

Zwischenziel erreicht: Neuer amtlicher PPP-RTK-Dienst der AdV erreicht SAPOS®-HEPS-Genauigkeit

Intermediate Goal Achieved: AdV's New Official PPP-RTK Service Achieves SAPOS® HEPS Accuracy

Markus Vennebusch | Ilka von Gösseln | Lena Albert | Martin Freitag | Andreas Gerschwitz | Thomas Goetze | Hans-Jürgen Goldan | Franziska Hartmann | Cord-Hinrich Jahn | Christoph Knöfel | Mathias Meißies | Rebecca Reiling | Franziska Riedel | Christian Rost | Axel Rülke | Volker Schneider | Jürgen Siebert | Timon Stockhaus | Christoph Wallat | Vitaly Winter

Zusammenfassung

Seit Jahren steigen die Nutzerzahlen der SAPOS®-Dienste, insbesondere Nutzer außerhalb der klassischen Vermessungsbranche tragen zu dieser positiven Entwicklung bei und werden diesen Trend in Zukunft fortsetzen. Damit auch die amtlichen GNSS-Korrekturdatendienste diesen Entwicklungen folgen und einen deutlich größeren Nutzerkreis bedienen können, hat die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) die Einführung eines neuen Bund-Länder-Dienstes beschlossen. Die in diesem Dienst verwendete Technologie erlaubt die Bereitstellung von Korrekturdaten an eine nahezu unbegrenzte Anzahl von Nutzern und öffnet SAPOS® perspektivisch auch für Massenmarkt-Anwendungen. Dieser Artikel beschreibt den aktuellen Stand des neuen Dienstes und zeigt, dass bereits jetzt Koordinaten-Genauigkeiten im Bereich von SAPOS®-HEPS erreicht werden.

Schlüsselwörter: AdV, GNSS, SAPOS®, PPP-RTK, HEPS

Summary

For many years the number of SAPOS® users is continuously increasing, especially surveyors and farmers contribute to this positive development. In order to follow this trend and also to extend current application areas even to mass market applications, GNSS correction data service providers must investigate modern technologies and broadcast communication techniques. In this article the current developments of a new PPP-RTK positioning service of the Working Committee of the Surveying Authorities of the Laender of the Federal Republic of Germany (AdV) are presented. First results show that this service already reaches the SAPOS®-HEPS accuracy level.

Keywords: AdV, GNSS, SAPOS®, PPP-RTK, HEPS

1 Einleitung

Seit mehr als 20 Jahren ermöglicht der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS® der deutschen Landesvermessung präzise Positionsbestimmung in Echtzeit. Für Anwen-

dungen in der Kataster- und Ingenieurvermessung liefert der Hochpräzise Echtzeitpositionierungsservice SAPOS®-HEPS die Positionsbestimmung im amtlichen Raumbezug der Bundesrepublik Deutschland mit einer Genauigkeit von ein bis zwei Zentimetern in der Lage und von zwei bis drei Zentimetern in der ellipsoidischen Höhe (SAPOS® Produktdefinition 2023). Neben den klassischen Aufgaben in der Vermessung hat die hochgenaue satellitengestützte Positionsbestimmung auch in anderen Bereichen schnell an Bedeutung gewonnen. So hat besonders die entgeltfreie Bereitstellung von GNSS-Korrekturdaten für die Landwirtschaftsbranche zu einer enormen Steigerung des Nutzungsvolumens in den SAPOS®-Diensten der Bundesländer geführt. Zwischen 2019 und 2023 wurden dabei Steigerungsraten von 680 % mit weiter linear zunehmender Tendenz erreicht (SAPOS® Statistik 5, Stand: Oktober 2023).

Die EU erwartet laut Marktbericht der European Union Agency for the Space Programme (EUSPA) eine Steigerung von GNSS-Geräten am Markt von 1,8 Milliarden auf 2,5 Milliarden Stück zwischen 2021 und 2031 (EUSPA 2019, 2022). Bis 2031 sollen demnach besonders Verbraucherklösungen in den Massenmarktsegmenten Tourismus, Gesundheit sowie Straßen- und Verkehrstechnik dominieren. Für hohe Umsatzzahlen sollen aber auch die Bereiche Landwirtschaft, Stadtentwicklung und Infrastruktur sorgen. Eine zunehmend verbesserte Verfügbarkeit auch preisgünstiger GNSS-Empfangstechnik unterstützt diese Entwicklungen. Für alle genannten Anwendungsszenarien ist jedoch nicht nur eine hohe Genauigkeit der Positionierung notwendig, mindestens ebenso wichtig ist die zuverlässige Verfügbarkeit der Korrekturdaten.

Der heute verfügbare SAPOS®-HEPS-Dienst ist für eine stark steigende Zahl von Nutzern nicht ausgelegt. Die zugrundeliegende Netzwerk-Real-Time-Kinematik-Technik (RTK) berechnet aus einem Netz von GNSS-Referenzstationen für jedes Endgerät individuelle Korrekturdaten im Beobachtungsraum, die diesem über mobiles Internet zur Verfügung gestellt werden. Für die Berechnung der Korrekturdaten muss eine Näherungsposition des Nutzers an das Rechenzentrum übermittelt werden. Dies erfordert eine bidirektionale Kommunikation zwischen Endgerät und Rechenzentrum.

