

Code- und Phasenmessungen zu SBAS-Satelliten für Positionsbestimmung

Lambert Wanninger
Geodätisches Institut, TU Dresden
Helmholtzstraße 10
01069 Dresden
lambert.wanninger@tu-dresden.de

1 Einführung

Die *Satellite Based Augmentation Systems* (SBAS) sind Ergänzungssysteme zu GPS und in Zukunft z.T. auch für GLONASS. Ihre primäre Aufgabe ist es, für Navigationsanwendungen insbesondere in der Luftfahrt Integritätsinformationen zur Steigerung der Zuverlässigkeit und Beobachtungskorrekturen zur Steigerung der Genauigkeit einer Positionsbestimmung zu liefern. Diese Informationen werden von geostationären Satelliten mit Hilfe von GPS-ähnlichen Signalen auf der GPS-L1-Frequenz ausgesendet. Somit können GNSS-Empfänger ohne großen zusätzlichen Aufwand diese GPS-Ergänzungsinformationen empfangen und nutzen und zusätzlich auf den SBAS-Signalen Code- und Phasenmessungen durchführen.

Die in den letzten Jahren auf den Markt gekommenen geodätischen GNSS-Empfänger sind zum allergrößten Teil SBAS-fähig. Trotzdem werden diese zusätzlichen Messsignale in der Praxis bisher kaum genutzt. Nur zwei Instrumentenhersteller werben mit den besonderen Vorteilen der zusätzlichen Code- und Phasenmessungen für Anwendungen bei Einfrequenz-RTK mit GPS (Boriskin u.a. 2007, Burnell 2008).

Dieser Beitrag beschreibt den aktuellen Stand der SBAS-Systeme, insbesondere mit Sicht auf die Nutzung der zusätzlichen Code- und Phasenmessungen. Die Qualität und besondere Eigenschaften dieser Messungen werden im Vergleich zu GPS/GLONASS-Messungen diskutiert und das Potential dieser Messgrößen als Ergänzung zu GPS/GLONASS betrachtet.

2 Aktueller Ausbaustand des Satellitensegments

SBAS besteht aus mehreren Einzelsystemen, die von den ausgesendeten Signalen her untereinander kompatibel sind und deswegen aus der Sicht eines Nutzers als ein Gesamtsystem betrachtet werden können. Nur zwei der Systeme, nämlich das US-amerikanische WAAS und das japanische MSAS, sind voll operabel. Das europäische EGNOS soll 2009/2010 in Bezug auf die sicherheitsrelevanten Dienste (Integritätsinformationen und Korrekturen) operationell werden (ESA 2006, Verhoef 2008), aber dies wird sich nicht auf die Nutzung der Code- und Phasenmessungen beziehen. Das indische GAGAN-System konnte seine Funktionsfähigkeit während eines Testbetriebs in den Jahren 2007/08 nachweisen. In dieser Zeit waren auch die GAGAN-Code- und Phasenmessungen problemlos verarbeitbar. Augenblicklich werden aber keine Signale ausgesendet. Erst nach Start des experimentellen Kommunikationssatelliten GSAT-4 wird das System voraussichtlich 2010 voll in Betrieb gehen.

Tab. 1: Ehemalige, aktuelle und zukünftige SBAS-Satelliten

SBAS-System	Satellit	Orbit-position	PRN Nr.	Bemerkung
ehemalige SBAS-Satelliten (Auswahl)				
WAAS	Inmarsat-3F4/AOR-W	142,0°W	122	zuvor auf 54,0°W, bis 2007
WAAS	Inmarsat-3F3/POR	178,0°E	134	bis 2007
EGNOS	Inmarsat-3F5/IOR	64,0°E	131	Testbetrieb bis 2004
GAGAN	Inmarsat-4F1/IOR	64,0°E	127	Testbetrieb 2007-2008
aktuell aktive SBAS-Satelliten (Dezember 2008)				
WAAS	Intelsat Galaxy XV	133,0°W	135	L1/L5-fähig
	TeleSat Anik F1R	107,3°W	138	L1/L5-fähig
EGNOS	Inmarsat-3F2/AOR-E	15,5°W	120	<i>Initial Operations</i>
	<i>Artemis</i>	21,5°E	124	eingeschränkter Testbetrieb
	Inmarsat-3F5/IOR-W	25,0°E	126	<i>Initial Operations</i>
MSAS	MTSAT-1R	140,1°E	129	nutzt z.T. auch PRN 137
	MTSAT-2	145,0°E	137	nutzt z.T. auch PRN 129
zukünftige SBAS-Satelliten (Auswahl)				
GAGAN	GSAT-4	82,0°E	127	ab ~ 2009, L1/L5-fähig

