

# Ein neuer Satellitenpositionierungsdienst für Deutschland

Jens Riecken und Paul Becker

## Zusammenfassung

Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und die Bundesländer prüfen die Möglichkeit, gemeinsam einen neuen Satellitenpositionierungsdienst zu etablieren. Dieser Dienst soll auf dem Verfahren der Präzisen Einzelpunkt-Bestimmung (Precise Point Positioning (PPP)) basieren und mit einem regionalen GNSS-Netz verdichtet werden. Damit würde die PPP-Lösung um einen Real Time Kinematik-Ansatz (RTK) erweitert werden. Die neue PPP-RTK-Anwendung soll nach Möglichkeit die Vorteile des globalen PPP-Dienstes (Broadcast-Fähigkeit und Datenraten-Effizienz) mit den Vorteilen des regionalen Netz-RTK-Dienstes so vereinen, dass mittels PPP-Technologie Zentimeter-Echtzeit-Genauigkeit mit kurzen Konvergenzzeiten erreicht werden kann und damit zusätzliche Nutzungen im »Massenmarkt« der präzisen Navigation ermöglicht werden. Perspektivisch könnte dieser Dienst dann auch den etablierten SAPOS-HEPS ersetzen.

## Summary

*The Federal Agency for Cartography and Geodesy and the German Länder are examining the possibility of jointly establishing a new satellite positioning service. This service will be based on the method of precise point positioning (PPP) in a regional GNSS networks. This would extend the PPP solution by a Real Time Kinematics (RTK) approach. It is the goal, to combine the advantages of the global PPP service (broadcast capability and data efficiency) with the advantages of the regional network RTK service. In such a way PPP technology should achieve centimeter real-time accuracy with short convergence times. Uses in the mass market of precise navigation*

Abb. 1: Beiträge zur globalen geodätischen Beobachtungsinfrastruktur: Die kombinierte Infrastruktur ermöglicht die Bestimmung der globalen geodätischen Referenzrahmen sowie die Bestimmung des Schwerefelds und der Rotation der Erde. Die geodätischen Raumverfahren Globales Navigationssatellitensystem (GNSS), Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Satellite Laser Ranging (SLR), Lunar Laser Ranging (LLR) und Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) kommen zum Einsatz. Die Bodennetze und Navigationssatelliten sind entscheidend für die Aufrechterhaltung des Referenzrahmens, der für eine hochgenaue Positionierung erforderlich ist. Die LEO-Satelliten (Low Earth Orbit) überwachen den Meeresspiegel (mit Satellitenaltimetrie), die Eisdecke, die Wasserspeicherung an Land, den atmosphärischen Wassergehalt, die hochauflösende Oberflächenbewegung und Schwankungen des Schwerefelds der Erde.

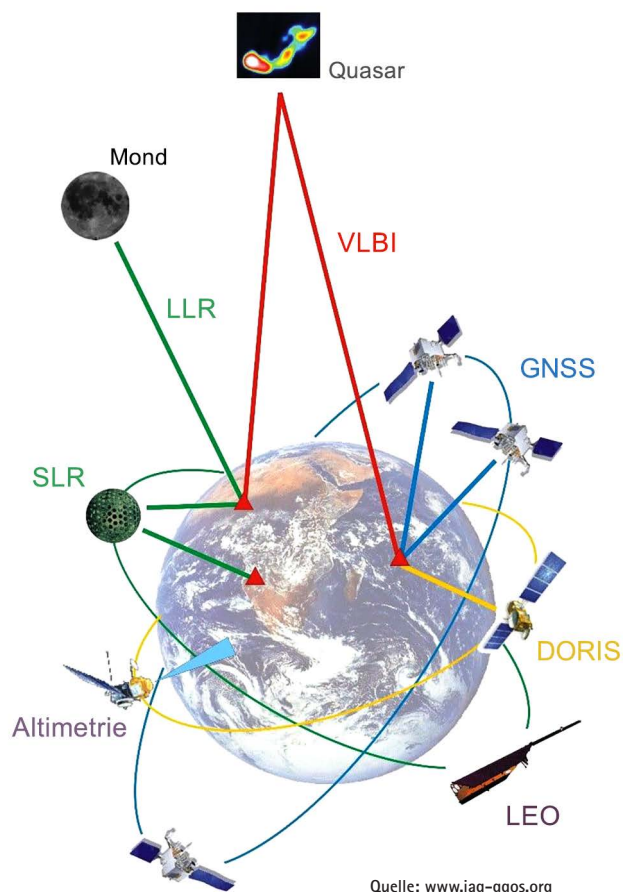
*will be possible. In the future, this service could also replace the established SAPOS-HEPS.*

