

# GNSS-Information

## GPS – NEWS

Am 20. Juli des Jahres wurde der GPS-IIA-Satellit mit der Nummer SVN36 wieder aktiviert. Der Satellit verwendet den PRN-Code 04. Dieser Code war bis zum 14. Juli durch SVN38 verwendet worden. In beiden Fällen war bzw. ist der Satellit auf „unhealthy“ gesetzt worden.

Die Firma Raytheon und ihr Auftraggeber, die US-amerikanische Luftwaffe, sehen das neue Kontrollsystem „Global Positioning System Next Generation Operational Control System“ (GPS OCX) mittlerweile auf einer stabilen Grundlage. OCX ist eine wesentliche Voraussetzung für die Steuerung und Überwachung der GPS-III-Satelliten. Die Firma hat in den letzten beiden Jahren einige Schritte unternommen, um die Verzögerungen im Programm in den Griff zu bekommen. Dies betrifft insbesondere eine effektivere Entwicklung des Quellcodes. Derzeit geht man davon aus, dass das vollständige System Ende 2020 eingesetzt werden kann.

Die US-Luftwaffe hat mit der Firma SpaceX einen weiteren Kontrakt zum Start eines GPS-III-Satelliten abgeschlossen. Der Start des zweiten GPS-III-Satelliten soll bis April 2019 erfolgen. Der erste GPS-III-Satellit steht weiterhin für 2018 in den Startbüchern.

Ogleich also der Start des ersten GPS-III-Satelliten noch auf sich warten lässt, gehen Bau und Tests der weiteren GPS-III-Satelliten bei der Herstellerfirma Lockheed Martin zügig voran. Der zweite Satellit hat mittlerweile die wesentlichen Tests bestanden und auch die weiteren Satelliten werden bereits gefertigt. Vertraglich festgelegt ist, dass Lockheed Martin die ersten zehn GPS-III-Satelliten baut.

Jedoch auch für den vollständigen Ausbau ihrer GPS-III-Konstellation treiben die USA ihre Planungen voran. So plant man eine Ausschreibung, aufgrund derer der Bau der GPS-III-Satelliten ab SV11 bis SV32 an einen einzigen Anbieter gehen soll. Man spricht sich davon eine zügigere und unkompliziertere Umsetzung.

## GLONASS – NEWS

Nach längerer Pause ist für dieses Jahr noch der Start eines neuen Glonass-Satelliten geplant. Auch wenn derzeit 24 Satelliten funktionsfähig und nutzbar sind, ist eine regelmäßige Ersetzung älterer Satelliten notwendig. Mehr als die Hälfte der Glonass-Satelliten hat ihre vorgesehene Lebensdauer bereits überschritten. Am 22. September brachte eine Soyuz-Rakete, gestartet vom Weltraumbahnhof Plessezk, einen Glonass-M-Satelliten in den Orbit.

In Zukunft soll es auch Glonass-Satelliten mit elliptischer Bahn geben. Russland plant ab dem Jahr 2019 mit dem Beginn der Arbeiten an diesem Projekt. Es scheint geplant, sechs der zukünftigen Glonass-Satelliten in die „Molniya“ genannten Orbits zu bringen. Als Grund dafür wird vermutet, dass die Satelliten durch eine vorübergehend geringere Geschwindigkeit auf diese Weise einen längeren Zeitraum in der nördlichen Hemisphäre, sprich über Russland, verbringen. Die Molniya-Orbits haben eine Inklination von etwa 63,4° und dadurch bleibt das Apogäum an einem festen

Punkt. Dieser Orbit-Typ wird auch im japanischen QZSS verwendet und wurde früher bei anderen russischen Satellitenmissionen benutzt.

## BEIDOU – NEWS

Die chinesische Raumfahrtbehörde hat für dieses Jahr noch ein ambitioniertes Programm von BeiDou-Satellitenstarts vorgesehen. Für September, Oktober und Dezember ist jeweils ein Doppelstart von BeiDou-3-Satelliten geplant, die für den mittleren Orbit (MEO) vorgesehen sind. Für einen weiteren Start gab es bislang kein Startfenster. Zudem soll im Dezember noch ein BeiDou-2-Satellit in einen geostationären Orbit gebracht werden.

