

Über die Zukunft der satellitengestützten Positionierung

Wolfgang Augath

1 Einleitung

Satellitengestützte Positionierungsverfahren haben nicht nur in der Navigation, sondern auch im Vermessungswesen und in der Hydrographie völlig neue Möglichkeiten eröffnet. Während die achtziger und der Beginn der neunziger Jahre nur durch den Ersatz einzelner Positionierungsbausteine durch satellitengestützte geprägt war, werden seit einigen Jahren vollständig neue Verfahrenslösungen für klassische Aufgaben entwickelt. Auch die dazu notwendige neue Infrastruktur ist im Aufbau. Genannt sei hierbei die Verfahrensentwicklung HPPS des niedersächsischen Landesvermessungsamtes in Zusammenarbeit mit der TU Dresden und der TU Braunschweig (Augath, Jahn 1998), bei der das klassische, vermarkte Festpunktfeld durch ein Netz von GPS-Permanentstationen ersetzt wird, ebenso wie das Projekt „Optimierung der hydrographischen Positions- und Lagebestimmung“ (Böder, Seeber 1999), bei dem im Rahmen der satellitengestützten Höhenübertragung in der Gewässervermessung eine GPS-INS-Integration verwirklicht worden ist. Auch das jüngste KFKI-Projekt NNSAT, in dem die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zusammen mit dem Geodätischen Institut der TU Dresden ein neues satellitengestütztes Verfahren zur universellen Höhenüberwachung von Küstenpegeln entwickelt, liegt auf dieser Linie. Für diese neuen Verfahrenslösungen ist auch schon eine neue geodätische Infrastruktur im Aufbau, wie z.B. die geplanten 200 SAPOS-Referenzstationen der deutschen Landesvermessung mit einem Abstand von 30 - 50 km (Leipholtz 1999), von denen bereits weit über die Hälfte verwirklicht worden sind, oder die ergänzenden Stationen der Wasserschifffahrtsverwaltung für Zwecke der Gewässervermessung mit einem Abstand von 20 km. Auch wurden hiermit neue Positionierungsdienste aufgebaut.

Mit dem verstärkten Einsatz satellitengestützter Verfahren wächst natürlich auch die Abhängigkeit vom Betreiber des Systems und der derzeitigen und der von ihm geplanten künftigen Ausgestaltung. Ziel des Beitrages ist es, den Stand und den Trend satellitengestützter Positionierungssysteme darzustellen (Status 7/99) und auf die Auswirkungen auf das Vermessungswesen allgemein und die Hydrographie im Besonderen hinzuweisen.

2 Weiterentwicklung der Satellitensysteme

2.1 Stand und Trend des NAVSTAR GPS Systems

Stand

Seit dem 31.01.1998 stehen grundsätzlich 27 GPS-Satelliten zur Verfügung. Einen Eindruck über den hohen Stand der GPS-Verfügbarkeit vermittelt Tabelle 1. Wenn man eine vollständige Horizontfreiheit von 12° unterstellt, sind weltweit an nur wenigen Stellen für maximal 10 Minuten weniger als 4 Satelliten sichtbar. In Deutschland stehen permanent mindestens fünf Satelliten zur Verfügung. Die technische Zuverlässigkeit der derzeit konstellationsbestimmenden Block II/IIA-Satelliten übertrifft nach wie vor alle Erwartungen. Der geplanten mittleren Lebensdauer von 7,5 Jahren steht ein stetig steigender Wert von derzeit 9,5 Jahren (Block II-Typ) gegenüber.

		GPS Verfügbarkeit 1998											
		<u>Summe aller Satellitenausfallzeiten</u>											
		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
[Std]		75,8	62,3	171,7	60,2	398,4	35,9	81,0	7,0	219,7	207,3	11,5	89,1
[%]		0,4	0,3	0,8	0,3	2,0	0,2	0,4	0,0	1,1	1,0	0,1	0,4
		<u>Verfügbarkeit des Gesamtsystems*</u>											
Ausfallzeiten [Std]		2,3	1,2	6,8	2,5	8,5	2,7	3,3	0,8	5,3	6,2	0,5	7,8
Verfügbarkeit [%]		99,69	99,82	99,08	99,65	98,86	99,62	99,55	99,87	99,26	99,17	99,93	98,95
* Kriterium: Zeiten mit weltweit mindestens 4 sichtbaren Satelliten bei einer Elevationsgrenze von 15°													

