

Der Galileo High Accuracy Service (HAS): Ein neues Kapitel der GNSS-Positionsbestimmung

Galileo High Accuracy Service (HAS): A New Chapter of GNSS Positioning

Lambert Wanninger | Susanne Beer | Anja Heßelbarth

Zusammenfassung

Der Galileo High Accuracy Service (HAS) nahm am 24. Januar 2023 die erste Stufe (Initial Service) seines offiziellen Betriebs auf. Wir zeichnen kontinuierlich die Galileo-C/NAV-Satelliten-nachrichten auf, die die HAS-Korrekturen beinhalten, und haben diese für die ersten zwei Wochen des neuen Dienstes in Bezug auf Vollständigkeit, Zuverlässigkeit, Genauigkeit und erzielbare GNSS-Positionsgenauigkeiten untersucht.

Schlüsselwörter: GNSS, Galileo, High Accuracy Service (HAS), Precise Point Positioning (PPP)

Summary

The Galileo High Accuracy Service (HAS) started its official operation as Initial Service on January 24, 2023. We continuously record the Galileo C/NAV satellite messages containing the HAS

corrections and analyzed them for the first two weeks of this new service with respect to completeness, reliability, accuracy, and achievable GNSS position accuracies.

Keywords: GNSS, Galileo, High Accuracy Service (HAS), Precise Point Positioning (PPP)

1 Einführung

Das europäische Satellitennavigationssystem Galileo wird unter vielen Aspekten kontinuierlich weiterentwickelt (Eissfeller 2022). So wurde am 24. Januar 2023 der Galileo High Accuracy Service (HAS) offiziell in Betrieb genommen. Dabei wird von den Galileo-Satelliten ein neuer

Datenstrom (C/NAV, HAS SIS ICD 2022) auf dem Signal E6B ausgesendet, der Satellitenephemeriden und weitere Zusatzinformationen beinhaltet. Diese Informationen sind genauer und umfangreicher als die bisher schon zur Verfügung gestellten Informationen (F/NAV, I/NAV, OS SIS ICD 2021). Sie beziehen sich auch nicht nur auf die Galileo-Satelliten selbst, sondern zusätzlich auch auf alle GPS-Satelliten. Damit sollen höhere Genauigkeiten bei der absoluten Positionsbestimmung erzielbar werden. Dies kann aber nur gelingen, wenn die Positionslösung primär auf Mehrfrequenz-Phasenbeobachtungen basiert, also eine Auswertung nach den Ansätzen des Precise Point Positioning (PPP, z. B. Kouba et al. 2017) durchgeführt wird. Damit ist Galileo das erste GNSS, das PPP global und gebührenfrei unterstützt.

Am Geodätischen Institut der TU Dresden zeichnen wir die Satellitennachrichten aller GNSS-Satelliten kontinuierlich mit einem Septentrio PolaRx5-Empfänger auf. Sie stehen damit für die nachträgliche Analyse zur Verfügung. Dazu gehört auch der Galileo-C/NAV-Datenstrom, der zunächst einmal undekodiert in binärer Form vorliegt. Mit eigens dafür geschriebener Software dekodieren wir diese Datensätze und stellen HAS-Satellitenorbits, HAS-Uhrkorrekturen und alle weiteren Informationen in gängigen Datenformaten zur Verfügung. Die ersten zwei Wochen des HAS-Dienstes wurden genutzt, um Vollständigkeit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit der HAS-Korrekturen Anfang 2023 zu bestimmen.

Gleichzeitig haben wir die GPS/Galileo-Beobachtungsdaten desselben Septentrio PolaRx5-Empfängers und derselben zwei Wochen genutzt, um HAS-PPP-Positionsbestimmungen vorzunehmen und die erzielbaren Genauigkeiten zu analysieren und mit Ergebnissen, die mit anderen Ephemeridendatensätzen erzielt wurden, zu vergleichen.