Die SBAS-Signale werden von Satelliten mit Bahnhälften von 36.000 km ausgesendet. Auch diese geostationären Satelliten stehen nicht völlig fest über dem Äquator am Himmel. Sie können nur durch häufige Bahnmanöver in der Nähe ihrer designierten Position gehalten werden. Zum Teil weisen die Orbits auch größere Inklinationen auf. Tabelle 1 visualisiert die geographischen Breiten der SBAS-Satellitenpositionen und die Auslenkungen der Orbits aus der Äquatorebene heraus. Für Nutzer in mittleren Breiten sind die SBAS-Satelliten immer nur unter Elevationswinkeln von weniger als 40° sichtbar, welches zu verstärkten Abschattungsproblemen führt.

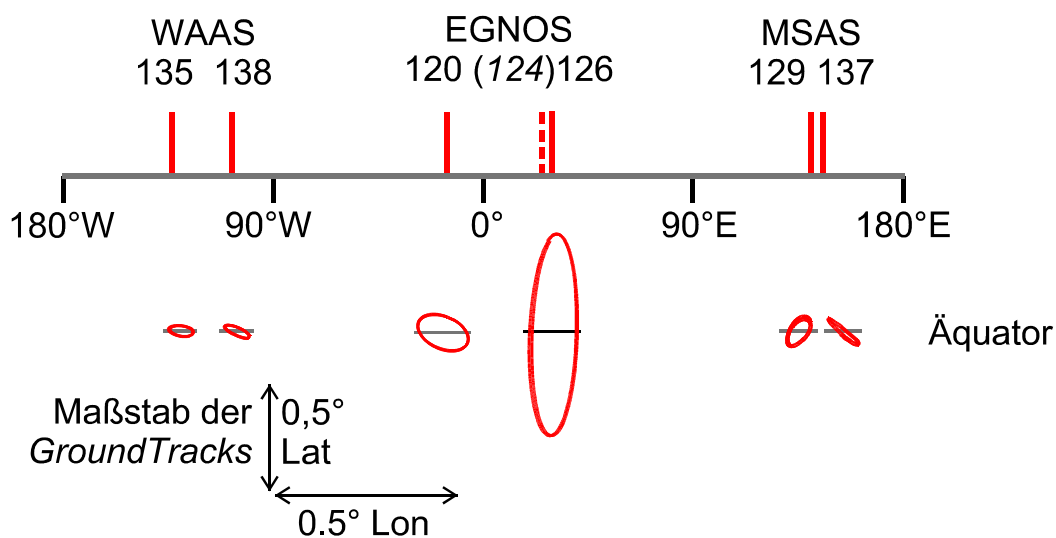


Abb. 1: Aktuell verfügbare SBAS-Satelliten und ihre Orbits

Alle SBAS-Einzelsysteme haben Servicegebiete für ihre Integritätsinformationen und Korrekptionsdaten, die von der Ausdehnung der bodengebundenen Referenzstationsnetze abhängig sind. Sie beschränken sich auf Nordamerika, Europa, Großraum Indien bzw. Japan (Abb. 2). Tatsächlich senden die Satelliten ihre Signale aber nicht nur in diese Gebiete gerichtet aus, sondern bestrahlen die gesamte Erdhalbkugel. Die Signale sind also auch in Gebieten empfangbar, die nicht zu den eigentlichen Servicegebieten der Einzelsysteme gehören. Code- und Phasenmessungen können dementsprechend in niedrigen und mittleren Breiten je nach geographischer Länge des Beobachters zu ein bis vier SBAS-Satelliten simultan durchgeführt werden (Abb. 3).

Im Gegensatz zu den Satelliten der anderen GNSS-Systeme in mittelhohen Orbits sind die SBAS-Satelliten soweit stationär, dass sie – wenn die Signale emp-

fangbar sind – kontinuierlich zur Verfügung stehen. Die augenblicklich zwei in Europa empfangbaren SBAS-Signale erweitern also eine GPS-Konstellation von 30 Satelliten, von denen im Durchschnitt 9 sichtbar sind (10° Elevationsmaske), um mehr als 20%.