**Schlüsselwörter:** SAPOS, GNSS, Raumbezug, Qualitätsmanagement, PPP-RTK

## 1 Einleitung

Die globalen Satellitenpositionierungssysteme (Global Navigation Satellite Systems (GNSS)) ermöglichen vielfältige Nutzungen, die vor wenigen Jahren noch undenkbar waren und die heute und in Zukunft ganz neue interdisziplinäre Denkansätze erlauben. Aufgrund der hohen Positionierungsgenauigkeit und einfachen Nutzung, die sich mittels GNSS erreichen lassen, haben sich diese Systeme neben ihrer Rolle bei geodätischen Anwendungen auch zu einem Instrument für Logistik, Transport, Luftfahrt und standortbezogene Dienste (Location Based Services) entwickelt.

Den vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten einer präzisen Satellitennavigation steht jedoch ein beträchtlicher



Aufwand auf der Seite der Betreiber der Systeme und Dienste gegenüber. Die zu bestimmende Position des Anwenders leitet sich im Wesentlichen aus der Position der sich auf ihren Flugbahnen bewegendem Satelliten ab. Dazu ist die fortwährende genaue Bestimmung und Vorhersage dieser Satellitenflugbahnen notwendig, die nur mit Hilfe von global verteilten geodätischen Observatorien und permanenten GNSS-Stationen und Analysezentren realisiert werden können. In Deutschland verfügt das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie in Wettzell im Bayerischen Wald über ein solches Observatorium.

Um alle notwendigen Parameter zur Bestimmung der Satellitenbahnen zu erhalten und diese zuverlässig berechnen zu können, werden auf geodätischen Observatorien unterschiedliche Messtechniken angewandt. Bedenkt man zum Beispiel, dass die sich um die Erde bewegendem Satelliten mit dieser nicht fest verbunden sind, die Erde aber selber im Raum unterschiedlichen Bewegungen wie der Erdrotation ausgesetzt ist, müssen solche Bewegungen ebenfalls erfasst und berücksichtigt werden. Zur Bestimmung dieser Erdorientierungsparameter wird das Verfahren der Very Long Baseline Interferometry (VLBI) angewandt. Auch weitere Messtechniken, wie das Satellite Laser Ranging (SLR), welches mittels Laufzeitmessungen von ausgestrahlten Laserpulsen die Entfernung zwischen Erde und Satellit bestimmt, kommen zum Einsatz. Die Analyse und Kombination dieser Messverfahren liefert die Grundlage, auf der die Positionierung mittels GNSS aufbaut.

Stellt man an die Positionierung höhere Genauigkeitsanforderungen als mit offenen Diensten der GNSS-Betreiber erreichbar sind, gewöhnlich besser als 5 bis 10 m, muss durch einen Positionierungsdienstbereitsteller ein zusätzlicher Aufwand betrieben werden. Bei Genauigkeitsanforderungen, die im Dezi- oder gar Zentimeterbereich liegen, ist zusätzlich die Anwendung von Korrekturverfahren notwendig. Dabei werden die direkt von den Satelliten ausgestrahlten Signale durch ein verdichtetes RTK-Netz von permanenten GNSS-Stationen mit bekannter Position in Echtzeit beobachtet und aus den ermittelten Ungenauigkeiten gegenüber der bekannten Position Korrekturen zu den ausgestrahlten Signalen berechnet.

