

SSR-RTK – Korrekturdatendienst für hochgenaue Positionierung in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone in der Nordsee: Nordsee-Vernetzung

SSR-RTK – Service for High-Precision Positioning in the North Sea exclusive Economic Zone: North Sea Networking

Cord-Hinrich Jahn | Robert Schumann | Bernd Vahrenkamp | Patrick Westfeld |
Gerhard Wübbena | Martin Schmitz | Christoph Wallat

Zusammenfassung

In einem zweijährigen Forschungs- und Entwicklungsprojekt (F&E-Projekt) wird der Prototyp eines GNSS (Global Navigation Satellite System) basierten Echtzeitdienstes unter Verwendung eines SSR-RTK (State Space Representation-Real Time Kinematic) Ansatzes für die ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) in der Nordsee entwickelt. Durch die heterogene Verteilung von GNSS-Referenzstationen, mit der Besonderheit, dass im Zielgebiet keine Stationen vorhanden sind, kommt der Modellierung der GNSS-Korrekturdaten und dem Berechnungsalgorithmus eine besondere Bedeutung zu. Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) als Auftraggeber, die Zentrale Stelle SAPOS (ZSS) als Dienstbetreiber und die Geo++ GmbH als Softwarelieferant entwickeln gemeinsam diesen Prototypen. Erste landbasierte Testmessungen, die in einer nachgebildeten Testumgebung durchgeführt werden, zeigen vielversprechende Ergebnisse im Hinblick auf die qualitativen Ziele des Gemeinschaftsprojektes.

Schlüsselwörter: SAPOS, SSR-RTK, GNSMART, Echtzeitpositionierung, Seevermessung

Summary

Within a two-year R&D project (Research and Development), the prototype of a GNSS (Global Navigation Satellite System) based real-time positioning service is developed using the SSR-RTK (State Space Representation-Real Time Kinematic) approach for the exclusive economic zone (EEZ) in the North Sea. Because of the heterogeneous distribution of GNSS reference stations and especially the lack of reference stations in the main area of interest, the modeling of GNSS correction data and the processing algorithm is of critical importance. The Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) as the customer, the Central Office SAPOS (ZSS) as a service provider and Geo++ GmbH as the software provider jointly develop the prototype. First land-based test measurements have been conducted in a replicated test environment, yielding promising results in view of the quality goals of the collaborative project.

Keywords: SAPOS, SSR-RTK, GNSMART, Real Time Positioning, Hydrographic Surveying

1 Einleitung

Seit 2009 setzt das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) für die Seevermessung in küstennahen Bereichen den hochpräzisen Echtzeit-Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS-HEPS; AdV 2019) ein, der aus einem Netz von GNSS-Referenzstationen abgeleitete Korrekturdaten bereitstellt (Ellmer 2013). In den Jahren 2014 bis 2015 wurden in Kooperation zwischen dem BSH, der ZSS und der Geo++ GmbH erste Untersuchungen und Testmessungen hochgenauer GNSS-Fehlermodellierung auf der Basis eines SSR-RTK-Ansatzes (siehe Abschnitt 3 Verfahrensgrundsätze) im Bereich der AWZ in der Nordsee durchgeführt, um die grundsätzliche Eignung dieser neuen Vernetzungstechnik nachweisen zu können (Ellmer 2013, Jahn et al. 2017).

Eine entscheidende Aufgabenstellung besteht für das BSH darin, auch in küstenfernen Bereichen der AWZ in der Nordsee hochgenaue Echtzeitpositionen, insbesondere in der Höhenkomponente, zuverlässig und präzise zu generieren. Da im Gebiet der Nordsee, bis auf wenige Plattformen, keine GNSS-Referenzstationen verfügbar sind, ist die SSR-RTK-Technik für diese spezielle Aufgabenstellung prädestiniert. Dabei wird der Nutzer nicht mit Korrekturdaten bezüglich einzelner Referenzstationen versorgt (Daten im Beobachtungsraum, Observation Space Representation, OSR), sondern mit Parametern eines Fehlermodells (Daten im Zustandsraum, State Space Representation, SSR). Die grundsätzliche Beschreibung dieses Ansatzes findet sich in Wübbena et al. (2005).

