

Der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung – SAPOS®

Jens Riecken und Enrico Kurtenbach

Zusammenfassung

Die amtliche deutsche Vermessungsverwaltung (AdV¹) betreibt den Satellitenpositionierungsdienst SAPOS als Gemeinschaftsprojekt und stellt über diesen flächendeckend den amtlichen Raumbezug für jedermann mit moderner Technik bereit. Damit kann der Nutzer eine temporäre Referenzstation einsparen und seine raumbezogenen Aufgaben wirtschaftlicher und effizienter lösen. Dies ist Teil der infrastrukturellen Grundversorgung sowie des gesetzlichen Auftrags der deutschen Landesvermessung. Mit dem vorliegenden Beitrag sollen die SAPOS-Dienste und -Standards, das SAPOS-Qualitätsmanagement und die neuen Entwicklungen einschließlich der Nutzung von Galileo beschrieben werden.

Summary

The surveying authorities of the States of the Federal Republic of Germany (AdV) operate the satellite positioning service »SAPOS« as a joint project and thus provide the current, official spatial reference for everyone using modern GNSS technology. Thus, the user can eliminate a temporary reference station and solve spatial reference tasks more economically and efficiently. This is considered as an infrastructure basic provision and as part of the legal remit of the German state survey. The paper will address SAPOS-services and -standards, quality management aspects, future trends and steps to use Galileo.

Schlüsselwörter: SAPOS, GNSS, Galileo, Raumbezug, Qualitätsmanagement

1 Einleitung

Die Nutzung globaler Satellitennavigationssysteme (GNSS) hat die Realisierung und Bereitstellung des geodätischen Raumbezugs und insbesondere auch die Nutzung geodätischer Messverfahren in revolutionärer Weise verändert.

Im Raumbezug wurden bis zum Ende des 20. Jahrhunderts, bedingt durch die Interessen der einzelnen europäischen Staaten, zahlreiche verschiedene Bezugs- und Abbildungssysteme definiert. Diese Betrachtungsweise erwies sich mit Nutzung globaler Satellitensysteme zunehmend als hinderlich. Die Vermessung mittels solcher Systeme bedingte förmlich eine Harmonisierung nationaler Referenzsysteme, da mit der neuen Messtechnik erstmals

in der Vermessungsgeschichte prinzipiell unmittelbar im Zielkoordinatensystem, also im amtlichen Raumbezug, gearbeitet werden konnte. SAPOS bildet genau dieses Bindeglied zwischen Messtechnik und amtlichem Raumbezug. Wesentliche Komponenten sind die deutschlandweite Einrichtung von vernetzten Referenzstationen und die eigentlichen SAPOS-Dienste. Letztere bestehen in der Bereitstellung von Korrekturdaten für unterschiedliche Genauigkeitsansprüche über moderne Kommunikationsmittel in Echtzeit sowie Rohdaten auch im Postprocessing. Die sich daraus ergebenden Möglichkeiten zur Georeferenzierung haben sich in den vergangenen Jahren stetig erweitert. Noch heute sind die Wertschöpfungsoptionen selbst für den Bereich des amtlichen Vermessungswesens nicht vollständig ausgeschöpft. Welchen Beitrag SAPOS zu Entwicklungen, wie beispielsweise die des autonomen Fahrens, leisten kann, bleibt abzuwarten.

Heute stellen alle Bundesländer gemeinsam deutschlandweit den amtlichen Raumbezug und damit die Koordinaten Dienste-basiert mit einer Genauigkeit von bis zu einem Zentimeter bereit. Aus Bereitstellungssicht ist SAPOS der Infrastrukturbeitrag des amtlichen geodätischen Raumbezugs, so wie er bereits von der AdV 2006 beschrieben wurde (AdV 2006).

Mit dem vorliegenden Beitrag soll ein aktueller Einblick in die SAPOS-Entwicklung gegeben werden. Für eine weitergehende Vertiefung wird auf die DVW-Schriftenreihe, Bd. 87, »GNSS 2017 – Kompetenz für die Zukunft« (DVW 2017) verwiesen. Sie steht zum kostenlosen Download bereit.

2 Der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS

Die Entwicklung des globalen Satellitennavigationssystems GPS in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat die geodätischen Messverfahren und die Implementierung und Bereitstellung eines amtlichen Raumbezugsystems maßgeblich verändert.

Mit der Freigabe der zivilen Nutzung des amerikanischen GPS hielten Vermessungsverfahren in der Grundlagenvermessung Einzug, zu diesem Zeitpunkt als Alternative beispielsweise zur elektro-optischen Entfernungsmessung. Zu dieser Zeit erforderten GPS-Messungen stets zwei Empfänger. Bereits 1991 hatten mehrere Landesvermessungsverwaltungen mit dem Aufbau von GPS-Referenzstationen und der Bereitstellung von Korrekturdaten begonnen und dabei gute Erfahrungen gesammelt (Elsner et al. 2004). Der koordinierte Aufbau eines einheitlichen,

¹ Die Abkürzung AdV steht offiziell für die »Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland« (www.adv-online.de).

bundesweiten Referenzstationsnetzes schien dringend geboten, um diese moderne, satellitengestützte Messmethode für das amtliche Vermessungswesen und darüber hinaus für weitere Anwendergruppen nutzbar zu machen. Die AdV setzte hierzu im Oktober 1994 die Expertengruppe GPS-Referenzstationen, bestehend aus Vertretern von zehn Mitgliedsverwaltungen, ein. In den folgenden Jahren wurden die organisatorischen und technischen Verfahrensweisen und Lösungen erarbeitet und in die Praxis eingeführt. 2001 war der flächendeckende Aufbau von SAPOS praktisch abgeschlossen (Elsner et al. 2004).

SAPOS hat damit als erster multifunktionaler differentieller GNSS-Dienst den Aufbau und die Entwicklung vergleichbarer Dienste in ganz Europa und darüber hinaus wesentlich beeinflusst.

Über den Satellitenpositionierungsdienst SAPOS stellt die AdV heute flächendeckend den amtlichen Raumbezug für jedermann im Rahmen des gesetzlichen Auftrags der deutschen Landesvermessung bereit. Dieser Auftrag wird beispielsweise im § 9 des Vermessungs- und Katastergesetzes NRW (VermKatG NRW) als Teil der »Erhebung und Führung von Geobasisdaten der Landesvermessung« definiert:

§ 9 Erhebung und Führung von Geobasisdaten der Landesvermessung

Die Erhebung der Geobasisdaten der Landesvermessung umfasst alle Maßnahmen, die erforderlich sind, um diese Daten im Sinne von § 8 im Geobasisinformationssystem zu führen. Hierzu gehören insbesondere

1. die Einrichtung und Laufendhaltung der Festpunktfelder nach Lage, Höhe und Schwere,
2. der Aufbau und die Unterhaltung eines Satellitenpositionierungsdienstes und
3. die Einrichtung und Laufendhaltung des topographisch-kartographischen Informationssystems.