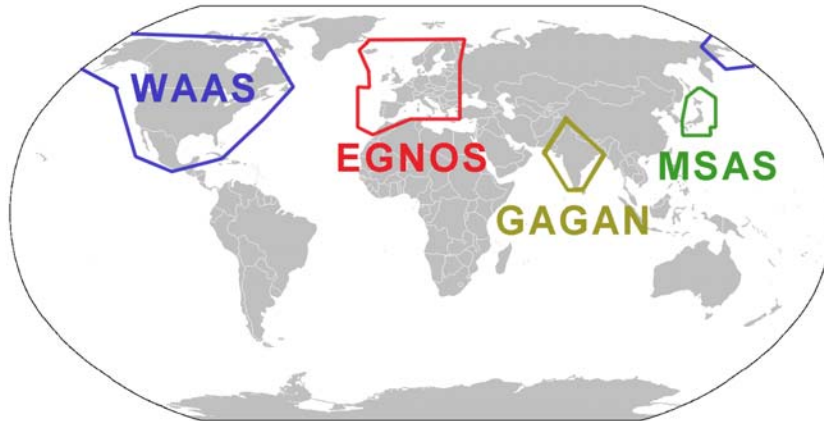


Abb. 2: Servicegebiete für Integritäts- und Korrektionsinformationen von WAAS, EGNOS, MSAS und dem geplanten GAGAN

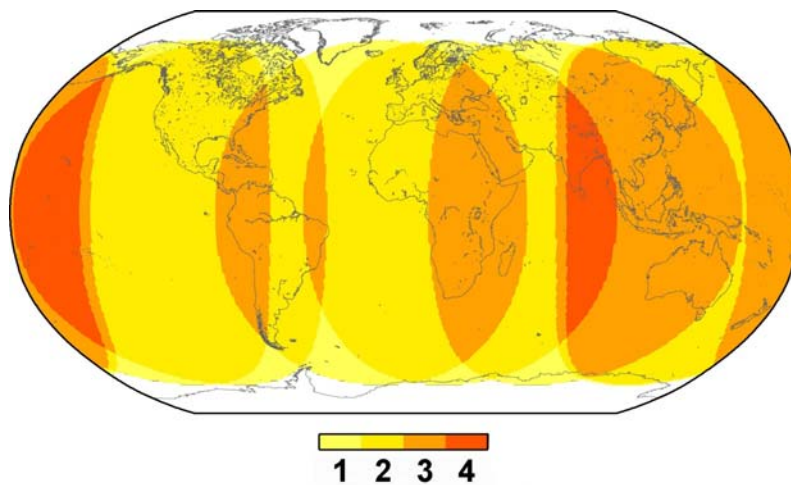


Abb. 3: Verfügbarkeit von SBAS-Signalen für die Pseudostreckenbestimmung (10° Elevationsmaske, ohne EGNOS PRN 124, inkl. geplantem GAGAN-Satellit PRN 127)

3 Qualität der *broadcast*-Ephemeriden

Um SBAS-Signale für die Positionsbestimmung nutzen zu können, braucht man nicht nur einen SBAS-fähigen Empfänger, sondern auch Satellitenorbit- und Uhrinformationen von ausreichender Genauigkeit. Diese Informationen werden vom Kontrollsegment am Boden bestimmt und als ein Teil der *broadcast*-Nachricht den Satellitensignalen aufmoduliert. Im Vergleich mit den anderen GNSS-Systemen ergeben sich hier folgende Unterschiede, die Einfluss auf die Qualität der SBAS-Orbit- und -Uhrinformationen haben:

- Die SBAS-Signale werden am Boden erzeugt und von den SBAS-Satelliten nur weitergeleitet. Der Referenzoszillator befindet sich somit am Boden, welches zusätzliche Möglichkeiten der Uhrsynchronisation mit der GPS-Systemzeit erlaubt. Andererseits entstehen zusätzliche instrumentell bedingte Signalverzögerungen. SBAS-Uhrkorrekturen beziehen sich deswegen auf die Signalausendung am Satelliten, d.h. auf eine so genannte virtuelle Satellitenuhr.
- Damit die geostationären Orbits bestehen bleiben, sind häufige Bahnmanöver notwendig, die die Bahnbestimmung über lange Bögen erschweren (Meindl u.a. 2006). Zusätzlich ist die Satellitenbahnbestimmung über die SBAS-Mikrowellensignale (augenblicklich) auf die Verwendung von Einfrequenzsignalen beschränkt.
- Es besteht eine kontinuierliche Kommunikationsverbindung vom Kontrollsegment zu den SBAS-Satelliten, was eine längerfristige Prädiktion der Bahn- und insbesondere Uhrinformationen unnötig macht.

