichen eingehalten werden. Die operationellen Satelliten werden vor allem mit neuen Delta-Raketen gestartet, während ursprünglich besonders die Shuttleflüge hierfür vorgesehen waren. Eine Verbesserung gegenüber der Planung vor einigen Jahren stellt die Tatsache dar, daß nun 21 (statt 18) operationelle Satelliten und 3 aktive Reservesatelliten betrieben werden, sodaß die Anzahl der für eine Messung nutzbaren Satelliten steigen wird.

Es gilt allerdings im zivilen Bereich die Einschränkung, daß nur eine verschlechterte Genauigkeit für den C/A- Code angeboten wird und daß der präzise Code sehr stark eingeschränkt verfügbar sein wird und vermutlich nicht in Echtzeit. Das amerikanische Department of Defense DOD hat sich bisher nur insofern festgelegt, daß der C/A - Code für die zivile Nutzung kostenlos zur Verfügung sein wird, wobei eine Echzeitgenauigkeit von mindestens 100 m mit 95% Wahrscheinlichkeit gewährleistet sein soll. Über die Art der Verschlechterung wird spekuliert. Es ist möglich, daß die Degradation nur zeitweise erfolgt und daß

die P - Codes einiger der Satelliten "offen" bleiben könnten, um den geowissenschaftlichen Bedürfnissen Rechnung zu tragen. Es kann sogar sein, daß das GPS-System "in der Regel" in seiner hohen Präzision verfügbar sein wird und nur in "militärisch oder politisch" kritischen Zeiten auf die verschlüsselte Betriebsart umgeschaltet werden wird.

Für den zivilen Flugverkehr kann man natürlich aus Sicherheitsgründen nicht auf Spekulationen bauen. Man geht dort in den derzeitigen Diskussionen von den verbindlichen Aussagen aus, also:

- o Der 2 rms- Wert der Ortung wird weltweit jederzeit mit 100 m verfügbar sein.
- o Der P-Code steht nicht zur Verfügung.

Mit dem 100 m Fehlerwert kann man in der Luftfahrt in der Regel leben, weil es sich um den Absolutwert handelt. Die höhere Genauigkeit, die man etwa im Flughafenbereich benötigt und die im m- Bereich und besser liegen sollte, könnte man über das differentielle Verfahren gewinnen. Die noch verbleibenden Probleme sind anderer Natur: Sie betreffen in erster Linie die sog. "Liability". Darunter versteht man die Forderung, daß jeder Nutzer innerhalb weniger Minuten informiert wird, wenn eine Ortung nicht mit der garantierten Genauigkeit erfolgen kann, sei es, weil einer oder mehrere der Satelliten, oder weil das Bodenkontrollsystem nicht richtig arbeiten:

- Eine solche Warnung kann aber mit dem derzeitig im Aufbau befindlichen System bis zu 90 Minuten Verzögerung aufweisen, da die GPS- Satelliten nicht immer mit dem Bodensegment in Kontakt sind.
- Man könnte zwar davon ausgehen, daß in der Regel von mehr als 4 Satelliten die Signale empfangen werden können und daher über die Redundanz der Ortung selbst die Warnung abgeleitet werden kann. Hierfür gibt es aber den Einwand, daß durchaus zeitweise aus Wartungsgründen ein einzelner Satellit mehrere Tage "geplant" außer Dienst gesetzt werden wird, wie dies auch heute der Fall ist und daß gelegentlich ein weiterer Satellit "zufällig" ausfällt. Dann wird man nur noch 4 Satelliten zur Messung haben.

- Außerdem sind bei manchen Flugsituationen durchaus Signal-Abschattungen zu erwarten (Antennendiagramme der Flugzeuge), sodaß es zeitweise Signalausfälle gibt.