Das Verfahren des Precise Point Positioning (PPP) nutzt die Beobachtungen des GNSS-Referenzstationsnetzes für die Berechnung der genauigkeitslimitierenden Einflussfaktoren, wie Fehler der Satellitenuhren, -bahnen, hardware-induzierte Laufzeitverzögerungen und atmosphärische Einflüsse der Ionosphäre und Troposphäre. Die Berechnung dieser Einflüsse im Zustandsraum erfolgt flächendeckend für das gesamte Servicegebiet. Damit wird es möglich, diese Korrekturdaten einer uneingeschränkten Anzahl von Nutzern gleichzeitig bereitzustellen. Da die Position des Endgeräts im Rechenzentrum nicht benötigt wird, kann für die Datenübertragung neben der Bereitstellung über mobiles Internet (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, Ntrip) auch ein unidirektionaler Broadcast-Dienst genutzt werden. PPP mit dem Ziel, RTK-Genauigkeiten zu erreichen, wird häufig auch als PPP-RTK bezeichnet. Weitere Details zum PPP-RTK-Verfahren lassen sich der Literatur (z. B. Wübbena et al. 2005, Teunissen und Montenbruck 2017, Wübbena et al. 2023) entnehmen.

Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) beobachtet diese Entwicklungen sehr genau. Bereits seit 2015 wird mit der zukunftsweisenden PPP-RTK-Technik ein Verfahren untersucht, das aufgrund seiner Broadcastfähigkeit grundsätzlich geeignet ist, auch im Bereich von Massenmarktanwendungen eingesetzt zu werden. Das hohe Potenzial dieses Verfahrens konnte bereits im Bereich der Nordsee nachgewiesen werden (Jahn et al. 2022). Zwischen 2020 und 2023 hat das Plenum der AdV richtungsweisende Beschlüsse getroffen, um diese neue Technik im Positionierungsmarkt in Deutschland zu etablieren. Im Rahmen einer vom Plenum initiierten Machbarkeitsstudie in den Jahren 2022 bis 2024 wird das Potenzial von PPP-RTK gegenwärtig in einem präoperationellen Betrieb untersucht. Die Studie soll die Frage beantworten, ob PPP-RTK zukünftig SAPOS®-HEPS ergänzen und damit größere Nutzerpotenziale erschließen kann. Die Zwischenergebnisse sind – wie unten gezeigt wird – vielversprechend und erreichen bereits jetzt in ersten Tests das Genauigkeitsniveau der SAPOS®-HEPS-Spezifikation.

Nach derzeitiger Planung soll der neue Dienst ab 2025 von Bund und Ländern durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und die Zentrale Stelle SAPOS® (ZSS) operationell bereitgestellt werden. Eine redundante Struktur soll eine hohe Ausfallsicherheit des gemeinsamen Dienstes gewährleisten (Riecken und Becker 2020). Die Errichtung zweier unabhängiger Instanzen bei der ZSS einerseits (Länder-Instanz) und am BKG andererseits (Bundes-Instanz) erhöht nicht nur die Ausfallsicherheit des Dienstes, sondern sichert gleichzeitig die Qualität der Korrekturdaten.

Dieser Beitrag gibt zunächst einen kurzen Überblick über die Ziele und den Aufbau des neuen Satellitenpositionierungsdienstes des Bundes und der Länder (siehe auch Vennebusch et al. 2023). Im Anschluss werden die ersten vorläufigen Ergebnisse der kürzlich durchgeführten Tests

zur Bewertung der Qualität des Dienstes präsentiert. Des Weiteren werden Testergebnisse vorgestellt, in denen die Korrekturdaten via DAB+ (Digital Audio Broadcasting) als exemplarischem broadcastfähigem Übertragungsmedium verbreitet wurden. Weitere Informationen zu dieser Datenübertragung finden sich in Alberding und Stöcker (2023).

2 Aufbau des neuen PPP-RTK-Dienstes

GNSS-Korrekturdatendienste basieren auf einem Netz von Referenzstationen, das entweder der Berechnung von (virtuellen) Beobachtungen dient (Beobachtungsraum-Ansatz, Observation Space Representation, OSR) oder die direkte Bestimmung von Fehlereinflüssen ermöglicht (Zustandsraum-Ansatz, State Space Representation, SSR). Die PPP-RTK-Technik nutzt die Modellierung der Fehlerquellen im Zustandsraum.

Ein deutschlandweit flächendeckendes Netz aus SAPOS®- und GREF-Referenzstationen (GREF = Integriertes Geodätisches Referenznetz Deutschland) bildet die Grundlage für die hochgenaue Bestimmung atmosphärischer Fehlereinflüsse. Nur mit Hilfe dieser Stationen kann das PPP-RTK-Verfahren die etablierte Genauigkeit der SAPOS®-HEPS-Spezifikation erreichen. Die Referenzstationen wurden in Teilnetze aufgeteilt, um die Rechenlast gleichmäßig zu verteilen. Dabei unterscheiden sich beide Instanzen in der derzeitigen Entwicklung bewusst in Anzahl und Auswahl der Referenzstationen.

