



Aktuelle Multi-GNSS Implementierungsszenarien – Sicht der Systembetreiber und des IGS

Robert Weber, Wien

Kurzfassung

Mit dem Start der ersten Galileo-Testsatelliten und dem gleichzeitigen Aufbau des chinesischen COMPASS/Beidou Systems ab dem Jahr 2005 ist die vormals auf GPS oder auch GPS/GLONASS basierende satellitengestützte Navigation und Positionierung in ein echtes Multi-GNSS Umfeld getreten. Modernisierungsprogramme der bereits aktiven Systeme bieten eine Vielzahl neuer frei zugänglicher Signale. Die global agierenden Satellitennavigationssysteme werden zusätzlich durch regionale Augmentationssysteme wie WAAS, EGNOS oder auch QZSS komplexiert. In Summe werden dem Nutzer ab ca. 2016 knapp über 100 Navigationssatelliten mit rund 25 nutzbaren Navigationssignalen angeboten. Dieser Beitrag behandelt die aktuellen Implementierungspläne der Systembetreiber von GPS, GLONASS, Galileo, COMPASS/Beidou. Es werden allerdings auch die bei der Nutzung unterschiedlichster Systemsignale auftretenden Kompatibilitäts- und Kalibrierungsprobleme der am Boden genutzten Hard- und Softwarekomponenten beleuchtet.

Der Internationale GNSS Service (IGS) hat seit Februar 2012 ein globales Beobachtungsexperiment (MGEX) ins Leben gerufen, dessen Ziel es ist, neben dem nun deutlich komplexeren Datenfluss und den neuen Datenstandards (RINEX 3.0x, RTCM 3.x) auch die zugehörige erweiterte Datenanalyse zu erproben, um den IGS in den kommenden Jahren in einen wahren Multi-GNSS Dienst umzuwandeln.

Schlüsselwörter: GNSS, Signalkalibrierung, IGS MGEX Kampagne

Abstract

Since the launch of the first Galileo test satellite in 2005 and the almost simultaneous setup of the Chinese COMPASS/Beidou system satellite based PNT (Positioning, Navigation and Timing) has entered the new era of real multi-GNSS. Upgrade initiatives of the already active systems offer a multitude of new free accessible signals. These globally operable satellite navigation systems are accompanied by regional augmentation systems like WAAS, EGNOS or QZSS. As of around 2016 the user will be able to choose among 100 navigation satellites offering about 25 free signals. This article provides information about current implementation scenarios of the system operating agencies. On the other hand the multitude of signals also entails a number of compatibility and calibration issues which affect the quality of operation of the available receiver hard- and software.

To cope with this changing conditions the International GNSS Service (IGS) has launched a global initiative (Multi-GNSS Experiment = MGEX) with the goal to test the more complex data flow between IGS components and the user community, to establish new data standards (RINEX 3.0x, RTCM 3.x) capable to handle the new signals and last but not least to develop new data modelling techniques. This Experiment shall pave the way for IGS to a real Multi-GNSS Service.

Keywords: GNSS, calibration biases, IGS MGEX campaign

1. Einleitung

Stand dem Satellitennavigationsnutzer um das Jahr 2000 im Prinzip nur GPS mit seinen 2 Codesignalen als operables System zur Verfügung, so kann vor allem während der vergangenen 5 Jahre durchaus von einer Vervielfachung des System-, Satelliten-, und Signalangebots gesprochen werden. Mit dem Start der GPS II-RM und -IIF Satelliten bietet das amerikanische System zumindest einen weiteren zivilen Code (C2) und eine weitere freie Grundfrequenz (L5). GLONASS hat seit 2010 wieder seinen Vollausbau (24 operable Satelliten) erreicht.

Der Beginn des ‚modernen Zeitalters‘ kann grob mit dem Start des ersten Galileo GIOVE-

A Satelliten im Jahr 2005 gleichgesetzt werden (siehe Abb. 1). Das europäische Galileo-System kann inzwischen auf den erfolgreichen Betrieb der beiden Testsatelliten GIOVE-A und GIOVE-B als auch auf die Inbetriebnahme der 4 IOV-Satelliten verweisen. Wenngleich die GIOVE-Satelliten noch nicht die volle für Galileo definierte Signalfülle abstrahlten, waren doch erste Tests der Qualität der beiden im Frequenzspektrum benachbarten E5a- und E5b Signale (sowie der Breitband E5 Modulation) als auch für spezielle Empfänger des E6-Signals möglich.