Daher wird vonseiten der zivilen Luftfahrtbehörden zunächst das GPS-System nur als sekundäres System genutzt werden, also in Kombination mit einem anderen. Beispiel: In Ergänzung zum Inertialsystem oder zu anderen Funkortungssystemen. Es ist aber offensichtlich, daß man auch dann für viele praktische Anwendungen großen betrieblichen Nutzen aus dem GPS ziehen kann. Hierbei handelt es sich aber um einen "Bonus". Was man jedoch ernsthaft in Erwägung zieht (siehe Abschnitt 5, 6), ist die Ergänzung von GPS mithilfe einiger geosynchroner Satelliten.

Was den weiteren Ausbau von GPS betrifft, so sind bereits die Vorbereitungen getroffen, die Satelliten vom Block 2R (Replacement) zu fertigen, die ab Mitte der 90-er Jahre den weiteren, verbesserten Betrieb gewährleisten sollen. Hierbei ist u.a. auch daran gedacht, zwischen den GPS-Satelliten eine direkte Verbindung herzustellen, die es ermöglicht, sich wechselseitig zu vermessen und die außerdem die Nachrichtenverbindung im Sinne der Liability zu gewährleisten. Es wird dabei daran gedacht, die Satelliten so auszustatten, daß man ohne Bodenkontrollsegment 180 Tage einen zufriedenstellenden Betrieb aufrechterhalten kann (NAVIGATION, 1988).

3. GLONASS

Bekanntlich hat die Sowjetunion ein Navigationssatellitensystem im Aufbau, das sehr große Ähnlichkeit mit dem amerikanischen GPS-System hat. Derzeit sind 10 solcher Satelliten im Betrieb, allerdings nicht kontinuierlich. Es werden viele Tests in unterschiedlichen Betriebsarten durchgeführt. Insgesamt sind bereits weit mehr als 20 solcher Satelliten gestartet worden, manche davon waren nicht betriebsstüchtig, andere hatten sehr beschränkte Lebensdauer.

GLONASS soll mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die Position in der Ebene auf 100 m, in der Höhe auf 150 m in der Geschwindigkeit auf 15 cm/s und in der Zeit auf eine usec gewährleisten. Diese Daten gelten für den zivilen Code. Zunächst wird von 1991 bis 1995 der dreidimensionale Service gewährleistet.

Trotz der prinzipiellen Ähnlichkeiten sind wesentliche technische Unterschiede zwischen GPS und GLONASS vorhanden. So ist das eine System im Codemultiplex betrieben, das andere im Frequenzmultiplex. Mit kommerziellen GPS-Empfängern ist es deshalb nicht möglich GLONASS-Signale zu empfangen. Beide Verfahren nutzen zwar Pseudorange-Codes. Das russische Verfahren hat aber die halbe Taktrate der amerikanischen. Während es für die GPS-Technik viele sehr interessante Empfänger auf dem Markt gibt, sind für GLONASS lediglich einfache Empfänger angekündigt. In der westlichen Welt sind nur wenige zivile Stellen bisher offenbar in der Lage, die GLONASS-Signale zu empfangen.

4. GPS/GLONASS

Eine wichtige Vereinbarung wurde in diesem Jahr geschlossen: Die Vereinigten Staaten und die Sowjetunion haben im Rahmen der zivilen Luftfahrtbehörde ICAO in Montreal vertraglich festgelegt, daß sie ihre Systeme (in der "C/A-Version") für die zivile Nutzung zur Verfügung stellen. Es soll auch in einer Zusammenarbeit eine Harmonisierung der Meßtechnik erfolgen. Demnach könnte man darauf schließen, daß man in den nächsten Jahren sehr viele Satelliten -im Endausbau 2x24 Satelliten - verfügbar hätte, die dann genutzt werden könnten, wenn man Empfänger verwenden würde, die für beide Systeme anwendbar sind.

