

Die Integration von GLONASS in SAPOS® – Eine Blaupause für Galileo!

Jens Riecken und Bernhard Ruf

Zusammenfassung

In Nordrhein-Westfalen wurde bei der Einführung von GLONASS in den Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS®) ein Hardwareredundanzkonzept umgesetzt, das in Analogie auch auf die künftige Integration des europäischen Systems Galileo übertragbar ist.

Summary

In North-Rhine Westphalia SAPOS® – the Satellite Positioning Service of the German National Survey – was extended to GLONASS by implementing a redundant hardware concept. By analogy the future integration of the European system Galileo could be realised.

Schlüsselwörter: SAPOS®, GLONASS, Galileo, geodätischer Raumbezug

1 Motivation für den Ausbau SAPOS®-NW und Einführung von GLONASS

1.1 SAPOS® in Deutschland

Dem Grundsatzbeschluss der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepu-

blik Deutschland für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens (AdV 2004) folgend, hat die deutsche Vermessungsverwaltung mit der Einführung des ETRS89 und der Nutzung des Satellitenpositionierungsdienstes (SAPOS®) im geodätischen Raumbezug in Deutschland einen Umbruch eingeleitet. Mit SAPOS® wird die 200-jährige Konzeption der Hierarchiestufen in geodätischen Netzen überwunden, da SAPOS® flächendeckend und hochaktuell als Echtzeitdienst den Raumbezug mit der erforderlichen cm-Koordinatengenauigkeit für das Liegenschaftskataster bereitstellt. SAPOS® leistet damit den wesentlichen Geodateninfrastrukturbeitrag des geodätischen Raumbezugs. Die Bundesländer verzichten folgerichtig auf das klassische Lagefestpunktfeld und dünnen den geodätischen Raumbezug im Bereich der Festpunktfelder aus. Nordrhein-Westfalen hat die Pflege der rund 27.000 Trigonometrischen Punkte im bestehenden Festpunktfeld vollständig eingestellt und führt diese Informationen ausschließlich als historischen Nachweis (Riecken 2010). Unter Berücksichtigung der Vorgaben der in der Entwurfsfassung vorliegenden »Richtlinie für den einheitlichen geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland« (AdV-Arbeitskreis Raumbezug 2013) werden in Nordrhein-Westfalen seit 2013 nur noch 66 Geodätische Grundnetzpunkte (GGP) (Abb. 1) geführt.