## QZSS – NEWS

Nach dem erfolgreichen Start des zweiten QZSS-Satelliten am 1. Juni dieses Jahres mit einer H-2A-Rakete vom japanischen Raumfahrtbahnhof in Tanegashima sollte der japanischen Raumfahrtagentur Jaxa am 11. August ebenfalls der erfolgreiche Start des dritten Michibiki-Satelliten gelingen. Aufgrund schlechter Wetterprognosen wurde der Start jedoch zwei Tage vorher um zunächst einen Tag verschoben. Dann jedoch gab es nach Befüllen der Treibstofftanks ein größeres Problem mit dem Antriebssystem. Daraufhin wurde der Start ein weiteres Mal verschoben. Am 19. August schließlich gelang der Start. 29 Minuten später wurde Michibiki 3 von der letzten Raketenstufe getrennt.

Weiterhin ist für das letzte Quartal dieses Jahres, wahrscheinlich im Oktober, der Start des vierten QZSS-Satelliten vorgesehen. Im Laufe des kommenden Jahres sollen alle vier Satelliten aktiviert sein.

Damit wäre die ursprünglich geplante Konstellation des Systems erreicht. Inzwischen gibt es jedoch Stimmen aus Japan, die über eine Erweiterung des Systems auf insgesamt sieben Satelliten nachdenken. Ein Vorteil eines solchen erweiterten Systems wäre, dass man unabhängiger von der Funktionsfähigkeit von GPS würde. Der vorläufige Zeitplan sieht jedoch diesen Ausbau erst bis zum Jahr 2023 vor.

## GALILEO – NEWS

Die vier Galileo-Satelliten, die am 17. November vergangenen Jahres in den Orbit befördert worden waren, sind mittlerweile auch formell zum Galileo-System hinzugenommen worden. Die ersten beiden Satelliten GSAT0207–SV ID 07 („Antoniana“) und GSAT0214–SV ID 05 („Tijmen“) wurden am 29. Mai freigegeben. Sie belegen die Slots C1 und C6 und verwenden die PRN-Codes E05 und E07. Die anderen beiden Satelliten dieses Vierfachstarts, GSAT0212–SV ID 03 („Lisa“) und GSAT0213–SV ID 04 („Kimberley“), folgten am

1. bzw. 9. August dieses Jahres. Sie belegen die Slots C8 und C3 und verwenden die PRN-Codes E03 und E04. Alle vier Satelliten sind jeweils an den Wasserstoffmaser angeschlossen.

Weiterhin noch für dieses Jahr, voraussichtlich am 12. Dezember, ist der nächste Vierfachstart mit einer Ariane-5-Rakete geplant, um die Satelliten FM15 bis 18 in den Orbit zu bringen.

Am Rande der Pariser Flugausstellung wurde am 22. Juni dieses Jahres ein Vertrag zwischen der European Space Agency (ESA) und dem deutsch-britischen Konsortium, bestehend aus OHB in Bremen und der englischen Surrey Satellite Technology Ltd., geschlossen. Er beinhaltet den Bau weiterer acht Galileo-Satelliten. OHB hatte bereits den zweiten Auftrag zum Bau von insgesamt 22 Satelliten erhalten. Der Kontrakt umfasst ein Volumen von 324 Mio. Euro.

Der Ausstieg des Vereinigten Königreichs Großbritannien und Nordirland (UK) aus der Europäischen Union (EU) – umgangssprachlich als Brexit bezeichnet – könnte auch Auswirkungen auf das europäische Satellitennavigationsprogramm Galileo haben. Die Europäische Kommission möchte wesentliche Bauteile, insbesondere die sicherheitskritischen, ausschließlich in Ländern der EU fertigen lassen. Die Firma Surrey Satellite Technology Ltd. aus England zum Beispiel ist sehr stark in die Entwicklung und den Bau der Navigationsnutzlast des größten Teils der aktuellen Galileo-Satelliten involviert. Auf der anderen Seite ist die Firma eine Tochtergesellschaft von Airbus-France. Das wiederum könnte die Position dieser Firma verbessern.