Dies kann grundsätzlich entweder durch differenzielle Positionierung (DGNSS) erfolgen, indem direkt die Beobachtungen physischer oder virtueller Referenzstationen genutzt werden (Observation State Representation (OSR)), oder durch das Anbringen von aus einem Stationsnetz berechneten Korrekturparametern einzelner Fehlerquellen (State Space Representation (SSR)) im Verfahren der präzisen Einzelpunktbestimmung (PPP).

Beide Verfahren haben Stärken und Schwächen. Mit einem neuen Verfahren sollen die Stärken beider Ansätze genutzt werden. Dieser Precise Point Positioning – Real Time Kinematic (PPP-RTK) genannte Ansatz wird zahlreiche neue Massenmarktanwendungen, z. B. zur Positionierung und Kontrolle autonomer Fahrzeuge sowie generell zur Maschinensteuerung, erlauben.

## 2 PPP, der globale Positionierungsdienst

Bei dem PPP-Verfahren, an dessen Entwicklung und Verbreitung sich das BKG seit Jahren aktiv beteiligt, handelt es sich um ein absolutes Positionierungsverfahren. Mittels Berechnung von Korrekturen zu den aus GNSS direkt ausgestrahlten Signalen kann eine deutliche Verbesserung der Positionierung und damit schon eine recht genaue Navigation auf der gesamten Erde ermöglicht werden. Die erreichbare Genauigkeit liegt bei wenigen Zentimetern (Abb. 5).

Der für PPP grundlegende Ansatz beruht auf der »Modellierung aller Fehleranteile«. Dabei werden ursprüngliche Fehleranteile der absoluten Positionierung durch in Echtzeit (z. B. über das Internet oder Broadcast-Verfahren) ausgestrahlte Satellitenbahndaten und Uhrenkorrekturen deutlich reduziert. Es handelt sich also um die Positionierung eines Rovers mit Hilfe von Zustandsinformationen des Satellitensignalraumes (SSR). Darunter fallen neben den genannten Satellitenbahn- und Uhrenkorrekturen z. B. atmosphärische Korrekturen der Iono- und Troposphäre. Charakteristisch für das PPP-Verfahren ist, dass man von dem Ansatz, alle Korrekturen in Bezug auf die Messungen der Referenzstationen summarisch im Beobachtungsraum (OSR) zu betrachten (DGNSS), abkehrt und die jeweiligen Fehleranteile einzeln modelliert. Zum Generieren der Korrekturen im Zustandsraum werden global verteilte Referenzstationen benötigt. Je engermaschiger die Referenzstationen verteilt sind, desto besser werden die regionalen und lokalen Einflüsse im Zustandsraum repräsentiert. Im Gegensatz zu dem etablierten DGNSS-Verfahren, das derzeit im Katasterwesen angewandt wird, kann man heutzutage die erforderliche Genauigkeit von 1 bis 2 cm mit dem PPP-Ansatz noch nicht erreichen.

## 3 SAPOS, der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung

Der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung SAPOS wurde Mitte der 1990er Jahre konzipiert und vor knapp 20 Jahren bundesweit eingeführt. SAPOS wurde als Infrastrukturmaßnahme des Staates durch die Bundesländer und als Substitut der herkömmlichen (Lage-)Festpunktfelder eingerichtet.

Die Kernklientel dieses staatlichen Positionierungsdienstes ist das deutsche Liegenschaftskataster, da mit dem SAPOS-HEPS-Dienst die erforderliche Lagegenauigkeit von 1 bis 2 cm erreicht wird. SAPOS hat die geodätischen Messverfahren und die Implementierung und Bereitstellung eines amtlichen Raumbezugssystems maßgeblich verändert und als erster multifunktionaler differenzieller GNSS-Dienst den Aufbau und die Entwicklung vergleichbarer Dienste in ganz Europa und darüber hinaus wesentlich beeinflusst. Der Markenname SAPOS wurde 1997 beim Deutschen Patentamt eingetragen. Die Akzeptanz von SAPOS wird auch durch das gemeinsame