Gleichzeitig, und für viele Nutzer fast unbemerkt, betreibt China mit Vehemenz den Ausbau seines COMPASS/Beidou-2 Systems. Das

COMPASS/Beidou-2 System besteht aus einer Kombination von typischen Navigationssatelliten im so genannten ‚Medium Earth Orbit (MEO)‘, einigen geostationären Satelliten (GEO) und zudem 5 inklinierten geostationären Satelliten (IGSO). Hier tritt ein weiterer starker Satellitennavigationsdienst auf den Plan, der großes technisches aber auch kommerzielles Potenzial besitzt. Wenngleich offiziell mit 2020 terminiert, wird das chinesische System wahrscheinlich bereits 2016/17 seinen Vollausbau mit rund 35 Satelliten erreichen.

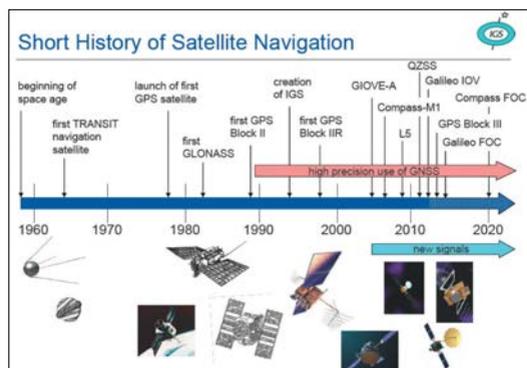


Abb.1: Entwicklung der Satellitennavigationssysteme (Quelle: U. Hugentobler, TU-München)

Alle 4 oben genannten Systeme werden nun kurz im Detail behandelt. Auf die so genannten SBAS (Satellite Based Augmentation Systems, z.B. WASS, EGNOS, QZSS, SDCM, etc.) wird in diesem Artikel nicht eingegangen.

2. GNSS Status und Implementierungsszenarien

2.1 GPS (US Global Positioning System)

GPS kann nun seit fast 20 Jahren auf ein stabiles voll operables Raumsystem verweisen. Im Rahmen diverser Erneuerungsprogramme wurden die Satellitentypen IIR, IIR-M als auch IIF gestartet, welche sowohl neue zivile als auch militärische Signale anbieten. Dementsprechend wird die Nutzung der derzeitigen Kreuzkorrelations-signale P1, P2 ab 2020 nicht mehr garantiert. Der nächste Entwicklungsschritt wird mit dem Start der GPS-III Satelliten (voraussichtlich ab 2015/16) eingeläutet, die neben der bereits ab den IIF-Satelliten verfügbaren neuen zivilen L5 Frequenz auch einen weiteren qualitativ hochwertigen C1-Code anbieten werden. Gleichzeitig wird die Kontrollsoftware des Bodensegments (OCX) weiter entwickelt, sodass in naher Zukunft von einer Steigerung der SIS (Signal in Space) Performance (UERE von 0.6-0.8m) auszugehen

ist. GPS verfügt zum Termin 20. September 2012 über 31 aktive Satelliten in 6 Bahnebenen.

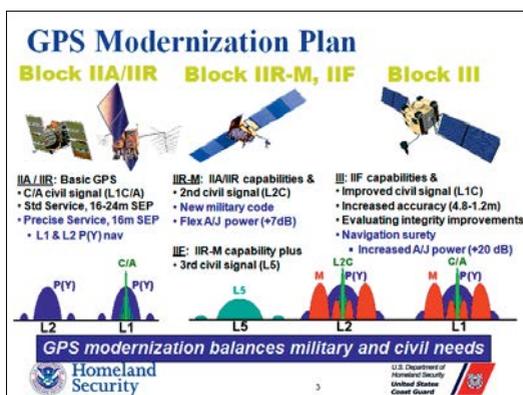


Abb.2: GPS Modernisierungsplan (Quelle: US Department of Homeland Security)

2.2 GLONASS (Globalnaja Nawigazionnaja Sputnikowaja Sistema)

Das von Verteidigungsministerium der Russischen Föderation kontrollierte GLONASS hat seit 2010 seinen nominellen Vollausbau mit zumindest 24 aktiven Satelliten in drei Bahnebenen (Bahnhöhe 19100km, Inklination 64.8 Grad) wieder erreicht. Derzeit befinden sich vorrangig Satelliten der Typen GLONASS-M und einige GLONASS-K Satelliten im All. Bemerkenswert sind jedenfalls die Pläne, dass künftige Satelliten sowohl die bisher bewährten FDMA-(Frequency Division – Multiple Access; Satellitenunterscheidung durch individuelle Frequenz) Signale als auch CDMA-Signale (Code Division – Multiple Access) aussenden werden, was vor allem die Kompatibilität zu GPS und Galileo steigert. Des Weiteren plant GLONASS zumindest eine neue Frequenz (L3; 1207.14 MHz), möglicherweise aber sogar noch zusätzlich Signale auf der neuen Trägerfrequenz L5 (1176.45 MHz; GPS und Galileo kompatibel) anzubieten. Die Satelliten (Satelliten Typ GLONASS-K2) mit den neuen CDMA-Signalen und der Trägerwelle L3 werden ab ca. 2014/15 zum Einsatz kommen. Es sei nicht zuletzt auf das weitgehend bereits heute aktive neue russische SBAS-System SDCM hingewiesen, welches (abgesehen von den derzeit noch fehlenden Bodenstationen) auch weite Gebiete Europas abdeckt und damit durchaus zu EGNOS in Konkurrenz stehen wird.

