

# GNSS-Information

## GPS – NEWS

Der zweite GPS-III-Satellit, auch „Magellan“ genannt, der im Juli gestartet werden soll, ist am 18. März in Cape Canaveral angekommen. Der Satellit, gebaut von Lockheed-Martin nahe Denver, wurde vom Luftwaffenstützpunkt Buckley in Colorado nach Cape Canaveral geflogen. Der Start ist derzeit für den 25. Juli – zunächst war der 15. Juli genannt worden – vorgesehen.

Der erste GPS-III-Satellit war am 23. Dezember 2018 gestartet worden. Am 9. Januar begann der Satellit, seine Navigationssignale zu übertragen. Die Gruppe um Oliver Montenbruck am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt startete sogleich mit umfangreichen Untersuchungen der vom Satelliten unter der PRN-Nummer G04 übertragenen Signale. Neben den „üblichen“ L1-C/A-, L1P- und L2P-Signalen werden auch das L2C- und das L5-Signal übertragen. Ebenfalls konnte das neue zivile Signal L1C identifiziert werden. L1C soll aufgrund seiner zehnmal längeren Codes und der Aufteilung in eine Pilot- und eine Datenkomponente eine robustere Navigation verglichen mit dem L1-C/A-Code erzielen.

In das letzte Quartal fiel der sogenannte GPS rollover. Er kommt dadurch zustande, dass das Feld für die GPS-Wochennummer in der Navigationsnachricht auf 10 bit begrenzt ist. Damit kommt es alle 1 024 Wochen (= 19,7 Jahre) zu einer Zurücksetzung auf „0“. Beim letzten Ereignis am 21. August 1999 mag es einige Probleme gegeben haben, diese wurden durch den herannahenden Jahrtausendwechsel ein wenig in den Hintergrund gedrängt. Auch am 6. April 2019 gab es ein paar Probleme bei bestimmter Firmware, die meisten Anbieter schienen jedoch gut auf das Ereignis vorbereitet zu sein.

Nicht nur in Deutschland oder Europa, auch in den USA nutzen mehr und mehr landwirtschaftliche Betriebe die Errungenschaften der GNSS-Navigation. Das US-amerikanische Landwirtschaftsministerium (USDA) hat sich nun in der Diskussion um geschützte Frequenzen bzw. Frequenzbereiche zu Wort gemeldet. Das USDA kündigte die Erstellung einer Studie an, in der die Anforderungen der Land- und Forstwirtschaft und weiterer verwandter Anwendungen an die Bereitstellung und den Schutz von GNSS-Frequenzen zusammengestellt werden sollen. Es wird erwartet, dass diese Studie in eine mögliche nationale Frequenzstrategie einfließen wird.

Der US-amerikanische Rüstungs- und Elektronikkonzern Raytheon, die in dieser Kolumne bereits häufiger im Zusammenhang mit der Entwicklung des neuen operationellen Steuerungssystems für GPS, OCX, erwähnt wurde, wird mit der ebenfalls US-amerikanischen Firma United Technologies fusionieren. Letztgenannte Firma wird sich vorab von einigen Sparten, wie Aufzug- und Klimatechnik, trennen, um sich auf die Luft- und Raumfahrtsparte zu konzentrieren. United Technologies hatte erst Ende letzten Jahres eines der führenden Unternehmen für Kontroll- und Navigationssysteme, Rockwell Collins, übernommen. Der neue Konzern wird somit seine Stellung im Luft- und Raumfahrtsektor, insbesondere im militärischen Bereich, ausbauen.

## GLONASS – NEWS

Mitte April wurde für den 13. Mai der Start eines weiteren Glonass-M-Satelliten angekündigt. Nach einer Verschiebung wurde der Start der Soyuz-Rakete von Plesetsk aus am 27. Mai durchgeführt. Dieser Satellitenstart geriet indes in die Schlagzeilen, weil die Rakete kurz nach dem Start von einem Blitz getroffen wurde. Anscheinend wurden die erste und die dritte Raketstufe etwas in Mitleidenschaft gezogen, der Satellit blieb jedoch unbeschädigt und gelangte in die vorgesehene Bahn. Am Startort herrschte während des Starts ein Gewitter. Häufig werden die Raketensstarts in solchen Fällen kurzfristig abgesagt und um wenige Tage verschoben.