2 Galileo HAS Initial Service

Der Aufbau des Galileo HAS-Dienstes ist in verschiedene Phasen eingeteilt. Nach einer Testphase (Phase 0) hat nun die Phase 1 (Initial Service) begonnen, die in wenigen Jahren in die Phase 2 (Full Service) übergehen soll (Fernandez-Hernandez et al. 2022). Erst dann ist global und unter idealen Bedingungen mit Positionsgenauigkeiten von 20 cm horizontal bzw. 40 cm vertikal (zweifache Standardabweichung) nach einer Konvergenzzeit von 300 s zu rechnen. In Europa soll dann die Konvergenzzeit aufgrund zusätzlicher ionosphärischer Korrekturen sogar nur 100 s betragen.

Diese Konvergenzzeiten und Genauigkeiten sollen erreicht werden, indem Satellitenorbit- und -uhrkorrekturen, Code- und Phasenkorrekturen für Signalverzögerungen in den Satelliten und auch Parameter eines Ionosphärenmodells für Europa zur Verfügung gestellt werden. Augenblicklich in der Phase 1 sind die Ansprüche

an Konvergenzzeiten und Genauigkeiten noch geringer, da das System global noch nicht voll ausgebaut ist und auch noch kein Ionosphärenmodell zur Verfügung steht. Hinzu kommt, dass im Widerspruch zu den Ankündigungen für Phase 1 auch noch keine Phasenkorrekturen ausgesendet werden, so dass auch hierdurch die angestrebten Konvergenzzeiten und Genauigkeiten noch nicht erreicht werden können.

Auf dem Galileo-Signal E6B sendet jeder Satellit 492 Bits/s, von denen 448 Bits/s für HAS-Informationen zur Verfügung stehen (HAS SIS ICD 2022). Von den von uns in Dresden empfangenen Datensätzen enthalten 60 % nutzbare HAS-Informationen (HAS Status 1) während 40 % mit Dummy-Daten gefüllt sind (HAS Status 2). Nach Entschlüsselung der High-Parity Vertical Reed-Solomon Kodierung (Fernández-Hernández et al. 2020) erhält man derzeit folgende zwei Datensatztypen:

- Orbit-Informationen und Codekorrekturen: 583 Bytes alle 50 s,
- Uhrkorrekturen: 106 Bytes alle 10 s oder seltener.

Die Codekorrekturen für Signalverzögerungen stehen bei GPS für L1 C/A, L2 CL und L2P zur Verfügung. Dies bedeutet, dass augenblicklich noch kein GPS L5 unterstützt wird. Auch L1P kann nicht verwendet werden. Bei Galileo werden zurzeit folgende Signale unterstützt: E1-C, E5a-Q, E5b-Q und E6-C. Somit fehlt noch der E5 AltBOC, obwohl dies für Phase 1 angekündigt war.

Die HAS-Informationen werden nicht nur über die Galileo-Satelliten ausgesendet, sondern auch in anderem Format über das Internet in Echtzeit verbreitet (HAS IDD ICD 2023). Dafür werden RTCM-Datensätze verwendet: Datensatztypen 1059/1060 für GPS und 1242/1243 für Galileo, wobei letztere bisher noch nicht zum RTCM 10403-Standard gehören (RTCM SC 104 2020). Neben der vollkommen unterschiedlichen Kodierung der Informationen zeigt unser Vergleich, dass die beiden Arten der HAS-Informationen inhaltlich mit einer Ausnahme sehr ähnlich sind. Diese Ausnahme betrifft die Satellitenantennen-Referenzpunkte, auf die sich die Orbits beziehen. Während die C/NAV-Daten sich auf die ionosphären-freien Antennenphasenzentren (APZ) GPS L1/L2 und Galileo E1/E5B beziehen, sind dies bei den im Internet zur Verfügung gestellten Datenströmen die APZ GPS L1 und Galileo E1. Der Unterschied beträgt bis zu 20 cm und muss also unbedingt berücksichtigt werden. Alle weiteren Ausführungen in diesem Artikel beziehen sich auf die HAS-Informationen, die über die Galileo-Satelliten ausgesendet werden.