2.3 Galileo

Am 21. Oktober 2011 erfolgte der erfolgreiche Start der ersten beiden europäischen GALILEO-

GLONASS Constellation Status at 20.09.2012 based on both the almanac analysis and navigation messages received at 13:00 20.09.12 (UTC) in IAC PNT TsNIImash

Orb. slot	Orb. pl.	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
1	1	01	730	14.12.09	30.01.10		33.2	+	+ 13:45 20.09.12	In operation
2	1	-4	728	25.12.08	20.01.09		44.9	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
3	1	05	744	04.11.11	08.12.11		10.6	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
4	1	06	742	02.10.11	25.10.11		11.6	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
5	1	01	734	14.12.09	10.01.10		33.2	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
6	1	-4	733	14.12.09	24.01.10		33.2	+	+ 12:15 20.09.12	In operation
7	1	05	745	04.11.11	18.12.11		10.6	+	+ 13:45 20.09.12	In operation
8	1	-6	743*	04.11.11			10.6			In commissioning phase
9	2	-2	736	02.09.10	04.10.10		24.6	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
10	2	-7	717	25.12.06	03.04.07		68.9	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
11	2	00	723	25.12.07	22.01.08		56.9	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
12	2	-1	737	02.09.10	12.10.10		24.6	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
13	2	-2	721	25.12.07	08.02.08		56.9	+	+ 12:45 20.09.12	In operation
14	2	-7	715	25.12.06	03.04.07		68.9	+	+ 13:44 20.09.12	In operation
15	2	00	716	25.12.06	12.10.07		68.9	+	+ 13:45 20.09.12	In operation
16	2	-1	738	02.09.10	11.10.10		24.6	+	+ 13:45 20.09.12	In operation
17	3	04	746	28.11.11	23.12.11		9.8	+	+ 13:45 20.09.12	In operation
18	3	-3	724	25.09.08	26.10.08		47.9	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
19	3	03	720	26.10.07	25.11.07		58.9	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
20	3	02	719	26.10.07	27.11.07		58.9	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
21	3	04	725	25.09.08	05.11.08		47.9	+	+ 11:59 20.09.12	In operation
22	3	-3	731	02.03.10	28.03.10		30.7	+	+ 13:00 20.09.12	In operation
23	3	03	732	02.03.10	28.03.10		30.7	+	+ 13:45 20.09.12	In operation
24	3	02	735	02.03.10	28.03.10		30.7	+	+ 13:45 20.09.12	In operation
21	3	-5	701	26.02.11			18.8			Flight Tests
14	2		722	25.12.07	25.01.08	12.10.11	56.9			Spares
7	1		712	26.12.04	07.10.05	14.12.11	92.9			Spares
17	3		714	25.12.05	31.08.06	19.12.11	80.9			Spares
3	1		727	25.12.08	17.01.09	08.09.10	44.9			Maintenance
22	3		726	25.09.08	13.11.08	31.08.09	47.9			Maintenance
8	1		729	25.12.08	12.02.09	10.09.12	44.9			Maintenance

Abb. 3: GLONASS Konstellation – Status 20. September 2012 (Quelle [8], Federal Space Agency – Information Analytical Center)

IOV Satelliten (Ort: Kourou; Rakete: Soyuz). Diesen folgten weitere zwei IOV-Satelliten am 12. Oktober 2012. Die IOV-Satelliten besitzen eine Masse von ca. 700kg und der Satellitenkörper weist eine Dimension von 3.02m x 1.58m x 1.59m auf. Die Solarpanele haben das stolze Ausmaß von jeweils knapp 7m. Die geplante Lebensdauer der Satelliten ist auf zumindest 12 Jahre ausgelegt. Wie alle Galileo-Satelliten umkreisen die IOV-Satelliten die Erde in einer Bahnhöhe von ca. 23220km mit einer Bahninklination von 56 Grad. Die derzeit von der Firma OHB gebauten nächsten 14 Satelliten werden im Zeitraum 2013-2015 gestartet. Damit wird Galileo ab 2016 IOC (Initial Operational Capability) erklären und zumindest den Open Service (OS) und den Public Regulated Service (PRS) anbieten. Über die Implementierung bzw. den Start des SAR (Search and Rescue) Service ist noch keine endgültige Entscheidung gefallen. Definitiv wird es keinen SoL-Service (Safety of Live; Integrity) über Galileo