Ein weiterer Start, diesmal eines Glonass-K1-Satelliten, war für den Juni angekündigt, bis Redaktionsschluss dieser Ausgabe jedoch noch nicht vollzogen bzw. nicht in den Startbüchern zu finden. Zwei Glonass-K2-Satelliten sollen in 2020 gestartet werden.

## BEIDOU – NEWS

Am 20. April dieses Jahres wurde ein weiterer Beidou-Satellit in den Orbit gebracht. Um 14.41 GMT hob die Rakete vom Typ Langer Marsch 3B vom Weltraumbahnhof Xichang ab. Wie üblich gab es auch dieses Mal nur wenige Tage vorher die ersten Anzeichen für den Start. Der Satellit wurde in einen geosynchronen Orbit gebracht bei 110,5 Grad östlicher Länge.

Ebenfalls mit einer äußerst kurzfristigen Ankündigung wurde am 17. Mai ein Beidou-2-Satellit von Xichang aus mit einer „Langer Marsch 3C“-Rakete gestartet. Bei diesem Satelliten handelt es sich um einen geostationären Satelliten, als G8 bezeichnet. Für den Juli ist der Start eines weiteren Beidou-3-Satelliten für eine geosynchrone Umlaufbahn geplant.

Den Ankündigungen nach plant China in diesem Jahr noch weitere Beidou-Satelliten in den Weltraum zu befördern, die Rede ist von sechs bis acht Satelliten, neben den bereits genannten, darunter zwei Doppelstarts von Satelliten im mittleren Orbit im Oktober und Dezember.

Im März dieses Jahres hatte China ein Update seines Interface Control Documents (ICD) für das offene Signal B1I veröffentlicht. Diese technische Information ist sowohl für Beidou-2 als auch Beidou-3 nutzbar. ICD beschreibt die Signalstruktur, die Frequenzen, die Struktur der Navigationsnachrichten und weitere Charakteristika auf 85 Seiten.

Vor wenigen Tagen gelang China erstmals ein Raketenstart von einer mobilen Plattform auf dem Meer. Von einem umgebauten Frachtschiff auf dem gelben Meer aus wurde eine Rakete vom Typ „Langer Marsch 11“ mit insgesamt sieben Satelliten an Bord gestartet. Ein solcher mobiler Startplatz hat den Vorteil, dass er nahe an den Äquator manövriert werden kann. Dann können die Raketen die Rotation der Erde besser ausnutzen und auf diese Weise Treibstoff einsparen. Der Startort wurde mit 34,9 Grad nördlicher Breite und 121,2 Grad östlicher Länge angegeben. Der

Raumfahrtbahnhof Xichang zum Vergleich liegt bei rund 28 Grad nördlicher Breite und 102,3 Grad östlicher Länge. Ein weiteres Argument aus chinesischer Sicht für diese Starts ist, dass die herabfallenden Teile ins Meer stürzen und nicht über Land heruntergehen.

## GALILEO – NEWS

Nach der Entscheidung der Federal Communications Commission (FCC) im November letzten Jahres, die Verwendung von Galileo-E1- und -E5-Signale in den USA zuzulassen (wir berichteten), erwarten die Chiphersteller einen großen Schub in der Nutzung des europäischen Systems. Die neuesten Chips der beiden großen US-amerikanischen Chip-Hersteller Broadcom und Qualcomm sind bereits mit der Galileo-Funktion ausgestattet und es bedarf vermutlich lediglich einer herstellereitigen Freischaltung. Insbesondere in den dicht besiedelten städtischen Gebieten mit ihren Hochhauschluchten verspricht man sich eine bessere Positionierung und Navigation.