Neben dieser Sicht auf die »Erhebung und Führung von Geobasisdaten der Landesvermessung« (VermKatG NRW) soll diskutiert werden, ob und wie SAPOS aus der Sicht der Bereitstellung als Geodateninfrastrukturkomponente betrachtet werden kann. Hierzu wird Abb. 2-2 der Bereitstellungsstrategie der AdV (AdV 2015b), die die Bereitstellung der Geobasisdaten über Dienste beschreibt, übertragen auf SAPOS (Abb. 1). Es werden die entsprechenden SAPOS-Lösungen der einzelnen Anforderungen in rot dargestellt.

SAPOS-Kernphilosophie ist die Nutzung internationaler und offener Standards und deren Abbildung in der SAPOS-Produktdefinition, aktuell in der Version 7.1 (Stand 2.6.2017; zu finden z.B. unter www.sapos.de/downloads.html). Damit gehen die Verfolgung der Standardisierungsentwicklungen und die aktive Mitarbeit

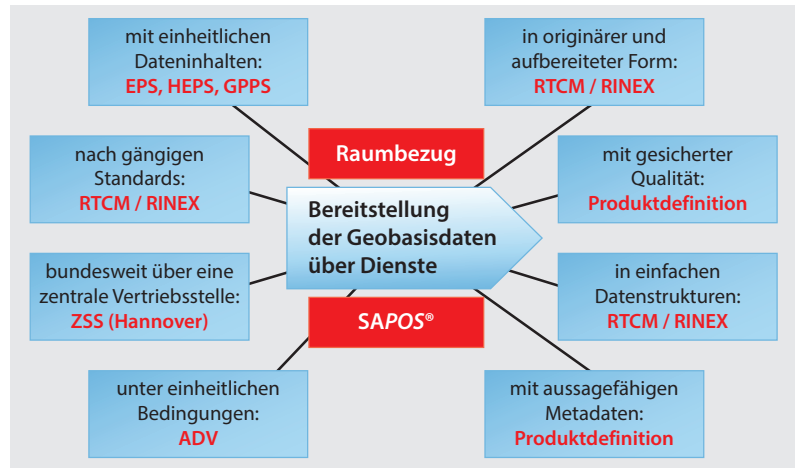


Abb. 1: SAPOS als Geodateninfrastrukturbeitrag des geodätischen Raumbezugs

in den Standardisierungsgremien einher. Die Nutzung offener Standards bildet die Basis für eine Firmenunabhängigkeit, in Analogie zur Geodateninfrastruktur und zum Interoperabilitätsverständnis der AdV bei der AFIS-ALKIS-ATKIS-Standardisierung, die sich in der Produktsicht der GeoInfoDok niederschlägt. In dieser konzeptionellen Betrachtung ist SAPOS der Geodateninfrastrukturbeitrag des geodätischen Raumbezugs.

Als Ergebnis wird sichergestellt, dass sich Produkte unterschiedlicher Hersteller »verstehen« und in der SAPOS-Infrastruktur sowohl auf Anbieter- als auch auf Nutzerseite zum Einsatz kommen (können). Umgekehrt sind mit der SAPOS-Produktdefinition die Anforderungen an die Nutzbarkeit innerhalb von SAPOS festgeschrieben. Es sei hier durchaus darauf hingewiesen, dass sich diese wechselseitigen Abhängigkeiten nicht immer »konfliktfrei« auflösen, insbesondere bei der Einführung neuer technischer Innovationen. Seit 2001, also mit der Aufnahme des SAPOS-Regelbetriebs, hat sich diese Kernphilosophie jedoch bewährt.

SAPOS betreibt einen permanenten, multifunktionalen und differentiellen GNSS-Dienst. Grundlage des Systems bildet ein Netz von ca. 270 Referenzstationen, das von den Vermessungsverwaltungen der Bundesländer betrieben wird. Dabei zeichnen die Referenzstationen ständig Signale zu den GNSS-Satelliten auf und ermitteln daraus RTCM-Korrekturwerte nach unterschiedlichen Modellansätzen (Geobasis.NRW 2017):

VRS = Virtuelle Referenzstation = Non Physical Reference Station,

MAC = Master Auxiliary Concept (früher auch mit NET bezeichnet) und

FKP = Flächenkorrekturparameter = Range Correction Gradients.

Dem Anwender stehen diese Korrekturwerte in Echtzeit und alternativ RINEX-Rohdaten für Postprocessing zur Verfügung. Dieser Service umfasst drei Dienste mit unterschiedlichen Eigenschaften und Genauigkeiten:

SAPOS-EPS	Echtzeit Positionierungs-Service, 0,3 m bis 0,8 m Lage-Genauigkeit und 0,5 m bis 1,5 m Höhen-Genauigkeit.
SAPOS-HEPS	Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service, 1 cm bis 2 cm Lage-Genauigkeit und 2 cm bis 3 cm Höhen-Genauigkeit.
SAPOS-GPPS	Geodätischer Postprocessing Positionierungs-Service, 1 cm und besser Lage-Genauigkeit und 1 cm bis 2 cm Höhen-Genauigkeit.

Auf die mit der Bereitstellung der Dienste verbundenen Gebühren soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, hierfür greifen die Regelungen der AdV-Gebührenrichtlinie (AdV 2015a). Aktuell zeichnet sich ab, dass Bundesländer abweichend von der AdV-Gebührenrichtlinie einzelne oder auch alle Dienste als Open Data entgeltleistungsfrei bereitstellen. Inwieweit dadurch ganz neue Wertschöpfungsketten, beispielsweise im Bereich der App-Entwicklungen angestoßen werden, bleibt abzuwarten. Auch ist die Diskussion noch nicht abgeschlossen, ob es durch die Open Data-Entwicklung zu einer Wettbewerbsverzerrung kommt.

und andererseits aus der Bereitstellung des amtlichen Raumbezugs ab. Letzteres ist *das* Alleinstellungsmerkmal von SAPOS.

3 SAPOS im Kontext zum Raumbezug 2016

Mit dem Raumbezug 2016 setzt sich in der Vermessungsverwaltung eine ganzheitliche Betrachtungsweise der bislang getrennten geometrisch und physikalisch definierten Komponenten durch (Abb. 3). Die deutlich verbesserten Genauigkeiten des Deutschen Haupthöhennetzes DHHN2016 und des Quasigeoids (Feldmann-Westendorff et al. 2016) ermöglichen gleichzeitig einen Qualitätssprung in der Anwendung der GNSS-Messtechnik für die Bestimmung der Gebrauchshöhe. Mit dem HEPS-Dienst stellt SAPOS heute eine dreidimensionale Position mit einer Genauigkeit von 1 bis 3 Zentimetern innerhalb von etwa einer Minute bereit. Verfahrensbedingt beziehen sich die Koordinaten dabei auf ein mathematisch definiertes Modell der Erde, das Rotationsellipsoid. Ein Bezug der mit SAPOS bestimmten ellipsoidischen Höhen zum Schwerefeld der Erde ist nicht unmittelbar gegeben.