3 Vollständigkeit der HAS-Informationen

Basierend auf HAS-Daten über zwei Wochen (25.1.–7.2.2023), die in Dresden aufgezeichnet wurden, wurde die Vollständigkeit der Korrekturen ermittelt. In diesem Zeitraum stand der HAS-Datenstrom kontinuierlich zur

Verfügung. Der Vergleich von vorhandenen HAS-Korrekturen mit den Ephemeriden-Informationen aus den Standard-Broadcast-Ephemeriden ergab jedoch, dass auch für voll betriebsbereite GPS- und Galileo-Satelliten nicht immer HAS-Korrekturen empfangen wurden. Die Vollständigkeitsquote lag bei knapp unter 90 % für GPS und bei 95 % für Galileo.

Auffällig sind dabei die deutlichen geografischen Unterschiede. In Abb. 1 wird die räumliche Vollständigkeit in Bezug auf die Bodenspuren der GPS- und Galileo-Satelliten dargestellt. Aufgrund der Inklination der Satellitenorbits von nominell 55° bzw. 56° werden Vollständigkeitsinformationen nur für die Breitenregionen bis unter ±60° gezeigt. Erkennbar ist die hohe Vollständigkeitsquote in Europa und in vielen weiteren Teilen der Erde, dagegen niedrige Vollständigkeitsquoten in Ostasien und im nördlichen Pazifikraum.

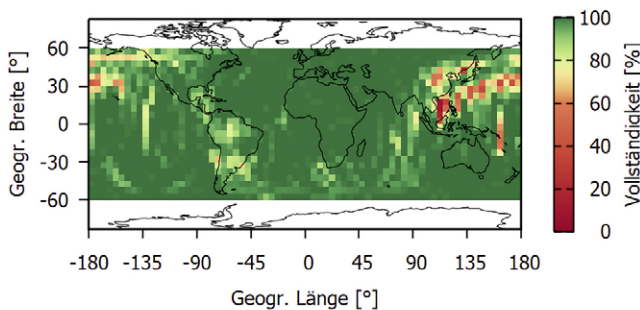


Abb. 1: Vollständigkeit der HAS-Korrekturen räumlich entsprechend den Bodenspuren der GPS- und Galileo-Satelliten zugeordnet

Diese räumliche Verteilung entspricht recht gut der momentan gültigen Definition des Galileo HAS Servicegebietes, das augenblicklich noch Ostasien, Australien und einen großen Teil des pazifischen Raumes ausschließt (HAS SDD 2023). Widersprüche ergeben sich im Bereich Australiens und Teilen des südlichen Pazifikraumes, wo nach unseren Untersuchungen die Vollständigkeit der HAS-Korrekturen sehr hoch ist. Andererseits fanden wir Datenlücken im Bereich Südamerikas, welcher aber vollständig zum augenblicklichen HAS-Servicegebiet gehören soll.

4 Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Orbit- und Satellitenuhrinformationen

Die Genauigkeit der Orbit- und Satellitenuhrinformationen kann im Vergleich zu präzisen GNSS Orbit- und Satellitenuhrprodukten aus dem Umfeld des International GNSS Service (IGS) bestimmt werden. Dafür nutzten wir die Produkte des Center for Orbit Determination in Europe (CODE, Prange et al. 2020).