geben, aber diese Funktionalität wird in Zukunft global über den Zusammenschluss der regionalen SBAS Dienste (in Europa: EGNOS) verfügbar sein. Der Commercial Service (CS) von Galileo ist weiterhin in Diskussion und es werden ab 2016 einige Geschäftsmodelle erprobt. Eine weitere Tranche von 8 Satelliten wurde bereits bestellt und wird im Zeitraum 2017-2019 das System auf 26 operable Satelliten erweitern (FOC = Full Operational Capability)). Die beiden Galileo Testsatelliten GIOVE-A und GIOVE-B wurden im Juli 2012 von der ESA außer Dienst gestellt.

Die Galileo Satelliten senden 10 Signale in zumindest drei Frequenzbändern aus. Im Frequenzband E1 (1575.42MHz; GPS kompatibel) finden sich die drei Signale E1A, E1B und E1C. E1B und E1C sind frei zugängliche Signale, wobei E1B auch Dateninformation aufmoduliert ist, während E1C ein hochqualitatives Ranging-Signal (Pilot) repräsentiert. E1A ist Teil des PRS und somit autorisierten Nutzern vorbehalten. E6 (1278.75

MHz) unterteilt sich ebenfalls in E6A, E6B und E6C wobei E6A wieder dem PRS und E6B und E6C dem CS (Commercial Service) zugeordnet sind. Galileo-Empfänger des Massenmarktes werden wohl vorerst E6 nicht unterstützen. Als Modulationstechniken wird im E1 und E6 Bereich BPSK, BOC(1,1) und BOCc(15,5) verwendet. Von höchstem Interesse ist das E5-Breitband Signal auf der Mittenfrequenz 1191.795 MHz (Modulation AltBOC(15,10)). Handelsübliche Empfänger können dieses Signal in zwei Teilsignale E5a (1176.45 MHz; GPS kompatibel) und E5b (1207.14 MHz) zerlegen, oder eben das volle Breitbandsignal E5 anbieten. Sowohl E5a als auch E5b sind wieder jeweils zwei um 90 Grad phasenverschobene Signale aufmoduliert. E5 zeichnet sich durch extrem geringes Rauschen (± 1 dm) gegen die Signale aller anderen Systeme aus. Welche Galileo-Signale schließlich von den verschiedenen Empfängerherstellern angeboten werden ist heute noch weitgehend unklar. Derzeit bieten die führenden Hersteller Geräte an, welche die Anmessung von 3-5 Signalen vorrangig im E1 und E5 Bereich erlauben.

Die nächste Ausbauphase von Galileo sieht jeweils den Ankauf und Austausch von Gruppen von 6-8 Satelliten vor (wie bei GPS). Technische Neuerungen sehen eine Reihe von Maßnahmen vor, die sich aber derzeit erst im Planungsstadium befinden. So wird der Übergang auf eine neue Satellitenplattform überlegt, da die derzeitige Plattform in punkto Aufnahmekapazität für neue Sensoren ihre Leistungsgrenze erreicht hat. Auch die Nutzung von ‚Intersatellite Links‘

(Kommunikations- und Streckenmessfunktionalität zwischen Satelliten) ist angedacht, was eine grobe Reduktion des benötigten Bodensegments erlauben würde. Die Nutzung von inklinierten geostationären Bahnen (IGSO; siehe auch Kapitel 2.4) für einige zusätzliche Satelliten wäre für die Systemüberwachung und Systemkommunikation von Vorteil. Nicht zuletzt könnten die Kosten für die Starts durch Nutzung einer neuen Antriebstechnik reduziert werden.