Natürlich wäre mit einem solchen System die Problematik der Integrity gelöst, ja sogar ein "Overdesign" realisiert, d.h. der Aufwand wäre weit größer getrieben als erforderlich. Es wäre naheliegend, daß man versuchen würde, zu einem einheitlichen System zu kommen, das wirtschaftlich Ost und West zur Verfügung stünde. Ob es dazu kommen wird, bleibt aber abzuwarten. Zunächst muß man skeptisch sein, weil natürlich trotz der Verbesserung der politischen Lage die Großmächte kaum darauf verzichten würden, für ihre eigenen Sicherheitskräfte eine Abhängigkeit vom möglichen Gegner aus Kostengründen zu akzeptieren.

5. KOMPLEMENTIERUNG VON GPS DURCH SYNCHRONSATELLITEN

Es gibt eine Reihe von Vorschlägen, den Bedürfnissen der zivilen Seite besser Rechnung zu tragen. Diese Vorschläge beinhalten:

- Einführung GPS- ähnlicher Systeme, die rein zivil sind. Hierfür wurden eine Reihe von Studien angefertigt; besonders NAVSAT (bei ESA) und GRANAS (bei SEL) seien in diesem Zusammenhang erwähnt. Es dürfte aber kaum zu einer Realisierung

kommen, schon wegen der damit verbundenen hohen Kosten.

- Einführung ergänzender geosynchroner Satelliten. Die Vorschläge sind insbesondere in Hinblick auf die Entwicklungstendenzen bei INMARSAT von Bedeutung. Erste konkrete Vorschläge gehen auf S. Starker (STARKER, 1984) zurück. Es könnten mithilfe weniger Geosynchronsatelliten, die ebenso wie die 12- Stunden GPS-Satelliten ausgerüstet sind, die Empfangsbedingungen verbessert werden. Außerdem könnte man bei diesen speziellen Satelliten die Datenübertragung des 50 bit/s - Kanals mit Informationen belegen, die für die Liability- Aspekte von Bedeutung sind und zusätzlich noch regionale "Search and Rescue"-Informationen übertragen.

6. INMARSAT

INMARSAT ist eine internationale Organisation für den Nachrichtenbetrieb via Satellit, die 1979 gegründet wurde und bei der 56 Länder Mitglieder sind. Bisher bedient diese Organisation mithilfe von Geosynchronsatelliten nur den Schiffsverkehr global. Hierbei werden mit leistungsfähigen mobilen Bodenstationen, den sog. Klasse A- Bodenstationen (Kosten pro Einheit etwa 200 TDM), die auf den Schiffen installiert sind, Telefon - und Datenverbindungen via Satellit weltweit möglich. Diese Dienste werden in das öffentliche Fernsprechnetze eingespeist. Dadurch kann man über die normalen, postalischen Telefon- und Telex-Anschlüsse und im üblichen Selbstwähldienst Anrufe von und zu Schiffen so durchführen als handele es sich um ein übliches internationales Gespräch. Auch die Qualität der Übertragung ist hervorragend.

Das Gesamtsystem besteht also aus dem "Raumsegment", das von INMARSAT betrieben wird, dem "Bodensegment" für die Verbindung zwischen Satellit und den postalischen Netzen, das in Zusammenarbeit zwischen den nationalen Fernmeldediensten und INMARSAT betrieben wird, und dem "Nutzersegment", also den Stationen auf den Schiffen.

Für den mobilen Betrieb, d.h. die Strecken Schiff- Satellit und umgekehrt, werden die Frequenzen bei 1,5 / 1,6 GHz verwendet, während auf den Strecken der festen Bodenstation (Kontrollstation) und dem Satelliten bzw. in der umgekehrten Richtung 4 / 6 GHz Frequenzen Verwendung finden.

