

# Code- und Phasenmessungen zu SBAS-Satelliten für die Positionsbestimmung<sup>1</sup>

Lambert Wanninger



Die Signale der so genannten SBAS-Satelliten (*Satellite Based Augmentation Systems*, wie z.B. WAAS und EGNOS) liefern nicht nur Informationen zur Steigerung von Integrität und Genauigkeit der Positionsbestimmung, sondern stellen auch zusätzliche Messsignale für Code- und Phasenmessungen zur Verfügung. Die Besonderheiten der SBAS-Systeme und der mit Hilfe ihrer Signale erzeugbaren zusätzlichen Messgrößen werden im Vergleich zu GPS und GLONASS diskutiert.

## 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 in der Regel 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 auch zusätzlich auf den SBAS-Signalen Code- und Phasenmessungen durchführen.

<sup>1</sup> Aktualisierte und überarbeitete Fassung eines Vortrags beim 83. DVW-Seminar „GNSS 2009: Systeme, Dienste, Anwendungen“ am 18./19. März 2009 in Dresden. Der Originalseminarbeitrag ist im Band 57 der DVW-Schriftenreihe beim Wißner-Verlag, Augsburg erschienen.

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 im Hinblick 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 (*Wide Area Augmentation System*) und das japanische MSAS (*Multi-functional Satellite Augmentation System*), sind voll operabel.

Das europäische EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) bietet seit 2009 den so genannten *Open Service* an, der sich auf die Informationen bezieht, die eine Genauigkeitssteigerung ermöglichen. Der offizielle Start des sicherheitsrelevanten Dienstes (*Safety-of-Life Service*), bei dem Integritätsinformationen für die GPS-Signale zur Verfügung gestellt werden, ist für 2010 geplant. Diese beiden Dienste beziehen sich aber nicht auf die Nutzung der EGNOS Code- und Phasenmessungen, welches Schwerpunkt dieses Artikels ist. EGNOS stehen augenblicklich drei geostationäre Satelliten zur Verbreitung der Signale zur Verfügung. In der Zukunft werden Kommunikationskanäle auf Satelliten der Firma SES Astra die Verbreitung der EGNOS-Signale übernehmen (Tab. 1).

Das indische GAGAN-System konnte seine Funktionsfähigkeit während eines Testbetriebs in den Jahren 2007/08 nachweisen. In dieser Zeit waren die Signale des Transponders auf der Orbitposition 64,0° Ost auch in Europa empfangbar. Die GAGAN-Code- und Phasenmessungen konnten problemlos verarbeitet werden. Augenblicklich werden aber keine Signale ausgesendet. Erst nach Start

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

SBAS-System	Satellit	Orbit-position	PRN Nr.	Bemerkung
<b>ehemalige SBAS-Satelliten (Auswahl)</b>				
<b>WAAS</b>	Inmarsat-3F4/AOR-W	142,0 °W	122	zuvor auf 54,0 °W, bis 2007
	Inmarsat-3F3/POR	178,0 °O	134	bis 2007
<b>EGNOS</b>	Inmarsat-3F5/IOR	64,0 °O	131	Testbetrieb bis 2004
<b>GAGAN</b>	Inmarsat-4F1/IOR	64,0 °O	127	Testbetrieb 2007–2008
<b>aktuell aktive SBAS-Satelliten (Januar 2010)</b>				
<b>WAAS</b>	Intelsat Galaxy XV	133,0 °W	135	L1/L5-fähig
	TeleSat Anik F1R	107,3 °W	138	L1/L5-fähig
<b>EGNOS</b>	Inmarsat-3F2/AOR-E	15,5 °W	120	nur <i>Open Service</i>
	Artemis	21,5 °O	124	nur
	Inmarsat-3F5 bzw. -4F2 / IOR-W	25,0 °O	126	eingeschränkter Testbetrieb, 4F2 L1/L5-fähig
<b>MSAS</b>	MTSAT-1R	140,1 °O	129	nutzt z.T. auch PRN 137
	MTSAT-2	145,0 °O	137	nutzt z.T. auch PRN 129
<b>zukünftige SBAS-Satelliten (Auswahl)</b>				
<b>GAGAN</b>	GSAT-4	82 °O	127	Start ~ 2010, L1/L5-fähig
	GSAT-8	55 °O	128	Start ~ 2011, L1/L5-fähig
<b>SDCM</b>	Luch-5a	16 °W	?	Start ~ 2010, GPS/GLONASS
	Luch-5b	95 ° E	?	Start ~ 2011, GPS/GLONASS
<b>EGNOS</b>	Astra Sirius 5	5 ° E	?	Start ~ 2011
	Astra-5B	31,5 ° E	?	Start ~ 2013