Bei Vergleichen von GNSS-Orbit- und -Uhrkorrekturen muss berücksichtigt werden, dass sich die Orbits auf verschiedene Referenzpunkte am Satelliten beziehen können, wie z. B. auf das Antennenphasenzentrum (APZ) für festgelegte Frequenzen/Signale, oft die ionosphärenfreie (IF) Linearkombination zweier Signale, oder auf das Massenzentrum des Satelliten (CoM). Umrechnungen zwischen diesen Referenzpunkten erfolgen meist mit den Satellitenantenneninformationen des IGS in der jeweils aktuellen ANTEX-Datei. Die Uhrkorrekturen beziehen sich ebenfalls auf bestimmte Signale, z. B. auf eine ionosphärenfreie Linearkombination zweier Codesignale. Umrechnungen erfolgen mit Hilfe von Informationen über die Signalverzögerungen z. B. in Form von DCB (Differential Code Biases), die Teil der Satellitennachrichten sind oder auch von verschiedenen Institutionen aus dem Umfeld des IGS nachträglich zur Verfügung gestellt werden. Weithin beziehen sich Uhrinformationen auf verschiedene Referenzuhren, so dass bei ihrem Vergleich epochenbezogene Biases berücksichtigt werden müssen.

In dieser Untersuchung wurden folgende Echtzeitprodukte verglichen: Die Standard-Satellitennachrichten von GPS (LNAV) und Galileo (F/NAV), die HAS-Informationen, die von den Galileo-Satelliten ausgestrahlt wurden (C/NAV) und – exemplarisch für einen hochgenauen Echtzeit-Service – die CNES-RT-Produkte des Centre national d'études spatiales (CNES). Letztere werden als RTCM-Datenstrom zur Verfügung gestellt, sind aber auch auf den Servern des CNES für nachträgliche Analysen archiviert.

Nach einer Angleichung der Referenzpunkte und Signale entsprechend Tab. 1 können Orbitabweichungen (radial, längs und quer zur Flugrichtung) und Differenzen der Echtzeit-Satellitenuhrkorrekturen im Vergleich zur wesentlich genaueren nachträglichen Lösung (hier: CODE) gebildet werden. Um die Wirkung auf die Positionsbestimmung abschätzen zu können, werden diese dann häufig als

Tab. 1: Referenzpunkte und Signale der Orbits und Satellitenuhrkorrekturen (verwendete Abkürzungen: APZ – Antennenphasenzentrum, IF – ionosphären-freie Linearkombination, CoM – Massenzentrum des Satelliten)

	GPS		Galileo	
	Orbits	Uhren	Orbits	Uhren
LNAV, F/NAV	APZ IF L1/L2	IF L1P/L2P	mittleres APZ	IF E1/E5a
HAS-C/NAV	APZ IF L1/L2	IF L1 C/A / L2P	APZ IF E1/E5b	IF E1/E5a
CNES-RT	CoM	IF L1P/L2P	CoM	IF E1/E5a
CODE	CoM	IF L1P/L2P	CoM	IF E1/E5a

Tab. 2: Signal in Space Range Errors (SISRE) in cm

	GPS		Galileo		Ausreißer
	SISRE-3D	SISRE-4D	SISRE-3D	SISRE-4D	
LNAV, F/NAV	26	55	15	14	0,5 %
HAS-C/NAV	8	21	5	10	keine
CNES-RT	4	12	7	10	6 %

gewichtete quadratische Mittelwerte zum Signal-in-Space-Range-Error (SISRE) zusammengefasst. Dieser wurde ursprünglich von den GPS-Betreibern eingeführt (GPS SPS PS 2008) und später u. a. durch Heng et al. (2011) weiterentwickelt. Wir nutzen hier die durch Montenbruck et al. (2015) veröffentlichten Algorithmen.

Entweder werden SISRE-Werte nur für die Orbitabweichungen allein berechnet (SISRE-3D) oder für Orbit- und Uhrabweichungen gemeinsam (SISRE-4D). Ersterer wird durch die radialen Orbitabweichungen dominiert, letzterer durch radiale Orbit- und Uhrabweichungen.