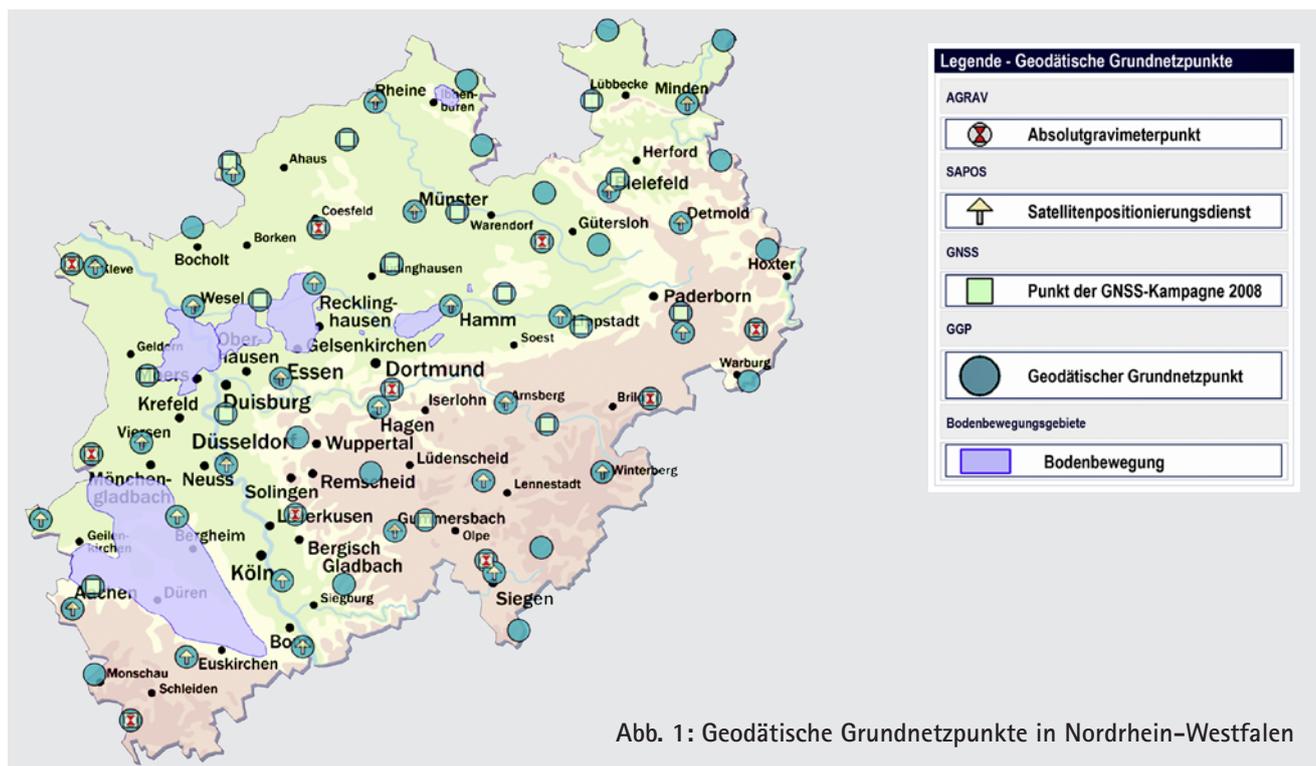


Abb. 1: Geodätische Grundnetzpunkte in Nordrhein-Westfalen

2006 hat die AdV beschlossen (AdV 2006), dass SAPOS® zukünftig die Satellitennavigationssysteme GPS, Galileo und GLONASS nutzen soll, also die Aufgabenerfüllung des amtlichen Vermessungswesens dem Fortschritt von Wissenschaft und Technik anzupassen ist, so wie sie in § 1 des nordrhein-westfälischen Vermessungs- und Katastergesetzes definiert ist.

1.2 SAPOS® in Nordrhein-Westfalen

Seit der NW-Pilotvernetzung in 2001 und der Einführung des Regelbetriebs in 2003 erfuh SAPOS® NW eine rasant steigende Nutzerakzeptanz (Abb. 2). Dazu trugen