Für meeresspiegelbezogene Höhenangaben, also für die Bestimmung von Normalhöhen, ist die Verknüpfung geometrischer und schwerefeldbezogener Messgrößen unerlässlich. Mit Einführung des Raumbezugs 2016 stellt SAPOS das sogenannte German Combined Quasigeoid (GCG2016) als optionalen, aber integrativen Bestandteil seiner Dienste bereit und ermöglicht dem Nutzer unmittelbar die Bestimmung der Normalhöhe im amtlichen Höhenbezugssystem. Das GCG2016 wird auch, in Anspielung auf die sehr hohe Genauigkeit, als cm-Quasigeoid bezeichnet, da es in Abhängigkeit der Geländehöhe folgende Standardabweichungen nicht überschreitet (AdV 2017):

- bis 1.000 m: 10 mm,
- über 1.000 m: 25 mm.

Eine aktuelle Untersuchung an der Universität Bonn (Winter 2017) bestätigt die zu erwartende Genauigkeit der Gebrauchshöhenbestimmung mittels SAPOS bei einer aus über 100 Messungen errechneten Standardabweichung der Einzelmessung mit 2,2 cm. In dieser empirischen Studie

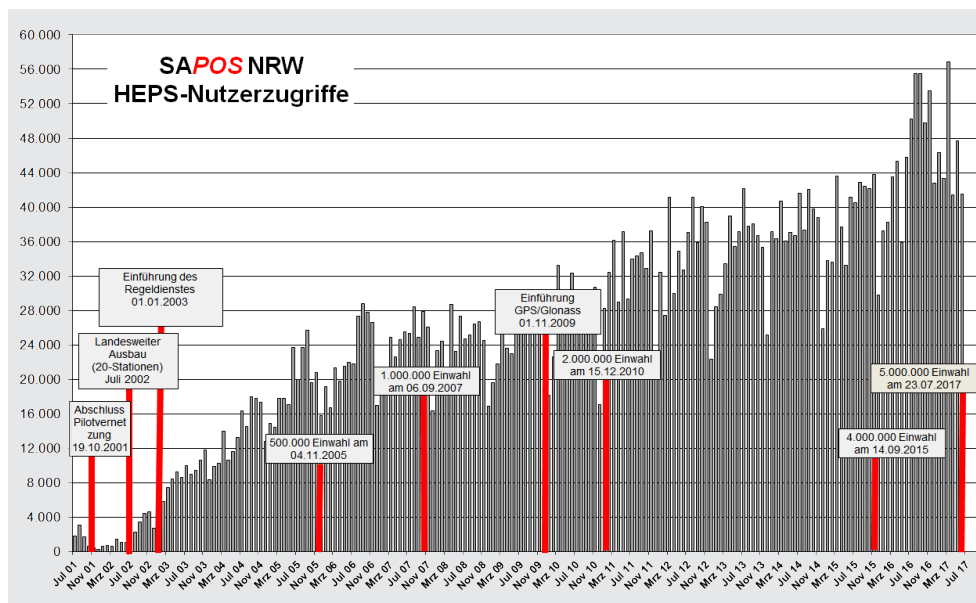


Abb. 2: HEPS-Nutzerzugriffe, Beispiel NRW

Das »SAPOS-Flaggschiff«, der HEPS-Dienst, wurde allein in Nordrhein-Westfalen bereits über 5.000.000 Mal genutzt (Abb. 2). Die Abbildung zeigt deutlich jahreszeitlich bedingte Schwankungen, insbesondere eine geringere Nutzung im Winter. Die Akzeptanz des Dienstes wird nicht nur durch diese hohen Nutzerzahlen dokumentiert. Sie wird auch durch das gemeinsame Positionspapier der AdV und des Bundes der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure (BDVI) unterstrichen, in dem SAPOS als unverzichtbar für die Rechtssicherheit im Liegenschaftskataster bezeichnet wird (AdV, BDVI 2005). Dieses leitet sich einerseits aus der hohen Genauigkeit

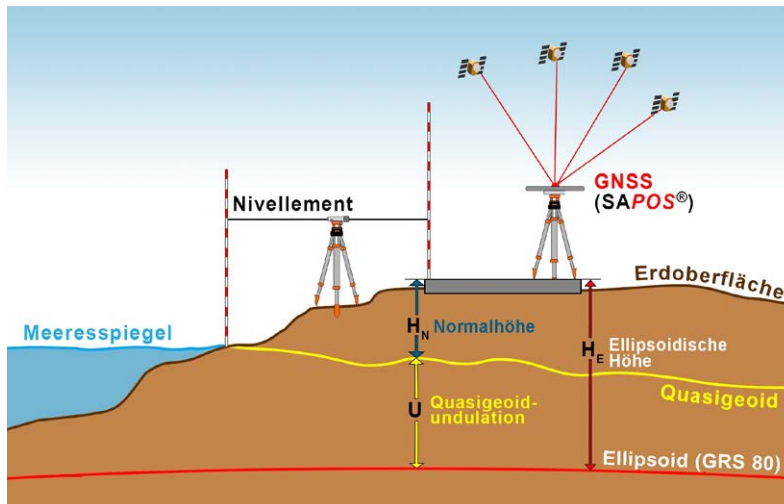


Abb. 3: Messtechnik und Raumbezug

liegen die maximalen Abweichungen bei +6,9 cm beziehungsweise bei –5,2 cm.

Der Raumbezug 2016 betrachtet die bislang getrennten geometrisch und physikalisch definierten Komponenten somit ganzheitlich. Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN2016) ist zentraler Baustein dieser Strategie, weil zeitgleich zu den Messungen im DHHN zwischen 2006 und 2012 eine epochengleiche GNSS-Kampagne und Absolutschweremessungen erfolgten. Darüber hinaus wurde seit 2012 die Datengrundlage für das Quasigeoid kontinuierlich verbessert (Feldmann-Westendorff et al. 2016).

4 SAPOS-Qualitätsmanagement

Mit der bereits angesprochenen Produktsicht hat die AdV die Grundlage für ein transparentes Qualitätsmanagement geschaffen, das mit der »Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland« (AdV 2017) auf den gesamten geodätischen Raumbezug übertragen wurde (Heckmann et al. 2015).

Tab. 1: SAPOS-Statistiken und deren Aufbereitung in den Bundesländern

1	Multipath der SAPOS®-Referenzstationspunkte – NW
2	Koordinatenmonitoring der Referenzstationspunkte im Postprocessing – BW
3	Langzeitverfügbarkeit der RINEX-Daten (GPPS) – MV
4	Verfügbarkeit der Datenströme an der Zentralen Stelle SAPOS® – ZSS
5	Qualität des SAPOS® HEPS anhand des erreichten Lösungsstatus und TTFA – BB
6	Nutzerresonanz des SAPOS® HEPS – BY
7	Genauigkeit des SAPOS® HEPS anhand der RTK-Monitorstationen – ST

Als Betreiber von SAPOS gewährleisten die Länder die in der SAPOS-Produktdefinition zugesicherte Produktqualität durch umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen (regelmäßige Erneuerung von Hard- und Software, Koordinatenmonitoring, Online-Monitoring im SAPOS-HEPS, Datensicherung, redundante Auslegung der Verfahrenskomponenten, Notfall- und Ausfallkonzepte sowie weitere Maßnahmen).