Auch „behördlicherseits“ könnte der Brexit Konsequenzen für beide Parteien haben. Das Galileo Security Monitoring Centre (GSMC) ist ein wesentliches Element der Galileo-Infrastruktur und in allen Fragen der Sicherheit involviert, z. B. für den Public Regulated Service (PRS). Das GSMC ist derzeit in Saint-Germain-en-Laye in der Nähe von Paris, Frankreich, und in Swanwick, in der Nähe von Southampton, Vereinigtes Königreich, angesiedelt. Für Letzteres sucht die Kommission nun anscheinend eine Nachfolgeinstitution. Die Anforderungen an den Standort sind hoch: Das GSMC in Frankreich liegt innerhalb eines Militärkomplexes und das Back-up in UK ist im Gebäude der Flugsicherung untergebracht.

## NAVIC/GAGAN – NEWS

Obwohl das indische regionale Satellitennavigationssystem Navic mit sieben Satelliten vollständig ausgebaut ist, hat Indien für das laufende Jahr die Starts zweier weiterer Navigationssatelliten des Systems geplant. Als achter Satellit sollte IRNSS 1H zunächst am 28. August mit einem „Polar Satellite Launch Vehicle“ (PSLV) vom indischen Raumfahrtbahnhof Sriharikota aus in den Orbit gebracht werden. Dann wurde der Start kurzfristig verschoben. Am 31. August erfolgte schließlich der Start und zunächst sah alles nach einem planmäßigen Verlauf aus. Jedoch mit Zündung der vierten Stufe des PSLV traten Probleme auf. Die Nutzlast der Rakete, also der Satellit, konnte nicht freigesetzt werden. Als die wahrscheinliche Ursache wurde ermittelt, dass sich ein Hitzeschild nicht wie geplant gelöst hatte.

Seit das PSLV 1993 erstmals verwendet wurde, handelt es sich um den ersten Totalverlust eines Satelliten.

Recht kurzfristig tauchte ein weiterer Satellit, IRNSS 1I, in den Startbüchern auf. Er sollte nach dem ursprünglichen Plan bereits im November gestartet werden. Nach dem Verlust von IRNSS 1H ist jedoch von einer Verschiebung auszugehen.

## SBAS IN AUSTRALIEN

Erstmals wird in Australien und Neuseeland ein Satellite Based Augmentation System (SBAS) getestet. Geoscience Australia hat Mitte des Jahres ein sogenanntes Test-bed-Projekt gestartet. In den kommenden beiden Jahren sollen die zusätzlichen Daten und Korrekturen genutzt werden, um die Positionierung zu verbessern und sicherer zu machen. Am 4. Juni begann die Ausstrahlung der L1- und L5-Signale über den Inmarsat-Satelliten 4-F1 (PAC-W), der bei 143,5° östlicher Breite positioniert ist. Dabei wird der PRN-Code 122 verwendet. Ebenfalls Teil des Projekts ist die Positionierung mittel Precise-Point-Positioning-(PPP-)Technik; aus diesem Grund ist die spanische Firma GMV Teil des Konsortiums. Nähere Informationen findet man z. B. unter <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/positioning-for-the-future/satellite-based-augmentation-system>.

## STÖRUNG DES GNSS-EMPFANGS

Im Juni dieses Jahres berichteten verschiedene Medien über eine GPS-Attacke im Schwarzen Meer. In einer bestimmten Region war die Navigation mit GPS plötzlich massiv gestört. Trotz angezeigter Genauigkeit von besser als 100 m lag beispielsweise die ausgewiesene Position eines Schiffs um 25 nautische Meilen von der tatsächlichen Position entfernt. Rund 20 Schiffe sollen von diesem Ereignis, das in der Nähe von Novorossiysk im Bezirk Krasnodar auftrat, betroffen gewesen sein.