Die Bundes-Instanz und die Länder-Instanz wurden im Jahr 2022 als separate Realisierungen aufgebaut. Wesentliche Komponenten sind einheitlich und redundant vorhanden. Beide Instanzen verwenden GNSMART der Firma Geo++ GmbH als Vernetzungssoftware sowie SSRZ als Übertragungsformat für Korrekturparameter (SSRZ 2023). Die SSRZ-Daten aller Teilnetze werden zu einem deutschlandweiten Datenstrom vereint und momentan via Ntrip (Weber und Dettmering 2005) bereitgestellt.

Aktuell laufen beide Instanzen stabil und erzeugen jeweils einen eigenen deutschlandweiten SSRZ-Korrekturdatenstrom. Die Standardisierung aller Datenformate zur Übertragung der Korrekturdaten im internationalen Gremium RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM 2020) ist noch nicht abgeschlossen. Aus diesem Grund sind derzeit noch keine GNSS-Empfänger am Markt verfügbar, die die Korrekturdaten des Zustandsraums direkt verarbeiten können. In einem separaten Konvertermodul werden die SSRZ-Korrekturdaten in das RTCM-Format im Beobachtungsraum umgewandelt. Bei den im Folgenden beschriebenen Tests erfolgte die Konvertierung mit der Geo++-Software SSR2OBS.

In der Machbarkeitsstudie wird neben der Datenübertragung über Ntrip die Nutzung von DAB+ untersucht, Letzteres exemplarisch für eine Broadcast-Datenübertragung. Da die Bandbreiten-Optimierung des deutschland-

weiten Datenstroms noch nicht abgeschlossen ist, werden bisher nur die SSRZ-Daten eines Teilnetzes über DAB+ bereitgestellt.

3 Erfolgreiche Tests mit dem deutschlandweiten SSRZ-Datenstrom

3.1 Konzeption

Grundsätzlich sind für den Test des PPP-RTK-Dienstes verschiedene konzeptionelle Ansätze denkbar. Primär liegt der Fokus zunächst auf der Prüfung der Leistungsfähigkeit des Dienstes aus Nutzerperspektive. Hier bietet sich die Analyse definierter Kenngrößen wie Richtigkeit/Präzision der Koordinatenlösung, Verfügbarkeit und Initialisierungszeit an. Diese Parameter können zum einen mit Hilfe mobiler Ausstattung in Feldtests erfasst werden, was typische Einsatzszenarien abbildet. Zum anderen eignen sich fest installierte, koordinatenmäßig bekannte und bundesweit verteilte Monitorstationen gerade zur Bestimmung der ersten beiden genannten Parameter.

Ein solches Stationsnetz zur Überwachung wurde eingerichtet und umfasst 23 Monitorstationen der Bundesländer und des BKG (siehe Abb. 1). Bei der Auswahl der Stationen wurde besonderes Augenmerk auf eine Abdeckung des gesamten Bundesgebiets, auf unterschiedliche Abstände zur nächsten Referenzstation sowie auf diverse

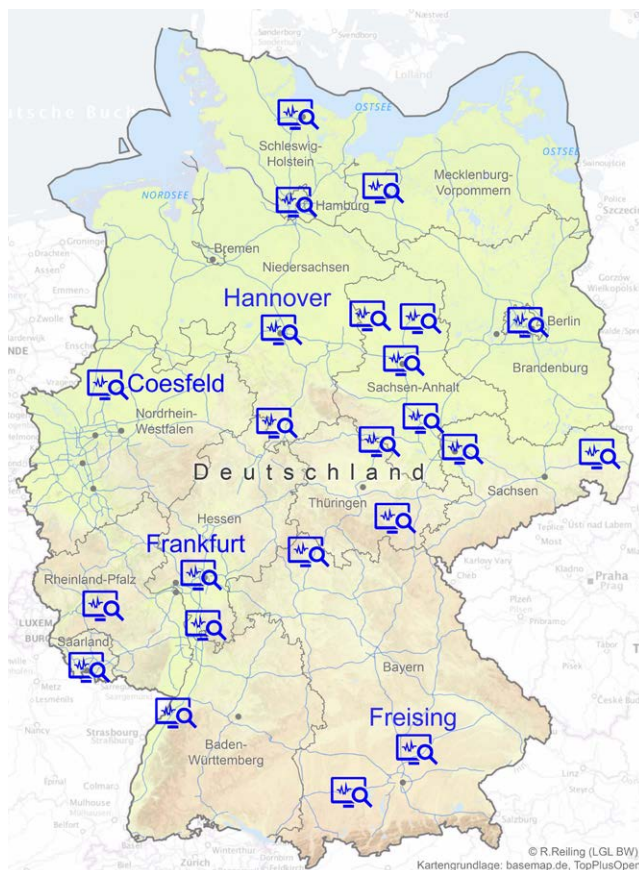


Abb. 1: Monitorstationen der Testwoche vom 17. bis 23. November 2023

Hardwarekonfigurationen gelegt. Durch gezielte Konfigurationsänderungen in definierten Testszenarien sollen die Monitorstationen während der Projektphase entscheidende Erkenntnisse für optimale Einstellungen im Gesamtsystem liefern. Gleichzeitig sollen sie als Basis für eine dauerhafte Qualitätssicherung im späteren Betrieb dienen.