2.4 Compass/Beidou-2

Auch China entwickelt derzeit unter der Bezeichnung Compass/Beidou-2 ein global nutzbares Satellitennavigationssystem. Dieses baut auf das bereits aktive regionale chinesische SBAS System COMPASS auf und wird unter dem Namen Beidou-2 auf ein globales Navigationssystem erweitert. Die Besonderheit an Compass/Beidou-2 ist die gemeinsame Nutzung von geostationären (GEOs), inklinierten geostationären (Inclined Geostationary = IGSO) und ca. 25 ‚medium-orbit‘ (MEO) Satelliten. Die IGSO-Satelliten dienen einerseits einer sehr guten regionalen Abdeckung und bieten gleichzeitig eine ausgezeichnete Möglichkeit die Kommunikation zwischen allen Satelliten des Gesamtsystems unter Minimierung der benötigten Bodenstationen aufrecht zu erhalten. Zum Zeitpunkt Oktober 2012 verfügt Compass/Beidou-2 über 15 aktive Satelliten gleich verteilt in 5 GEO, 5 IGSO und 5 MEO Bahnen. Compass/Beidou-2 Satelliten besitzen eine Masse von 1500kg bis 2000kg, die Dimension des Satellitenkörpers beträgt 1.8m x 2.2m x 2.5m. Signale werden auf den Trägerfrequenzen B1 = 1561.10 MHz, B2 = 1207.14 MHz und B3 = 1268.52 MHz abgestrahlt. Damit überlagern sie allerdings auch reservierte Frequenzbereiche anderer Systeme wie z.B. die E5b und E6-Signale von Galileo. Offiziellen Darstellungen zur Folge ist FOC (Full Operational Capability) für Compass/Beidou-2 für das Jahr 2020 geplant. Angesichts der derzeitigen hohen Frequenz an Satellitenstarts ist hier aber auch schon für den Zeitraum 2016/17 mit einem Vollausbau zu rechnen.

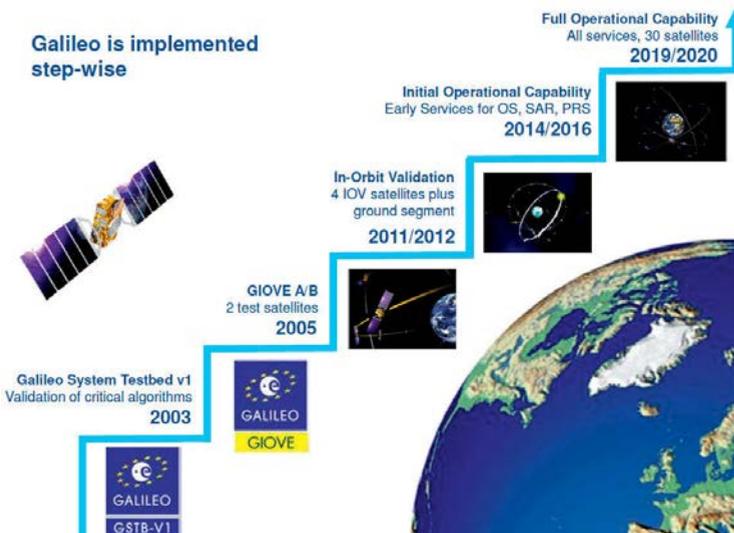


Abb. 4: Galileo Implementierungsszenario bis 2020 (Quelle: ESA)

Die Entwicklung von Compass/Beidou-2 fähiger Empfängerhardware wird vor allem in China vorangetrieben.

Für internationale Firmen ist dagegen der technologische Einstieg erschwert, da für Compass/Beidou-2 bis heute kein vollständiges ICD (Signal in Space – Interface Control Document) veröffentlicht wurde. Dies wurde von chinesischer Seite für Ende 2012 in Aussicht gestellt. Ohne Zweifel stellt Beidou-2 für die anderen Satellitennavigationsbetreiber eine ernst zu nehmende kommerzielle Konkurrenz dar. Aus diesem Grund ist die Frage der möglichst hohen Kompatibilität des eigenen Systems mit den anderen Systemen von entscheidender Bedeutung.

3. Signalkalibrierung

Die Vielzahl an Systemen, die hohe Zahl beobachtbarer Navigationssatelliten und nicht zuletzt die Fülle an freien Navigationssignalen verspricht dem Nutzer auf den ersten Blick ein wahres ‚goldenes Zeitalter‘ der Satellitennavigation. Auf den zweiten Blick stellt sich allerdings schon die Frage nach verfügbarer Multi-GNSS Empfängerhardware und auch entsprechender Software zur Auswertung der Messdaten. In weiterer Folge muss festgestellt werden, dass heute genutzte Standardformate des GNSS-Datenaustausch sowohl für Postprozessierung (RINEX) als auch Echtzeitübertragung (RTCM) noch keinesfalls für diese Signalfülle adaptiert wurden.

Für die Empfängerhersteller stellt sich vor allem die Frage der Signalkalibrierung um schlussendlich PNT-Information mit der vom Nutzer geforderten Genauigkeit basierend auf den Signalen von zumindest zwei Systemen zur Verfügung zu stellen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sei hier für den Fall eines kombinierten

GPS/GLONASS Empfängers die Problematik der Signal-Kalibrierung (Bereitstellung und Korrektur von Zeitdifferenzen hervorgerufen durch die Nutzung verschiedener Codes, verschiedener Trägerfrequenzen und verschiedener Systemzeiten) kurz dargestellt.