Welche Kosten ein längerfristiger Ausfall von GNSS zur Folge haben könnte, wurde unlängst in Großbritannien untersucht. Eine Studie errechnete bis zu 1 Mrd. Pfund pro Tag an Schaden und Ausfällen. Fehlende Navigation – auch wenn dies dem Leser als Erstes einfallen würde – mag dabei noch den geringeren Einfluss haben gegenüber z. B. Diensten und Industrien, die auf exakte Zeitübertragung und -synchronisation angewiesen sind. Angesichts der dynamischen Entwicklung von GNSS-Anwendungen werden die im Report berechneten Kosten als eher konservative Zahlen eingeschätzt.

## SOFTWARE-EMPFÄNGER FÜR DAS GPS-CONTROL-SEGMENT

Im Zuge der Modernisierung des GPS-Kontrollsegments werden zurzeit die sechs Trackingstationen der US-Luftwaffe mit neuen Empfängern ausgerüstet. Die Fa. Lockheed hat dafür „Monitor Station Technology Improvement Capability“ genannte Empfänger entwickelt, die als „Software Defined Radio“ (SDR) ausgelegt sind. Dies bedeutet, dass die Signalverarbeitung nicht wie bisher in speziell entwickelten „Application Specific Integrated Circuits“

(Asic) erfolgt, sondern komplett in Software realisiert ist. Die hohe Rechenleistung von aktuellen Mikroprozessoren erlaubt es heute, die seit etwa dem Jahr 2000 entwickelten Ansätze für Software-Empfänger in die Praxis zu bringen. Wie schon 2008 auf dem IGS-Workshop von Humphreys, Young und Pany in einem Beitrag beschrieben, sind SDR die idealen Geräte für hochgenaue und wissenschaftliche Anwendungen. Wenn der Quellcode der Signalverarbeitung bekannt ist, können die Eigenschaften und speziell die mit der Verarbeitung und Filterung verbundenen systematischen Fehler bestimmt und kompensiert werden. Dazu sind ohne Änderung der Hardware sehr leicht Anpassungen an neue Signale und Methoden vorzunehmen.

Dies hat wohl auch die US-Luftwaffe erkannt und ein entsprechendes Design entwickeln lassen. Seit Juni 2017 wurden die Cape Canaveral Air Force Station, Florida, und die Stationen auf dem Kwajalein-Atoll und in Hawaii umgerüstet. Bis Ende 2017 sollen Schriever Air Force Base, Ascencion Island und Diego Garcia umgestellt sein. Ob die zehn weiteren Monitorstationen der National Geospatial Intelligence Agency ebenfalls umgerüstet werden, ist noch nicht bekannt.

## GPS-LEISTUNGSBILANZ FÜR 2016

Im Juni hat die US Air Force die Berichte über die Leistungsmerkmale des GPS in den Jahren 2014 und 2015 veröffentlicht. Sie werden von den „Applied Research Laboratories“, einem von der Luftwaffe an der Universität von Texas in Austin mitfinanzierten Forschungszentrum erstellt. Auf der Basis von 33 GPS-Monitorstationen wird die Einhaltung der seit 2008 in dem „GPS SPS Performance Standard“ definierten Spezifikationen validiert.

Die Ergebnisse zeigen eine praktisch 100-prozentige Einhaltung der zugesagten Leistungsparameter. Einzige Ausnahme war eine verspätete Warnung vor einer geplanten Unterbrechung eines Satellitensignals. Betrachtet werden die Größen Genauigkeit, Integrität, Kontinuität und Verfügbarkeit der satellitenabhängigen Signalanteile in der Pseudo-Strecke (Signal-in-Space). Besonders herausragend sind die sich kontinuierlich verbessernden Werte der reinen Streckenfehler. Sie sanken relativ zu 2014 von 1,8 m auf 1,4 m und betragen damit nur etwa 20 % der spezifizierten 7,8 m. Der gesamte 97 Seiten umfassende Bericht ist unter <http://www.gps.gov/systems/gps/performance> zu finden.