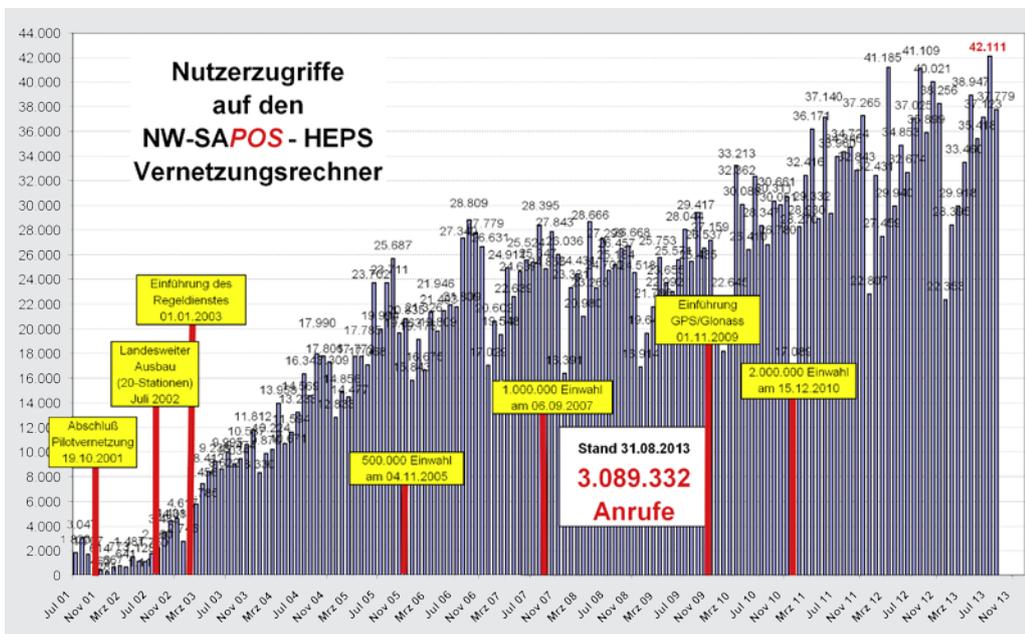


Abb. 2: Nutzung SAPOS® in Nordrhein-Westfalen

auf Anwenderseite eine verbesserte Roverhardware, verbunden mit einer einfacheren Handhabung, einer schnelleren Punktbestimmung und eine daraus resultierende Kostenersparnis bei. So benutzten nach der aktuellen statistischen Jahresabfrage 2012 über 90 Prozent aller Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure in Nordrhein-Westfalen SAPOS®, teilweise mit mehreren Geräten/Messtrupps – Tendenz weiter steigend. Insgesamt waren in der SAPOS® NW-Vernetzungszentrale mit Stand 2013 knapp über 1.000 Nutzer im SAPOS®-HEPS (Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service), überwiegend für Liegenschaftsvermessungen, registriert.

Deutlich sind die jahreszeitlichen Schwankungen (Ur-lauszeiten) zu erkennen.

2 Integration von GLONASS und Galileo

2007 stand die auf den 27 nordrhein-westfälischen Referenzstationen (Abb. 1) genutzte GNSS-Hardware nach mehrjährigem Gebrauch vor einer technischen Erneue-

rung, die mit der Integration von GLONASS als russischem Pendant zum amerikanischen GPS verbunden werden sollte. Die Hinzunahme von GLONASS versprach eine höhere Zuverlässigkeit und ließ eine Genauigkeitssteigerung in der Höhenkomponente erwarten, so wie bei einer künftigen Integration von Galileo (Hofmann-Wellen-2013). Die zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erfahrungen innerhalb der SAPOS®-Dienstbetreiber in den Bundesländern zeigten auch, dass allein der Ersatz der alten GNSS-Hardware, insbesondere der Antenne, keinen spannungsfreien Positionsübergang am alten GNSS-Standort garantieren kann. Zu häufig war es bei Antennenwechseln am selben Standort zu ungewünschten »scheinbaren Koordinatenänderungen« gekommen, insbesondere in der Höhenkomponente.

Für die Erweiterung um GLONASS und die Notwendigkeit, später das zukünftige europäische System Galileo einzubinden, wurde daher in Nordrhein-Westfalen eine Hardware-Redundanz umgesetzt, indem jede Station um einen zweiten Antennenstandort für die Systeme GPS/GLONASS (G2) erweitert wurde (Abb. 3). Die Redundanz hatte auch das Ziel, den nach der Umstellung auf G2 nicht mehr aktiven Antennenstandort G1 bei der Um-

stellung auf GPS/GLONASS/Galileo (G3) erneut nutzen zu können. Der zweite Antennenstandort bot zudem die einmalige Chance, die historisch gewachsene, an vielen GPS-Standorten (G1) vorhandene Uneinheitlichkeit hinsichtlich Antennenbefestigung, Antennenträger und Hardware zu beheben. Die Unterscheidung G1 (GPS, zusätzlich in Nordrhein-Westfalen »alter« Standort) und



Abb. 3: Referenzstation Düsseldorf – Antennenstandorte: links: G1 (GPS); rechts: G2 (GPS/GLONASS)

Tab. 1: Höhenrestklaffen in Gummersbach und Winterberg im November 2008

Station	Antenne am G1-Standort	Antenne am G2-Standort	Beobachtungszeitraum	Restklaffen Höhe (Mittel)
Gummersbach	Zephyr1 ohne Dome		01.01.2008 – 15.11.2008	- 2 mm
		Zephyr2 ohne Dome	11.09.2008 – 15.11.2008	- 3 mm
	Zephyr1 ohne Dome		24.11.2008 (Schnee)	+ 68 mm
		Zephyr2 ohne Dome	24.11.2008 (Schnee)	+ 56 mm
Winterberg	Zephyr1 mit Dome		01.01.2008 – 15.11.2008	- 7 mm
		Zephyr2 ohne Dome	12.11.2008 – 20.11.2008	- 12 mm
	Zephyr1 mit Dome		21.11.2008 (Schnee)	- 4 mm
		Zephyr2 ohne Dome	21.11.2008 (Schnee)	+ 83 mm

G2 (GPS/GLONASS, zusätzlich in Nordrhein-Westfalen »neuer« Standort) findet sich ähnlich in der unter www.adv-online.de veröffentlichten Produktdefinition zu SAPOS®-HEPS (AdV-Arbeitskreis Raumbezug 2013).