Tab. 1: SAPOS und Open Data, Stand 2020

Bundesland	Open Data (Jahr)	Sonderkondition Landwirtschaft
Baden-Württemberg	2020	
Bayern		Ja
Berlin	2015	
Brandenburg	2020	
Bremen	2019	
Hamburg		
Hessen	2019	
Mecklenburg-Vorpommern		
Niedersachsen	2019	
Nordrhein-Westfalen	2018	
Rheinland-Pfalz		Ja
Saarland		Ja
Sachsen	2019	
Sachsen-Anhalt		Ja
Schleswig-Holstein		Ja
Thüringen	2017	

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 und andererseits aus der Bereitstellung des amtlichen Raumbezugs im Rahmen des gesetzlichen Auftrags der Länder ab. Für eine Betrachtung des SAPOS als Geodateninfrastrukturkomponente sei auf Riecken und Kurtenbach (2017) verwiesen.

Die fast ausschließliche Nutzung des SAPOS für Liegenschaftsvermessungen änderte sich mit Beschluss der Agrarministerkonferenz am 31.03.2017. Diese forderte zur Stärkung der Innovation und Digitalisierung der Landwirtschaft, »dass die Daten und Korrektursignale des

Satellitenpositionierungsdienstes SAPOS im Sinne von Open Data der Wirtschaft kostenfrei zur Verfügung gestellt werden, um die Potenziale von Smart Farming, wie z. B. Verbesserung der Ressourceneffizienz und Ressourcenschutz, schneller realisieren zu können« (Agrarministerkonferenz 2017). In der Folge wird SAPOS in fast allen Bundesländern zu Sonderkonditionen für die Landwirtschaft und zunehmend auch als Open Data für jedermann bereitgestellt. Mit Stand Mitte 2020 stellt sich dieses wie in Tab. 1 dar.

Dabei wird SAPOS mit einem deutlich anderen Nutzerverhalten konfrontiert. Das zeigt sich am Beispiel Nordrhein-Westfalens, das nach einem Jahr Open Data bereits mehr Nutzung in der Landwirtschaft als für Liegenschaftsvermessungen aufweist. Darüber hinaus ist auch das eigentliche Nutzungsverhalten in der Landwirtschaft signifikant anders und startet und endet häufig mit dem Gebrauch der jeweiligen Landmaschine (Abb. 2 rechts). Im März 2020 verzeichnete der SAPOS-HEPS-Dienst in Nordrhein-Westfalen teilweise 1.000 parallele Einwahlen bei bis zu 13.000 Einwahlen am Tag. Auf die landwirtschaftliche Nutzung entfallen dabei über 80 %. In Abb. 3 sind deutlich die landwirtschaftlich genutzten Flächen in Nordrhein-Westfalen im Gegensatz zu den Waldgebieten im südöstlichen Landesteil zu erkennen.

#### 4 Hochgenaue Positionierung: PPP-RTK-Technik

SAPOS arbeitet nach dem Grundprinzip der differenziellen Positionierung mit GNSS. Für die SAPOS-Referenzstationen werden zum einen hochgenaue räumliche 3D-Koordinaten bestimmt (Sollpositionen). Zum anderen werden auf diesen Stationen ständig absolute GNSS-Positionsbestimmungen durchgeführt, sodass die Differenz der Distanzen vom Satellit zum Empfänger (Soll-Ist) ermittelt und als Korrektur an benachbarte Satellitenempfänger weitergegeben werden kann. Dies erfolgt nahezu in Echtzeit und ist die Basis für das »RTK-Verfahren«.