Für die Tage 25.1.–7.2.2023 haben wir mittlere SISRE-Werte für die Standard-broadcast-Ephemeriden von GPS und Galileo (LNAV, F/NAV), für HAS-C/NAV und für CNES-RT berechnet (Tab. 2). Auffällig war der zum Teil große Anteil von Ausreißern. 6 % Ausreißer bei CNES-RT zeigen auf, dass dieser Dienst für eine zuverlässige Positionsbestimmung nicht zu jeder Zeit geeignet ist. Es gibt längere Zeitperioden (viele Stunden), in denen aufgrund dieser Ausreißer keine präzise Positionsbestimmung möglich ist. 0,5 % Ausreißer bei den Standard-broadcast-Ephemeriden werden wohl durch die dabei notwendige Prädiktion über einige bis viele Stunden verursacht. Keinerlei Ausreißer traten bei HAS-C/NAV auf, so dass alle Datensätze in die SISRE-Berechnungen eingeflossen sind.

Die SISRE-Werte der Standard-broadcast-Ephemeriden LNAV, F/NAV lassen einen deutlichen Qualitätsunterschied zwischen GPS und Galileo erkennen. Die Galileo-SISRE-Werte sind in Bezug auf die Orbits um einen Faktor von fast 2 genauer als die von GPS. Bezieht man auch die Satellitenuhren mit ein, so ist der Unterschied noch größer. Mit HAS-C/NAV gelingt für beide GNSS eine deutliche Genauigkeitssteigerung, wobei die Angaben für Galileo weiterhin die genaueren sind. Dieser Unterschied ist bei CNES-RT nicht gegeben. CNES-RT liefert im Vergleich zu HAS noch einmal genauere Informationen für GPS, während bei Galileo kein deutlicher Qualitätsunterschied zu erkennen ist.

5 Erzielbare Positionsgenauigkeiten

Um die erzielbaren Positionsgenauigkeiten bei Verwendung der verschiedenen Korrekturdienste abzuschätzen, haben wir zwei Wochen (25.1.–7.2.2023) Beobachtungen unserer statischen Permanentstation in Dresden verwendet und diese kinematisch ausgewertet. Dies ist natür-

licherweise eine Station mit ideal vollständigen und störungsfreien Beobachtungen. Die Ergebnisse zeigen also die bestenfalls erzielbaren Genauigkeiten.

Bei der Berechnung haben wir folgende Einschränkungen vorgenommen: Zur besseren Vergleichbarkeit mit HAS verwenden alle Lösungen nur GPS- und Galileo-Beobachtungen und nicht z. B. GLONASS. Ohne diese Einschränkung wären die Nicht-HAS-Lösungen tendenziell noch besser ausgefallen. Bei CNES-RT wurden die Zeiträume eliminiert, in denen gehäuft Ausreißer auftraten. Dies führt dazu, dass die CNES-RT-Ergebnisse eher zu optimistisch dargestellt werden.

Es wurden PPP-Lösungen ohne Festsetzung der Mehrdeutigkeiten, sogenannte »float«-Lösungen, erzeugt. Auch dies dient dazu, eine verbesserte Vergleichbarkeit mit HAS zu ermöglichen. Bei »float«-Lösungen fallen die Genauigkeiten in der Ostkomponente deutlich schlechter aus als in der Nordkomponente. Die aus Nord- und Ostkomponente zusammengefasste horizontale Genauigkeit kann z. T. auch geringer ausfallen als die Genauigkeit der vertikalen Komponente.