Die tatsächliche Qualität der Bahndaten und Uhrkorrekturen lassen sich aus der Auswertung der Messungen von koordinatenmäßig bekannten Punkten ermitteln. Für die hier vorzustellenden Ergebnisse (Tab. 2) wurden GPS-, GLONASS- und SBAS-Messungen von mehreren global verteilten Einzelstationen ausgewertet. Da hierfür nur Einzelstationen betrachtet wurden, ist eine Trennung nach Orbit und Uhren nicht möglich. Es zeigt sich, dass die *broadcast*-Informationen von GLONASS um den Faktor 2 schlechter ausfallen als die von GPS. Die WAAS-Informationen sind so genau wie die von GLONASS und damit die genauesten der SBAS-Systeme. Die MSAS-Informationen fallen deutlich schlechter aus, sind aber für viele Anwendungen der absoluten Positionsbestimmung und selbst auch präzisen relativen Positionsbestimmung über kurze Basislinien genau genug. Bei EGNOS werden dagegen bisher keine verwendbaren *broadcast*-Informationen ausgesendet. Die EGNOS-Codemessungen können somit für absolute Positionsbestimmung nicht verwendet werden. Auch relative Positionsbe-

stimmungen sind auf kurze (Code, km) oder sehr kurze (Phase, m) Entfernungen beschränkt. Bei längeren Basislinien (km) ergeben sich sehr große Phasenresiduen, die die Mehrdeutigkeitslösung verhindern und auf große Bahnfehler hinweisen.

Tab. 2: Statistische Kenngrößen der Code-Beobachtungsresiduen bei absoluter Positionsbestimmung (berechnet aus den Beobachtungsdaten von vier global verteilten Stationen, GPS-Woche 1499, Oktober 2008)

System	RMS [m]	Median [m]
GPS	1,8	1,3
GLONASS	4	3
SBAS: WAAS	4	3
EGNOS	>10.000	>10.000
MSAS	15	5

Bei einer gemeinsamen Auswertung von GPS-, GLONASS- und SBAS-Beobachtungen kann man die Genauigkeitsunterschiede der *broadcast*-Orbits und – Uhren, z.B. durch eine geeignete Beobachtungsgewichtung, berücksichtigen. Bei relativen Anwendungen spielt dabei auch die Basislinienlänge eine Rolle.

4 Qualität der Codebeobachtungen

Die Qualität von Codebeobachtungen wird durch ihre Mehrwegeempfindlichkeit und durch die Stärke des Messrauschens bestimmt. Für GPS- und GLONASS lässt sie sich im Vergleich zu Zweifrequenz-Phasenmessungen ermitteln. In Abbildung 4 sind entsprechende Werte als Funktion der Elevation dargestellt. Sie wurden aus statischen Messungen mit drei Empfangssystemen (Empfänger-/ Antennen-Kombination) unterschiedlicher Hersteller mit Modulen des Programmsystems WaSoft berechnet. Es zeigt sich bei den beiden GPS- und GLONASS-fähigen Systemen, dass bei heutigen Empfangssystemen keine deutlichen Qualitätsunterschiede der GPS- und GLONASS-Codemessungen auftreten.