## GPS-TESTS IN DER FAHRPRÜFUNG

Großbritannien führt Ende dieses Jahres das Thema Navigation in der Fahrprüfung ein. Prüflinge müssen dann in der Prüfung nachweisen, dass sie in der Lage sind, die Anweisungen eines Navigationsgeräts zu verstehen und ihnen zu folgen. Hintergrund ist die Beobachtung, dass mehr als die Hälfte der britischen Autofahrer Navigation mit GPS benutzt. Anstelle der neuen Prüfungsteile sollen Fragen zu den klassischen Verkehrszeichen reduziert werden oder entfallen. Inwieweit die ungenügende oder ungeübte Handhabung von Navigationsgeräten im Fahrzeug zu Gefahrensituationen oder

gar Unfällen führt, ist – abgesehen von spektakulären Einzelfällen – nicht bekannt.

## SONNENFINSTERNIS UND GPS

Die totale Sonnenfinsternis in den USA am 21. August 2017 war nicht nur ein optisches Spektakel, sondern auch ein interessantes Experimentierfeld für die Auswirkungen auf elektromagnetische Signale im Mikrowellenbereich, inklusive der GNSS-Frequenzen.

US-Forschungsinstitute und -Universitäten hatten ein Programm zur Untersuchung der Effekte in den GNSS-Signalen entworfen und gezielt Empfänger in der Spur der Finsternis installiert oder bestehende Infrastruktur speziell programmiert. Wie zu erwarten sank der Gehalt an freien Elektronen während der Finsternis, allerdings nicht in dem Maß wie durch die normalen Tag- und Nacht-Unterschiede. Der totale Elektronengehalt der Ionosphäre (TEC) wird aus Zwei- oder Mehrfrequenzbeobachtungen abgeleitet und in der Einheit TECU gemessen; 1 TECU entspricht  $10^{16}$  Elektronen pro 1 Quadratmeter Fläche. Der TEC ergibt sich aus der Integration der Elektronenzahl entlang des Signalwegs vom Satelliten zum Empfänger.

Während der Finsternis sank der TEC in der Schattenspur um ca. 3 TECU, das entspricht einem Code-Streckenfehler von 0,5 m bei der L1-Frequenz. Die weiteren Analysen und flächenhafte Auswertungen müssen zeigen, ob man auch die vorhergesagten wandernden ionosphärischen Störungen (TID, Travelling Ionospheric Disturbances) erkennen kann. Sie werden durch atmosphärische Schwerewellen verursacht. Erwartet werden Variationen von 1 TECU – weit geringer als durch Sonnenstürme ausgelösten TID, die zum Abriss der Phasenmessung führen können. Positionierung, Navigation und Zeitübertragung blieben damit im Wesentlichen unbeeinflusst von der Sonnenfinsternis.

## NEUE SLR-STATION AUF SPITZBERGEN

Die Nasa und die Norwegische Landesvermessung haben im August ein Abkommen zur Errichtung einer neuen Satelliten-Laser-Trackingstation auf Spitzbergen unterzeichnet. Damit wird New Alesund zu einem neuen Eckpfeiler des Globalen Geodätischen Beobachtungssystems, da dort ab etwa 2021 alle Raumtechniken auf einer Station vereint werden. Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Satellite Laser Ranging (SLR), Global Navigation Satellite Systems (GNSS) und das französische Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite (Doris) werden der IAG und GGOS zur Verfügung stehen.

New Alesund, die nördlichste Siedlung der Welt, nur etwa 1 230 km vom Nordpol entfernt, leistet einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Überwachung der Klimawandelfolgen in der Arktis. Neue Satellitenmissionen, wie der „Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2“ (ICESat-2), der mit einem Laser-Altimeter auch kleinste Änderungen in der Eisbedeckung messen kann, und andere polare Satelliten werden bei ihrer Bahnbestimmung von New Alesund profitieren. Die Nasa hat, basierend auf ihrem „Next Generation SLR“-Stationsdesign, eine speziell an die arktischen

Verhältnisse angepasste Variante entwickelt. Probleme sind z. B. die notwendige Stärke der Kuppel, die bei Schnee- und Eisbedeckung geöffnet werden muss, die Stabilität der Teleskopaufhängung bei extremen Temperaturen und die fehlende Kalibriermöglichkeit mit Sternen, wenn es im Arktischen Sommer nicht dunkel wird. Die SLR-Station wird zwischen den neuen Twin-VLBI Teleskopen aufgebaut werden.