Die Ergebnisse (Abb. 2) bestätigen die zu erwartende Abfolge der Genauigkeiten von geringster Positionsgenauigkeit mit den Standard-Satellitennachrichten, deutlich besseren Ergebnissen mit HAS und einer weiteren Genauigkeitssteigerung mit CNES-RT. Die besten Genauigkeiten wurden mit den CODE-Produkten erzielt, die aber nicht

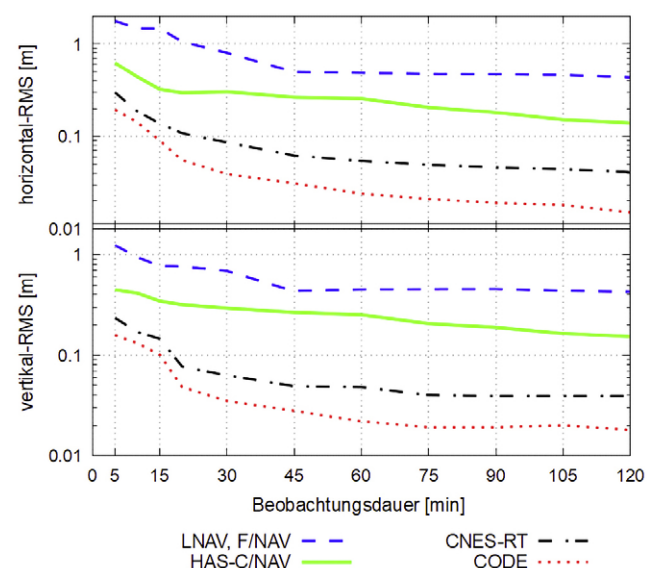


Abb. 2: Genauigkeit der PPP-Positionslösungen in Abhängigkeit der Beobachtungsdauer

in Echtzeit, sondern nur im Nachhinein zur Verfügung stehen.

Die Ergebnisse zeigen das hohe Potenzial von PPP auf, aber auch die Notwendigkeit längerer Konvergenzzeiten. Es ist anzunehmen, dass sich bei HAS nach vollständigem Ausbau des Dienstes noch erkennbar bessere Genauigkeiten erzielen lassen.

6 Schlussfolgerungen

Mit Galileo-HAS steht ein neuer Service zur Verfügung, der eine Genauigkeitssteigerung der absoluten GNSS-Positionsbestimmung gebührenfrei ermöglicht. Galileo ist das erste GNSS, das PPP global unterstützt. Da ähnliche und auch zum Teil genauere Dienste schon seit einiger Zeit von meist kommerziellen Anbietern über geostationäre Satelliten zur Verfügung stehen, stellt HAS aus Nutzersicht keinen völlig neuen Dienst dar. Er ist aber mit der Nutzung der Galileo-Signale zur Übertragung von Zusatzinformationen für die Steigerung der Genauigkeit etwas vollkommen Neues und ermöglicht unter diesem Aspekt vereinfachte, preisgünstigere und genauere Positionsbestimmungen.

Diejenigen, die das volle Potenzial von HAS ausnutzen wollen, brauchen einen Mehrfrequenzempfänger, der sowohl Zweifrequenz-GPS/Galileo-Code- und -Phasenmessungen liefert sowie auch das Galileo-Signal E6B auswerten kann. Leider ist nicht vorgesehen, dass durch Galileo-HAS in Zukunft auch GLONASS und BeiDou unterstützt werden, so dass die Möglichkeit der Genauigkeitssteigerung nicht voll ausgenutzt werden kann.

Augenblicklich liefert Galileo-HAS noch nicht alle angekündigten Zusatzinformationen. So fehlen u. a. die Phasenkorrekturen, die eigentlich schon jetzt verfügbar sein sollten. Weiterhin ist für die nahe Zukunft auch ein Echtzeit-Ionosphärenmodell – zumindest für Europa – angekündigt. Beides wird die Konvergenzzeiten verkürzen und die Positionsgenauigkeiten steigern.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass HAS bereits in den ersten beiden Wochen seines offiziellen Betriebs fast im gesamten Service-Gebiet und darüber hinaus zuverlässige Orbit- und Uhrkorrekturen liefert. Die Genauigkeit der HAS-Korrekturen ist bei Galileo mit denen anderer Echtzeitprodukte gleichwertig. Bei GPS gibt es noch Potenzial für Genauigkeitssteigerungen. Die erzielbaren PPP-Genauigkeiten fallen bei HAS deutlich besser aus als mit den Standard-Satellitennachrichten, erreichen aber zurzeit noch nicht die langfristig angesetzten Genauigkeitsziele des HAS-Dienstes.