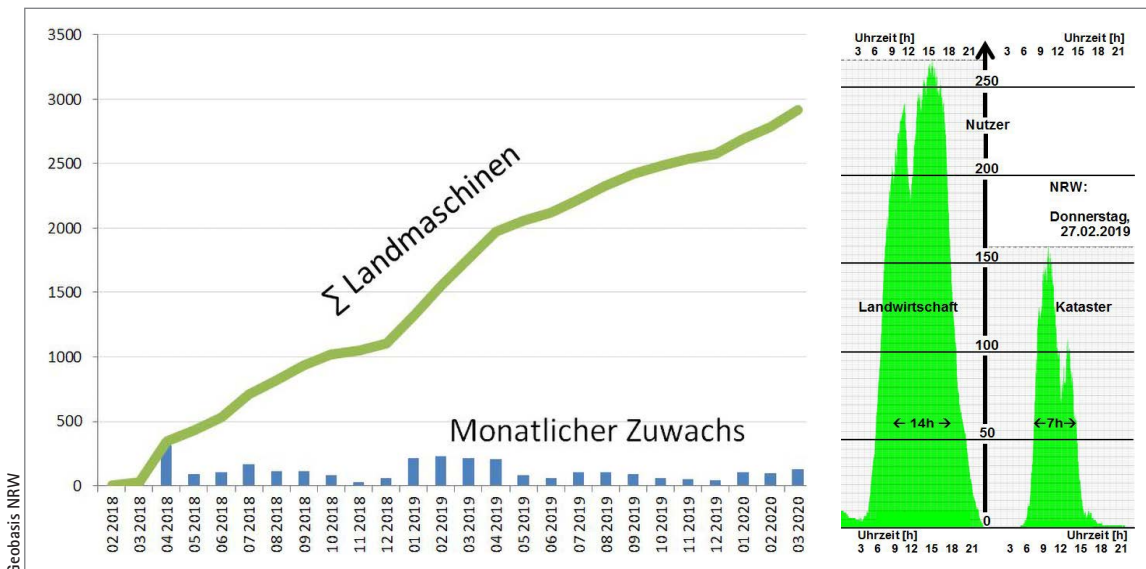


Abb. 2: Nutzung und Nutzerverhalten von SAPOS in der Landwirtschaft

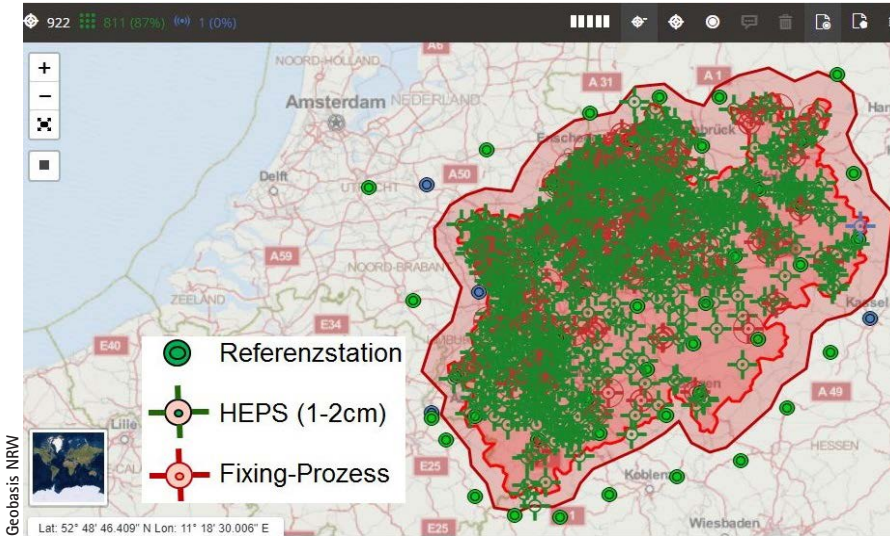


Abb. 3: SAPOS-HEPS-Nutzung, März 2020

Die Korrekturdaten werden den Anwendern im Feld über digitale Kommunikationswege (insbesondere über mobiles Internet) zur Verfügung gestellt.

Eine Schwäche des heutigen Netz-RTK-Verfahrens, auf dem SAPOS-HEPS basiert, ist die Notwendigkeit einer bidirektionalen Kommunikation zwischen dem Nutzer im Feld und der Vernetzungszentrale. Dies bedingt, dass man in der Praxis auf die Nutzung des mobilen Internets (Ntrip) bzw. Mobilfunks beschränkt ist. Die Verfügbarkeit des mobilen Internets ist im ländlichen Raum oder bei Überlastung der Mobilfunkzelle ein limitierender Faktor von Netz-RTK-Diensten. Bidirektionale Netz-RTK-Dienste sind außerdem im Hinblick auf die steigende Anzahl an Echtzeit-Zentimeter-Anwendungen und Nutzern nur begrenzt skalierbar.