ISB (Intersystem Bias)

Im Empfänger werden generell die Signale verschiedener Satellitennavigationssysteme mit einer gewissen Zeitverzögerung zueinander registriert. Diese Kalibrierungsgröße könnte man auf den ersten Blick mit den verschiedenen Systemzeiten begründen. In der Realität sind die unterschiedlichen Systemzeiten allerdings nur eine Komponente dieses Effekts. Im Prinzip zeigt jeder Empfängertyp eine individuelle aber stabile Zeitdifferenz, welche häufig als zusätzliche Unbekannte zu den Ortskoordinaten und dem Empfängeruhrstand relativ zum Referenzsystem (meist GPS-> Uhrkorrektur zu GPS-Zeit) angesetzt wird.

DCB (Differential Code Bias)

DCBs bezeichnen durch die Hardware bedingte Signalverzögerungen bei der Anmessung unterschiedlicher Codes, selbst wenn diese der gleichen Trägerwelle aufmoduliert sind. So treten DCBs in der Größenordnung von Nanosekunden zwischen den C/A- und P1-Codesignalen von GPS auf. Gleiches gilt natürlich auch für GLONASS Codes im gleichen Frequenzband. Diese Zeitdifferenzen sind für die direkte Positionsberechnung vom Hersteller zu berücksichtigen bzw. können vom Nutzer auch in der Postprozessierung (speziell mit Hilfe der geometriefreien Linearkombination) berechnet werden.

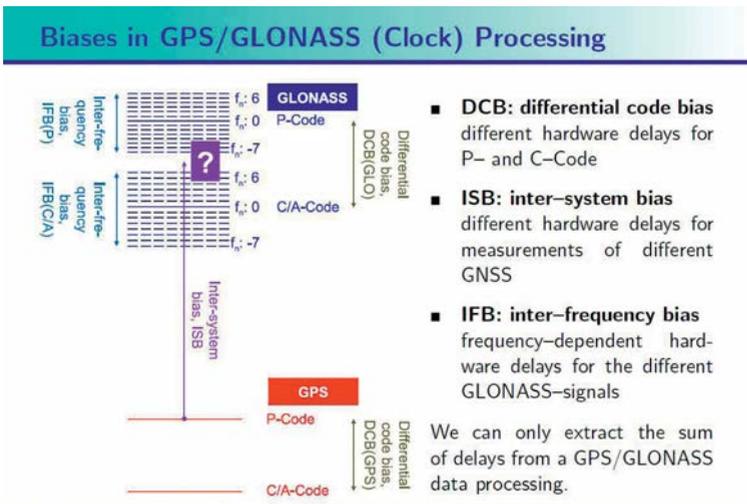


Abb. 5: GNSS Signalkalibrierung am Beispiel GPS/GLONASS (Quelle: R. Dach, M. Meindl, S., Schär; AIUB)

IFB (Interfrequency Bias)

Eine weitere Notwendigkeit zur Kalibrierung stellen die so genannten IFB dar. Dies sind wieder Zeitverschiebungen in der Signalabstrahlung oder auch dem Signalempfang, diesmal hervorgerufen durch unterschiedliche Trägerwellenlängen. Speziell bei der von GLONASS angewendeten FDMA (Frequency Division – Multiple Access) Technik sendet jeder Satellit auf einer individuellen Frequenz. Diese Zeitkorrektur

folgt weitgehend einem von der Frequenzzahl abhängigen, linearen Trend und kann deshalb entweder in der Datenauswertung oder bereits vom Hersteller des Empfangsgerätes bei der Datenaufnahme berücksichtigt werden.

Abbildung 5 dokumentiert die oben genannten Kalibrierungselemente. Leider muss gesagt werden, dass diese Effekte sowohl die Datenabstrahlung im Satelliten (hier abhängig vom Satellitentyp – Satellitenkalibrierungsgrößen sind aber zumindest zeitlich sehr stabil im Sub-Nanosekundenbereich) als auch den Empfang im Nutzergerät betreffen. Zudem ändern sich die Kalibrierungsgrößen bereits meist beim Einspielen einer neuen Empfängersoftware.

Neben den hier dokumentierten ‚Code-Biasen‘ gibt es ähnliche Effekte auch bei der Aufnahme der Phasendaten, welche derzeit noch weitgehend die schnelle Mehrdeutigkeitslösung in der Precise-Point-Positioning-Technik verhindern. Aus dem Gesagten soll der Leser aber den Schluss ziehen, dass die Entwicklung von ‚Multi-GNSS-Empfängern‘ ein schwieriges Unterfangen ist und jedes zusätzliche Signal oder jedes zusätzliche Satellitennavigationssystem den Aufwand erheblich erhöhen.