In einer ersten Testwoche wurden vom 17. bis 23. November 2023 die deutschlandweiten SSRZ-Korrekturdatenströme beider Instanzen geprüft. Die Empfänger der Monitorstationen wurden mit den Korrekturdatenströmen via Ntrip gespeist. Die daraus für jede Epoche generierten Koordinatenlösungen wurden den jeweils bekannten Referenzkoordinaten gegenübergestellt. Einige Stationen erlauben den simultanen Betrieb mehrerer Empfänger, sodass ein Vergleich beider Instanzen untereinander sowie ein Vergleich mit SAPOS®-HEPS möglich ist. Neben dem Erfassen von Richtigkeit und Präzision soll die Stabilität der beiden Datenströme geprüft werden.

3.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden beispielhaft Ergebnisse der vier Monitorstationen Coesfeld (COES), Frankfurt (FFMJ), Freising (FREI) und Hannover (HAN3) gezeigt. Diese spiegeln im Wesentlichen die Ergebnisse der übrigen 13 Monitorstationen wider. Tab. 1 zeigt für jede dieser Monitorstationen neben dem jeweils verwendeten Korrekturdatenstrom die Stabilität bezogen auf die Anzahl gemessener Epochen während der Testwoche sowie den Anteil der Epochen mit fixierten Mehrdeutigkeiten (RTK-Fixed). Zusätzlich ist der Anteil der Ausreißer in Lage (Differenz zur Referenz > 6 cm) und Höhe (Differenz zur Referenz > 9 cm) aufgeführt. Richtigkeit und Präzision können anhand des RMS (root mean square, in Bezug auf die Referenzkoordinaten) und der mittleren Abweichung (Offset) sowie der Standardabweichung abgelesen werden.

Insgesamt zeigen sich für die vier Stationen über die gesamte Testwoche meist Fixing-Raten von deutlich über 80 % sowie Offsets von unter 1,5 cm für die Lage und Höhenabweichungen von unter 2,5 cm. Sowohl Standardabweichung als auch RMS bewegen sich in ähnlichen Bereichen. Lageabweichungen mit einem Betrag von mehr als sechs Zentimetern und Höhenabweichungen mit einem Betrag von mehr als neun Zentimetern werden als Ausreißer angesehen (dreifache SAPOS®-HEPS-Produktdefinition) und befinden sich in der Regel in weniger als einem Prozent der gemessenen Epochen. Die Ursachen für gelegentliche Ausreißer werden momentan untersucht. Da die Testwoche in einer Zeit hoher Ionosphärenaktivität stattfand, wirken sich die erprobten Konfigurationsunterschiede in der Ionosphären-Modellierung beider Instanzen auf diese Ergebnisse ebenfalls aus. Dies wird anhand von Abb. 2 deutlich. In diesem Zusammenhang wurde untersucht, wie unterschiedliche Filtereinstellungen für die Ionosphären-Modellierung die endgültige Koordinatenbestimmung beeinflussen.

Tab. 1: Ergebnisse und statistische Kenngrößen von vier ausgewählten Monitorstationen der Testwoche vom 17. bis 23. November 2023

Station	Datenstrom	RTK-Fixed, in %	Ausreißer in %		Position	Offset, in cm	Stdabw., in cm	RMS, in cm
			Δ Lage > 6 cm	Δ Höhe > 9 cm				
COES	ZSS	92	0,3	0,4	Höhe	-1,0	1,5	1,7
					Lage	0,4	1,0	1,1
	BKG	97	0,3	0,6	Höhe	-1,3	1,9	2,3
					Lage	0,5	1,3	1,3
	HEPS	100	0	0	Höhe	-2,2	1,3	2,6
					Lage	0,0	0,6	0,6
FFMJ	ZSS	98	3,7	4,4	Höhe	0,8	2,5	2,6
					Lage	0,3	1,5	1,6
	BKG	95	0,1	0,9	Höhe	0,7	2,4	2,5
					Lage	0,8	1,3	1,6
FREI	ZSS	82	0,8	0,7	Höhe	0,1	2,2	2,2
					Lage	1,1	1,4	1,7
	BKG	87	0,3	0,3	Höhe	-0,2	2,1	2,1
					Lage	0,9	1,4	1,7
	HEPS	100	0	0	Höhe	-0,3	1,2	1,2
					Lage	0,5	0,7	0,8
HAN3	ZSS	96	0,7	0,9	Höhe	-0,5	2,0	2,1
					Lage	1,0	1,3	1,6
	BKG	98	0,1	0,1	Höhe	-1,2	1,7	2,1
					Lage	1,4	1,1	1,8

Abb. 2 zeigt beispielhaft für den 18. November 2023 die Lage- und Höhenabweichungen der Monitorstation Freising für den operationellen SAPOS®-HEPS-Datenstrom und für die SSRZ-Datenströme beider Instanzen. Die Station Freising wurde nicht als Referenzstation zur Bestimmung der SSR-Parameter verwendet und kann somit als Beispiel für einen typischen Nutzer angesehen werden. Das obere Diagramm zeigt die für SAPOS®-HEPS typische Lageabweichung von bis zu zwei Zentimetern auf der rechten Achse (rot) und bis zu drei Zentimetern für die Höhenabweichung auf der linken Achse (blau). Das mittlere und das untere Diagramm zeigen entsprechende Ergebnisse für die beiden SSRZ-Datenströme. Die unterschiedlichen Streuungen der Ergebnisse können mit der unterschiedlichen Ionosphären-Modellierung der beiden Instanzen begründet werden. Aktuelle Untersuchungen befassen sich mit der Evaluation und Verbesserung der Filtereinstellungen.