Die Weiterentwicklung von satellitengestützten Positionierungsverfahren konzentriert sich auf die Technik

des »PPP« zur genauen, quasi absoluten Positionsbestimmung mittels GNSS. Für die hochgenauen Anforderungen des Liegenschaftskatasters von 1 bis 2 cm in der Lage müssen auch kleinräumige atmosphärische Einflüsse (Iono- und Troposphäre) modelliert werden. Diese können z.B. aus regionalen Netzen wie der SAPOS-Infrastruktur abgeleitet werden.

Abb. 4 zeigt die gegenwärtigen und das mögliche zukünftige Verfahren der hochgenauen satellitengestützten Positionierung. Der untere Bereich (grün) zeigt die »klassische« Situation, bei der Daten der Referenzstationen in den Vernetzungszentralen gesammelt, bearbeitet (Mehrdeutigkeitslösung) und differenzielle Korrekturdaten bereitgestellt werden. Der Nutzer positioniert sich bezüglich der nächsten Referenzstation. Im oberen Bereich ist das globale PPP-Verfahren skizziert. Gestrichelt ist das Zielmodell dargestellt, bei dem neben den Daten globaler vor allem die Informationen regionaler Netze gemeinsam in PPP-RTK-Ansätzen verwendet werden und zu hochgenauen Lösungen führen. PPP-RTK-Anwendungen vereinen die Vorteile regionaler Netz-RTK-Dienste (kurze Konvergenzzeiten und Zentimeter-Echtzeit-Genauigkeit) mit denen globaler PPP-Dienste (Broadcast-Fähigkeit und Datenraten-Effizienz). Darüber hinaus ermöglichen sie die Nutzung neuer Übertragungswege, zum Beispiel des DAB+ und des mobilen Internets (Ntrip/5G) und damit auch neue Massenmarktanwendungen.