Im Rahmen eines gemeinsamen F&E-Projektes werden in den Jahren 2020 bis 2021 wissenschaftliche, technische und dienstbasierte Fragestellungen untersucht. Das F&E-Projekt stellt damit die Fortführung der in den Jahren 2014 bis 2015 durchgeführten Tests in der AWZ der Nordsee dar, die unter dem Arbeitsbegriff »Weitbereichs- vernetzung« firmierten.

2 Zielsetzung und Planungsansätze

Das Kernziel des F&E-Projektes besteht darin, das Potenzial der neuen innovativen SSR-RTK-Technologie zur hochgenauen und zuverlässigen Positionierung in der AWZ zu erproben und den dabei entstandenen Prototypen in einen Korrekturdatendienst »Nordsee-Vernetzung« zu überführen.

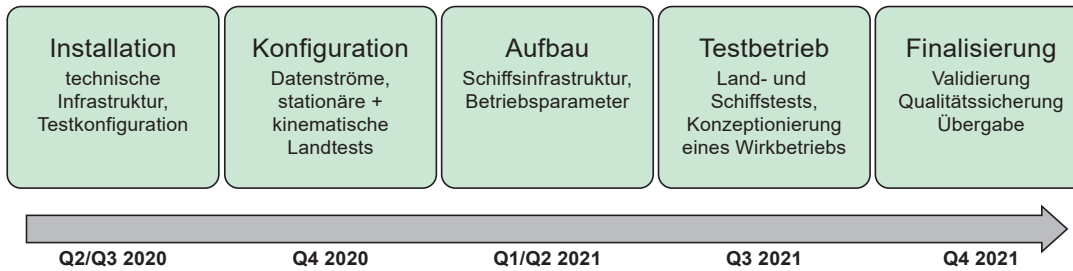


Abb. 1: Zeitliche und inhaltliche Darstellung des Verlaufs des F&E-Projektes

Das BSH hat als Initiator und Auftraggeber die folgenden Qualitätsziele des Projektes definiert:

- Die Höhengenaugigkeit der Position der Antenne im ETRS89 ist besser als 10 cm (2σ -Konfidenzintervall);
- die Zeiten bis zum Erreichen der geforderten Genauigkeit sollen im Regelfall bei der Erstinitialisierung kleiner als zwei Minuten und danach in Quasi-Echtzeit erfolgen;
- der Prototyp soll eine hohe Verfügbarkeit für das gesamte Gebiet der AWZ der Nordsee garantieren und
- das Format für die Korrekturdatenübertragung soll offen, lizenzfrei und dokumentiert sein.

Die Bereitstellung hochgenauer Koordinaten, insbesondere in der Höhenkomponente, sind essenzielle Qualitätsziele. Diese sind zur Erledigung der gesetzlichen Aufgaben des BSH von hoher Wichtigkeit, besonders in der

Seevermessung. Der Nachweis und die Sicherung der geforderten Qualitätsziele stellen somit für alle Partner eine große Herausforderung dar.

Das F&E-Projekt gliedert sich in unterschiedliche Arbeitspakete, die in Abb. 1 dargestellt sind. Neben der Inbetriebnahme des Gesamtsystems stellen die optimale Anpassung der GNSS-Vernetzungssoftware an die Bedingungen der heterogenen Verteilung der Referenzstationen

und die Durchführung umfangreicher Testmessungen zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Prototyp-Dienstes eine zentrale Aufgabe dar. Fragen der Redundanz werden zunächst konzeptionell betrachtet. Die

Aspekte der Qualitätssicherung werden durch Aufbau und Betrieb einer Monitoringstation innerhalb der Süd-Vernetzung (Abb. 3b) analysiert.