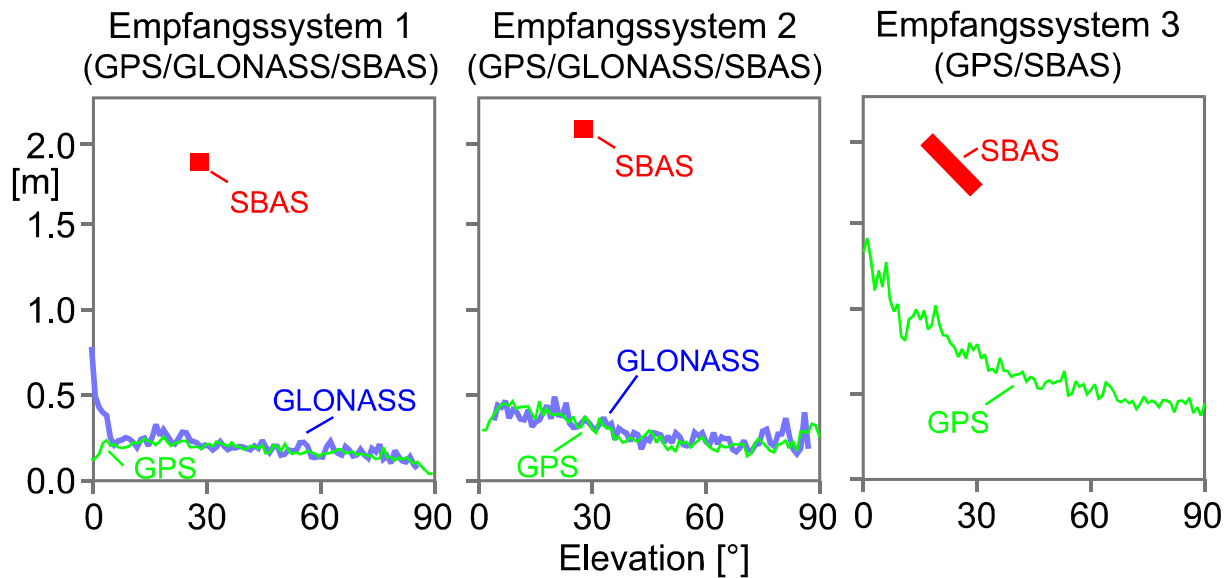


Abb. 4: Code-Mehrwegeeinflüsse und –Messrauschen auf L1 von drei GNSS-Empfangssystemen, die SBAS-fähig sind

Für SBAS liegen keine Zweifrequenz-, sondern nur Einfrequenz-Phasenmessungen vor. Hier erfolgt die Qualitätsbeurteilung am besten aus Beobachtungsdaten kurzer Basislinien. Mit dem Basislinienauswerteprogramm Wa1 wurden Doppeldifferenz-Coderesiduen erzeugt, mit denen auf die Größe der Mehrwegebeeinflussung und des Messrauschens von undifferenzierten Messungen geschlossen werden kann. Mit Paaren von Empfangssystemen 1 und 2 wurden Signale der EGNOS-Satelliten PRN 120 und PRN 126 gemessen, die unter Elevationen von 25 bzw. 30 Grad sichtbar waren. Das dritte Paar von Empfangssystemen konnte zusätzlich die Signale des GAGAN-Satelliten PRN 127 (14 Grad Elevation) verarbeiten.

Alle drei Empfängertypen liefern SBAS-Codemessungen, die in ihrer Qualität deutlich schlechter (Faktor 2 bis 5) ausfallen als die GPS- und GLONASS-Codebeobachtungen (vgl. Abb. 4). Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Eigenschaften der SBAS-Signale nicht exakt denen der GPS-Signale entsprechen. Die Bandbreite der L1-Signale, die von den Satelliten vom Typ Inmarsat-3 für EGNOS ausgesendet werden, betragen nur 2,2 MHz und machen deswegen die Verwendung von Korrelatoren notwendig, die verrauschtere Beobachtungsgrößen erzeugen. Die Satelliten der Generation Inmarsat-4 arbeiten dagegen mit einer Bandbreite von 4,0 MHz und ermöglichen so, auf L1 ein C/A-Code-Signal zu empfangen, welches die selben Eigenschaften hat, wie ein GPS-Signal (Soddu u.a. 2005).

Bei einer gemeinsamen Auswertung von GPS-, GLONASS- und SBAS-Codebeobachtungen müssen sich die beschriebenen Qualitätsunterschiede der Codebeobachtungen in ihrer Gewichtung widerspiegeln.

5 Verbesserung der Positionsbestimmung durch Hinzunahme von SBAS-Messgrößen

Um die Wirkung der Einführung von zusätzlichen SBAS-Beobachtungen auf die präzise Positionsbestimmung zu testen, wurden Anfang 2008 statische Messungen einer kurzen Basislinie mit zwei Leica GRX 1200 GG Pro-Empfängern durchgeführt. Dieser Empfängertyp ist fähig, neben GPS- und GLONASS- auch SBAS-Messungen auf zwei Messkanälen (also auf maximal zwei SBAS-Satellitensignalen) durchzuführen. Bei den Messungen in Dresden wurden die Signale von zwei EGNOS-Satelliten genutzt. Da man bei EGNOS augenblicklich noch auf hochgenaue *broadcast*-Orbitinformationen verzichten muss, wurde eine Basislinie von wenigen Metern Länge gewählt, so dass dieser Mangel keinen Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Die beiden Beobachtungsstationen waren fast vollständig abschattungsfrei und weisen geringe Mehrwegeeinflüsse auf. Sie spiegeln also ideale Beobachtungsverhältnisse wider.