Tab. 1: GPS-Verfügbarkeit 1998 nach Müller (1999)

Die geplanten Maßnahmen zur Genauigkeitssteigerung der Absolutpositionierung (AGPS) bis in den 1 - 2 m-Bereich sind angelaufen (Accuracy Improvement Initiative). Teilschritte hierzu bestehen in der Übernahme von ITRF-Koordinaten für die Trackingstationen, deren Anzahl auf derzeit 11 bzw. später bis auf 19 erhöht werden soll, der Fähigkeit zum satellite-to-satellite-ranging der IIR-Satelliten sowie häufigerer Updates und damit kürzerer Prädiktionszeiträume.

Trend

Mit der Weisung vom 26. März 1996 wurde durch den U.S. Präsidenten u.a. die Einrichtung eines das GPS-System steuernden Gremiums (Interagency GPS Executive Board [IGEB]) verfügt, welches insbesondere die Weiterentwicklung des Raumsegments einvernehmlich regeln sollte.

Dabei fordert die zivile Seite (U.S. Verkehrsministerium) zusätzliche Signalkomponenten in Form der zweiten Frequenz zur unmittelbaren Korrektur der ionosphärischen Laufzeitfehler, die militärische Seite dagegen Signaländerungen zum Ausgleich der spätestens ab 2006 weisungsgemäß wegfallenden Selective Availability-Möglichkeit und die Einbringung einer weiteren Frequenz für kombinierte zivil-militärische Nutzung in der Form eines „safety of life“-Signals. Das dazu notwendige zusätzliche Frequenzspektrum steht aber wohl kaum zur Verfügung.

Der zivilen Seite wird zur Zeit im jetzt erscheinenden Federal Radionavigation Plan 1998

- ein auf der L2-Frequenz zusätzlich gesendeter C/A-Code
- eine auf L1 und L2 freigegebene Nutzung des P-Codes und
- ein bei 1176.45 MHz vorgesehene „safety-of-life“-Signal zugestanden.

Für den militärischen Bedarf wird eine mit M-Code bezeichnete zusätzliche Signalkomponente im Bereich der bisherigen L1- und der L2-Frequenz einen von der zivilen Nutzung vollkommen unabhängigen Einsatz des GPS-Systems ermöglichen.

Die Umsetzung dieses Signals ist nur im Rahmen der nächsten Satellitengeneration möglich. Da bis zum Zeitpunkt der o.a. Entscheidungen sechs Block IIF-Satelliten bereits unter Vertrag genommen werden mußten, wird sich die neue Signalstruktur in vollem Umfang erst mit dem Start des siebten IIF-Satelliten realisieren lassen. Eine vollständige Konstellation mit neu konzipierten IIF-Satelliten kann demzufolge frühestens für 2008 erwartet werden. Die ab dem Jahr 2004 zur Verfügung stehenden IIF-Satelliten 1-6 können jedoch bereits mit dem C/A-Code auf L2 ausgestattet sein.

Zur vergleichbar unerheblicheren Frage der Abschaltung des SA-Signals ist derzeit eher mit einem späten (-> 2005) als einem frühen Wegfall zu rechnen. Die vom U.S.-Präsidenten ab dem kommenden Jahr jährlich neu zu treffende Entscheidung, ob der mit SA militärisch wegfallende Vorteil durch die neu

entwickelten NAVWAR-Techniken kompensiert werden kann, wird dabei voraussichtlich wesentlich von der Verfügbarkeit der Block IIF-Satelliten abhängen.

2.2 Stand und Trend des GLONASS Systems

Die sukzessive Reduzierung der am 18.01.1996 aus 24 Satelliten bestehenden GLONASS-Konstellation auf die Ende 1998 erreichte Zahl von nur noch 11 voll funktionsfähigen Satelliten wurde durch fehlende Haushaltsmittel verursacht. Die russischen Streitkräfte verfügten primär nicht über genügend Gelder zur Finanzierung der erforderlichen Raketenstarts. Erst nach erfolgter Lieferung und anschließender Bezahlung des ersten Bauabschnitts der internationalen Raumstation „Alpha“ standen Haushaltsmittel zur Verfügung, um drei von sechs bereits produzierten GLONASS-Satelliten einer verbesserten ersten Generation zu starten. Die am 30. Dezember 1998 im Orbit plazierten Satelliten Nr. 779, 786 und 784 wurden reibungslos in Betrieb genommen und überzeugen seither im Rahmen einer aus mindestens 14 Satelliten bestehenden Konstellation durch kontinuierliche Sendeleistung.