4. IGS Multi-GNSS Global Experiment 2012

Der IGS (International GNSS Service) befasst sich seit 20 Jahren führend mit der GNSS Datenaufnahme auf Basis eines globalen Beobachtungsnetzes, der Datenanalyse und der Erstellung von Produkten für eine Vielzahl von Applikationen mit höchsten Genauigkeitsansprüchen. Zu den Produkten zählen unter anderem Satellitenbahnen und Satellitenuhrkorrekturen, Erdrotationsparameter, Stationskoordinaten und Informationen über die atmosphärische Signalverzögerung. Bis 1998 war der IGS völlig auf GPS fokussiert. In den Jahren 1998-2000 wurde auch die Nutzung der GLONASS Signale im Rahmen der IGEX Kampagne [4], [5] evaluiert. Nach einigen Jahren mit sehr geringer Zahl aktiver GLONASS Satelliten wurde das System schrittweise wieder aufgebaut und spätestens seit 2008 sind GLONASS –Signale integraler Bestand der IGS Datenanalyse.

In Zukunft möchte der IGS das volle Spektrum der heute verfügbaren Satellitensysteme und Signale nützen. Um dieses Ziel zu erreichen muss zuerst das Beobachtungsnetz entsprechend mit Multi-GNSS Beobachtungsstationen erweitert werden. In der Folge sind sowohl Datenfluss, Standardformate, aber vor allem auch die Analysesoftware zu erweitern. IGS startete des-

halb entsprechend einer Empfehlung des IGS Workshops 2010 in Newcastle (Ende 2011) eine dementsprechende Kampagne (Multi-GNSS-Experiment = MGEX; [2]). Diese Kampagne soll auch bereits existierende Multi-GNSS Netze an den IGS anbinden bzw. die Zusammenarbeit zwischen IGS und den entsprechenden Betreiberorganisationen wie z.B. CNES, JAXA, DLR, BKG und GFZ vertiefen. MGEX ist zwar vorrangig auf die Datenauswertung in der Postprozessierung fokussiert, verfolgt allerdings auch die Anbindung und Verarbeitung von Datenströmen in Echtzeit. Die Koordination von MGEX obliegt der IGS GNSS Working Group in Zusammenarbeit mit einer Reihe weiterer IGS Arbeitsgruppen und dem IGS Governing Board.

Im Detail hat IGS im Rahmen von MGEX um den Beitrag folgender Komponenten angefragt:

- Multi-GNSS Beobachtungsstationen
- Multi-GNSS Datenzentren
- Multi-GNSS Datenanalysezentren
- Kooperierende Netzwerke, welche Multi-GNSS Netze bereits betreiben.

Unter dem Begriff Multi-GNSS werden neben GPS+GLONASS die Signale von Galileo, Compass/Beidou-2, QZSS, als auch der weiteren SBAS Systeme verstanden. Nach anfänglichen Schwierigkeiten bei der Akquirierung von Stationen beteiligten sich ab Februar 2012 ca. 20 Organisationen mit knapp 55 Stationen an diesem Experiment. Abb. 6 zeigt den Netzstatus im Juli 2012. Entsprechend der üblichen IGS Politik werden die gesammelten RINEX Daten allen Nutzern und Interessierten frei zur Verfügung gestellt. Der Kampagne haben sich in diesem Zusammenhang auch drei RINEX Datenzentren (BKG, CDDIS und IGN) angeschlossen. Echtzeitdatenströme standen im Sommer 2012 von nur ca. 15 Stationen zur Verfügung, wobei allerdings die Tendenz in den letzten Monaten ganz klar in Richtung der generellen Echtzeitdatenübertragung geht und RINEX Daten nur mehr im Anschluss aus den RTCM- oder proprietären Echtzeitdatenströmen abgeleitet werden. Die Echtzeitdaten stehen derzeit nur den in MGEX offiziell registrierten Nutzergruppen zur Verfügung.

Betreffend der Datenanalyse gab es positive Rückmeldungen von einer Reihe bereits heute aktiver IGS-Analysezentren, aber auch von drei bisher noch nicht in IGS involvierten Organisationen. Alle MGEX Operationen werden derzeit getrennt von den üblichen IGS-Datentransfer- oder