Primär wurden zwei Lösungstypen betrachtet (Tab. 3), die beide mit dem Basislinienauswerteprogramm Wal erzeugt wurden. Der erste Lösungstyp ist eine kombinierte Positionsbestimmung, basierend auf Phasenmessungen ohne Festsetzung der Mehrdeutigkeiten (*float*) und zusätzlich auf Codemessungen (DGNSS). Auf der Basis dieser Positionslösung arbeiten die Mehrdeutigkeitsuchalgorithmen. Eine hierbei erzielte hohe Genauigkeit verbessert also die Erfolgsquote und Zuverlässigkeit der Mehrdeutigkeitsfestsetzung. Der zweite Lösungstyp basiert auf einer Phasenlösung nach Festsetzung der Mehrdeutigkeiten (*fixed*). Hierbei wird auch die Anzahl der erfolgreichen Mehrdeutigkeitsfestsetzungen angegeben.

Weitere Eigenheiten der Datenprozessierung umfassen: Verwendung von Zweifrequenz-Beobachtungen (mit der Ausnahme von SBAS), Korrekturen für die Antennenphasenzentren wurden berücksichtigt, die SBAS-Codebeobachtungen wurden um einen Faktor von 5 gegenüber den GPS/GLONASS-Beobachtungen abgewichtet, bei der Gewichtung der Phasenbeobachtungen wurde keine Unterscheidung nach Satellitensystemen vorgenommen.

Tab. 3: Genauigkeit von Positionslösungen einer kurzen Basislinie vor und nach der Mehrdeutigkeitsfestsetzung (Datenblöcke von jeweils 2 Minuten, Beobachtungsintervall 1 Sekunde)

	GPS	GPS + GLONASS	GPS + SBAS	GPS + GLONASS + SBAS
Anzahl Satelliten	8,4	12,5	10,4	14,5
Kombinierte Float/DGNSS-Lösung				
Std.abw. Nord	13	11	13	11
Std.abw. Ost [cm]	21	15	19	14
Std.abw. Höhe	17	14	17	14
Fixed Lösung				
# Lösungen (von 886)	881	885	881	885
Std.abw. Nord	0,27	0,22	0,20	0,18
Std.abw. Ost [cm]	0,21	0,18	0,18	0,16
Std.abw. Höhe	0,46	0,40	0,39	0,35

Während des Experiments waren durchschnittlich 8,4 GPS-Satelliten über einer Elevationsgrenze von 10° sichtbar (Tab. 3). Die Hinzunahme von GLONASS erhöhte diese Anzahl um 4,1 Satelliten und die beiden kontinuierlich sichtbaren zwei EGNOS-Satelliten um weitere zwei verwendbare Satellitensignale.

Wie aus Tab. 3 ersichtlich, verbessern die GLONASS-Beobachtungen die Genauigkeit der kombinierten float/DGNSS-Lösung im Vergleich zur reinen GPS-Lösung deutlich. Verwendet man zusätzlich aber auch noch die SBAS-Beobachtungen, so ist kaum ein weiterer Genauigkeitsgewinn zu beobachten. Dies hat zwei Gründe. Zum einen können die SBAS-Codebeobachtungen aufgrund ihrer notwendigerweise geringen Gewichtung fast keinen Beitrag zur Lösung liefern. Zum anderen haben die SBAS-Phasenbeobachtungen keinen Einfluss auf eine float-Lösung, da diese Satelliten unbeweglich am Himmel stehen und damit eine Trennung von Mehrdeutigkeit und Distanzinformationen nicht möglich ist. Dementsprechend tragen die GLONASS-Beobachtungen mehr zu einer erfolgreichen Mehrdeutigkeitsfestsetzung bei als die SBAS-Beobachtungen.

Anders sieht das Ergebnis nach Festsetzung der Mehrdeutigkeiten aus. Die Genauigkeit der Koordinaten wird bei Ergänzung der GPS-Konstellation durch zwei SBAS-Satelliten deutlich gesteigert und sogar etwas stärker als durch die Ergänzung um im Durchschnitt 4,1 GLONASS-Satelliten. Die Genauigkeitsstei-

gerung beträgt mehr als 15%. Dies beweist insbesondere, dass die SBAS-Phasenmessungen den GPS/GLONASS-Phasenmessungen in ihrer Qualität nicht nachstehen.