Läßt man die letzten Satelliten noch außer Betracht, so ergibt sich eine mittlere Lebensdauer von 3.7 Jahren, die einem ursprünglich geplanten Zeitrahmen von vier Jahren gegenübersteht. Die sukzessive zur Verlängerung der Lebensdauer vorgenommenen Systemänderungen wirken sich offenbar aus.

Rußland ist bestrebt, den Wiederaufbau der Konstellation fortzusetzen; die bereits produzierten Satelliten sollen demzufolge noch in 1999 in Betrieb genommen werden. Da ein zwingender Bedarfsträger im eigenen Land nicht existiert (GLONASS wird lediglich sporadisch genutzt), wird die Realisierung der Absicht jedoch unmittelbar davon abzuhängen, inwieweit ein für GLONASS zweckgebundener Haushaltsmittelzufluß aus dem Ausland erfolgen kann.

2.3 Aufbau europäischer Systeme

2.3.1 European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)

Wie u.a. von Lechner und Müller (1999) und Lechner und Baumann (1998) dargestellt, soll hier ein zusätzliches Raumsegment aufgebaut werden, das aus drei geostationären Inmarsat 3-Satelliten (36 000 km über dem Äquator, z.Zt.: je 1 x in 15,5° West und 64° Ost) besteht. Es sind drei Dienste geplant:

- Streckenmessung mit Hilfe GPS-ähnlicher Signale (nur Code)
- Wide-Area-Differential-Korrektursignale
- Integritätsmonitoring.

Für die Hydrographie sind keine unmittelbaren Anwendungen zu erkennen. Die Hauptnutzung wird in der Luftfahrt liegen (Streckenflug, Landeanflug), die möglichst weltweit einheitliche Dienste benötigt.

2.3.2 Galileo

Die Konferenz der EU-Verkehrsminister hat auf ihrer am 17.06.1999 stattgefundenen Tagung das Konzept und den Aufbau eines mit GALILEO bezeichneten europäischen Beitrags zum Global Navigation Satellite System (GNSS-2) beschlossen. Das von der Europäischen Kommission (Directorate VII, Transport und Verkehr) im Rahmen einer seit Juni 1998 vorgenommenen Spezifizierungs- und Validierungsphase zusammengestellte Konzept sieht die Errichtung eines zum NAVSTAR GPS voll kompatiblen, in sich globalen Satellitensystems vor, welches über kontrollierte Zugangsverfahren unterschiedliche Nutzerkonzepte ermöglichen soll.

Technisch gesehen soll Galileo vernünftigerweise kompatibel zu den GPS-IIF-Satelliten sein und für sich allein den in Tab. 1 zusammengetragenen Standards genügen.

Zahl der Satelliten	21/36
Bahnhöhe	ca. 19.000 km
Genauigkeit (horizontal)	< 10 m bis 4 m (2 SIGMA)
Kontrollsegment	ca. 20 Stationen
Geodätisches Bezugssystem	ITRS
Fertigstellung	2008

Tab.2: Technische Daten zu Galileo (Stand 2/99 [CEC 1999], [DGON 1999])

Für die Realisierung des Konzeptes wird von einem Finanzvolumen in Höhe von 2,2 Mrd ECU ausgegangen, wovon circa 50% über vorhandene EU-Programme und im Haushalt der European Space Agency (ESA) bereits enthaltene Haushaltsmittel bereitgestellt werden sollen. Der verbleibende Betrag muß allerdings bis zur Mitte des Jahres 1999 noch von den nationalen Haushalten bereitgestellt werden. Derzeit herrscht hier eine gewisse Euphorie: die von

nationaler Seite angebotenen Mittel übersteigen den Bedarf der sogenannten Definitionsphase (bis Ende 2000, dann „ergebnisoffene“ Entscheidung) bei weitem.