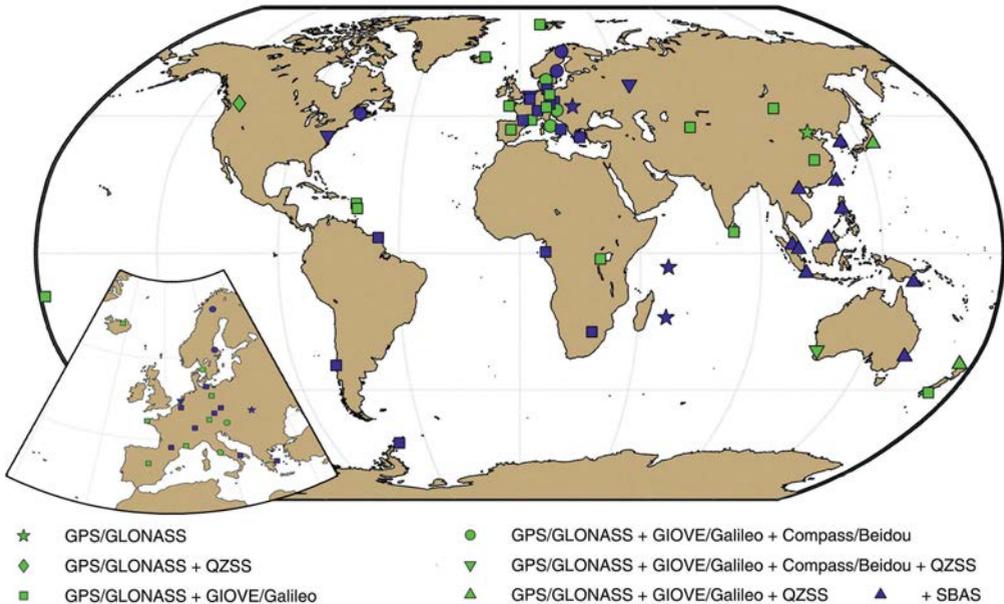


Abb. 6: MGEX Beobachtungsnetz, Status Juli 2012

Analyseabläufen betrieben, um die Stabilität in den IGS-Routineabläufen nicht zu gefährden.

Eine Übersicht des Projektstandes und die Ergebnisse der ersten Datenanalysen wurden im August am IGS Workshop 2012 in Olstyn präsentiert [6].

In den vergangenen Monaten war MGEX noch als IGS-Lernprojekt zu verstehen, welches die Empfängerqualität und die mögliche Nutzung verschiedener Signale für die Generierung von IGS-Core-Produkten (präzise Bahndaten und Uhrkorrekturlösungen) zum Ziel hatte. Zudem waren die nötigen Adaptierungen der Standardformate wie RINEX (in Zukunft RINEX 3.02) bzw. RTCM (in Zukunft RTCM-MSM) vorzunehmen. Die mittelfristigen Ziele von MGEX sind die Aufrüstung des gesamten IGS-Beobachtungsnetzes auf Multi-GNSS Stationen und die Generierung von typischen IGS Produkten inklusive Erdrotationsparameter und Atmosphärendaten basierend auf allen verfügbaren Signalen.

Abschließend sei auf die offizielle IGS-Website der MGEX Kampagne verwiesen [7], von der der aktuelle Status des Stationsnetzes abgefragt werden kann und der Zugang zu den RINEX 3.0x Messdaten geregelt ist. Zusätzlich findet man hier erste präzise Galileo und Compass-Bahnprodukte und kann nicht zuletzt den aktuellen Status der verschiedenen Raumsegmente abfragen.

Literaturverzeichnis

- [1] *China Satellite Navigation Office (2011): BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document (Test Version).*
- [2] *Hugentobler U., Neilan R. (2011): [IGSMail-6459], IGS Multi-GNSS Global Experiment, Call for Participation.*
- [3] *Hugentobler U. (2011): New Satellite Systems and New Signals, Proceedings des GNSS-R Workshop, Shanghai Astronomical Observatory, August 2011.*
- [4] *Slater J., Noll C., Gowey K., eds. (2000): International GLONASS Experiment – IGEX98. IGS Workshop Proceedings, Nashville, Tennessee.*
- [5] *Slater J., Willis P., Beutler G., Gurtner W., Lewandowski W., Noll C., Weber R., Neilan, R.E., Hein G., (1999): The International GLONASS Experiment (IGEX-98): Organisation, Preliminary Results and Future Plans; Proceedings ION GPS 99 Nashville, pp2293-2302.*
- [6] *Weber (2012): The IGS Multi-Signals Tracking Campaign MGEX – Planning, Status, Perspectives. Proceedings of the IGS Workshops 2012, Olstyn, Poland.*
- [7] *www.igs.org/mgex. Website des IGS MGEX Experiments*
- [8] *www.glonass-center.ru/en/GLONASS/ Website of the Russian Federal Space Agency – Information Analytical Centre*

Anschrift des Autors:

Dr. Robert Weber, Technische Universität Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Höhere Geodäsie, Gusshausstrasse 27-29, A-1040 Wien.

E-Mail: robert.weber@tuwien.ac.at