Die 2D-Punktwolken im unteren Bereich von Abb. 2 zeigen die Lageabweichungen für die Station Freising in einer anderen Darstellungsform und verdeutlichen nochmals die schon annähernd erreichte SAPOS®-HEPS-Qualität der beiden Instanzen.

Die hier kurz dargestellten, vielversprechenden Ergebnisse geben einen ersten Einblick in die bisher erreichbare Qualität des neuen PPP-RTK-Dienstes. Im weiteren Verlauf des Projektes sind weitere Untersuchungen geplant.

4 Korrekturdatenübertragung mit DAB+

Mit steigender Zahl von Nutzern eines GNSS-Korrekturdatendienstes gewinnt die Art des gewählten Kommunikationsmediums an Bedeutung. Für sehr große Nutzerzahlen, schwierige Empfangsbedingungen des mobilen Internets und Redundanz sollen alternative Übertragungsmedien zu Ntrip untersucht werden. Hierfür bieten sich neben geostationären Satelliten und alternativen Telekommunikationsstandards, wie z. B. 3GPP LPP (3rd Generation Partnership Project, LTE Positioning Protocol), moderne Funktechnologien an.

DAB+ ist ein digitaler Übertragungsstandard für den terrestrischen Empfang von Digitalradio und stellt aufgrund einer hohen Flächendeckung in Deutschland ein attraktives Broadcast-Übertragungsmedium dar. Digitale Programme sind seit Dezember 2020 laut § 75 (3) und (4)

Station Freising in der Testwoche am 18.11.2023

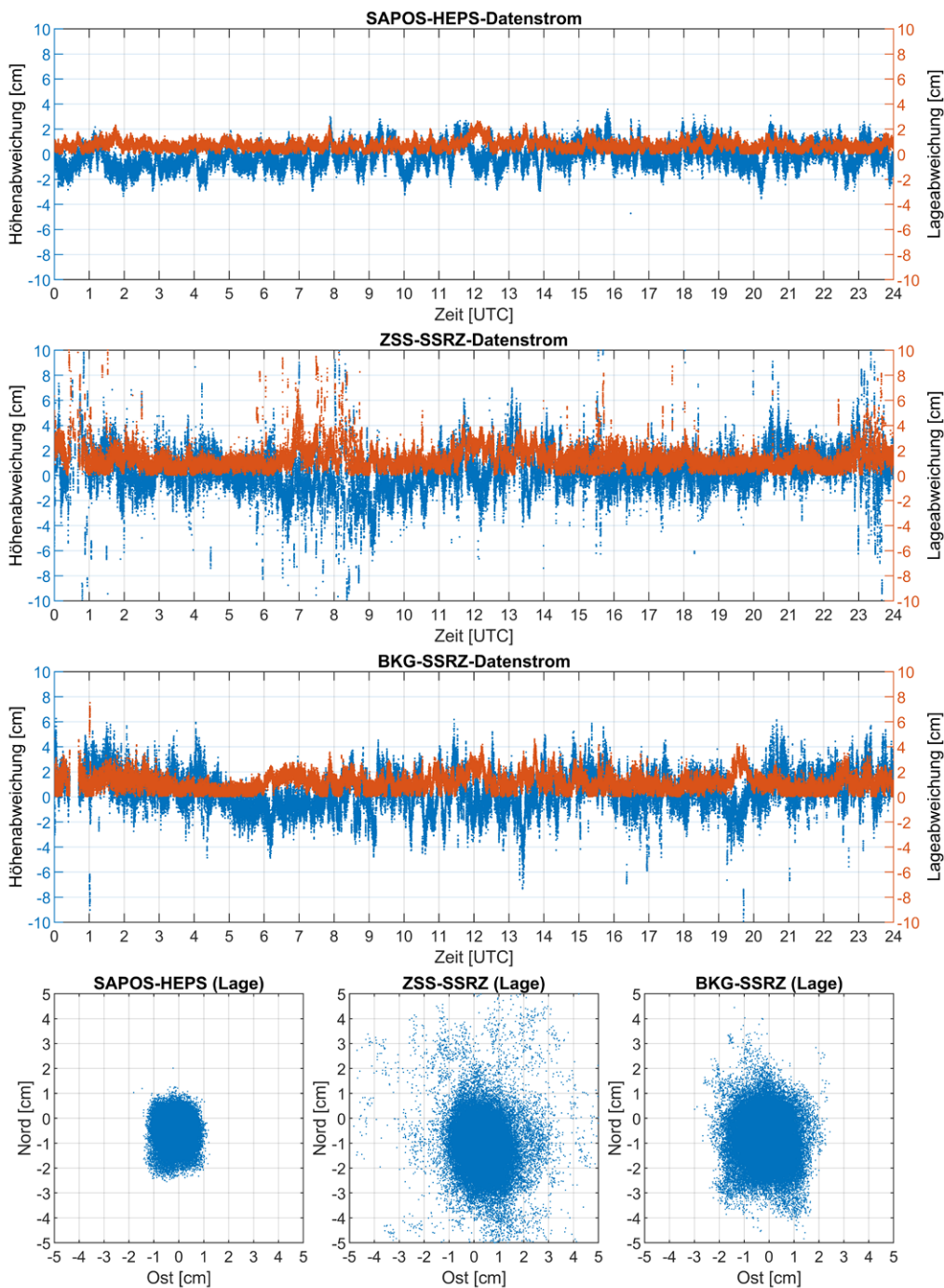


Abb. 2: Lage- und Höhenabweichung der Monitorstation Freising bei Verwendung von SAPOS®-HEPS bzw. ZSS- und BKG-Korrekturdatenstrom am 18. November 2023. Die unterschiedlichen Streuungen der Ergebnisse resultieren aus der unterschiedlichen Ionosphären-Modellierung in den beiden Instanzen.