Die Erfahrungen mit den Stationseinrichtungen im G1-Netz führten zu einer grundlegenden Neuausrichtung des Referenzstationsaufbaus. Soweit es die Örtlichkeit zuließ, wurde das engere Antennenfeld einheitlich gestaltet. Die Antennenbefestigung (Mast) am Gebäude sollte aus demselben Material bestehen und dasselbe Profil/denselben Querschnitt aufweisen. Als Antennenhalterung hatte sich in den letzten Jahren innerhalb von SAPOS® der sogenannte Bämpfer-Dreifuß aufgrund seiner besonderen Eignung durchgesetzt. Dieser Dreifuß ist eine Eigenentwicklung aus dem feinmechanischen Labor der TU Hannover. Der Aufbau der G2-Antennenmasten, die Leitungsinstallation etc. erfolgte in Nordrhein-Westfalen ab Mai 2008 auf allen 27 Referenzstationen.

Für die Erneuerung der GNSS-Hardware wurden GNSS-Empfänger der Firma Trimble (NetR5) und Trimble-GNSS-Antennen (Zephyr Geodetic II, ohne Radome) inklusive individueller absoluter GPS-Kalibrierung beschafft. Die damit aufgerüsteten G2-Standorte wurden schrittweise ab September 2008 in ein vorläufiges Koordinaten-Monitoring aufgenommen. Der erste starke Schneefall in der zweiten Novemberhälfte 2008 führte jedoch zu ungewöhnlich großen Höhenrestklaffen im Vergleich zu den amtlich geführten Koordinaten bei den Referenzstationen Gummersbach und Winterberg (Tab. 1).

Die G1- und G2-Antennen zeigten bei beiden Stationen im Langzeit-Monitoring keine Auffälligkeiten in den Höhen. An den Schneetagen waren jedoch für die Zephyr1 ohne Dome und die Zephyr2-Antennen deutlich höhere Restklaffen festzustellen. Das galt in dieser starken Ausprägung im November 2008 nur für diese zwei Standorte in Nordrhein-Westfalen. Dienstbetreiber in anderen Bundesländern, die denselben Antennentyp, jedoch mit Radome, beschafft hatten, berichteten von geringeren Restklaffen, sodass jede G2-Antenne in Nordrhein-Westfalen um eine Radome-Wetterschutzhaube ergänzt wurde.

Die Kalibrierung der beschafften Antennen umfasste seinerzeit nur die individuelle GPS-Kalibrierung auf dem Roboter der Firma Geo++, Garbsen. Die zum Kalibrierzeitpunkt geringe Anzahl von etwa elf GLONASS-Satelliten hätte die zusätzliche Roboterkalibrierung für das System GLONASS unverhältnismäßig verlängert. Eine in kürzerer Zeit mögliche Typ-Kalibrierung entsprach nicht der »Richtlinie für den einheitlichen geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland« (AdV-Arbeitskreis Raumbezug 2013) und wurde nicht weiter verfolgt.

Parallel zu den Aktivitäten der Stationsumrüstung wurde bis Anfang 2009 in Zusammenarbeit der nordrhein-westfälischen Landesvermessung mit dem Institut für Geodäsie und Geoinformation der Universität Bonn eine Antennenmesskammer konzipiert und eingerichtet, die die Kalibrierung des vollständigen, aktuellen GNSS-Signalspektrums (GPS/GLONASS) und auch der künftigen Galileo-Signale ermöglichen sollte (Zeimetz 2010). Die GNSS-Kalibrierung aller G2-Antennen, mit Radome und dem vorgesehenen Bämpfer-Dreifuß, erfolgte entsprechend der zukünftigen Vorort-Gebrauchslage in der Kammer im Mai 2009. Die Verifizierung der ersten Kalibrierergebnisse geschah durch eine GNSS-Auswertung der in Gebrauchslage vor Ort angefallenen Beobachtungsdaten, an die sich dann die endgültige Kalibrierung in der Antennenmesskammer anschloss (Abb. 4).