Es bleibt abzuwarten, wie schnell der HAS-Dienst auch Phasenkorrekturen anbieten kann und wann er in Phase 2 als Full Service zur Verfügung stehen wird. Es wird dann von Interesse sein, Verfügbarkeit und erzielbare Genauigkeiten neu zu bestimmen. Darüber hinaus ist noch offen, in welchen Anwendungsgebieten die Genauigkeitssteigerung durch Galileo-HAS tatsächlich praktische Bedeutung gewinnen wird.

Literatur

- Eissfeller, B. (2022): GALILEO: Von der ersten zur zweiten Generation. In: *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 4/2022, 147. Jg., 224–233. DOI: 10.12902/zfv-0396-2022.
- Fernandez-Hernandez, I., Chamorro-Moreno, A., Cancela-Diaz, S., Calle-Calle, J.D., Zoccarato, P., Blonski, D., Senni, T., de Blas, F.J., Hernández, C., Simón, J., Mozo, A. (2022): Galileo high accuracy service: initial definition and performance. *GPS Solut* 26(3), 65. DOI: 10.1007/s10291-022-01247-x.
- Fernández-Hernández, I., Senni, T., Borio, D., Vecchione, G. (2020): High-parity vertical Reed-Solomon codes for long GNSS high-accuracy messages. *Navigation* 67(2), 365–378. DOI: 10.1002/navi.357.
- GPS SPS PS (2008): Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, 4th Ed. Department of Defense, USA.
- HAS IDD ICD (2023): Galileo High Accuracy Service – Internet Data Distribution Interface Control Document (HAS IDD ICD), Issue 1.0. European Union Agency for the Space Programme (EUSPA).
- HAS SDD (2023): Galileo High Accuracy Service – Service Definition Document (HAS SDD), Issue 1.0. European Union Agency for the Space Programme (EUSPA).
- HAS SIS ICD (2022): Galileo High Accuracy Service – Signal-In-Space Interface Control Document (HAS SIS ICD), Issue 1.0. European Union Agency for the Space Programme (EUSPA).
- Heng, L., Gao, G., Walter, T., Enge, P. (2011): Statistical characterization of GPS signal-in-space errors. In: *Proceedings of the ION ITM 2011*, San Diego, California, USA. 312–319.
- Kouba, J., Lahaye, F., Tétreault, P. (2017): Precise Point Positioning. In: Teunissen, P.J.G., Montenbruck, O. (eds): *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer International Publishing, Cham, 723–751. DOI: 10.1007/978-3-319-42928-1_25.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Hauschild, A. (2015): Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective. *GPS Solut* 19(2), 321–333. DOI: 10.1007/s10291-014-0390-8.
- OS SIS ICD (2021): European GNSS (Galileo) Open Service – Signal-in-Space Interface Control Document, Issue 2.0. European Union.
- Prange, L., Arnold, D., Dach, R., Kalarus, M.S., Schaer, S., Stebler, P., Villiger, A., Jäggi, A. (2020): CODE product series for the IGS-MGEX project. DOI: 10.7892/BORIS.75882.3.
- RTCM SC 104 (2020): RTCM Standard 10403.3 Differential GNSS Services – Version 3. Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM).

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Lambert Wanninger | Dr.-Ing. Susanne Beer
Technische Universität Dresden, Geodätisches Institut
Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden
lambert.wanninger@tu-dresden.de
susanne.beer@tu-dresden.de

Prof. Dr.-Ing. Anja Hesselbarth
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fakultät
Geoinformation
Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden
anja.hesselbarth@htw-dresden.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.