Telekommunikationsgesetz für alle neuen Kfz-Radios und Endnutzerradios (bis auf einzelne Ausnahmen) vorgeschrieben. Damit ist zu erwarten, dass entsprechende Empfangsgeräte in Fahrzeugen einschließlich der landwirtschaftlichen Maschinen zur Verfügung stehen. Das BKG hat für Testzwecke im Rahmen der Machbarkeitsstudie im Auftrag der AdV einen Subkanal bei der Media Broadcast GmbH gemietet.

Der Arbeitskreis Raumbezug der AdV hat zwischen März und Mai 2022 deutschlandweite Empfangstests durchgeführt, um die flächenhafte Verfügbarkeit von DAB+ als PPP-RTK-Übertragungskanal zu untersuchen. Dabei wurden insgesamt 27.000 km kinematische Mess-

fahrten in Gebieten mit unterschiedlicher Topographie auf Grundlage von Empfangsprognosen des Sendernetzbetreibers durchgeführt. Die Messungen haben die Prognosekarte des Sendernetzbetreibers weitgehend bestätigt. In Gebirgsregionen ist die tatsächliche Versorgung sogar besser als vorhergesagt. Besonders in ländlichen Gebieten und Gebirgsregionen verspricht DAB+ aktuell eine deutlich verbesserte Empfangbarkeit gegenüber Mobilfunk. Sowohl während der Fahrt als auch in statischen Messungen wurde eine sehr hohe Stabilität des Empfangs festgestellt.

Im Projekt SSRoverDAB+, einem Projekt von ESA's Navigation Innovation and Support Program (NAVISP), hat ein Projektkonsortium unter Leitung der Alberding GmbH

von Mai 2022 bis Juni 2023 Software- und Systemlösungen für die Übertragung von präzisen GNSS-Korrekturdaten über den digitalen Rundfunk entwickelt und erprobt (Alberding und Stöcker 2023, Alberding et al. 2023). Als assoziierte Projektpartner unterstützten das BKG mit der Bereitstellung des DAB+-Kanals sowie das LDBV Bayern mit SSR-Korrekturdaten aus der Geo++ GNSMART-Bayernvernetzung im SSRZ-Format das Projekt. Der Alberding A10-Sensor wurde zu einem DAB+-Prototypensensor erweitert. Am 14.2.2023 gelang dem Projektkonsortium in Kooperation mit der BayWa AG München der Betrieb des Lenksystems eines Traktors über DAB+.

Im 4. Quartal 2023 realisierte die Alberding GmbH die Integration eines kleinen DAB+-Empfangsmoduls im A10-Sensor, zusätzlich zum bereits vorhandenen LTE-Modem. In einer Testmessung vom 8. bis 11.12.2023 wurden drei baugleiche A10-Sensoren an einem Antennensplitter mit jeweils unterschiedlichen GNSS-Korrekturdaten betrieben.

Neben einem Sensor mit der SAPOS®-HEPS-Referenzlösung von der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) wurden die zwei anderen A10-Sensoren mit SSRZ-Korrekturdaten aus der PPP-RTK-Projektvernetzung betrieben. Der zweite Sensor erhielt dabei einen deutschlandweiten SSRZ-Datenstrom über Ntrip, während der dritte Sensor über das integrierte DAB+-Empfangsmodul mit SSRZ-Daten aus dem DAB+-Subkanal versorgt wurde. In diesen wurde ein integrierter SSRZ-Datenstrom aus dem Subnetz Cottbus eingespeist, da derzeit die Optimierung der Bandbreite des deutschlandweiten Korrektur-

datenstroms in der Vernetzungssoftware GNSMART noch nicht vollständig konfiguriert ist. Die Datenübertragung über DAB+ funktionierte sehr stabil. Die Messergebnisse der PPP-RTK-Lösungen mit SSRZ-Korrekturdaten via DAB+ und Ntrip sind im Positionsraum vergleichbar und bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse aus dem vorigen Kapitel (siehe Abb. 3).