der Kommunikationssatelliten GSAT-4 und GSAT-8 (Tab. 1) wird das System voraussichtlich 2013 in Betrieb gehen (KIBE 2008).

Ein weiteres im Aufbau befindliches System ist das russische SDCM (*System of Differential Corrections and Monitoring*). Ein Teil des Bodensegments existiert seit 2007. Die beiden zugehörigen Satelliten sollen 2010/2011 gestartet werden (Tab. 1). SDCM soll Integritätsinformationen und Beobachtungskorrekturen für GPS und GLONASS liefern (REVNIVYKH 2009). Inwieweit die SDCM-Signale mit denen der anderen SBAS-Systeme kompatibel sein werden, ist bisher nicht erkennbar.

Die SBAS-Signale werden von Satelliten mit Bahnhalbachsen 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, so dass sich die Satelliten von ihrer äquatorialen Position weit entfernen können. Abb. 1 visualisiert die geographischen Längen der SBAS-Satellitenpositionen und die Auslenkungen der Orbits aus der Äquatorebene heraus. Die Bahn des europäischen Artemis-Satelliten (PRN 124) unterscheidet sich dabei deutlich von denen der anderen augenblicklich aktiven SBAS-Satelliten. Aufgrund von Schwierigkeiten beim Satellitenstart 2001 konnte er nur mit Mühe und erst 2003 seine Orbitposition erreichen. Seine heutige Bahn weist eine Inklination von 5 Grad auf (Abb. 1).