Nach einer Pilotierungsphase 2007 bis 2008 wurde die dauerhafte Erhebung, Führung und interne Bereitstellung der Betriebszustandsinformationen 2009 von der AdV beschlossen. Damit ist sichergestellt, dass die SAPOS-Betreiber diese hinsichtlich ihrer Bedeutung und Aussagefähigkeit

wichtigen Daten als einheitliches Qualitätssicherungsinstrument nutzen. In einem regelmäßigen Reporting werden Betriebszustandsinformationen – die in Tab. 1 dargestellten sogenannten »SAPOS-Statistiken« – von den Ländern erhoben und in einem jährlichen internen Qualitätsbericht evaluiert (Rubach et al. 2015). Die SAPOS-Statistiken sollen nachfolgend kurz erläutert werden (aus Jahn et al. 2017). Für 2016 werden wesentliche Qualitätskennzahlen auch im Qualitätsbericht (SAPOS 2017) veröffentlicht. Diese Transparenz ist ein weiteres Alleinstellungsmerkmal des amtlichen Positionierungsdienstes SAPOS gegenüber anderen kommerziellen Diensten.

Die »Statistik 1 – Multipath« spiegelt die Qualität der SAPOS-Referenzstationen wider. Die Ausbreitungsbedingungen werden bundesweit nach gleichen Kriterien erfasst, ausgewertet und länderübergreifend kennzahlenbasiert bereitgestellt. Die Multipathwerte können dabei als Indiz für die Eignung eines Standorts dienen. Bei zu hohen Werten wurden in der Vergangenheit mehrfach Stationen verlegt.

Die mittlerweile zehnjährigen Zeitreihen der »Statistik 2 – Koordinatenmonitoring« stellen den SAPOS-Betreibern und der Zentralen Stelle SAPOS eine nach einheitlichen Kriterien aufgebaute Information über die langfristige Stabilität des Referenzstationsnetzes zur Verfügung. Sie sind damit in der Lage, die Stationskoordinaten der länderübergreifenden Vernetzung zu beurteilen, jederzeit und dauerhaft die nach amtlichen Standards erzeugte Georeferenzierung verlässlich vorzuhalten und bundesweit gegenüber externen Kunden zu dokumentieren. Aktuell zeichnet sich ab, dass das Koordinatenmonitoring beispielsweise auch als Referenzinformation für die Auswertung der Radarinterferometrie genutzt werden kann, so als Ansatz des Bodenbewegungsdienstes Deutschland (BGR 2017).

Neben dieser Überwachung grundsätzlicher Stationseigenschaften wird auch die Vollständigkeit der aufgezeichneten Daten dokumentiert. Die RINEX-Daten der Referenzstationen werden dauerhaft archiviert und

jährlich in der »Statistik 3 – RINEX-Datenvollständigkeit« dokumentiert (Abb. 4, aus SAPOS 2017).

Daneben lässt sich in der »Statistik 4 – Verfügbarkeit der Echtzeitdatenströme an der ZSS« eine wesentliche Kenngröße des Echtzeitdienstes ablesen. Abb. 5, aus (SAPOS 2017), zeigt, dass die Anzahl längerfristiger Ausfälle von Referenzstationen einzelner Bundesländer erheblich gesunken ist. Dies ist ein Erfolg der in den Ländern ergriffenen Redundanzmaßnahmen.

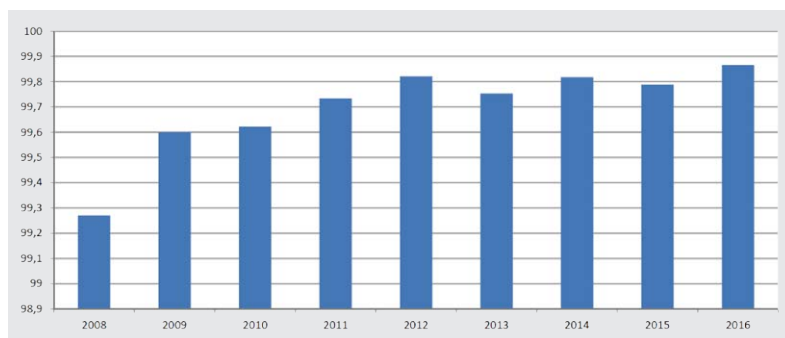


Abb. 4:
Kontinuierliche
Verbesserung
der RINEX-
Daten-Voll-
ständigkeit
seit 2008

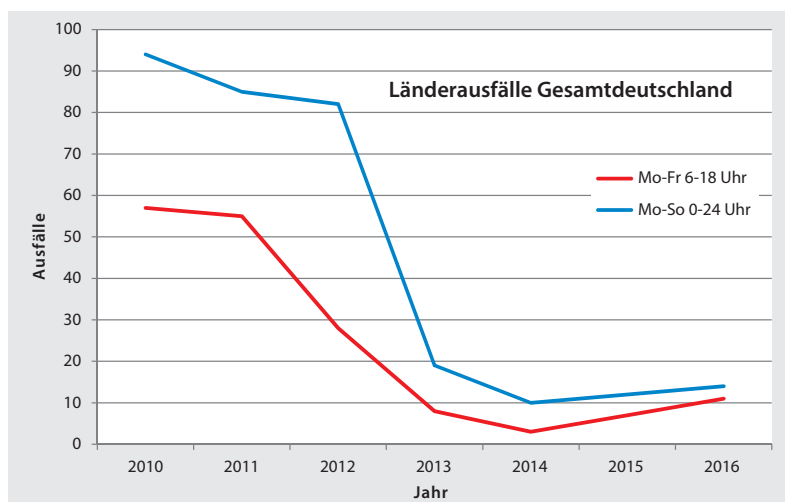


Abb. 5:
Anzahl der
vollständigen
Ausfälle ein-
zelner Bundes-
länder

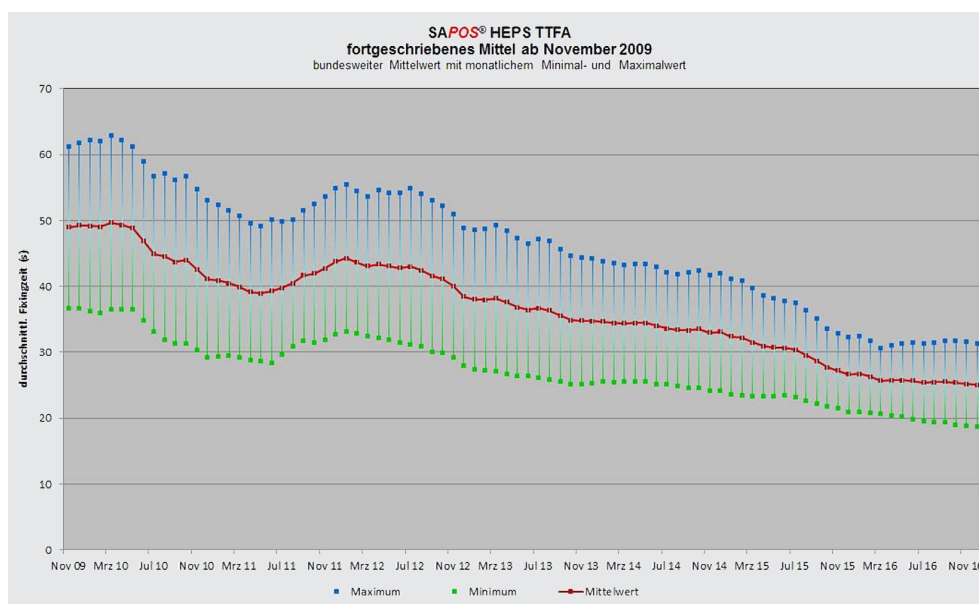


Abb. 6: Durchschnittliche TTFA des HEPS-Dienstes als fortgeschriebenes Mittel seit November 2009