Die durchgeführten Tests zeigen am Beispiel DAB+, dass der SSRZ-Datenstrom ohne signifikanten Genauigkeitsverlust effektiv komprimiert und über ein bandbreitenlimitiertes Medium übertragen werden kann. Sie bestätigen nochmals die bereits im vorigen Kapitel dargestellten Genauigkeiten des neuen PPP-RTK-Dienstes. Ähnliche, vielversprechende Untersuchungen zur Nutzung von DAB+ zur präzisen Positionierung gibt es ebenfalls im Ausland (NAVISP 2023). Für mittelfristig zu erwartende Massenmarktanwendungen werden neben den eigentlichen Genauigkeiten alternative broadcastfähige Übertragungsmöglichkeiten und auch die Nutzung und das Anwendungsspektrum von Galileo HAS zu bewerten sein.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die PPP-RTK-Aktivitäten der AdV präsentiert. Neben der Darstellung des aktuellen Entwicklungsstandes der Machbarkeitsstudie wurden erste Testergebnisse vorgestellt. Die beiden Instanzen des neuen Dienstes liefern für statische Anwendungen Positionierungsgenauigkeiten innerhalb der Produktdefinition. Erste statische Tests über einen Zeitraum von einer Woche in verschiedenen Bundesländern erreichen Positionsabweichungen von unter 1,5 cm für die Lage- und unter 2,5 cm für die Höhenkomponenten. Standardabweichung und RMS-Werte bewegen sich in ähnlichen Bereichen. Somit konnte die generelle Eignung der PPP-RTK-Technologie mit den bereits realisierten Komponenten des neuen Dienstes für die Übertragung von GNSS-Korrekturdaten gezeigt werden.

Die beiden Instanzen des neuen Dienstes verwenden das SSRZ-Format zur Übertragung von GNSS-Korrekturdaten. Dieses Format wurde testweise über Ntrip und DAB+ an Monitorstationen und Test-Rover übertragen und dort über mehrere Wochen kontinuierlich verwendet. Die Tests zeigen außerdem, dass sowohl mit der Übertragung der Korrekturdaten im SSRZ-Format über Ntrip als auch über das zusätzlich komprimierte SSRZ-Format via DAB+ Genauigkeiten innerhalb der SAPOS®-HEPS-Spezifikation erreicht werden.

In den nächsten Monaten werden weitere Tests zu Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Stabilität und Initialisierungszeiten durchgeführt und Konfigurationsanpassungen zur weiteren Qualitätssteigerung des Dienstes vorgenommen.

Nach Abschluss der Machbarkeitsstudie soll der neue Dienst nach derzeitiger Planung ab dem 1.1.2025 zunächst im SSRZ-Format über Ntrip bundesweit bereitgestellt werden. In der damit startenden Optimierungsphase sind

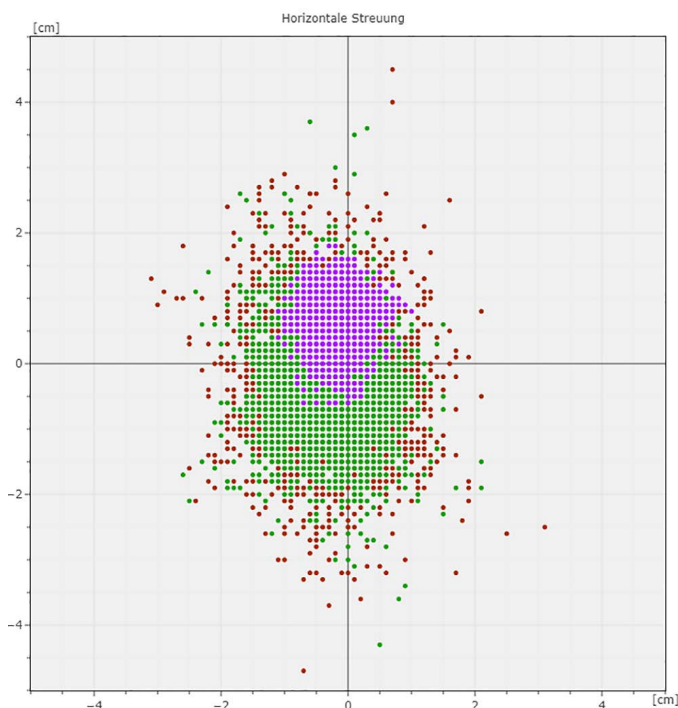


Abb. 3: Horizontale Streuung der Positionslösungen von PPP-RTK via DAB+ (rot), PPP-RTK via Ntrip (grün) und SAPOS®-HEPS (violett) der Testmessung der Alberding GmbH vom 09.12.2023 in Wildau

unter anderem die sich aktuell noch in der Abstimmung befindlichen RTCM-Standards in den neuen Dienst zu integrieren. Die zu erwartenden Empfängerentwicklungen sind zu beobachten und weitere broadcast-fähige Übertragungsmedien zu untersuchen.

Danksagungen

Die Autorinnen und Autoren danken den an der Testwoche beteiligten Mitarbeitenden der Bundesländer für ihr Engagement sowie der Firma Alberding für umfangreiche Tests und Unterstützung bei den DAB+-Empfangstests.