Die Europäische Kommission erkennt die große Bedeutung, die Galileo nun international erfahren wird und hat das Budget für Galileo im nächsten Haushaltsjahr um 75 % gegenüber 2019 erhöht. Die 1,2 Milliarden Euro sollen dem weiteren Ausbau und der Gewinnung von neuen und mehr Märkten dienen. Es wird erwartet, dass die Zahl der Nutzer weltweit von 700 Millionen auf mehr als eine Milliarde ansteigen wird. Das von der Europäischen Kommission am 7. Juni beschlossene Gesamtbudget für das Jahr 2020 beträgt 168,3 Milliarden Euro. Es ist das letzte in der Amtsperiode von Claude Juncker sowie Günther Öttinger und soll zur Stärkung der europäischen Industrie, zur Solidarität und Sicherheit und zu 21 % für klimaschutzrelevante Ausgaben verwendet werden.

## RUSSISCHES E-LORAN

Als Alternative und Ergänzung zu Glonass hat die russische Marine damit begonnen, ein terrestrisches Navigationssystem aufzubauen. Nach unbestätigten Berichten in Zeitungen wird das System ähnlich wie das in den westlichen Ländern eLoran genannte neue Verfahren arbeiten. Dieses Verfahren bietet gegenüber dem klassischen Loran-System eine stark verbesserte Positionsgenauigkeit und kann die GNSS im Fall von unvorhergesehenen oder absichtlichen Störungen ersetzen. Die Genauigkeit ist für Positionierung, Geschwindigkeit und Zeitübertragung auf ähnlichem Niveau und besser als die GNSS-Codeposition. Ein solches Ergänzungs- und Rückfallsystem wird angesichts zunehmender Gefahr von Störungen dringend empfohlen. Die zivile und militärischen Nutzung und die Kombinationsfähigkeit mit GNSS könnten laut Experten die bisher nur für die Flugnavigation benutzten zahlreichen Referenzsender ersetzen. Dadurch ergäben sich langfristig große Sparpotenziale. Das russische System wird mit zwei Teststationen in 2019 starten und dann sukzessive ausgebaut werden, zunächst für die militärische Nutzung mit verschlüsselten störungssicheren Signalen und dann in kombinierter Nutzung mit GNSS auch für zivile Anwender.

## BILDERVERARBEITUNG UND KI ZUR ERKENNUNG VON SATELLITEN

In einer Zusammenarbeit zwischen der European Space Agency (ESA) und der Stanford University startete am 1. Februar 2019 ein Wettbewerb zur automatischen Erkennung von unbekanntem Satelliten im All. Basierend auf einer Sammlung von etwa 16000 realen und simulierten Bildern soll eine Software entwickelt werden, die selbstständig, ohne Input von der Erde, mit einer Kamera und einem Schwarz-Weiß-Bild die Pose (relative Position und Ausrichtung) eines unbekanntem Satelliten bestimmen kann. Das ultimative Ziel ist es, eine Art Reparatur- oder Abschleppsatellit zu entwickeln, der selbstständig Reparaturen oder die Entfernung von havarierten Satelliten durchführen kann. Diese Anwendung mit „unkooperativen“ Zielen ist für eine Vielzahl von zukünftigen Anwendungen interessant. Angesichts der Zehntausenden von geplanten Kommunikationssatelliten ist auch ein Anstieg der Aufgaben zur Entfernung von Weltraummüll zu erwarten. Zudem ist für die zukünftige weitere Eroberung des Weltraums mit größeren Entfernungen das autonome Ansteuern und Betreiben von Depots und Zwischenstationen eine der potenziellen Anwendungen.

Der Wettbewerb zielt auf Labore weltweit, die auf maschinelles Lernen spezialisiert sind und mit auf künstlicher Intelligenz (KI) basierenden Algorithmen diese Aufgabe lösen können. An der Stanford University gibt es einen Prototyp, der auf diese Weise wesentlich verbessert werden soll. Die Daten können noch bis Juli von der Webseite der ESA Challenges (<http://kelvins.esa.int>) unter dem Titel „Pose Estimation Challenge“ erhalten werden. Dort gibt es auch weitere Links zum „Space Rendezvous Laboratory“ (SLAB) der Stanford-Universität und anderen beteiligten Institutionen.