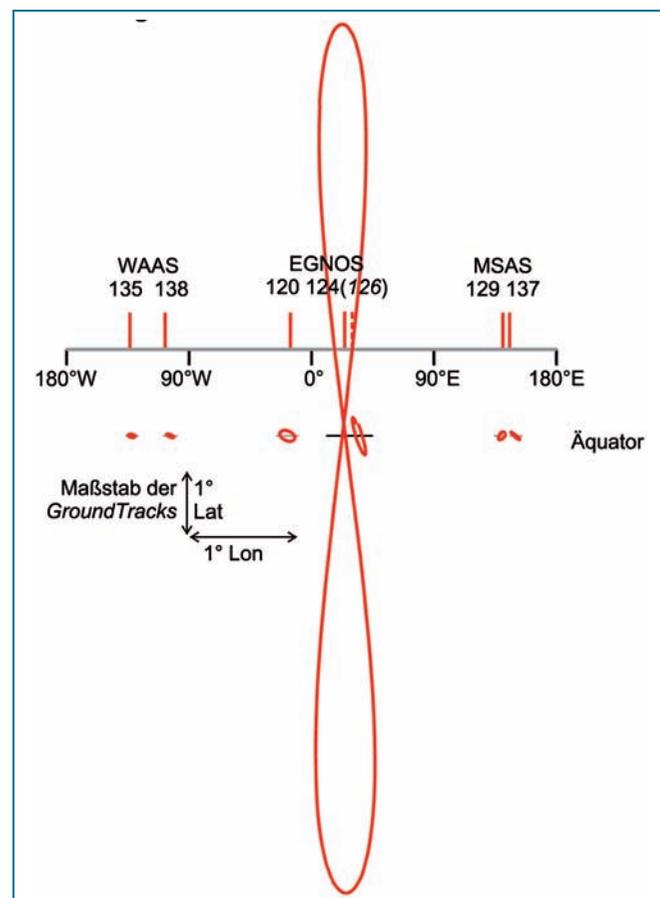


Abb. 1: Aktuell verfügbare SBAS-Satelliten und ihre Orbits

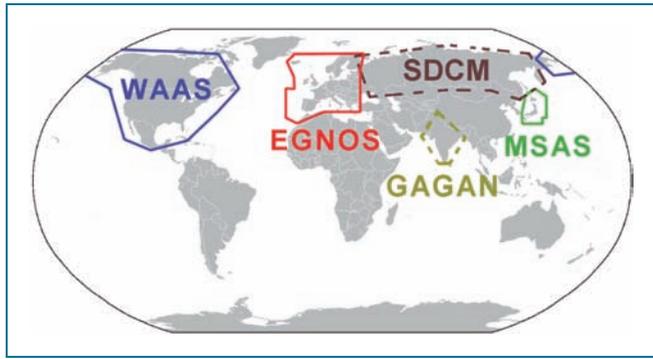


Abb. 2: Servicegebiete für Integritäts- und Korrektionsinformationen von WAAS, EGNOS, MSAS und den geplanten Systemen GAGAN und SDCM.

Alle SBAS-Einzelsysteme haben Servicegebiete für ihre Integritätsinformationen und Korrektionsdaten, die von der Ausdehnung der bodengebundenen Referenzstationen abhängig sind. Sie beschränken sich auf Nordamerika, Japan bzw. Europa, und in Zukunft Indien und Russland (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 heute in niedrigen und mittleren Breiten je nach geographischer Länge des Beobachters zu ein bis vier SBAS-Satelliten simultan durchgeführt werden (Abb. 3). Diese Anzahl wird sich in naher Zukunft voraussichtlich noch erhöhen.

Die Elevation eines geostationären Satelliten über dem Horizont hängt insbesondere von der geographischen Breite der Nutzerposition ab. Für Nutzer in mittleren Breiten sind die SBAS-Satelliten immer nur unter Elevationswinkeln von weniger als 40° sichtbar, welches zu verstärkten Abschattungsproblemen führt.

Im Gegensatz zu den Satelliten der anderen GNSS-Systeme in mittelhohen Orbits sind die SBAS-Satelliten soweit stationär, dass sie – wenn die Signale empfangbar sind – kontinuierlich zur Verfügung stehen. Die augenblicklich zwei in Europa empfangbaren SBAS-Signale er-

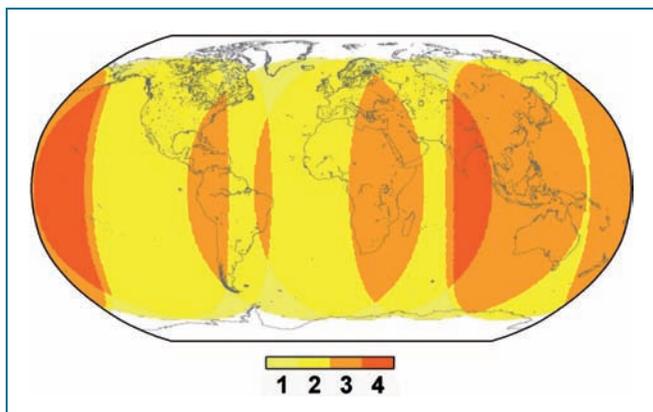


Abb. 3: Verfügbarkeit von SBAS-Signalen für die Pseudostreckenbestimmung (10° Elevationsmaske, ohne EGNOS PRN 126, inkl. geplantem GAGAN-Satellit PRN 127)

weitern also eine GPS-Konstellation von 30 Satelliten, von denen im Durchschnitt 9 sichtbar sind (10° Elevationsmaske), um mehr als 20 %.

### 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 Einfrequenz-Signalen beschränkt, da die Satelliten nur Signale auf der L1-Frequenz ausstrahlen.
- 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 lässt 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 aus Oktober 2008 und Dezember 2009 ausgewertet. Da hierfür nur Einzelstationen betrachtet wurden, ist eine Trennung der Abweichungen 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

Tab. 2: Statistische Kenngrößen der Code-Beobachtungsresiduen bei absoluter Positionsbestimmung (2008/09)

System	RMS [m]	Median [m]
GPS	1,8	1,3
GLONASS	4	3
SBAS: WAAS	4	4
MSAS	15	5
EGNOS	> 10000	> 10000