Die Hinzunahme der SBAS-Signale erhöht nicht nur die Genauigkeit der Positionsergebnisse, sondern natürlich auch die Verfügbarkeit der satellitengestützten Positionsbestimmung insgesamt. Liegen Abschattungen vor und sind trotzdem ein oder mehrere SBAS-Signale empfangbar (in mittleren Breiten immer unter niedrigen Elevationen), so hat dies direkt einen positiven Einfluss auf die Möglichkeit einer Mehrdeutigkeitsfestsetzung, einen Einfluss, der aus Tab. 3 nicht ersichtlich werden kann.

Mittelfristig werden Zweifrequenz-SBAS-Signale (L1 und L5) von höherer Qualität zur Verfügung stehen. Der positive Einfluss von SBAS-Codemessungen und -Phasenmessungen auf die präzise Positionsbestimmung wird dann umso größer ausfallen.

6 Weitere Besonderheiten aufgrund geostationärer Satellitenbahnen

Die geostationären Orbits der SBAS-Satelliten haben weitere Einflüsse auf die präzise Positionsbestimmung, die berücksichtigt werden müssen. So fällt die Wirkung von Mehrwegeeinflüssen bei statischen Messungen anders aus als bei den GPS- und GLONASS-Satelliten, die sich in mittelhohen Orbits bewegen.

Bei Signalreflektoren in der Empfangsantennenumgebung (z.B. der Erdboden ein bis zwei Meter unterhalb der Antenne) und den typischen Bahnbögen von GPS und GLONASS erzeugen die Mehrwegeeinflüsse Fluktuationen der empfangenen Signalstärke und Code- und Phasenmehrwegefehler mit typischen Perioden von wenigen bis vielen Minuten. Im Gegensatz dazu ist die scheinbare Satellitenbewegung bei den SBAS-Satelliten sehr gering. Die Geometrie Satellit-Reflektor-Empfangsantenne verändert sich bei statischen Messungen kaum und die Mehrwegeeinflüsse führen dementsprechend nicht zu variierenden Einflüssen, die sich mit längerer Beobachtungsdauer herausmitteln können, sondern sie sind weitgehend konstant.

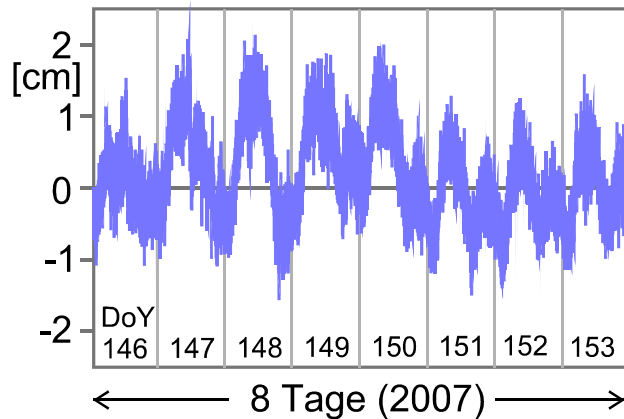


Abb. 5: Doppeldifferenz L1-Phasenresiduen der EGNOS-Satelliten PRN 120 und PRN 126 in einer kurzen Basislinie

Abbildung 5 zeigt Ergebnisse der acht Tage dauernden Testmessung einer kurzen Basislinie, die mit Wal erzeugt wurden. Dargestellt sind die L1-Doppeldifferenz-Residuen der zwei verfügbaren EGNOS-Satelliten. Die Abweichungen von Null sind im Wesentlichen durch die Mehrwegeeinflüsse zu erklären.

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, sind auch bei statischen SBAS-Beobachtungen die Mehrwegeeinflüsse nicht konstant. Aufgrund der aus Sicht des Nutzers am Erdboden geringen Bewegung der Satelliten (vgl. Abb. 1) ergeben sich selbst bei statischen Anwendungen von SBAS-Signalen kleine Veränderungen der Geometrie Satellit-Reflektor-Empfangsantenne über Zeiträume von vielen Stunden. Diese Orbitbewegungen wiederholen sich von Tag zu Tag in ähnlicher Form, was zu einem sich wiederholenden Muster der Mehrwegefehler führt: siehe Tage 147 bis 150 in Abbildung 5.