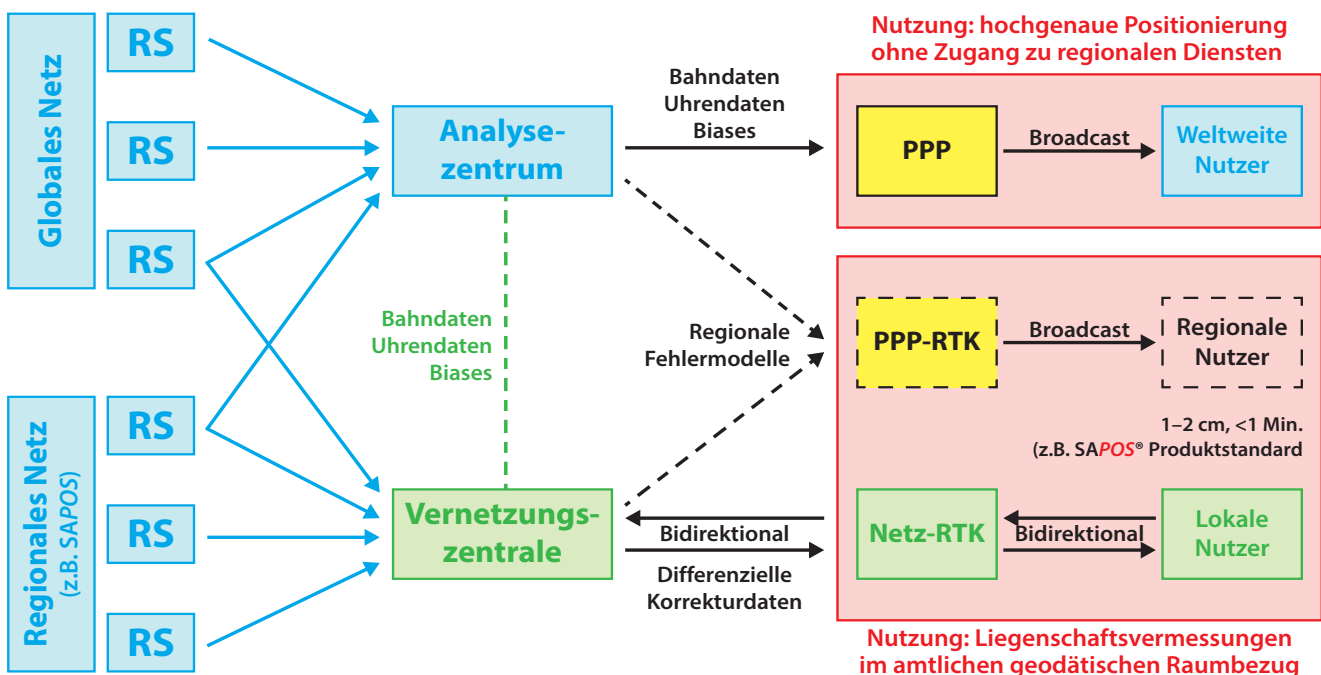


Abb. 4: PPP-RTK-Anwendungen

## 5 Erwartungen an einen PPP-RTK-Positionierungsdienst als Bund-Länder-Entwicklung

Für die Länder stellen das koordinatenbasierte Liegenschaftskataster zur Sicherung des Grundeigentums sowie die effiziente Durchführung der dazu erforderlichen Liegenschaftsvermessungen die entscheidende Legitimation für den Betrieb und die Bereitstellung des amtlichen Satellitenpositionierungsdienstes SAPOS dar. Hierfür ist die Genauigkeit des derzeitigen HEPS-Dienstes (Lage/Höhe 1–2 cm/2–3 cm in Echtzeit) der aktuelle und auch künftig erforderliche Standard (AdV 2019).

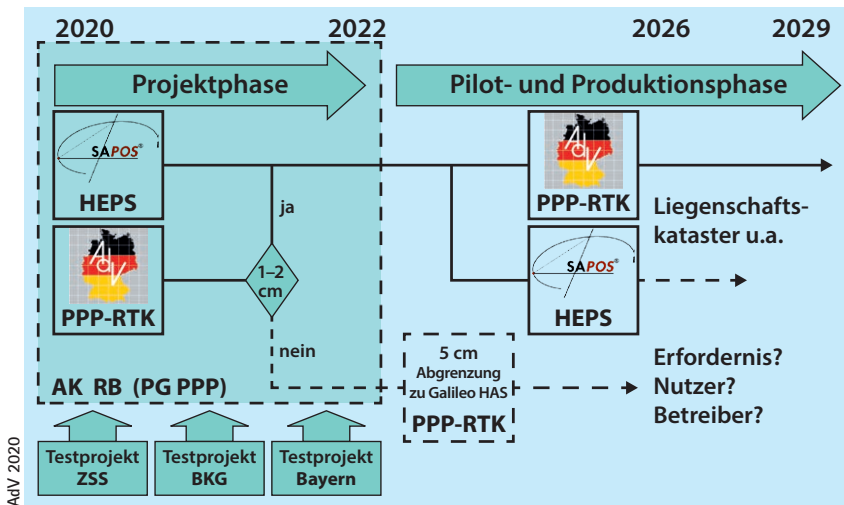


Abb. 5: Skizze für die Einführung eines PPP-RTK-Dienstes

Die Anforderungen der Nutzer aus dem Bereich des Bundes an einen neuen Positionierungsdienst sind heterogen. Es gibt Behörden, die ebenfalls sehr hohe Erwartungen im Bereich der Genauigkeit haben. Für viele andere Nutzer, vor allem aus dem Sicherheitsbereich, reicht hingegen eine Genauigkeit im Zentimeter- bis Dezimeterbereich in der Regel aus. Dafür werden aber hohe Integritätsanforderungen gestellt. Die Länge der Konvergenzzeit ist für eine Reihe von Nutzern ebenfalls ein wichtiges Kriterium. Derzeit nutzen die Bundesbehörden eigene Lösungen, SAPOS oder kommerzielle Dienste privater Anbieter. Ein gemeinsamer Bund-Länder-Dienst würde die Nutzung des einheitlichen geodätischen Raumbezugs und einheitliche Standards ermöglichen und gleichzeitig höchste Genauigkeit garantieren.