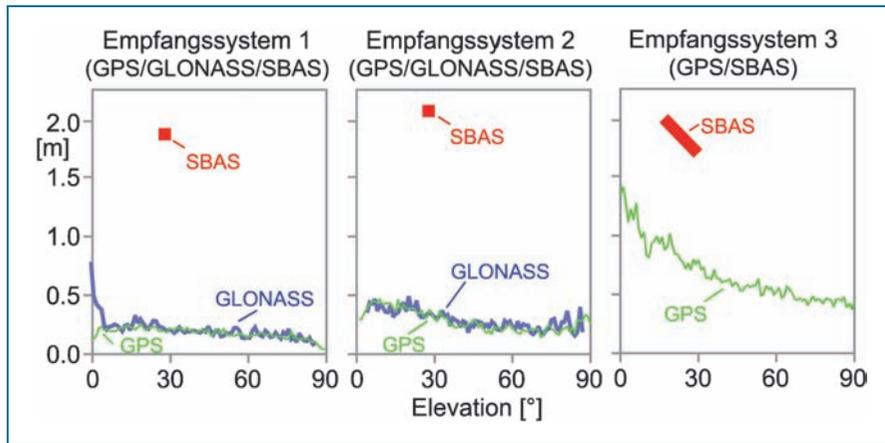


Abb. 4: Code-Mehrwegeeinflüsse und -Messrauschen auf L1 von drei GNSS-Empfangssystemen, die SBAS-fähig sind

WAAS-Informationen sind so genau wie die von GLONASS und damit die genauesten aller SBAS-Systeme. Die MSAS-Informationen fallen erkennbar 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 Positionsbestimmungen 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.

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 – neben Signalausbreitungseinflüssen – insbesondere durch ihre Mehrwegeempfindlichkeit und durch die Stärke des Messrauschens bestimmt (z.B. HOFMANN-WELLENHOF u.a. 2008). Für GPS- und GLONASS lassen sich diese Einflüsse 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 (WANNINGER 2008). Es zeigt sich bei den beiden GPS- und GLONASS-fähigen Empfangssystemen, dass bei heutigen Instrumenten keine deutlichen Qualitätsunterschiede der GPS- und GLONASS-Codemessungen auftreten.

Für SBAS liegen keine Zweifrequenz-, sondern nur Einfrequenz-Phasenmessungen vor. Hier erfolgt die Qualitätsbeurteilung am besten aus Beobachtungsdaten kurzer Basislinien. Mit dem Basislinienauswerteprogramm Wal

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 anderen GNSS-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 dieselben 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

**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
<b>Anzahl Satelliten</b>	8,4	12,5	10,4	14,5
<b>Kombinierte Float/DGNSS-Lösung</b>				
Std.abw. Nord	13	11	13	11
Std.abw. Ost [cm]	21	15	19	14
Stdabw. Höhe	17	14	17	14
<b>Fixed Lösung</b>				
# 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

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 Mehrwegeeffekte 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 Mehrdeutigkeitsalgorithmus. Eine hierbei erzielte hohe Genauigkeit verbessert die Erfolgsquote und Zuverlässigkeit der Mehrdeutigkeitsfestsetzung. Der zweite Lösungstyp basiert auf einer Phasenlösung nach Festsetzung der Mehrdeutigkeiten (*fixed*). Hierbei wird in Tab. 3 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. Während des Experiments waren durchschnittlich 8,4 GPS-Satelliten oberhalb einer Elevationsgrenze von  $10^\circ$  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 (fast) 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 Genauigkeitssteigerung 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, ein Einfluss, der aus Tab. 3 aber 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 Mehrwegeeffekten 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

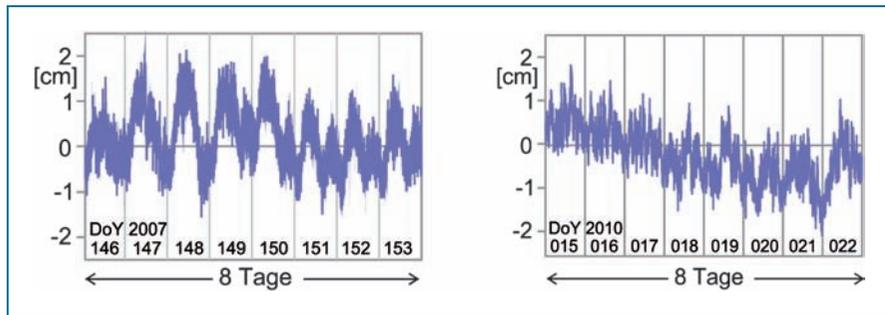


Abb. 5: Doppeldifferenz L1-Phasenresiduen der EGNOS-Satelliten PRN 120, 126 (links) und PRN 120, 124 (rechts) in kurzen Basislinien