Dieses Muster veränderte sich aber im Verlaufe der acht Tage. Eine nähere Untersuchung ergab, dass bei beiden Satelliten in diesem Zeitraum Orbitmanöver durchgeführt worden waren. Die stärksten Bahnveränderungen ergaben sich für Satellit PRN 120 an den Tagen 149 und 150. Diese Orbitmanöver sind der Hauptgrund für Veränderungen der Mehrwegemuster in Abbildung 5.

Bei statischen Messungen unterscheiden sich also die Mehrwegeeingenschaften der SBAS-Beobachtungen deutlich von denen der GPS/GLONASS-Beobachtungen. SBAS-Mehrwegeeinfluss kann über viele Stunden stabil sein und systematische Messabweichungen erzeugen. Bei längerzeitigen statischen Beobachtungen muss dies im Auswertemodell berücksichtigt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Neben den GPS- und GLONASS-Satelliten liefern auch die SBAS-Satelliten Messsignale, die sich für die Positionsbestimmung eignen. Aufgrund unterschiedlicher Signaleigenschaften und anderer Satellitenbahnen ergeben sich aber Besonderheiten der SBAS-Beobachtungsgrößen, die im Auswerteansatz berücksichtigt werden müssen. Die SBAS-Phasenbeobachtungen sind in ihrer Qualität den entsprechenden Messgrößen von GPS/GLONASS ebenbürtig. SBAS-Beobachtungen erhöhen die Verfügbarkeit von GNSS, tragen in begrenztem Umfang zur zuverlässigeren und schnelleren Mehrdeutigkeitsfestsetzung bei und erhöhen die Positionsgenauigkeit. Ihre positive Wirkung kommt insbesondere bei Einfrequenz-GPS-Systemen zum Tragen.

Das europäische EGNOS liefert im Gegensatz zum US-amerikanischen WAAS und japanischem MSAS bisher keine verwendbaren *broadcast*-Informationen zu Satellitenbahnen und -uhren. EGNOS-Code- und Phasenmessungen sind daher bisher kaum für Positionsbestimmung verwendbar. Auch wenn die Erzeugung und Übermittlung von GPS-Integritäts- und -Korrektionsinformationen durch EGNOS 2009/10 in den operationellen Betrieb übergehen wird, wird sich die Situation bei den EGNOS-Satellitenuhren und -bahnen wohl nicht so schnell verbessern.

In den kommenden Jahren wird SBAS auf Zweifrequenzsignale (L1 und L5) erweitert werden. Zusätzlich wird die Bandbreite der ausgesendeten L1-Signale verdoppelt. Die Potentiale der SBAS-Code- und Phasenmessungen für Positionsbestimmungen werden damit weiter erhöht. Dies wird insbesondere für reine GPS-Empfänger gelten. Andererseits werden in Zukunft mit GPS und GLONASS und geplanten Systemen, wie Galileo und Compass, so viele sich ähnelnde GNSS-Signale zur Verfügung stehen, dass kombinierte Empfänger nicht auf SBAS-Beobachtungsgrößen angewiesen sein werden.

Literatur

- Boriskin, A., Kozlov, D., Zyryanov, G. (2007): L1 RTK System with Fixed Ambiguity: What SBAS Ranging Brings. Proc. ION GNSS 2007, 2196-2201.
- Burnell, K. (2008): Single and Dual Frequency RTK Success With SBAS Ranging. Hemisphere GPS. Vortrag auf der Intergeo 2008, Bremen.

- ESA (2006): EGNOS – The European Geostationary Navigation Overlay System – A Cornerstone of Galileo, ESA SP-1303.
- Meindl, M. Hugentobler, U., Beutler, G. (2006): Orbit Determination for SBAS Satellites Based on Microwave Observations. European Geosciences Union General Assembly 2006, Wien, 2.-7. April 2006.
- Soddu, C, Van Dierendonck, A.J., Secretan, H., Ventura-Traveset, J., Dussauze, P.-Z., Pasquali, R. (2005): Inmarsat-4 First L1/L5 Satellite: Preparing for SBAS L5 Services. Proc. ION GNSS 2005, 2304-2315.
- Verhoef, P. (2008): European GNSS Programmes and the Future of GNSS. Proc. ION GNSS 2008, 20-29.
- Wanninger, L. (2008): The Future is Now - GPS+GLONASS+SBAS = GNSS. GPS World, Juli 08, 42-48.