3 Verfahrensgrundsätze

Herkömmliche Vernetzungsverfahren, die zum Beispiel im Bereich des SAPOS-HEPS-Dienstes verwendet werden (AdV 2019), basieren auf einer gewissen Regelmäßigkeit in der Verteilung der GNSS-Referenzstationen mit einem typischen Abstand von etwa 40 bis 60 Kilometern. Die Repräsentation der fehlerbereinigten entfernungsunabhängigen Korrekturdaten erfolgt im Beobachtungsraum (OSR) mittels Verfahren der Flächenkorrekturparameter (FKP), Virtueller Referenzstation (VRS) oder Master Auxiliary

Concept (MAC) (Bauer 2018). Dem Nutzer werden Korrekturdaten zugewiesen, mit denen eine Positionslösung im 1- bis 3-cm-Niveau für die Lage- und Höhenkomponente möglich ist.

Diese Verfahren sind etabliert und haben sich als robust erwiesen. Sie erreichen aber ihre Grenzen durch notwendige bi-direktionale Kommunikationsverbindungen zwischen Referenzstationen und Rovern. Die Limitierung

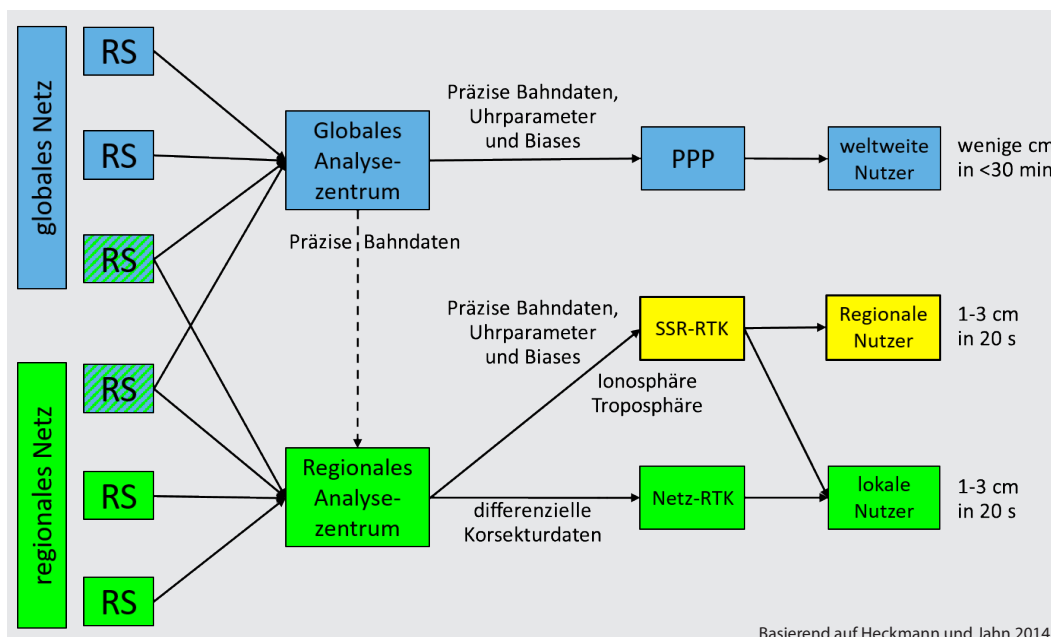


Abb. 2: Prinzipskizze globaler und regionaler Lösungsansätze hochgenauer GNSS-Positionierungsverfahren



© BSH

Abb. 4: Vermessungsschiff KOMET des BSH im Einsatz in der Nordsee

vollständig auf Land abgebildet werden und steht für die gesamte Projektlaufzeit für unterschiedlichste Messungen zur Verfügung.

In der Süd-Vernetzung wird die Station »0688 Hannover« als Monitoringstation (Abb. 3b, Abb. 5) betrieben. Unterschiedliche GNSS-Empfänger sind über einen Antennensplitter an einer gemeinsamen GNSS-Antenne angeschlossen und werden dauerhaft (24/7) betrieben. Durch die hochgenauen Referenzkoordinaten des Antennenträgers, die mit SAPOS-HEPS bestimmt wurden, steht eine genaue Referenz für Analysen zur Verfügung.