## IGS-WORKSHOP IN PARIS

Bereits knapp 1,5 Jahre nach dem letzten Workshop des Internationalen GNSS-Dienstes (IGS) in Sydney fand Anfang Juli die Nachfolgeveranstaltung statt. Üblicherweise liegen rund zwei Jahre zwischen den Veranstaltungen. Vom 3. bis 7. Juli dieses Jahres trafen sich Wissenschaftler aus aller Welt in Paris. Die Rekordteilnehmerzahl von 277 überraschte Teilnehmer wie Veranstalter gleichermaßen. Für die späten Anmeldungen hatte es den etwas unschönen Nebeneffekt, dass sie in einem Nebenraum – der sich darüber hinaus in einem anderen Gebäude befand – per Videokonferenz folgen mussten.

Ebenfalls rekordverdächtig war die Zahl von 107 Poster-Anmeldungen. Deshalb musste die Postersession geteilt werden, sodass für jeden einzelnen Präsentator nur die halbe Display-Zeit zur Verfügung stand.

Die drittgrößte Teilnehmergruppe stellte erstmals China. In verschiedenen Sessions wurden Ergebnisse und Projekte aus dem Reich der Mitte präsentiert. Ein erster kleiner Meilenstein wurde erreicht, indem die Universität Wuhan offizielles Analysezentrum für die sogenannten Ultra-Rapid-Produkte des IGS geworden ist.

Ein Dauerthema im IGS sind die Kalibrierungen der Antennen der Referenzstationen. Erstmals wurde vom Analysekoordinator M. Moore vorgeschlagen, im IGS individuelle Antennenkalibrierungswerte zu verwenden statt die sogenannten „type mean“-Werte. Zugleich zeigte sich aber, dass die weitaus größte Zahl der zur Verfügung stehenden individuellen Kalibrierungen für europäische Stationen zur Verfügung steht; außerhalb Europas ist die Zahl sehr gering.

Ein weiteres Thema, das die Community seit Langem beschäftigt, sind die notwendigen Informationen über die GNSS-Satelliten selbst. Masse des Satelliten, Position des Center of Mass (CoM) u. a. m. sind für eine dynamische und hochgenaue Bahnmodellierung unerlässlich. Im Nachgang zum Workshop hat O. Montenbruck für die Multi-GNSS-Arbeitsgruppe ein White Paper zu diesem Thema fertig gestellt (zu finden auf der Seite <http://kb.igs.org/hc/en-us>).

K. McLeod stellte eine neue Prozessierungseinheit von NRCan vor, bei der fünf verschiedene Empfänger an eine Antenne angeschlossen sind. Die sogenannte Zero-baseline-Technik ist gut geeignet für Untersuchungen beispielsweise zu Interfrequency-Biases und ähnlichem.

Breiten Raum nehmen beim Workshop die sogenannten Splinter-Meetings ein. Dort treffen sich die verschiedenen thematischen IGS-Arbeitsgruppen, um offene Fragen und das weitere Vorgehen zu beraten. Aufgrund der großen Teilnehmerzahl und der Räum-

lichkeiten gerieten einige der Treffen in diesem Jahr jedoch eher zu Plenumsitzungen.

Die Vorträge und Poster sind auf der Seite <http://www.igs.org/presents/workshop2017> zu finden.

Der nächste IGS-Workshop wird ebenfalls bereits wieder nach rund 1,5 Jahren stattfinden: Ende Oktober 2018 will man sich in der chinesischen Universitätsstadt Wuhan treffen.

### Prof. Dr.-Ing. Matthias Becker

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
INSTITUT FÜR GEODÄSIE

Franziska-Braun-Straße 7 | 64287 Darmstadt  
becker@psg.tu-darmstadt.de



### Dr.-Ing. Wolfgang Soehne

BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE  
UND GEODÄSIE

Richard-Strauss-Allee 11 | 60598 Frankfurt am Main  
wolfgang.soehne@bkg.bund.de