## NEUE ATOMUHREN FÜR SATELLITEN

Die US-amerikanische Raumfahrtbehörde Nasa hat einen neuen Typ von Atomuhr speziell für Raumfahrtmissionen entwickelt. Anders als die bisher in den GPS- oder Galileo-Satelliten genutzten Rubidium- und Caesiumuhren bzw. Wasserstoffmaser basiert das Zeitnormal auf Quecksilberionen. Genutzt wird der Hyperfeinstrukturübergang mit der Frequenz von 40,5 GHz. Die Ionen werden in elektrischen Feldern gefangen und sind durch Abschirmung mit magnetischen Feldern wesentlich weniger empfindlich auf externe Kräfte durch Magnetfelder und Temperaturänderungen. Die erwartete Langzeitstabilität wird mit einer Mikrosekunde pro 10 Jahren (etwa  $3 \cdot 10^{-14}$ ) angegeben. Somit wären diese Uhren etwa 50-mal genauer als die jetzt in den Navigationssatelliten eingesetzten Uhren.

Das Hauptanwendungsgebiet soll laut Nasa bei den Deep-Space-Missionen liegen. Bisher basiert deren präzise Positionierung auf einer Zwei-Wege-Technik unter Verwendung der Wasserstoffmaser an den großen Radioteleskopen des Trackings. Mit den Quecksilberionen-Uhren wäre eine Einweg-Navigation möglich. Basierend auf den von der Erde empfangenen Signalen kann die Berechnung sofort an Bord des Satelliten erfolgen. Für Missionen im gesamten Sonnensystem und darüber hinaus würden sich dadurch neue Möglichkeiten eröffnen. Die Uhr wird zunächst in einem Satelliten in

Erdnähe für etwa ein Jahr getestet. Erfüllen sich die in die Uhren gesteckten Erwartungen, werden sie dann in den Deep-Space-Missionen eingesetzt. Mehr über diese autonome Navigation im Weltraum ist bei der NASA unter [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/tdm/clock/overview.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/tdm/clock/overview.html) zu erfahren.

## AUTHENTIFIZIERUNG VON GPS-L1C-SIGNALEN

Die zunehmenden Störungen und Verfälschungen (Spoofing) von GNSS-Signalen erfordern neue Verfahren zum Nachweis deren Authentizität. Es gab Meldungen, dass auf der Softwarebörse GitHub eine Spoofing-Software heruntergeladen werden kann, die mithilfe eines ebenfalls leicht beschaffbaren Mikrowellensenders (Software-defined Radio) für weniger als 1 000 Euro einen solchen Spoofer bauen kann. In Reaktion auf diese Gefahr haben die US Air Force und eine Reihe von assoziierten Firmen reagiert und einen Vorschlag zur Nachweisbarkeit der Authentizität erarbeitet. Das Verfahren selbst ist schon 2003 von einem der Urheber beschrieben worden und kann mit einer Softwaremodifikation im Empfänger leicht genutzt werden.

Das Verfahren beruht auf der Einführung einer Art von Wasserzeichen in die GPS-Navigationsnachricht. Dieses Zeichen erlaubt die Verifizierung der Signale und kann darüber hinaus auch zur Identifikation der Position des Senders benutzt werden, um Hackerattacken zu entdecken. Das Chimera („Chips Message Robust Authentication“) genannte Verfahren beruht auf Steganographie mit nicht erkennbaren Wasserzeichen in dem Satellitensignal. Zur Dekodierung des Signals wird ein Schlüssel benötigt, der mit einer kurzen Verzögerung nach dem Signal übertragen wird. Da das Signal zu diesem Zeitpunkt schon im Empfänger gespeichert ist, hat ein Störer keine Chance, seine falschen Informationen zu verschlüsseln. Jeder Schlüssel wird auch nur einmal verwendet, das System ändert die Schlüssel sofort nach dem Aussenden. Wird der Schlüssel mit dem GPS-Signal übertragen, beträgt die Verzögerung etwa drei Minuten, bei Nutzung von Internet oder Augmentierungssystemen kann die Verzögerung auf 1,5 bis 6 Sekunden verkürzt werden. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist die Möglichkeit, auch die Position des Empfängers zu verifizieren. Dazu wird dieser kurz nach dem Erhalt des verschlüsselten Signalsegments eine Nachricht an denjenigen schicken, der unbedingt an der richtigen Position eines Absenders interessiert ist. Dieser benutzt den dann vom Satelliten folgenden Schlüssel, um das Datenpaket zu entschlüsseln und damit die wahre Position des Absenders zu erhalten. So kann ein GPS-Nutzer nachweisen, wo er sich gerade befindet.