der Antenne) und den typischen Bahnbögen von GPS und GLONASS erzeugen die Mehrwegeeffekte 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 Mehrwegeeffekte führen dementsprechend nicht zu schnell variierenden Einflüssen, die sich mit längerer Beobachtungsdauer herausmitteln können, sondern sie sind über Stunden weitgehend konstant. Von dieser Grundregel weicht der EGNOS-Satellit Artemis (PRN 124) wiederum ein wenig ab, da er seine Bahn eine Inklination von 5 Grad aufweist (vgl. Abb. 1).

Abbildung 5 zeigt Ergebnisse von zwei Testmessungen kurzer Basislinien, die mit dem Basislinienauswerteprogramm Wal erzeugt wurden. Dargestellt sind die L1-Doppeldifferenz-Residuen von je zwei EGNOS-Satelliten. Die Abweichungen von Null sind im Wesentlichen durch Mehrwegeeffekte zu erklären.

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, sind auch bei statischen SBAS-Beobachtungen die Mehrwegeeffekte nicht konstant. Aufgrund der aus Sicht des Nutzers am Erdboden geringen Bewegung der Satelliten 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 Abb. 5, links. 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 Abb. 5, links. Die Doppeldifferenz-Phasenresiduen unter Beteiligung von PRN 124 (Abb. 5, rechts) weisen noch andere Eigenschaften auf. Hier sind Mehrwegeperioden von vielen Stunden zu erkennen, die auf die besondere Bahn dieses Satelliten zurückzuführen sind. Langfristige Veränderungen sind zum Teil durch Satellitenbahnveränderungen zu erklären, in diesem Fall aber auch zum Teil durch Veränderung der Signalreflektoreigenschaften (Schneeschmelze).

Bei statischen Messungen unterscheiden sich also die Phasenmehrwegeigenschaften der SBAS-Beobachtun-

gen deutlich von denen der GPS/GLONASS-Beobachtungen. SBAS-Mehrwegeeffekt 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 Auswertemodell 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.

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 wird 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

- [1] BORISKIN, A.; KOZLOV, D.; ZYRYANOV, G. (2007): L1 RTK System with Fixed Ambiguity: What SBAS Ranging Brings. Proc. ION GNSS 2007, 2196–2201
- [2] BURNELL, K. (2008): Single and Dual Frequency RTK Success With SBAS Ranging. Hemisphere GPS. Vortrag auf der Intergeo 2008, Bremen

- [3] HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. (2008): GNSS – Global Navigation Satellite Systems. Springer Verlag, Wien, New York
- [4] KIBE, S. V. (2008): GAGAN & IRNSS. Präsentation auf dem 3. Treffen des International Committee on GNSS (ICG), Pasadena, 8.–12. Dez. 2008
- [5] MEINDL, M.; HUGENTOBLE, U.; BEUTLER, G. (2006): Orbit Determination for SBAS Satellites Based on Microwave Observations. European Geosciences Union General Assembly 2006, Wien, 2.–7. April 2006
- [6] REVNIYKH, S. (2009): Global Navigation Satellite System (GLONASS) and System of Differential Correction and Monitoring (SDCM). Präsentation auf dem 4. Treffen des International Committee on GNSS (ICG), St. Petersburg, 14.–18. Sep. 2009
- [7] SODDU, C.; VAN DIERENDONCK, A. J.; SECRETAN, H.; VENTURA-TRAVESET, J.; DUSSEAUZE, P.-Z.; PASQUALI, R. (2005): Inmarsat-4 First L1/L5 Satellite: Preparing for SBAS L5 Services. Proc. ION GNSS 2005, 2304–2315
- [8] WANNINGER, L. (2008): The Future is Now – GPS + GLONASS + SBAS = GNSS. GPS World, Juli 08, 42–48