Die Qualität und Leistungsfähigkeit des SAPOS-Kern-dienstes HEPS wird anhand zweier Statistiken dokumen-tiert, die unter der Bezeichnung »Statistik 5 – HEPS-Quali-tät« geführt werden: a) die relative Anzahl der Messungen mit erreichtem Lösungsstatus 4 (fixed) zur Gesamtzahl der Datenabrufe und b) die durchschnittlichen TTFA (Time To Fix Ambiguities, Zeit bis zur Mehrdeutigkeitslösung). Ermittelt werden beide Kennzahlen aus dem Datenstrom der Rover, die an die Länderzentralen gesendet und dort

verarbeitet werden. Für beide Kennzahlen wird auch ein Mittelwert aller Bundesländer berechnet. Die in Abb. 6 dargestellte Statistik zeigt, dass im Durchschnitt eine Mes-sung mit SAPOS-HEPS in deutlich weniger als einer Minute zur gewünschten zentimetergenauen Ko-ordinate führt, bei einer kontinuierlichen Absen-kung der durchschnittlichen TTFA. Gleichzeitig stieg der Anteil der Mes-sungen mit dem erreichten Lösungsstatus 4 (fixed) auf zuletzt fast 90 Prozent. Dies ist zurückzuführen auf deutlich verbesserte Algorithmen der zentralen Vernetzungskomponenten der Betreiber und der im Feld eingesetzten moder-nen Rovern.

Die 2016 neu einge-führte »Statistik 7 – HEPS-Genauigkeit« aggregiert Daten der Monitorstationen der SAPOS-Betreiber durch den kontinuierlichen Vergleich hochge-nauer Positionen der Rover mit deren Sollkoordinaten. Abb. 7 zeigt die stündlichen Standardabweichun-gen dieser Vergleiche, ge-trennt über einen Monat (in der Regel mindestens zehn Messungen pro Stun-de). Gut erkennbar sind die Abhängigkeiten der HEPS-Genauigkeiten von der Tageszeit, wobei sich nachts, aufgrund geringe-erer atmosphärischer Akti-vität, bessere Ergebnisse

erzielen lassen. Die Bewertung des jeweiligen Monatsmittels zeigt, ob die in der Produktdefinition angegebenen Genauigkeitswerte für den HEPS (Lage 1 bis 2 cm, Höhe 2 bis 3 cm) im bundesweiten Mittel eingehalten werden konnten.

Abschließend sei erwähnt, dass auch die Nutzerzahlen und das Nutzerverhalten in der »Statistik 6 – HEPS-Nutzerresonanz« dokumentiert und den Ländern zugänglich gemacht werden.