Diese Methode speziell für zivile Nutzer soll ab 2022 mit einer Nutzlast auf dem Navigation Technology Satellite 3 (NTS-3) getestet werden. Hauptakteur ist das US Air Force Research Lab (AFRL). Chimera bewirkt eine Veränderung des Codes der Signale (Spreading Code Authentication) – anders die einfachere Modifikation der Navigationsnachricht –, ist dieser aber in einigen Punkten überlegen. Andererseits bedeutet dies, dass die Signalstruktur verändert wird. Dies ist natürlich nicht für die bisher existierenden Signale möglich. Bislang wird L1C nur testweise vom ersten GPS-III-Satelliten ausgestrahlt, aber man glaubt, dass auch bei einigen GPS-II-Satelliten noch die L1C-Modulsoftware geändert werden

kann. Auch die Empfänger müssten angepasst werden, was aber eine relativ unproblematische Modifikation der Software wäre. Die Initiatoren bei der Air Force und das AFRL hoffen auf eine möglichst große Zustimmung der Nutzer und eine Bereitschaft der Systembetreiber, diese Modifikationen einzubauen. Angesichts der großen Vorteile kann man nur hoffen, dass es noch bei GPS II eingeführt wird. Die Einzelheiten des neuen Verfahrens, zusammen mit dem Interface-Kontrolldokument und einigen Publikationen, sind z. B. auf den Webseiten von Logan Scott Consulting zu finden, einer der an der Entwicklung beteiligten Firmen (<http://www.gpsexpert.net/chimera-specification>).

## EUREF-SYMPOSIUM 2019

Das jährlich veranstaltete Euref-Symposium fand in diesem Jahr in Tallinn in Estland statt. Rund 110 Teilnehmer aus mehr als 25 Ländern kamen in die estnische Hauptstadt, um sich zu den neuesten Erkenntnissen und Ergebnissen im Bereich GNSS, Höhe und Gravimetrie auszutauschen. Das nördlichste der drei baltischen Länder, in dem die Software für den Kommunikationsdienst Skype ursprünglich erfunden wurde, gilt mit seinem flächendeckenden schnellen Internet, das selbst im entferntesten Nationalpark einwandfrei funktioniert, seiner Möglichkeit, Abstimmungen per Internet durchzuführen und seinem großen kostenlosen WLAN-Angebot als ein Musterbeispiel der Digitalisierung.

Auch wenn der mit Spannung erwartete Vortrag zur Antennenkalibrierung kurzfristig ausfallen musste, hatten die Veranstalter ein interessantes Programm zusammengestellt. Die Verdichtung des Euref-GNSS-Permanentnetzes (EPN) sowie Lösungen einzelner Länder stellten einen Schwerpunkt dar. Beiträge aus Estland (K. Kollo), Finnland (S. Lahtinen), Italien (A. Caporali), Spanien (J. Sanchez), Slowakei (M. Ferienc) und Deutschland (J. Riecken) gab es dazu – sowie einen Gastbeitrag aus Saudi-Arabien (O. Al-Kherayef). Die beiden Arbeitsgruppen zur EPN-Verdichtung (A. Kenyeres) und zur Ableitung eines dichten Geschwindigkeitsfelds (E. Brockmann) trugen ihre Arbeitsfortschritte vor. Deren Ergebnisse wiederum bilden die Grundlage zur Ableitung eines Deformationsmodells für Europa (R. Steffen). Weitere Untersuchungen zur Ableitung von vertikalen und horizontalen Bewegungen in Europa (H. Steffen, A. Caporali, J. Zurutuza, C. Völksen) bildeten einen weiteren Schwerpunkt des Symposiums. Wie immer gab es eine dedizierte Session der National Reports, in denen jedes Land in komprimierter Form einen oder mehrere Schwerpunkte oder Weiterentwicklungen vorstellen konnte.