Da die Klasse A - Bodenstationen, die mit Parabolspiegeln ausgerüstet sind, welche wegen der Schiffsbewegungen automatisch auf die Beobachtungsrichtung zum

geosynchronen Satelliten ausgerichtet werden müssen, für viele Nutzer zu teuer sind, werden in diesem Jahr auch die Klasse C-Bodenstationen eingeführt, die mit ungerichteten Antennen arbeiten und wesentlich kostengünstiger (ca. 40TDM) sein werden. Gleichzeitig soll die bisherige Dienstleistung erweitert werden:

Es sollen auch die Flugdienste, der Landverkehr und abgelegene Gebiete telekommunikationsmäßig bedient werden. Außerdem werden die Navigationsdienste wahrscheinlich zusätzlich in folgender Form eingeführt: INMARSAT wird vermutlich (noch keine feste Abmachung) mit GPS zusammenarbeiten. Es könnten die geosynchronen Satelliten des INMARSAT - Systems mit den Einrichtungen eines GPS-Satelliten ausgestattet werden, wie oben bereits geschildert. Man könnte auch kleine mobile Stationen mitbenutzen, die Ausbreitungsfehler und Korrekturwerte für die Satellitenbahn- und Zeitabweichungen zu ermitteln, um dann regional unterschieden diese Korrekturwerte synchron aussenden.

7. GEOSTAR

Einen etwas anderen Weg geht GEOSTAR. Diese amerikanische Privatorganisation nutzt auch Geosynchronsatelliten und bietet in den USA und später auch in anderen Ländern "Radio Determination Satellite Services" (RDSS) an. Bisher werden allerdings nur sogenannte Piggyback-Transponder genutzt. Man "mietet" sich also einen Platz auf einem geosynchronen Nachrichtensatelliten, der ohnehin von einer Telekommunikationsfirma gestartet wird und bringt auf diesem Platz einen Transponder für die eigenen mobilen Dienste unter. Dadurch werden die Kosten für das Raumsegment relativ gering. Die Transponder werden sowohl für die Nachrichtenübertragung als auch für die Ortung genutzt. Sind zwei Geosynchronsatelliten mindestens 15 Grad voneinander entfernt auf der Äquatorialbahn positioniert, dann kann man mit diesem System die zweidimensionale Fahrzeugortung mit einer Genauigkeit von 5 bis 10m durchführen. Nutzt man entsprechend drei Satelliten, dann erhält man die Ortungsinformation mit einer Genauigkeit von 100 m dreidimensional. Es wird bei diesem System auch die Laufzeitmessung genutzt.

Von der Bodenstation werden Abfragesignale über die Satelliten abgestrahlt, die auf die einzelnen Nutzer codiert sind. Der Nutzer (Flugzeug, Schiff, Auto, Feststation) ist mit einem Transponder ausgestattet, der dann "antwortet", wenn die Ortungsbedarf besteht oder wenn er eine Nachricht übermitteln will. Die "Antwort" wird auf dem Rückweg via Satellit in der Zentralstation wieder empfangen. Die Laufzeiten hinsichtlich der zwei bzw. drei Satelliten wird umgerechnet in

die entsprechende Position, die dann wiederum in der Vorwärtsrichtung dem Nutzer codiert zugesandt wird. Bei der Berechnung werden die Werte von festen Referenzstationen mit bekannten Koordinaten ebenfalls berücksichtigt, sodaß systematische Fehler ausgeschaltet werden können.

Natürlich kann der Nutzer auch seine eigenen Informationen zur Zentrale und von dort zum gewünschten Empfänger absenden. Es handelt sich dabei um relativ kurze Informationspakete mit z.B. 776 bits. Die Übertragung kann extrem schnell geschehen. Die Kapazität des Systems erlaubt eine halbe Million und mehr Teilnehmer, kann aber auch noch wesentlich erweitert werden.

Das GEOSTAR - System ist nach anfänglichen technischen Schwierigkeiten mit einem Geo-Satelliten in Betrieb. Ein zweiter Satellit wird in den nächsten Monaten den Betrieb aufnehmen und somit in den USA die Ortsbestimmung in der konzipierten Form erlauben; bisher ist "nur" Datenübertragung von und zu Fahrzeugen möglich. Behelfsweise nutzte man für die Positionsbestimmung im Fahrzeug andere, z.B. terrestrische Verfahren, falls auch die Positionierung jetzt schon unbedingt gefordert wurde. Es zeigte sich aber, daß besonders der mobile Nachrichtenaustausch enorm wichtig ist und von vielen Kunden aus dem Lastwagenverkehr angenommen wird.