Die Bedeutung dieser Entwicklung kann derzeit noch nicht voll eingeschätzt werden. Es wird sicherlich nicht gelingen, Gebühren für Leistungen zu erzielen, die GPS kostenlos bereitstellt. Auch die mit Japan angestrebte Kooperation erscheint ungewiß, da sich Japan im September 1998 mit den USA über ein gemeinsames Vorgehen geeinigt hat, während zwei Monate zuvor vergleichbare U.S.-europäische Konsultationen ergebnislos endeten. Unverständlich ist allerdings die amerikanische Entscheidung vom Juni 1999, den weiteren Aufbau des GPS-Weltraumsegmentes wegen der gestiegenen Lebensdauer der GPS-Satelliten zu strecken.

Auf der anderen Seite führten die forcierten europäischen Bestrebungen, den an Zahlungsunfähigkeit leidenden russischen GLONASS-Betreiber zu einem zivil geführten gemeinsamen Vorgehen zu gewinnen dazu, dass Präsident Jelzin in einer am 18. Februar 1999 unterzeichneten Weisung die Beteiligung ausländischer kommerzieller Firmen am GLONASS-System und -betrieb genehmigt hat. Ob sich damit der Zugriff auf das von GLONASS/Russland belegte Frequenzband für eine europäische GNSS2-Komponente erreichen läßt, ist derzeit noch nicht abzusehen.

3 Weiterentwicklung der geodätischen Bezugssysteme

Globale Positionierungssysteme erfordern auch globale geodätische Bezugssysteme. Das europäische Vermessungswesen hat bereits 1989 gehandelt und das European Terrestrial Reference System (ETRS) in der Realisierung 1989 (ETRF 89) geschaffen (Seeger 1993) Dies stellt keinen europäischen Sonderweg dar. Es wird lediglich zum Ausdruck gebracht, dass nur die europäischen Stationen des International Terrestrial Reference System (ITRS) als Anschlußpunkte dienen und die Koordinaten der Epoche 1989.0 als Referenzepoche gewählt wurde.

3.1 ITRS

Im Rahmen der Arbeiten des Internationalen Erdrotationsdienstes [IERS] werden aus den Beobachtungsdaten jedes Jahres neue Koordinatensätze für die beteiligten Stationen berechnet und als ITRF.xx im IERS Annual Report

veröffentlicht. So liegen neben den ITRF 89-Koordinaten inzwischen Lösungen bis zum Jahr 1998 vor. Boucher und Altamini (1997) haben auch Transformationsparameter zwischen ITRF.xx und ETRF 89 veröffentlicht, die bei der Auswertung von allen EUREF-Kampagnen zur Anwendung kommen. Auf diese Weise kann immer in der aktuellsten und damit besten Realisierung gerechnet und dann auf europäisch einheitliche Weise der Übergang in das ETRF 89 vorgenommen werden.

Es wäre allerdings noch zu prüfen, ob die innere Genauigkeit des ITRF/ETRF 89 ausreicht, um diese Vorgehensweise in allen Genauigkeitsbereichen des deutschen Vermessungswesens anzuwenden.

3.2 WGS 84

Die professionellen Arbeiten des Internationalen Erdrotationsdienstes haben sich 1994 bereits auf das beim NAVSTAR GPS genutzte Bezugssystem ausgewirkt.

Mit der Einführung von Koordinaten der Monitorstationen, die von der ITRF.91-Lösung abgeleitet waren, wurde das vormals nur metergenaue Bezugssystem WGS84 dem Stand der IERS-Technik auf bis zu 10 cm angepaßt. Die Angleichung wurde 1997 mit der Anpassung an die ITRF.94 Lösung auf unter 5 cm verbessert und wird seit der GPS-Woche 873 (Beginn: 29.09.1996) unter der Bezeichnung WGS84 [G873] als Grundlage des vom Systembetreiber betriebenen GPS-Bahndienstes verwendet. Zukünftig sind weitere Anpassungen vorgesehen, sofern sich der plattentektonisch korrigierte ITRF-Rahmen lösungssignifikant vom jeweils genutzten WGS84-Koordinatensatz abhebt. Parallel zur Änderung der Berechnungsgrundlage werden weitere bis zur Mitte des nächsten Jahres in Betrieb zu nehmende Monitorstationen und ein optimierter Datenfluß zur Hauptkontrollstation dafür sorgen, daß die vormals bei NAVSTAR GPS in Echtzeit zur Verfügung stehende Bahngenauigkeit um etwa den Faktor 10 gesteigert wird. Die Maßnahmen bilden die Voraussetzung zur o.a. angestrebten Erhöhung der mit NAVSTAR GPS absolut erreichbaren Grundgenauigkeit, was die Marktchancen des zukünftig zivil verbessert zugänglichen Systems sichern soll.