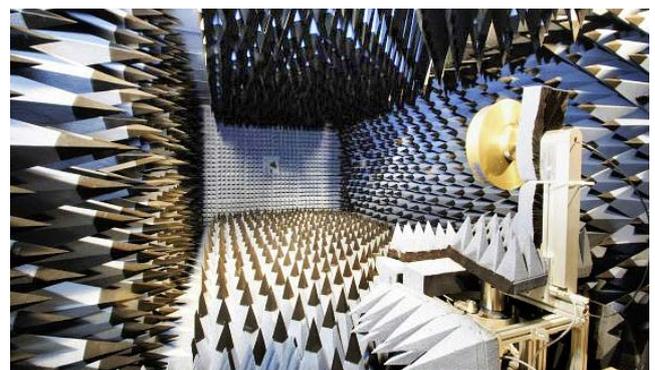


Abb. 4: Antennenkalibrierung in der Antennenmesskammer Bonn

3 GNSS-Auswertung und 3D-Ausgleichung

In der nordrhein-westfälischen Landesvermessung wird bereits seit Ende der 1990er Jahre als GNSS-Software »WaSoft« eingesetzt. In 2008 stand mit dem Basislinienprozessor »Wa1« ein erstes Produkt zur Verfügung, welches GPS- und GLONASS-Beobachtungen gemeinsam auswerten konnte.

Als 3D-Ausgleichungs-Software kam mit »MARKUS« eine Eigenentwicklung der Landesvermessung Nordrhein-Westfalens zum Einsatz, die eine Modulare Auswertung Räumlicher Koordinaten und Koordinatenunterschiede ermöglichte. Ergänzende Anpassungen ermöglichten in einem teilautomatisierten Prozessablauf die GNSS-Auswertung mit anschließender MARKUS-3D-Ausgleichung inklusive Transformation.

Als Auswerteansatz wurde zunächst die polare Ableitung des G2- vom G1-Standort untersucht. Mit diesem Ansatz hätte die Möglichkeit bestanden, das bisherige G1-Gebrauchsnetz über kurze Entfernungen (maximal etwa 20 m) quasi 1:1 auf das neue G2-Netz zu übertra-

gen. Als Varianten der Polarableitung stand zum einen die terrestrische Übertragung mit Strecke und nivellitischem Höhenunterschied oder die GNSS-Koordinierung zur Auswahl. Der wesentliche Nachteil dieses Verfahrens bestand darin, dass die historisch bedingten Stationsinhomogenitäten und die bereits erwähnten scheinbaren Koordinatenänderungen nach einem Antennenwechsel bei der polaren Übertragung quasi 1:1 in das neue G2-Netz übernommen worden wären. Hinzu kam, dass eine terrestrische Polarableitung wie auch die GNSS-Polarableitung (G1-Standort, nur GPS) den qualitativen Mehrgewinn durch die GLONASS-Beobachtungen nicht berücksichtigte. Beide Polar-Varianten wurden daher zwar gerechnet, aber nur als Näherungslösung und zur Kontrolle verwendet. Zusammengefasst wurde bei allen Berechnungen festgestellt, dass die Netzinhomogenitäten und die scheinbaren Koordinatenänderungen als Folge eines Antennenwechsels so miteinander verwoben sind, dass eine klare Trennung dieser Einflüsse bei der Berechnung der Stationskoordinaten letztendlich nicht möglich war.

Tab. 2: Auswertung im Einschnittverfahren

Nr.	Daten/Arbeitsschritt	... im Detail
1	Auswahl/Anordnung der Basislinien	Nach dem Ansatz der Delaunay-Triangulation (Natural Neighbourhood)
2	GNSS-Beobachtungen	7 Wochen × 7 Tage × 24 Stunden GNSS-RINEX-Daten, Aufzeichnungsintervall 30 Sekunden, Elevation 0°
3	Ephemeriden	Broadcast Ephemeriden des CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System des Goddard Space Flight Center der NASA) Präzise Ephemeriden des ESOC (European Space Operations Centre der ESA)
4	GNSS-Antennen-Kalibrierung	Absolute, individuelle Antennenparameter der Antennenmesskammer Bonn (AMK)
5	DREF-Online-Anschluss im ITRF05	0196 Gotha, 0451 Kloppenheim, 0651 Clausthal, 0514 Simmern, 0590 Vreden, 0594 Gummersbach, 0677 Verden, 0683 Meppen, 7005 Titz
6	Berechnung vorläufiger G2-Stationskoordinaten	Polare GNSS-Ableitung des G2-Standortes von G1
7	Berechnung von Startkoordinaten im ITRF05	Transformation der vorläufigen G2-Stationskoordinaten in die aktuelle Epoche des ITRF05
8	Basislinienprozessierung GMF = Global Mapping Function GPT = Global Pressure and Temperature Model	Auswerteparameter: Auswertintervall 30 Sekunden, Elevation 10°, Troposphärenmodell Saastamoinen mit GMF und GPT, tageweise Basislinienlösung (undifferenziert), Mehrstufiges Lösungsverfahren für Mehrdeutigkeiten, Koordinatenschätzung mit dem ionosphärenfreien Signal L0t Ergebnis: Raumkomponenten zwischen den Stationen inkl. Standardabweichung und Korrelationskoeffizienten im ITRF05
9	Zwangsausgleichung	Zusammenführung der 7 Basislinienlösungen/Woche und Zwangsausgleichung an 9 DREF-Online-Stationen in der aktuellen Epoche des ITRF05
10	Transformation in das ETRS89/DREF91	Einwegverfahren nach AK RB 02/17 aus 2009, Transformation der ausgeglichenen Koordinatenwerte aus dem ITRF05 nach ETRS89/DREF91, Mittelung der sieben Wochenlösungen