Lagegenauigkeit (cm)	Stunde des Tages (UTC)																								Tagesmittel
Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
01.06.2017	0,91	0,91	0,81	0,78	0,80	0,72	0,76	0,90	0,93	1,15	1,15	1,17	1,25	1,19	0,98	1,13	0,91	1,01	1,30	1,15	1,04	1,06	0,84	0,80	0,99
02.06.2017	1,00	0,89	0,71	0,88	0,81	0,64	1,01	0,93	0,84	1,05	1,48	1,14	1,67	1,39	1,21	1,55	1,17	1,09	1,28	0,95	0,92	1,08	0,89	0,85	1,06
03.06.2017	1,01	0,77	0,89	0,90	0,89	0,84	0,98	0,96	0,95	1,10	1,31	1,32	1,56	1,42	1,37	1,61	1,27	1,21	1,42	1,19	1,13	1,00	0,93	0,89	1,12
04.06.2017	0,89	0,83	0,79	0,83	0,91	0,82	0,93	0,96	1,00	1,10	1,25	1,20	1,43	1,23	1,18	1,17	0,95	0,93	1,07	0,87	0,90	0,90	0,75	0,72	0,98
05.06.2017	0,79	0,70	0,77	0,84	0,87	0,81	0,82	0,82	0,88	1,01	0,88	1,05	1,29	1,15	1,08	1,27	1,06	1,13	1,05	0,93	0,97	0,98	0,87	0,83	0,95
06.06.2017	1,02	0,73	0,78	1,00	0,88	0,82	0,93	0,84	0,94	1,26	1,25	1,31	1,65	1,38	1,47	1,54	1,04	1,12	1,25	0,94	0,90	0,88	0,84	0,88	1,07
07.06.2017	1,04	0,87	0,87	0,90	0,82	0,91	0,85	0,93	1,02	1,25	1,23	1,18	1,46	1,23	1,21	1,12	0,97	0,96	1,00	0,94	1,05	0,89	0,76	0,76	1,01
08.06.2017	0,78	0,78	0,75	0,86	0,88	0,92	0,89	0,80	0,86	0,89	0,82	0,91	1,26	0,88	0,95	0,92	0,74	0,81	0,87	0,81	1,03	1,00	0,94	0,95	0,89
09.06.2017	1,06	0,86	0,80	0,83	0,78	0,83	0,81	0,90	1,07	0,96	0,90	1,00	1,26	1,08	1,43	1,40	1,22	1,43	1,44	1,08	1,22	1,13	0,93	0,91	1,06
10.06.2017	1,08	0,85	0,90	0,95	0,74	0,75	0,84	0,86	1,02	1,21	1,14	1,30	1,36	1,01	1,04	0,92	0,88	1,02	0,94	0,76	0,79	0,77	0,74	0,84	0,95
11.06.2017	0,77	0,80	0,77	0,77	0,70	0,91	0,77	0,78	0,92	0,96	1,02	1,04	1,21	1,04	1,13	1,05	0,98	1,16	1,28	1,21	1,27	1,17	1,12	1,18	1,00
12.06.2017	1,34	1,08	1,13	1,28	1,03	1,07	1,15	1,17	1,60	1,49	1,32	1,54	1,58	1,31	1,24	0,96	0,91	0,97	0,93	0,82	0,89	0,75	0,73	0,85	1,13
13.06.2017	0,78	0,73	0,87	0,85	0,90	0,85	0,77	0,79	0,85	0,84	0,82	0,83	1,02	0,77	0,89	0,87	0,83	0,97	0,79	0,78	0,87	0,81	0,73	0,80	0,83
14.06.2017	0,88	0,72	0,82	0,92	0,71	0,86	0,91	0,75	0,81	0,84	0,75	0,96	0,90	0,79	1,11	1,00	0,86	1,00	0,87	0,85	1,09	0,87	0,79	0,97	0,88
15.06.2017	0,88	0,87	0,98	0,87	0,81	0,93	0,77	0,87	0,91	1,06	1,02	1,31	1,21	1,15	1,39	1,28	1,19	1,45	1,46	1,46	1,56	1,28	1,32	1,48	1,15
16.06.2017	1,15	1,04	1,02	1,19	0,96	1,24	1,13	1,15	1,34	1,43	1,52	1,83	1,80	1,22	1,37	1,02	0,96	1,00	0,90	0,83	0,93	0,80	0,70	0,74	1,14
17.06.2017	0,67	0,70	0,72	0,80	0,75	0,75	0,79	0,81	0,92	0,83	0,85	0,98	0,95	0,80	0,88	0,78	0,90	0,93	0,84	0,81	0,96	0,83	0,67	0,79	0,82
18.06.2017	0,74	0,62	0,76	0,77	0,64	0,85	0,76	0,75	0,85	0,87	0,86	1,18	0,93	0,92	0,99	0,85	0,94	1,03	0,86	0,80	0,90	0,79	0,72	0,78	0,84
19.06.2017	0,73	0,73	0,79	0,71	0,76	0,80	0,69	0,71	0,86	0,97	0,91	1,13	0,90	0,95	1,05	0,91	1,00	0,90	0,79	0,85	0,77	0,73	0,77	0,96	0,85
20.06.2017	0,77	0,75	0,86	0,85	0,72	0,81	0,84	0,79	0,89	1,01	1,14	1,63	1,41	1,63	1,63	1,33	1,26	1,35	1,19	1,20	1,19	1,02	1,01	1,11	1,10
21.06.2017	0,93	0,97	1,32	1,02	1,13	0,97	1,00	0,98	1,20	1,10	1,17	1,46	1,40	1,60	1,67	1,11	1,20	1,23	1,12	1,07	1,05	0,88	0,86	1,05	1,15
22.06.2017	0,79	0,75	0,97	0,85	0,85	0,87	0,89	0,78	1,02	1,01	1,28	2,02	2,14	2,18	2,65	1,99	1,95	1,88	1,86	1,90	1,65	1,43	1,63	1,80	1,45
23.06.2017	1,69	1,42	1,28	1,07	0,98	1,13	1,00	0,99	1,13	1,07	1,11	1,31	1,21	1,45	1,43	1,10	1,10	1,11	1,06	1,08	1,12	0,94	0,98	1,18	1,16
24.06.2017	0,97	0,87	0,94	0,81	0,85	0,88	0,83	1,11	1,07	1,04	1,03	1,58	1,03	1,35	1,16	1,00	1,14	1,11	0,95	1,01	0,90	0,88	0,94	0,86	1,01
25.06.2017	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	1,09	1,00	1,10	1,10	1,10	1,11	1,41	1,38	1,10	1,09	1,02	0,90	1,03	1,04	0,93	0,89	1,04	0,82	0,85	1,01
26.06.2017	0,81	0,85	0,88	0,72	0,84	0,90	0,91	1,05	1,16	0,94	1,18	1,09	0,89	1,02	0,97	0,81	0,96	0,97	0,79	0,92	0,95	0,94	1,12	0,94	0,94
27.06.2017	0,89	0,84	0,82	0,79	0,95	0,79	0,78	0,87	0,86	0,81	0,86	1,10	0,89	0,99	1,00	0,93	0,97	0,90	0,92	0,91	0,84	0,87	0,89	0,88	0,89
28.06.2017	0,78	0,90	0,99	0,76	0,82	0,80	0,82	1,06	1,01	0,98	1,12	1,25	1,07	1,28	1,13	1,08	1,15	1,21	1,04	1,15	1,05	0,97	1,00	0,85	1,02
29.06.2017	0,82	0,92	0,91	0,83	0,86	0,89	0,78	0,93	0,91	0,86	1,19	1,19	1,14	1,40	1,14	1,17	1,19	1,00	0,94	0,94	0,85	0,80	0,88	0,85	0,97
30.06.2017	0,84	0,93	0,96	0,81	0,95	0,93	0,78	0,93	0,90	0,87	1,06	1,12	0,97	1,15	1,04	1,19	1,13	1,02	0,92	1,09	0,90	0,81	1,04	0,81	0,97
Stundenmittel	0,92	0,85	0,89	0,88	0,85	0,88	0,87	0,91	0,99	1,04	1,10	1,25	1,26	1,20	1,22	1,13	1,06	1,09	1,06	1,00	1,02	0,93	0,91	0,94	1,01

Abb. 7: HEPS-Lagegenauigkeit anhand der RTK-Monitorstationen für Juni 2017

5 Die Integration von Galileo in SAPOS

Beim Aufbau von SAPOS Ende der 90er Jahre wurden anfangs ausschließlich GPS-Signale genutzt. Dieses System bildet seitdem verlässlich bis heute die solide Grundlage für SAPOS. Im Zeitraum von 2008 bis 2011 erreichte das GLONASS-System den Vollausbau. In immer mehr geodätischen Empfängern konnte es verwendet werden. Auch SAPOS wurde in diesen Jahren um GLONASS erweitert, für Nordrhein-Westfalen beispielsweise beschrieben in Riecken und Ruf (2013). Diese Maßnahme hat für die Nutzer von SAPOS vielfältige Vorteile mit sich gebracht.

Die Positionslösungen wurden mit den GPS-GLONASS-Geräten schneller, verlässlicher und auch unter schwierigeren Bedingungen möglich.

Bereits 2006 wurde von der AdV die aktuelle Integration von Galileo in SAPOS beschlossen (AdV 2006), die parallel auch auf die Signale des chinesischen Systems Beidou erweitert wird. Durch Galileo und Beidou sind weitere positive Effekte zu erwarten, insbesondere bezüglich der Unabhängigkeit, Verlässlichkeit, Robustheit und der Initialisierungszeiten.