In der Grundkonfiguration der Monitoringstation werden Korrekturmodelle aus der Süd-Vernetzung im Format SSRZ (Geo++ 2020b) dem Empfänger 2 bereitgestellt. Da gegenwärtig eine direkte Verarbeitung von SSRZ nur in Prototyp-Konfigurationen, jedoch noch nicht von handelsüblichen Empfängern zur Verfügung steht, erfolgt eine Formatumwandlung auf einem Laptop (siehe Abb. 5 »SSR2OBS«). Dabei werden die modellbasierten Zustandsparameter aus der SSR-Vernetzung in ein Standardkorrekturdatenformat RTCM3 gewandelt, das von jedem Empfänger zu einer Positionslösung verarbeitet werden kann. Für diesen Übergang vom Zustands- in den Beobachtungsraum liefert der Empfänger seine Positionen und Ephemeriden der Satelliten. Somit können auch verschiedene Rover in Testmessungen eingesetzt werden.

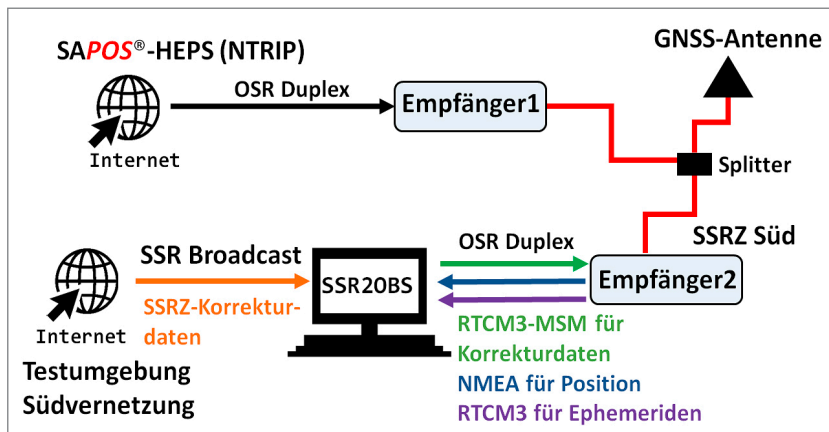


Abb. 5: Schematische Darstellung der Monitoringstation Hannover

Die Monitoringstation ermöglicht den Vergleich der SSR-RTK-Lösung mit herkömmlichen SAPOS-HEPS-Lösungen. Wie in Abb. 5 zu erkennen ist, wird dabei der Empfänger 1 mit RTCM3-Korrekturdaten aus dem Standardbetrieb von SAPOS-Niedersachsen versorgt. Dessen Koordinatenlösungen lassen sich mit unterschiedlichen Repräsentationen aus der Süd-Vernetzung vergleichen. Die Monitoringstation liefert damit nicht nur Informationen über den grundsätzlichen Lösungszustand der Vernetzungsumgebung, sondern dient auch als Nachweis der Qualitätsanforderungen des Auftraggebers.

5 Erste Testmessungen und Ergebnisse

Die GNSS-Vernetzung mit dem Geo++ GNSMART-Paket und weitere Betriebssoftware wurde auf einem Cloudrechner installiert. Der Vorteil dieser Lösung liegt in der einfachen Skalierbarkeit und der Performanz des Systems. Weiterhin können alle Projektbeteiligten von jedem Standort aus mit Zugang zum Internet und der erforderlichen fachlichen und IT-sicherheitsrelevanten Berechtigung auf das System zugreifen.

Die Daten der deutschen SAPOS-Stationen und der europäischen Referenzstationen werden in Echtzeit im Format RTCM3 über das Internet übertragen. Im Multi-GNSS-Auswerteansatz werden die Beobachtungen von GPS, GLONASS, Beidou und Galileo verwendet. Für eine optimale Performanz innerhalb der Prozesskette und zur Modellierung der SSR-Modellparameter müssen beispielsweise die Koordinaten sämtlicher Referenzstationen in einem homogenen, einheitlichen Koordinatensystem bereitstehen. Diese Berechnungen finden außerhalb des eigentlichen Vernetzungsprozesses statt. Nach einer ausreichenden Trainingsphase aller Parameter innerhalb der Vernetzung, stehen die SSR-Modellparameter über standardisierte NTRIP-Schnittstellen (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, RTCM 2011) für die Testmessungen bereit.