Diese U.S.-seitige Entwicklung zur Kenntnis nehmend, wurde im Galileo-Konzept der EU-Kommission logischerweise ITRF als das vorzusehende Bezugssystem betrachtet.

3.3 Status Bahndienste

Dem GPS-Nutzer stehen die Broadcast-Ephemeriden sowie die Produkte des International Geodynamic Service (IGS) zur Verfügung, die in Abhängigkeit von den Genauigkeitsanforderungen des Nutzers auszuwählen sind (vergl. z.B. Gendt (1997)):

GPS-Broadcast	: 2 - 10 m, Prädiktionen
IGS-Prädiktionen	: 0,5 m
IGS-Postprocessing	: 0,10 m, nach 2 Tagen
IGS-Postprocessing	: 0,05 m, nach 2 Wochen

Im Rahmen der laufenden IGEX-Kampagne des IGS werden auch Bahndaten für die GLONASS-Satelliten berechnet. Das Genauigkeitsniveau liegt bei 0,2 m (Reigber 1999). Entsprechende Lösungen werden seit März diesen Jahres im GIBS-Dienst des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) zur Verfügung gestellt.

4 Auswirkungen auf die Belange der Hydrographie und des Vermessungswesens

4.1 Zukunft der DGPS-Dienste

Die mit der nächsten GPS-Satellitengeneration absehbare Möglichkeit der Nutzung des P-Codes auf sowohl L1 als auch L2 wird den Prozess zur Bestimmung von Mehrdeutigkeiten stabilisieren und beschleunigen, d.h. sie führt zur nachgefragten Qualitätsverbesserung bei der DGPS-Dienstleistung. Die im EPS-Bereich derzeit konkurrenzlose 1-3m-Genauigkeit wäre mit den unter AII (vergl. 2.1) zusammengefaßten Maßnahmen auch ohne Differentialtechniken zu erreichen. Hier scheint eine Weiterentwicklung im Bereich Genauigkeit und Zuverlässigkeit unverzichtbar, auch wenn hierfür noch Zeit bis zum Jahr 2008 bleibt.

4.2 Ausgestaltung der Dienste

Die bestehenden SAPOS- wie auch die anderen öffentlichen und privaten Angebote unterscheiden sich primär im Bereich der Genauigkeit, aber auch bei der Realtime-Fähigkeit, den Kommunikationsverfahren und den Datenformaten und decken die derzeitigen Nutzerwünsche weitgehend ab. Jetzt geht es aber

darum, die interne Ausgestaltung weiter zu verbessern. Dies betrifft unterschiedliche Felder:

Lückenloses Angebot für möglichst große Flächen

Da der Wettbewerb um potentielle Nutzer auch über den Preis und die Qualität der Endgeräte geführt wird, sind wegen der Stückzahlen nur national flächendeckende, besser sogar europäisch oder global angebotene Dienste anzustreben.

Hohe Zuverlässigkeit in der Verfügbarkeit

durch interne Maßnahmen wie redundante Signalerfassung sowie Monitoring mit Nutzerwarnungen. Auch die Verfügbarkeit der Datenübertragung bzw. des Datenempfanges für den Nutzer muß sichergestellt werden (z.B. durch Feldstärkemessungen).

Nutzerspezifisch einfache Kontrollmöglichkeiten,

z.B. durch redundante Positionierungen wie Langwelle/ UKW-Kombinationen der Korrekturinformation (vergl. Angebot der Fa. Elcom) oder den Empfang unterschiedlicher Sender (AMDS-Langwellenempfänger der Fa. Bosch).