Der AdV-Arbeitskreis Raumbezug hatte seit 2001 mehrfach Untersuchungen zur Qualität und Genauigkeit der SAPOS®-Stationskoordinaten angestoßen. Mit dem Abschlussbericht der Projektgruppe »Koordinatenmonitoring« zur Bestimmung von Stationskoordinaten für SAPOS® wurde das sogenannte Einschrittverfahren verbindlich festgesetzt (AdV-Arbeitskreis Raumbezug 2009). Dem Einschrittverfahren geht die übliche GNSS-Prozessierung voraus, setzt nach der Zwangsausgleichung/Lagerung im aktuellen ITRFXX auf und ermöglicht den Übergang vom ITRFXX nach ETRS89/DREF91 durch eine Doppeltransformation von ITRFXX nach ITRF00 und dann von ITRF00 nach ETRS89/DREF91.

Die Vorteile der Anwendung des Einschrittverfahrens auf die G2-Bestimmung liegen auf der Hand (s. a. Tab. 2):

- G2-Bestimmung streng nach den geltenden AdV-Beschlüssen (Bundeseinheitlichkeit),
- Vollwertige GNSS-Auswertung der Beobachtungen von GPS und GLONASS.

Die zum Zeitpunkt des Umstiegs auf das G2-Netz gültigen amtlichen G1-Koordinaten basierten im Wesentlichen auf den Ergebnissen der Diagnoseausgleichung des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) (Datenbasis 1188. GPS-Woche im Oktober 2002), die Nordrhein-Westfalen zum 1. September 2003 eingeführt hat. In der Folgezeit wurden von der nordrhein-westfälischen Landesvermessung in Analogie drei Referenzstationen neu koordiniert, insgesamt fünf neue Stationen eingerichtet sowie weitere fünf Stationen verlegt, also rund 50 Prozent aller Stationen »verändert«. Die neuen Koordinaten wurden dabei bis Ende 2009 jeweils aus SAPOS® heraus im Anschluss an die umliegenden Nachbarstationen berechnet, danach mittels Einschrittverfahren aus dem SAPOS®-Gesamtnetz koordiniert.

Für den Umstieg G1 nach G2 standen vom Grundsatz her zwei Alternativen zu Verfügung:

Bei der (polaren) Übertragung des G1-Raumbezugs auf den G2-Standort (»Polarverfahren«), also der Verwendung polarer terrestrischer Messelemente oder einer GNSS-Lösung wäre der alte G1-Raumbezug streng erhalten geblieben. Damit wären jedoch alle Unzulänglichkeiten und Spannungen des G1-Netzes in das neue G2-Netz übernommen worden, insbesondere auch die Inhomogenitäten als Folge des uneinheitlichen G1-Antennenaufbaus und der G1-Antennenkalibrierung.