In verschiedenen Testszenarien werden im Projekt unterschiedliche Ansätze zum Einsatz kommen. Im ersten Schritt wird die grundsätzliche Funktionalität des Gesamtprozesses untersucht. Erste Ergebnisse dieses Tests auf Grundfunktionalität sind im Vergleich der Positionierung der Monitoringstation mit SSRZ aus der Süd-Vernetzung in Bezug auf den Mittelwert der jeweiligen Datenreihe erfolgreich (vgl. Abb. 3b, Abb. 6).

Die Qualitätswerte der in Abb. 6 dargestellten Höhen- und Lageabweichungen betragen für den optimistischen, statischen Funktionstest auf Land 3 cm, bzw. 2 cm für die Standardabweichung in der Höhen- und den Lagekomponenten. Es gilt nun, diese Qualitäten im weiteren

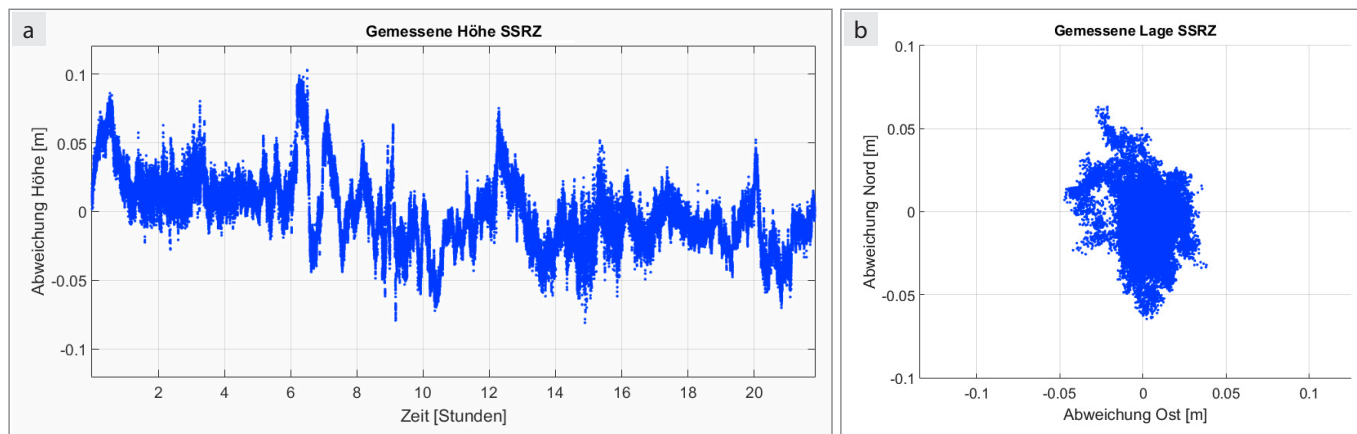


Abb. 6a/6b: Höhen- und Lageabweichungen der Monitoringstation in der Süd-Vernetzung, erster grundsätzlicher, statischer Funktionstest, Vergleich zum Mittel über ca. 22 Stunden

Verlauf des Projektes in den unterschiedlichen Testszenarien zu bestätigen.

In den SSR-Vernetzungen werden über einen SSR2OSR-Wandler (Wübbena et al. 2005) die SSR-Modellparameter vom Zustands- in den Beobachtungsraum gewandelt. Dieser Schritt ist notwendig, da kein standardisiertes SSR-Datenformat existiert, das alle notwendigen Modellparameter für die angestrebten Genauigkeiten bereitstellen kann. Das offene Geo++ SSRZ-Format (Geo++ 2020b) stellt sämtliche SSR-basierten Korrekturen bereit, die ein Rover sonst nur als konventionelle RTCM3-Korrekturen erhält. Im weiteren Verlauf des F&E-Projektes wird angestrebt, die SSR-Modellparameter der Vernetzung direkt einem Rover bereitzustellen und für die Positionierung zu nutzen.