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. LAMBERT WANNINGER, Geodätisches Institut, TU Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden, [lambert.wanninger@tu-dresden.de](mailto:lambert.wanninger@tu-dresden.de)

**Signals of SBAS-satellites (SBAS – Satellite Based Augmentation Systems, as e.g. WAAS and EGNOS) provide integrity information and correction values to improve GNSS-based positioning. Furthermore, these signals can be used for additional pseudorange measurements on the transmitted code and also on the carrier phase. The characteristics of these observables and also of the SBAS-systems in general are compared with GPS and GLONASS.**

## ANKÜNDIGUNG

### Interdisziplinäre Messaufgaben im Bauwesen – Weimar 2010

Das Seminar „Interdisziplinäre Messaufgaben im Bauwesen – Weimar 2010“ wird mit der fünften Veranstaltung in Folge an der Bauhaus-Universität Weimar am 21. und 22. September 2010 fortgesetzt. Das erklärte Ziel des Seminars ist es, den Dialog zwischen den Disziplinen des Bauingenieurwesens, der Geotechnik und der Ingenieurgeodäsie zu verbessern und das gegenseitige Verständnis bei der Bearbeitung gemeinsamer Projekte zu fördern. Aus diesem Grunde wird das Seminar organisiert von dem Arbeitskreis 4 „Ingenieurgeodäsie“ des DVW e. V. – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, dem Bildungswerk des Verbandes Deutscher Vermessungsingenieure (VDV) e. V., den Ingenieurkammern Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie der Bauhaus-Universität Weimar. In den von Ver-

tretern aus den einzelnen Bereichen gehaltenen Vorträgen sollen spezielle Fachausdrücke, fachspezifisches Grundlagenwissen und methodische Aspekte so tiefgründig erläutert werden, dass sie für die Teilnehmer der anderen Disziplinen nachvollzogen werden können. Es wird damit die Absicht verbunden, das Wissen um die Möglichkeiten und um die Erwartungen der beteiligten Fachdisziplinen transparenter zu machen. Neben den fachübergreifenden Aspekten sollen die Teilnehmer mit Neuerungen aus den unterschiedlichsten Gebieten vertraut gemacht werden, um eine erfolgreiche Projektbearbeitung zu gewährleisten. In den beiden Einführungsvorträgen sollen das interdisziplinäre Umfeld der angesprochenen Bereiche beleuchtet werden, die Erwartungen einer jeden Disziplin an die jeweils anderen

aufgezeigt und der Mehrwert durch die Zusammenarbeit herausgestellt werden. Im Vortragsblock „Messtechnik“ werden u. a. zukunftsweisende Möglichkeiten der Mikrowelleninterferometrie zur Bauwerksüberwachung vorgestellt. Verfahren der Vergabe von vermessungstechnischen Leistungen unter dem Gesichtspunkt der sich in der Praxis abzeichnenden Veränderungen sollen anschließend betrachtet werden. Am zweiten Tag des Seminars werden Potentiale moderner Dokumentation mit Verweis auf diverse Bauwerksmonitoring-Projekte aufgezeigt. Den Abschluss des Seminars bilden Vorträge, in denen Forschungsergebnisse zu Aspekten der Langzeitüberwachung von Tragwerken sowie zu Fragen des Baugeschehens präsentiert werden.

Die Veranstalter möchten mit diesem Seminar ein Forum

zur Weiterbildung und zum Dialog bieten.

#### Zielgruppen

Das Seminar richtet sich in erster Linie an Praktiker aus den Bereichen

- Bauingenieurwesen,
- Geotechnik und
- Ingenieurgeodäsie,

aber auch an diejenigen, die in diesen Bereichen in der Lehre sowie in der Aus- und Weiterbildung tätig sind. Eine Anerkennung des Seminars gemäß § 6 Fort- und Weiterbildungsordnung (FuWO vom 26.10.2007) wurde bei der Ingenieurkammer-Bau Nordrhein-Westfalen beantragt.

Anmeldung und weitere

Informationen:

<http://www.uni-weimar.de/Bauing/Vermess/seminar.html>