Auch der im Aufbau befindliche EUROFIX-Dienst der Wasserschifffahrtsverwaltung, bei dem GPS-Streckenkorrekturen und LORAN-C-Signale kombiniert werden, erfüllt diese Anforderungen.

Genauigkeitssteigerung der Streckenkorrekturen

durch eine flächenhafte Fehlermodellierung.

Für hochpräzise Anwendungen im Zentimeterbereich erscheinen folgende Maßnahme unverzichtbar:

Kalibrieren der Antennenphasenzentren

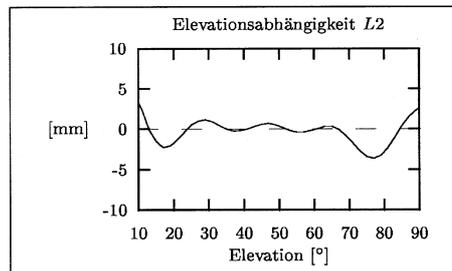
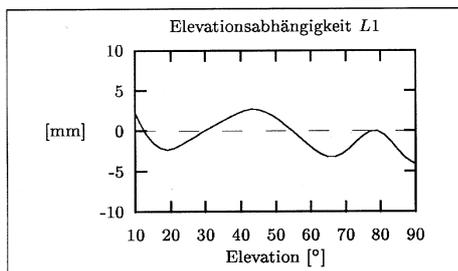
Sowohl die Antennen der Referenzstationen als auch die der Nutzer müssen unter SAPOS-Bedingungen kalibriert sein. Konnte man das Problem bei den früheren Feldkampagnen der Grundlagenvermessung noch durch die Verwendung baugleicher Antennen lösen, wird es jetzt häufig zur Kombination von unterschiedlichen Typen kommen. Darüber hinaus gebietet es die allgemeine geodätische Sorgfaltspflicht, eventuelle Abweichungen baugleicher Fabrikate zu ermitteln und ihre zeitliche Konstanz zu überwachen. Abb. 1 gibt ein Kalibrierprotokoll wieder, wie es z.B. am Geodätischen Institut der TU Dresden erstellt wird.

Protokoll zur Kalibrierung von GPS-Antennen

TU Dresden - Geodätisches Institut

Kalibrierte Antenne	Antennentyp 4000ST L1/L2 GEOD wGP (Modell 14532.00)	Antennen-Nr. 3130a23889												
Referenzantenne	TR GEOD L1/L2 wGP (Compact) (Modell 22020.00) + Dome	0220077665												
Angaben zur Messung	Datum / Zeitraum	20.02. - 23.02.98												
	Verfahren	Antennendrehung N/O/S/W												
	Dauer	4 x 24h												
	Ort	TU Dresden Beyerbau Plattform Pfeiler 1												
Kalibrierergebnisse	mittlere Phasenzentrumkorrektur (15° Elevationsmaske)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>L1</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>L2</i></td> </tr> <tr> <td>N [mm] (absolut)</td> <td style="text-align: center;">-0.8</td> <td style="text-align: center;">-2.5</td> </tr> <tr> <td>E [mm] (absolut)</td> <td style="text-align: center;">-3.0</td> <td style="text-align: center;">-0.9</td> </tr> <tr> <td>H [mm] (relativ)</td> <td style="text-align: center;">3.6</td> <td style="text-align: center;">-6.1</td> </tr> </table>		<i>L1</i>	<i>L2</i>	N [mm] (absolut)	-0.8	-2.5	E [mm] (absolut)	-3.0	-0.9	H [mm] (relativ)	3.6	-6.1
	<i>L1</i>	<i>L2</i>												
N [mm] (absolut)	-0.8	-2.5												
E [mm] (absolut)	-3.0	-0.9												
H [mm] (relativ)	3.6	-6.1												

Elevationsabhängige Korrektur des Phasenzentrums (relativ)										
Elevationswinkel	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	
<i>L1</i> [mm]	-	2.2	-1.5	-2.2	-1.2	0.1	1.3	2.3	2.6	
<i>L2</i> [mm]	-	3.4	-1.6	-1.7	0.5	1.0	0.0	-0.1	0.6	
Elevationswinkel	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°	
<i>L1</i> [mm]	1.6	-0.1	-1.9	-3.2	-2.5	-0.5	-0.2	-2.4	-4.1	
<i>L2</i> [mm]	0.3	-0.4	-0.1	0.3	-1.3	-3.4	-2.8	0.4	2.6	