Neben der Erweiterung von zwei auf vier Satellitensysteme steht auch der Übergang von der Zweifrequenz-

Tab. 2: Geplante GNSS-Signale (RINEX observation codes) im SAPOS ab 2018

GNSS	Freq. Band/ Frequency	Channel oder Code	Pseudo Range	Carrier Phase	Doppler (optional*)	Signal Strength
GPS	L1	C/A	C1C	L1C	D1C	S1C
	L2	Z-tracking or similar (AS on)	C2W	L2W	D2W	S2W
		L2C (L) oder L2C (M)	C2L oder C2S	L2L oder L2S	D2L oder D2S	S2L oder S2S
	L5	Q	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q
GLONASS	G1	C/A	C1C	L1C	D1C	S1C
	G2	P	C2P	L2P	D2P	S2P
	G3 (opt.*)	Q	C3Q	L3Q	D3Q	S3Q
Galileo	E1	C	C1C	L1C	D1C	S1C
	E5a	Q	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q
	E5b	Q	C7Q	L7Q	D7Q	S7Q
	E5(a+b)	Q	C8Q	L8Q	D8Q	S8Q
BDS	B1	I	C2I	L2I	D2I	S2I
	B2	I	C7I	L7I	D7I	S7I

Tab. 3: Einführungsphase von Galileo im SAPOS

Jahr	Einführungsschritte
2006	Strategische Entscheidung der AdV zur künftigen Integration von Galileo in SAPOS (ADV 2006)
14.12.2016	Declaration of Galileo Initial Services (http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4366_en.htm)
2017	Satellitenkonstellation: Seit 2016 wurden weitere sechs Galileo-Satelliten erfolgreich in Betrieb genommen. Damit stehen aktuell insgesamt 14 Satelliten zur Verfügung. Die positive Entwicklung soll sich im November 2017 und in 2019 mit Starts von je vier weiteren Satelliten fortsetzen. 2020 soll der Ausbau abgeschlossen sein.
2017	Abschluss der Hardware-Beschaffungen (GNSS-Empfänger und -Antennen) in den Bundesländern. Abschluss der Erweiterung der Vernetzungssoftware in den Bundesländern.
2.6.2017	Fortschreibung der SAPOS-Produktdefinition V 7.1 (Zu finden z. B. unter www.sapos.de/downloads.html .)
2018	Bereitstellung von Echtzeitdatenströmen (RTCM MSM5) an die Zentrale Stelle SAPOS (ZSS) und Infrastrukturlkunden
ab 2018	Bereitstellung von RTCM MSM4 an Endkunden (SAPOS-HEPS)
ab 2018	Bereitstellung von RINEX 3.03 an Endkunden (SAPOS-GPPS)

verarbeitung zum Dreifrequenzbetrieb an. Die dritten Frequenzen der GNSS liefern höhere Signalqualität und mehr Möglichkeiten für Linearkombinationen zur Auswertung. Im Rahmen der Fortschreibung der SAPOS-Produktdefinition wurden unter Einbeziehung der GNSS-Gerätehersteller die in Tab. 2 dargestellten Signalkombinationen festgelegt.

Der Zeitplan für die Einführungsphase von Galileo im SAPOS wird in Tab. 3 dargestellt.

6 Tendenzen/Ausblick

Derzeit basieren alle SAPOS-Dienste auf dem Verfahren der differentiellen GNSS-Positionierung. Dabei werden die verschiedenen GNSS-Fehler durch Differenzbildung zwischen den Beobachtungen des Rovers und der Referenzstation(en) eliminiert. Man spricht deshalb auch von der Modellierung im Beobachtungsraum (OSR – Observation Space Representation).

Das Verfahren »Precise Point Positioning« (PPP) basiert im Gegensatz zur differentiellen Positionierung auf einer autonomen Einzelpunktbestimmung des Rovers. Die verschiedenen GNSS-Fehler (im Wesentlichen Satellitenbahnfehler, Satellitenuhrfehler, Code- und Phasen-Biases, sowie ionosphärische und troposphärische Refraktionseinflüsse) müssen in diesem Fall explizit modelliert beziehungsweise berechnet werden. Man spricht deshalb von der Modellierung im Zustandsraum (SSR – State Space Representation), da im Prinzip der Signalweg vom Satelliten zum Rover modelliert wird und damit die oben beschriebenen Fehlereinflüsse direkt berücksichtigt werden (Wübbena et al. 2005). In PPP-Postprocessing-Anwen-

dungen können einige Fehlereinflüsse bei hinreichend langer Beobachtungsdauer bei der Positionsbestimmung mitgeschätzt werden. In einer PPP-Echtzeitanwendung hingegen müssen die Modellparameter der Fehlereinflüsse vorab dem Rover übermittelt werden. Dabei ist die Gesamtheit aller einwirkenden Fehler mit einer sehr hohen Genauigkeit in Echtzeit zu bestimmen, da sie unmittelbar die Positionsbestimmung des Rovers beeinflussen. Für hochgenaue SSR-Anwendungen in Echtzeit sind weiterhin Referenzstationsnetze für die Berechnung lokaler Fehlereinflüsse erforderlich. Der amtliche Raumbezug wird deshalb auf ein SAPOS-Referenzstationsnetz nicht verzichten können, so wie schematisch in Abb. 8 dargestellt.

Da die internationalen Standardisierungsgremien die erforderlichen Standards noch nicht verabschiedet haben, werden zusehends Standards einzelner Interessensgruppen genutzt, die aber im Gegensatz zu den proprietären Firmenformaten offengelegt sind und sich daher zu einem De-Facto-Standard entwickeln. Innerhalb von SAPOS werden beide Entwicklungen aktiv verfolgt. So

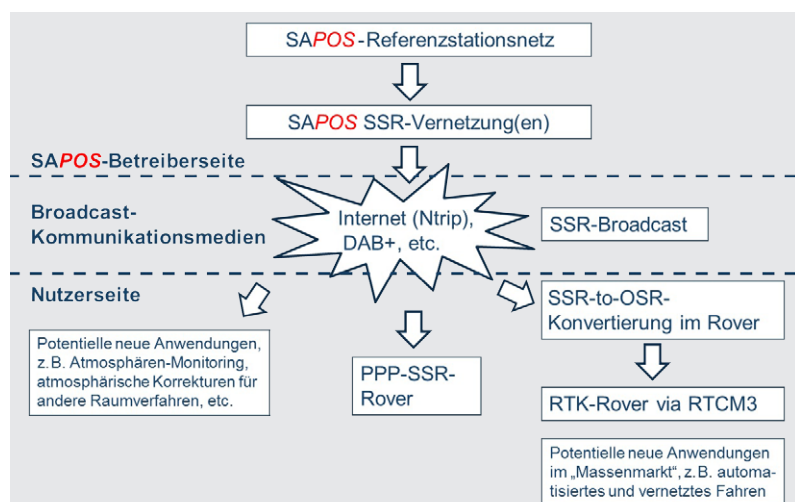


Abb. 8: Tendenzen und Potenziale von PPP-SSR

hat eine SAPOS-Projektgruppe 2016 eine prototypische SSR-Testumgebung aufgebaut. Alle interessierten Hard- und Software-Entwickler können nach Registrierung die hier in verschiedenen Ausbaustufen bereitgestellten SSR-Datenströme für eigene Entwicklungen prototypisch nutzen und so die weitere Verbreitung von SSR-Anwendungen forcieren.