Literatur

- Alberding, J., Stöcker, D. (2023): ESA NAVISP EL2-Projekt SSRoverDAB+: PPP-RTK-Korrekturdaten über digitalen Rundfunk. In: DVW e. V. (Hrsg.): GNSS 2023 – Zeit für ein Update?! DVW-Schriftenreihe, Band 106, Augsburg, 51–65.
- Alberding, J., Schmitz, M., Euler, H.-J., Garzia, F., Fiermann, C., Stöcker, D. (2023): SSR over DAB+. NAVISP-EL2-069 »SSRoverDAB+«, Final Presentation, 29th June 2023.
- EUSPA (2019): www.euspa.europa.eu/sites/default/files/calls_for_proposals/rd.03_-_ppp-rtk_market_and_technology_report.pdf, letzter Zugriff 12/2023.
- EUSPA (2022): EUSPA EO and GNSS Market Report ISSUE 1, EU Agency for the Space Programme. www.euspa.europa.eu/sites/default/files/uploads/euspa_market_report_2022.pdf, letzter Zugriff 01/2024.
- Jahn, C.-H., Westfeld, P., Vahrenkamp, B., Wübbena, G., Schmitz, M., Schumann, R., Wallat, C. (2022). Development and realisation of a real-time high precision positioning SSR-RTK service for the North Sea exclusive economic zone. In: The International Hydrographic Review. 28. 139–157. DOI: 10.58440/ihr-28-a16.
- NAVISP (2023): Precise Positioning for MassMarket: Optimal Data Dissemination Demonstrator. Vortrag am 24.11.2023. https://navisp.esa.int/uploads/files/documents/Precise%20Positioning%20for%20Mass-Market_Vfinal_EL1_036.pdf, letzter Zugriff 01/2024.
- Riecken, J., Becker, P. (2020): Ein neuer Satellitenpositionierungsdienst für Deutschland. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 4/2020, 145. Jg., 241–245. DOI: 10.12902/zfv-0304-2020.
- RTCM (2020): RTCM 10403.3, Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Version 3 + Amendment 1.
- RTCM (2021): RTCM 10410.1, Networked Transport of RTCM via Internet Protocol – Version 2 + Amendment 1+2.
- SAPOS® Produktdefinition (2023): Arbeitskreis Raumbezug der AdV, SAPOS® Produktdefinition, Version 8.2 vom 27.04.2023. www.adv-online.de/AdV-Produkte/Integrierter-geodaetischer-Raumbezug/SAPOS/, letzter Zugriff 01/2024.
- SAPOS® Statistik 5 (2023): Arbeitskreis Raumbezug der AdV, Interne SAPOS®-Nutzerstatistik (Statistik 5). www.sapos-statistik.de, letzter Zugriff 01/2024.
- SSRoverDAB+ (2023): www.ssroverdab.eu, letzter Zugriff 1/2024.
- SSRZ (2023): State Space Representation Format. www.geopp.de/wp-content/uploads/2022/11/gpp_ssrz_v1_1_2.pdf, letzter Zugriff 12/2023.
- Teunissen, P., Montenbruck, O. (2017): Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer.
- Vennebusch, M., Albert, L., Freitag, M., Gerschwitz, A., Goetze, T., Goldan, H.-J., von Gösseln, I., Hartmann, F., Jahn, C.-H., Meißies, M., Reiling, R., Riecken, J., Riedel, F., Rülke, A., Schneider, V., Siebert, J., Stockhaus, T., Winter, V. (2023): Ein neuer amtlicher PPP-RTK-Positionierungsdienst für Deutschland. In: DVW e. V. (Hrsg.): GNSS 2023 – Zeit für ein Update?! DVW-Schriftenreihe, Band 106, Augsburg, 83–94.
- Weber, G., Dettmering, D. (2005): Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) – IP-Streaming for Real-Time GNSS Applications, Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2005), Long Beach, CA, September 2005, 2243–2247.
- Wübbena, G., M. Schmitz, A. Bagge (2005): PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks. Presented at the ION GNSS 2005, September 13-16, Long Beach, California.
- Wübbena, G., Wübbena, J., Wübbena, T., Schmitz, M., Perschke, C. (2023): Potenzial von SSR für GNSSKorrekturdatendienste und RoverAnwendung. In: DVW e. V. (Hrsg.): GNSS 2023 – Zeit für ein Update?! DVW-Schriftenreihe, Band 106, Augsburg, 67–81.

Kontakt

Lena Albert | Hans-Jürgen Goldan | Ilka von Gösseln | Franziska Hartmann | Cord-Hinrich Jahn | Timon Stockhaus | Markus Vennebusch | Christoph Wallat
Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
Landesvermessung Geobasisinformation
Podbielskistraße 331, 30659 Hannover
markus.vennebusch@lgl.niedersachsen.de

Martin Freitag
Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
Alexandrastraße 4, 80538 München
martin.freitag@ldbv.bayern.de

Mathias Meißies
LGB – Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 104 B, 14473 Potsdam
mathias.meissies@geobasis-bb.de

Rebecca Reiling
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg
Kriegsstraße 103, 76135 Karlsruhe
rebecca.reiling@lgl.bwl.de

Thomas Goetze | Christoph Knöfel | Franziska Riedel | Christian Rost | Axel Rülke
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie – Referat G2 – Satellitennavigation
Richard-Strauss-Allee 11, 60598 Frankfurt am Main
axel.ruelke@bkg.bund.de

Andreas Gerschwitz
Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein
Mercatorstraße 1, 24107 Kiel
andreas.gerschwitz@lvermgeo.landsh.de

Vitaly Winter
Bezirksregierung Köln, Geobasis.NRW
50606 Köln
vitaly.winter@bezreg-koeln.nrw.de

Volker Schneider
Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz
Von-Kuhl-Straße 49, 56070 Koblenz
volker.schneider@vermkv.rlp.de

Jürgen Siebert
SenSBW Berlin, Abteilung III – Geoinformation
Fehrbelliner Platz 1, 10707 Berlin
juergen.siebert@senstadt.berlin.de

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