Prof.Dr.-Ing. W. Augath
Institutsleiter

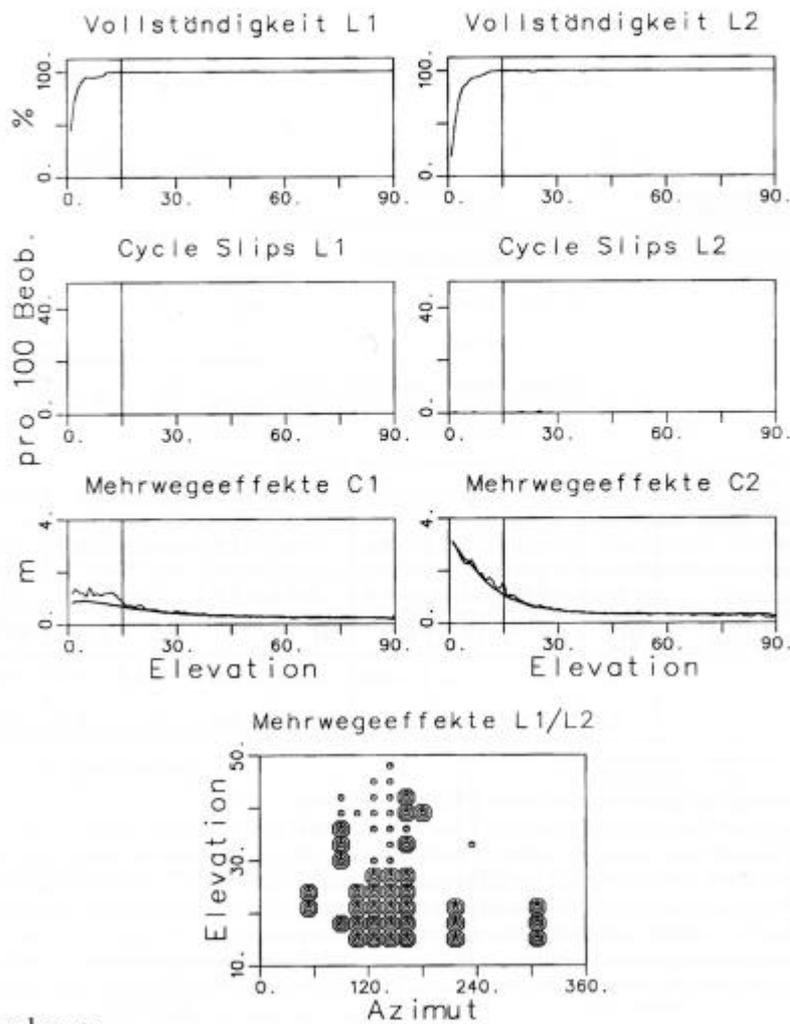
Dresden, 06.04.98

Abb. 1: Kalibrierprotokoll einer GPS-Antenne

Datenqualität von GPS-Referenzstationen

Geodätisches Institut – TU Dresden

Station (nach RINEX-Dateikopf)	XXX
Empfänger (ebd.)	Trimble SSI V7.15
Antenne (ebd.)	Trimble Permanent L1/L2 (P0)
Referenzstationssoftware (ebd.)	GNREF / GN-RINEX 1.0
Meßdaten	Tage 123-127 / 1999



Bemerkung:

Die Phasendaten der im Südosten unterhalb von 30° Elevation stehenden Satelliten werden durch Mehrwegeeffekte stark beeinflusst.

Dresden, den 09.05.99

Abb. 2: Validierungsprotokoll einer PGS-Referenzstation

Validierung der Referenzstationen

Jede Referenzstation ist vor der Inbetriebnahme zu validieren. Dies beinhaltet Qualitätsprüfungen der empfangenen Signale in Bezug auf Vollständigkeit und Richtigkeit. Insbesondere sind Mehrwegeeinflüsse und Interferenzen aufzudecken. Von der TU Dresden wurden bislang über 60 SAPOS-Stationen untersucht (Wildt und Wanninger 1998, siehe Abb. 2). Im Rahmen des HPPS-Projektes (Augath, Jahn 1998) wird derzeit die Weiterentwicklung dieser Verfahren vorangetrieben. Dazu gehört auch die geodätische Integration der Meßwerte redundanter Stationsausrüstungen. Insgesamt scheint im Endausbau eine permanente Validierung erstrebenswert zu sein, sei es um Beobachtungskorrekturen ableiten oder um qualifizierte Warnungen an die Nutzer aussprechen zu können.