Vor diesem Hintergrund hat die AdV erkannt, dass ein Bedarf an einem deutschlandweit bereitgestellten PPP-RTK-Dienst besteht. Sie wird die Machbarkeit und Umsetzung für den Geodätischen Raumbezug gleichwertig dem SAPOS-HEPS als gemeinsame Bund-Länder Entwicklung prüfen und nach Möglichkeit umsetzen.

So soll, basierend auf existierenden PPP-Projekten des BKG, der zentralen Stelle SAPOS (ZSS) und der Landesvermessung Bayerns, eine Machbarkeitsstudie und darauf aufbauend, wenn möglich, ein Umsetzungskonzept für einen endgültigen PPP-RTK-Dienst erarbeitet werden. Der zu entwickelnde PPP-RTK-Dienst ist bis auf weite-

res als Paralleldienst zum etablierten SAPOS-HEPS zu sehen. Dies stellt auch die Planungssicherheit bestehender HEPS-Kunden zur Nutzung ihrer GNSS-Empfänger sicher. Gleiches gilt für den PPP-Dienst des BKG.

## 6 Ausblicke

GNSS beschleunigt seit Jahren die Georeferenzierung von Geodaten. Für den Fall der Realisierung eines neuen PPP-RTK-Dienstes öffnet sich die amtliche deutsche Vermessung einer Zukunftstechnologie und erschließt zusätzlich Nutzungen im »Massenmarkt« der präzisen Navigationsanwendungen mit beträchtlichen Ausmaßen. Die Kommunikationstechnik der Broadcast-Bereitstellung ist prädestiniert für Open Data. Daher ist abzusehen, dass die aktuellen Entwicklungen zur kostenfreien Bereitstellung von GNSS-Korrekturdiensten nochmals verstärkt werden. Dabei werden die Anforderungen an eine (Mehrfach-)Redundanz steigen, da Massenmarktanwendungen wesentlich ausfallsicherer sein müssen.

### Dank

gilt den Mitgliedern der Task Force PPP-RTK der AdV, Dr. Cord-Hinrich Jahn und Dr. Lena Albert (ZSS, NI), Dr. Johannes Bouman (BKG), Dr. Gunter Liebsch (BKG), Bernhard Heckmann (HE) und Martin Freitag (BY), die die Skizze für einen künftigen PPP-RTK-Dienst erarbeitet haben und auch den Mitgliedern der AdV-Projektgruppe »Precise Point Positioning« und Dr.-Ing. Yüksel Altiner (BKG).

### Literatur

- AdV, BDVI (2005): Gemeinsame Positionspapiere von AdV und BDVI verabschiedet.
- AdV (2019): Produktdefinition SAPOS, Version 8, Stand: 19.08.2019. [www.adv-online.de](http://www.adv-online.de), letzter Zugriff 06/2020.
- AdV (2020): Bericht der Task Force PPP-RTK (J. Riecken, C.-H. Jahn, L. Albert, J. Bouman, G. Liebsch, B. Heckmann, M. Freitag): Entwicklung eines PPP-RTK-Dienstes mit hoher Positionsgenauigkeit und kurzer Konvergenzzeit. Unveröffentlicht.
- Agrarministerkonferenz (2017): Ergebnisprotokoll vom 31.03.2017. [www.agrarministerkonferenz.de/documents/finales-ergebnisprotokoll\\_amk\\_hannover\\_ohneunterschriften\\_stand130407\\_1510304147.pdf](http://www.agrarministerkonferenz.de/documents/finales-ergebnisprotokoll_amk_hannover_ohneunterschriften_stand130407_1510304147.pdf).
- Riecken, J., Kurtenbach, E. (2017): Der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung – SAPOS®. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 5/2017, 142. Jg., 293–300. DOI: 10.12902/zfv-0180-2017.

### Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Paul Becker  
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie  
[paul.becker@bkg.bund.de](mailto:paul.becker@bkg.bund.de)

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