6 Ausblick

Ein Schwerpunkt des zweijährigen F&E-Projektes ist der Nachweis der hohen Positionierungsgenauigkeit eines GNSS-basierten Echtzeitdienstes unter Verwendung des SSR-RTK-Ansatzes für die AWZ in der Nordsee. Dazu werden nach den ersten vorgestellten, erfolgreichen Ergebnissen umfangreiche Testmessungen mit unterschiedlichen Messungsszenarien, in kinematischen Anwendungen und Nachbilden von Schiffsbewegungen durchgeführt. Dabei wird als Kommunikationsmedium satellitengestütztes Internet ohne eine Einschränkung hinsichtlich der Bandbreite der zu übertragenden SSR-Korrekturen eingesetzt werden. SSR-basierte Dienste können aufgrund ihrer Broadcastfähigkeit auch alternative Kommunikationsmedien eingeschränkter Bandbreite nutzen. Dies ist ein weiterer Aspekt der SSR-Technologie, der für Aufgaben im Bereich der Nordsee zukünftig untersucht werden kann.

Literatur

AdV (2019): Produktdefinition SAPOS. www.adv-online.de/AdV-Produkte/Integrierter-geodaetischer-Raumbezug/SAPOS/binarywriter servlet?imgUid=a9770a75-b667-ad61-f27f-31c403b36c4c&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111, letzter Zugriff 12/2020.

Bauer, M. (2018): Vermessung und Ortung mit Satelliten. 7. Aufl., Wichmann, 253 f.

Ellmer, W. (2013): RTK in Referenznetzen auf See – Fokus Kommunikation. In: DVW e. V. (Hrsg.): GNSS 2013 – Schneller. Genauer. Effizienter. DVW-Schriftenreihe, Band 70, 181–188.

Geo++ (2020a): www.geopp.de/gnsmart, letzter Zugriff 12/2020.

Geo++ (2020b): Geo++ State Space Representation Format (SSRZ). Version 1.0, 21. September 2020, Geo++ GmbH, Garbsen. www.geopp.de/ssrz, letzter Zugriff 12/2020.

Heckmann, B., Jahn, C.-H. (2014): Geodätischer Raumbezug. In: Kummer/Kötter/Eichhorn (Hrsg.): Das deutsche Vermessungs- und Geo-informationswesen 2015, Wichmann, Berlin-Offenbach, 255–323.

Jahn, C.-H., Riecken, J., Trautvetter, C., Freitag, M., Kurtenbach, E., Fabian, G., Dick, H.-G. (2017): Quo vadis SAPOS? – Zukünftige Entwicklungen des Positionierungsdienstes der Landesvermessung. In: DVW e. V. (Hrsg.): GNSS 2017 – Kompetenz für die Zukunft. DVW-Schriftenreihe, Band 87, 133–150.

RTCM (2011): RTCM Standard 104010.1, Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) – Version 2.0, June 28, 2011.

RTCM (2016): RTCM Standard 10403.3, Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Version 3, October 7, 2016.

Wübbena, G., Schmitz, M., Bagge, A. (2005): PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks. 18th International Technical Meeting, ION GNSS-05, September 13-16, 2005, Long Beach, California. www.geopp.com/pdf/ion2005_fw.pdf, letzter Zugriff 12/2020.

Kontakt

Dr. Cord-Hinrich Jahn | M.Sc. Robert Schumann
Zentrale Stelle SAPOS beim Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
Podbielskistraße 331, 30659 Hannover
cord-hinrich.jahn@lgl.niedersachsen.de
robert.schumann@lgl.niedersachsen.de

Dipl.-Ing. Bernd Vahrenkamp
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Bernhard-Nocht-Straße 78, 20359 Hamburg
bernd.vahrenkamp@bsh.de

Dr.-Ing. Patrick Westfeld
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Neptunallee 5, 18057 Rostock
patrick.westfeld@bsh.de

Dr. Gerhard Wübbena | Dr. Martin Schmitz | M.Sc. Christoph Wallat
Geo++ GmbH, Steinriede 8, 30827 Garbsen
gerhard.wuebbena@geopp.de
martin.schmitz@geopp.de
christoph.wallat@geopp.de