Wie in den vergangenen Jahren gab es auch in diesem Jahr ein vorgeschaltetes Tutorial. Rund 50 Teilnehmer fanden sich ein, um sich vertieft mit dem Koordinatentransformationsprogramm PROJ zu beschäftigen. Da es sich um eine Open-Source-Software handelt, kann PROJ in eigene Programme integriert werden und ist in unterschiedliche gängige Software integriert. Nach einer ausführlichen Einführung in das Programm gab es Anwendungsbeispiele aus Finnland, Island, den Niederlanden und der Schweiz sowie einen längeren Praxisteil, in dem die Teilnehmer auf ihren mitgebrachten Notebooks die Software installieren und unter Anleitung testen und anwenden konnten.

Die Beiträge des Symposiums und des Tutorials werden wie gewohnt in Kürze auf der Euref-Webseite verfügbar sein (<http://www.euref.eu/Symposia>). Im nächsten Jahr, voraussichtlich in der letzten Maiwoche, wird sich die Euref-Gemeinde in der slowenischen Hauptstadt Ljubljana treffen.

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

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT  
INSTITUT FÜR GEODÄSIE

Franziska-Braun-Straße 7 | 64287 Darmstadt  
[becker@psg.tu-darmstadt.de](mailto:becker@psg.tu-darmstadt.de)



### Dr.-Ing. Wolfgang Söhne

BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE  
UND GEODÄSIE

Richard-Strauss-Allee 11 | 60598 Frankfurt am Main  
[wolfgang.soehne@bkg.bund.de](mailto:wolfgang.soehne@bkg.bund.de)



## Prof. Dr. Paul Becker ist neuer BKG-Präsident

Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) hat einen neuen Präsidenten. Prof. Dr. Paul Becker, zuletzt Vizepräsident beim Deutschen Wetterdienst (DWD) in Offenbach, hat am 1. April das Amt an der Spitze des BKG angetreten.

Der studierte Meteorologe arbeitet seit vielen Jahren eng mit dem BKG im Rahmen der Group on Earth Observations zusammen. Ziel ist es, die globalen Erdbeobachtungsinfrastrukturen besser zu koordinieren und die gewonnenen Daten leichter verfügbar zu machen.

Neben seiner beruflichen Tätigkeit als Vizepräsident des DWD hat Becker eine Honorarprofessur an der Goethe-Universität in Frankfurt am Main und einen Lehrauftrag an der Universität Hamburg inne.

Becker: „Ich freue mich auf das neue Amt. Viele der mit der neuen Position verbundenen Herausforderungen knüpfen unmittelbar an die Themen an, die ich in der Vergangenheit bearbeitet habe.“

Eines der wichtigsten Ziele in den nächsten Monaten wird der Aufbau einer elektronischen Plattform sein, die es erlaubt, Informationen der verschiedensten deutschen Behörden zu verknüpfen, um so u. a. die Bearbeitung komplexer interdisziplinärer Fragestellungen, z. B. in der Katastrophenvorsorge, zu unterstützen. Basierend auf der Darstellung von hochaufgelösten 3D-Modellen – verknüpft mit Niederschlagsklimatologien und Niederschlagsabflussmodellen

– könnte z. B. die Entwicklung neuer Hochwasserschutzmaßnahmen gegen sehr kleinräumige, aber intensive Niederschlagsereignisse unterstützt werden. Darüber hinaus soll ein neues Zentrum geschaffen werden, um im Katastrophenfall möglichst rasch genaue Luft- und Satellitenlagebilder vom Ort des Geschehens liefern zu können.



Der neue BKG-Präsident sieht noch weitere wichtige Handlungsfelder, beispielsweise bei der Satellitennavigation: „Die Auswertung der schnell ansteigenden Zahl von neuen Navigationssatelliten wollen wir intensivieren, um letztendlich eine noch genauere Navigation zu ermöglichen und damit Beiträge zum autonomen Fahren und zum Precision Farming zu leisten.“ Viele der neuen Tätigkeiten erfordern eine intensive nationale und internationale Vernetzung. Diese wird daher ein zentraler Aspekt seiner zukünftigen Arbeit sein.

#### Weitere Informationen unter:

<http://www.bkg.bund.de>