Validierung von Referenzstationsnetzen

Die Stationsvalidierung kann um netzspezifische Maßnahmen erweitert werden. Auch hier besteht das primäre Ziel darin, Fehlersituationen und Mängel aus dem Netz heraus zu erkennen (auch hier: Warnungen an Nutzer) und eventuell auch beheben zu können.

Da hierzu alle Daten in eine Zentrale übertragen werden müssen, entstehen zuerst Kommunikationskosten, deren Höhe von der Realtime-Fähigkeit des Konzeptes abhängt. Stufe 1 sollte die Auswertung von 24 h-Daten beinhalten, deren Übertragung nachts sehr preiswert vorgenommen werden kann. Diese Vorgehensweise entspricht dem GHPS und erlaubt die tägliche Kontrolle der Stationskoordinaten aus dem Netz heraus. Ein weiterer Zwischenschritt könnte die Übertragung und Auswertung von 1 h-Daten sein. Er wäre z.B. bei einer Nutzung der Daten für die Wettervorhersage notwendig (Reigber 1999). Das Endziel muß jedoch eine kontinuierliche Datenübertragung und -auswertung sein, da nur auf diese Weise zeitnahe Warnungen an HEPS-/GPPS-Nutzer erzeugt werden könnten.

5 Ausblick

Als Kernpunkte der dargestellten Entwicklung läßt sich feststellen:

Den Anforderungen der Nutzer folgend müssen DGPS-Systeme flächendeckend und redundant zuverlässig eingerichtet und betrieben werden.

Auf die Verfügbarkeit einer zukünftig höheren GPS-Absolutgenauigkeit müssen sich Nutzer, Dienstbetreiber und die Industrie einstellen.

Die GALILEO-Entwicklung ist vor diesem Hintergrund besonders zu beachten. Hier gilt derzeit, die Anforderungen der Hydrographie angemessen einzubringen. Das DGON-Nutzerforum bietet hierzu eine geeignete Plattform.

Literatur

Augath, W., Jahn, C.-H. (1998): The High Precision Positioning Service (HPPS) and Application to Cadastral Surveying in Germany. Proceedings XXI. International FIG-Congress, Brighton, Band 5, 1998.

Augath, W. und Müller, A. (1999). Internationale Aspekte der satellitengestützten Positionierung und Navigation. 2. SAPOS-Seminar Berlin, S. 30 - 39, 1999.

Boucher, C., Altamini (1997): Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS-campaign.

Böder, V., Seeber, G. (1999): Positionsbestimmung mit GNSS und INS in der Hydrographie, in diesem Heft, 1999.

Commission of The European Communities: GALILEO - Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Services; Communication from the Commission, Brüssel, 10.02.1999.

DGON (1999): Unterlagen zum 1. GNSS 2-Nutzermeeting Bonn, 25.2.1999, Fa. Telematica, Linden 1999.

Gendt, G. (1997): Analyse der GPS-Daten und Ergebnisse. DVW-Schriftenreihe 28/1997, S. 43-53, 1997.

Lechner, W., Baumann, S. (1998): Zukünftige Alternativen zum GPS. 1. SAPOS-Symposium, 11. und 12. Mai 1998 in Hamburg, S. 173-180, AdV, 1998.

Lechner, W., Müller, A. : Satellitenpositionierungssysteme - Sachstand und Perspektiven 1998. In: DVW-Schriftenreihe 35/1999, S. 10-23, 1999.

Müller, A. (1999): Persönliche Mitteilung.

Reigber, Ch. (1999): Persönliche Mitteilung (unveröffentlicht).

Seeger, H. (1993): Aufbau eines neuen geodätischen Bezugssystems in Europa. In: DVW-Schriftenreihe 11/1993, S. 126-150, 1993.

Autor:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Augath
TU Dresden
Geodätisches Institut
Mommsenstraße 13
01062 Dresden