In diesem Zusammenhang zeichnet sich beim »automatisierten und vernetzten Fahren« das Potenzial der Nutzung von SAPOS zur »Hochgenauen Fahrzeugnavigation« ab. Am 3./4.7.2017 wurde von Fraunhofer IIS und Bertrandt eine Live-Demo zum Thema »Automatisiertes Halten an der Stopplinie« in Regensburg durchgeführt. Neben Pressevertretern des Bayerischen Rundfunks waren Vertreter der Entwicklungsabteilungen der Automobilindustrie anwesend (z.B. Bosch und Continental Automotive). Bei der Live-Demo hielt ein Audi-Testwagen präzise an einer Stopplinie ausschließlich mittels präziser Satellitenpositionierung, d.h. die Stopplinie war in einer digitalen Karte hinterlegt. Im Auto selbst waren verschiedene Low-Cost-RTK-Empfänger verbaut, die RTK-Referenzdaten via Digital Radio DAB+ im Format RTCM3 erhielten. Die Referenzdaten wurden dabei vom bayerischen SAPOS-HEPS bereitgestellt (Virtuelle Referenzstation). Für die Etablierung im Massenmarkt ist aber die Nutzung von Broadcast-Korrekturen, die keine bidirektionale Kommunikation benötigen, vorteilhaft (SSR-Broadcast-Lösung), dies in Verbindung mit offenen Formaten (Standardisierung) und serienreifen Low-Cost-Empfängern auf Nutzerseite. Diese Entwicklung ist bisher noch prototypisch und sie ist vordringlich mit der Frage der Standardisierung und mit der Entwicklung von Konvertern verbunden, die die Nutzung vorhandener und preisgünstiger RTK-Rover-Hardware in den Fahrzeugen erlauben (Abb. 8). Deutschlandweite SSR-Korrekturen könnten so zukünftig unidirektional via DAB+ bereitgestellt werden. Ziel bleibt dabei die nutzerseitige Etablierung serienreifer, originärer PPP-Empfängersysteme, die mit einem offenen SSR-Standard arbeiten. Als Vergleich sei angeführt, dass Japan bereits heute mit dem Centimeter Level Augmentation Service des Quasi-Zenith Satellite System »QZSS CLAS« eine infrastrukturelle SSR-Grundversorgung anbietet (QZSS 2017).

Es bleibt abzuwarten, wie diese »Massenmarkt«-Entwicklungen die gesamte Korrekturdatenbereitstellung beeinflussen werden.

Literatur

- AdV (2006): Plenums-Beschluss 118/5 »Eckpunkte »Zukünftiges SAPOS«.
- AdV (2015a): AdV-Gebührenrichtlinie – AdV-GR, Version 3.0, vom 23.9.2015.
- AdV (2015b): Strategie der AdV zur Bereitstellung der Geobasisdaten über Geodatendienste. Version 1.0, Stand 17.8.2015.
- AdV (2017): Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland. Version 3.0. www.adv-online.de/AdV-Produkte/Festpunkte, letzter Zugriff 24.8.2017.

- ADV, BDVI (2005): Gemeinsame Positionspapiere von AdV und BDVI verabschiedet. www.geobasis-bb.de/verm_bb/pdf/1_11_Tilly_59-62.pdf, letzter Zugriff 27.7.2017.
- BGR (2017): Bodenbewegungsdienst Deutschland. www.bgr.bund.de/DE/Themen/GG_Fernerkundung/Projekte/laufend/Radar/BBD.html, letzter Zugriff 16.8.2017.
- DVW (Hrsg.) (2017): GNSS 2017 – Kompetenz für die Zukunft. DVW-Schriftenreihe, Band 87, Augsburg. <http://geodaesie.info/sr/gnss-2017-kompetenz-fuer-die-zukunft/6245/80>, letzter Zugriff 16.8.2017.
- Elsner, C., Hankemeier, P., Pahler, K., Rosenthal, G., Sorge, B. (2004): Ergebnis der Expertengruppe GPS-Referenzstationen im Arbeitskreis Raumbezug einschließlich weiterer Entwicklungen. AdV 2004. www.adv-online.de/adv-produkte/sapos/veroeffentlichungen-sapos, letzter Zugriff 2.8.2017.
- Feldmann-Westendorff, U., Liebsch, G., Sacher, M., Müller, J., Jahn, C.-H., Klein, W., Liebig, A., Westphal, K. (2016): Das Projekt zur Erneuerung des DHHN: Ein Meilenstein zur Realisierung des integrierten Raumbezugs in Deutschland. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 5/2016, 141. Jg. S. 354–367. DOI: 10.12902/zfv-0140-2016.
- Geobasis.NRW (2017): Details zum SAPOS-HEPS in Nordrhein-Westfalen. www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/raumbezug/sapos/heps/details_heps.pdf, letzter Zugriff: 25.8.2017.
- Heckmann, B., Berg, G., Heitman, S., Jahn, C.-H., Klauser, B., Liebsch, G., Liebscher, R. (2015): Der bundeseinheitliche geodätische Raumbezug – integriert und qualitätsgesichert. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 3/2015, 140. Jg., S. 180–184. DOI: 10.12902/zfv-0069-2015.
- Jahn, C.-H., Riecken, J., Trautvetter, C., Freitag, M., Kurtenbach, E., Fabian, G., Dick, H.-G.: Quo vadis SAPOS®? – Zukünftige Entwicklungen des Positionierungsdienstes der Landesvermessung. In: DVW e.V. (Hrsg.): GNSS 2017 – Kompetenz für die Zukunft. DVW-Schriftenreihe, Band 87, Augsburg. <http://geodaesie.info/sr/gnss-2017-kompetenz-fuer-die-zukunft/6245/80>, letzter Zugriff 16.8.2017.
- QZSS (2017): Informationsseite. http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv06_clas.html, letzter Zugriff 24.8.2017.
- Riecken, J., Ruf, B. (2013): Die Integration von GLONASS in SAPOS® – Eine Blaupause für Galileo! In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 6/2013, 138. Jg., S. 385–390.
- Rubach, J., A. Brünner, H.-G. Dick, U. Feldmann-Westendorff, E. Kurtenbach, P. Wagenführ (2015): Das SAPOS-Qualitätsmanagement der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. www.adv-online.de/AdV-Produkte/SAPOS/Veroeffentlichungen-SAPOS, letzter Zugriff 27.7.2017.
- SAPOS (2017): Qualitätsbericht 2017. www.adv-online.de/AdV-Produkte/SAPOS/Veroeffentlichungen-SAPOS, letzter Zugriff 27.7.2017.
- Winter, V. (2017): Eine Untersuchung zur praktischen Genauigkeit der Höhenbestimmung mittels SAPOS (GNSS) nach Einführung des GCG2016 als Komponente des integrierten geodätischen Raumbezug 2016. Bachelorarbeit Universität Bonn, 8.6.2017.
- Wübbena, G., Schmitz, M., Bagge, A. (2015): 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. Abstract: www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=6467, letzter Zugriff 27.7.2017.

Kontakt

Dr.-Ing. Jens Riecken
Leiter des Arbeitskreises Raumbezug der AdV
c/o Bezirksregierung Köln, Geobasis.NRW
jens.riecken@bezreg-koeln.nrw.de

Dr.-Ing. Enrico Kurtenbach
Leiter der Projektgruppe »SAPOS Qualitätsmanagement« des Arbeitskreises Raumbezug der AdV
c/o Bezirksregierung Köln, Geobasis.NRW
enrico.kurtenbach@bezreg-koeln.nrw.de

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