Es wird berichtet, daß z.B. die Firma Ford in der Zukunft von seinen Zulieferanten verlangen wird, daß ihre Lastkraftwagen mit GEOSTAR- Systemen (Grundgebühr 45 Dollar pro Monat und 5 Cts. pro 100 Zeichen) ausgestattet wird, damit jederzeit die Produktionsplanung, die ja mit sehr kurzen Lagerzeiten arbeitet, auch Kontrolle über die Teile hat, die "momentan auf der Straße" sind. Jede Panne und jeder Unfall kann so in der Fertigungsvorbereitung kurzfristig Berücksichtigung finden.

GEOSTAR kam innerhalb der kurzen Zeit, in der es nun arbeitet, so gut in der Wirtschaft an, daß man in etwa 10 Jahren ein eigenes Satellitensystem im Werte von 1,6 Mrd. DM aufbauen will, neben den Piggyback- Kapazitäten.

8. LOCSTAR

Auf der Basis des GEOSTAR - Konzepts hat unter der Federführung der franz. Raumfahrtorganisation CNES auch eine europäische Organisation damit begonnen, ein entsprechendes System aufzubauen. Die Organisation und das Satellitenkonzept laufen hier unter dem Namen LOCSTAR.

Das System soll in der ITU - Region 1 (Europa, Afrika, Mittlerer Osten) ein Funkortungs- Satellitensystem errichtet werden. In seiner ersten Ausbaustufe sieht es eine Bedeckung für Europa vor.

Es ist geplant - aber noch nicht genehmigt - das S-Band im Bereich von 2.483,5 bis 2500 MHz für die Strecke Satellit - Nutzer, das L-Band im Bereich 1610 bis 1626,5 MHz für die Strecke Nutzer - Satellit, und das C-Band im Bereich 5117 bis 5183 MHz für die Strecke Satellit - Zentrale, bzw. 6525 bis 6541,5 MHz für Zentrale - Satellit zu verwenden.

Anwendung soll das System finden bei aeronautisch, terrestrischen mobilen, sowie maritimen Diensten der Navigation. Es dient dem Flottenmanagement, den Rettungsdiensten, dem Sicherheitstransport etc. Marktstudien ergaben, daß die Zahl der Nutzer im Zeitraum 1989-94 etwa eine halbe Million sein wird. Die Entwicklung der ersten Satelliten läuft bereits.

9. SCHLUSSFOLGERUNG

Es werden verschiedenste Möglichkeiten der Positionsbestimmung in den nächsten Jahren möglich sein, die zudem auch noch Datenübermittlung gestatten. Diese Systeme dürften teilweise auch für die Vermessung Vorteile des Betriebes bringen. Es erscheint sinnvoll, daß die geowissenschaftlichen Gruppen und die Vermessungsdienste sich mit diesen Chancen befassen und sie evtl. in ihre Planungen einbringen. Die angegebenen Genauigkeiten mögen auf den ersten Blick viel zu schlecht erscheinen. Man muß aber berücksichtigen, daß es sich hierbei um die Navigationsdaten handelt, die bekanntlich mehrere Größenordnungen schlechter sind als die Ausgleichsdaten, die man in der geodätischen Messung erzielen kann.

10. LITERATURHINWEISE

BAUER, M. (1989): Vermessung und Ortung mit Satelliten. Karlsruhe

SEEBER, G.(1989): Satellitengeodäsie. Berlin

NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 35, No.2 Summer 1988, U.S.A

STARKER, S. : A GPS-NAVSTAR- Supplement as a Possibility for Autonomous Civil Satellite Navigation; 35th Congress of the Intern. Astronautical Federation, Lausanne,1984; IAF-84-426

WELLS, D. (1986): Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick (Canada).