Die G2-Netzbestimmung im Einschrittverfahren, konform zur Beschlusslage des Arbeitskreises Raumbezug, führte vom Ansatz her zu einer »neuen Netzdefinition«, jedoch unter Verwendung einer einheitlichen, aktuellen GNSS-Hardware (Antenne und Rover) und einer einheitlichen Antennenkalibrierung in der Antennenmesskammer Bonn und damit zu optimalen, in sich homogenen Koordinaten, also zu einem Gesamtnetz geringster Spannungen. Aus dem Mittel über 27 Stationen ergaben sich bei diesem Verfahren als Standardabweichungen in der Lage 1 mm (North) beziehungsweise 2 mm (East) und in der Höhe 2 mm. Entscheidend war jedoch, dass sich für den Nutzer nur ein »Systemunterschied G1 nach G2« von maximal 9 mm in der Lage und maximal 30 mm in der Höhe ergab, sodass diese Auswirkungen in der Lage deutlich unterhalb der Katastergenauigkeit lagen und damit in der praktischen SAPOS®-Nutzung nicht »auffielen«.

Beiden Lösungen lagen dasselbe Bezugsellipsoid (GRS80) und dieselbe Lagerung zugrunde, nämlich die Koordinaten aus der erwähnten Diagnoseausgleichung (ETRS89/DREF91). Der Übergang von G1 nach G2 im Einschrittverfahren stellte demnach keine Änderung des Raumbezugs dar, sondern nur eine andere Netzdefinition. Erst die Änderung des Bezugsellipsoids/der Orientierung hätte die Änderung des Raumbezugs bewirkt.

Für die 27 nordrhein-westfälischen Referenzstationen ergab sich bei der Darstellung der Differenzen des Einschrittverfahrens zum »Polarverfahren« das in Abb. 5 aufgezeigte Bild.

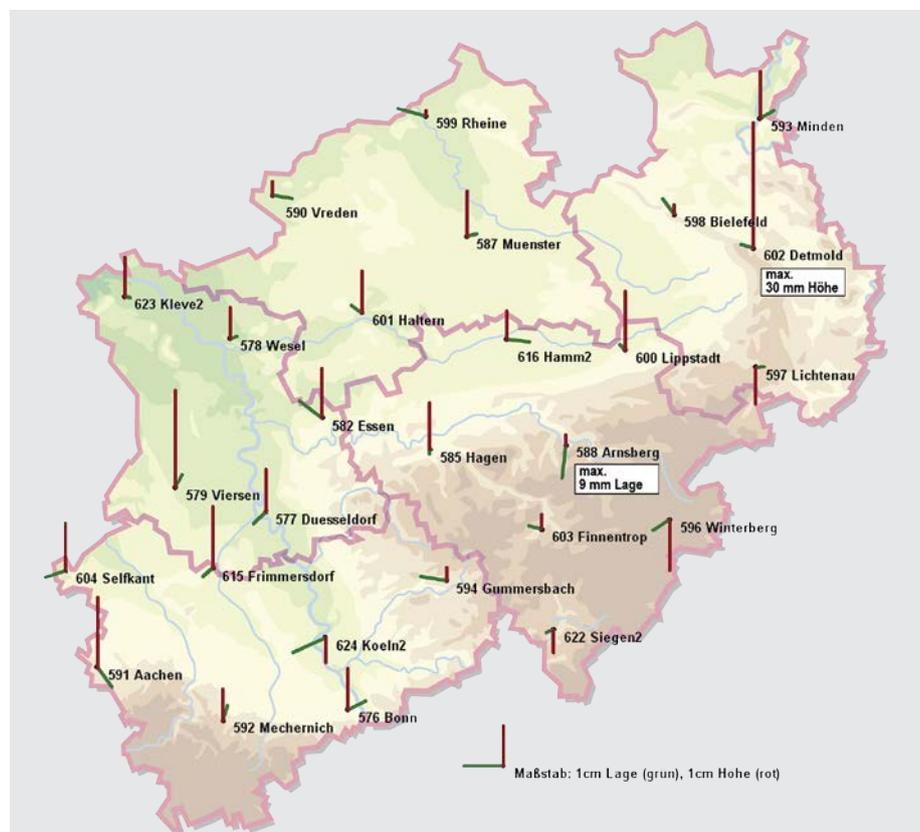


Abb. 5: Differenzen G2-Koordinatenlösung minus G2-Koordinaten polar an G1 gerechnet

Tab. 3: Zeitplan der Integration von Galileo in SAPOS® (Nordrhein–Westfalen)

Jahr	Einführungsschritte
2006	Strategische Entscheidung (AdV-Beschluss – Eckpunkte »Zukünftiges SAPOS®«) zur Integration von GLONASS und Galileo in SAPOS®
2013/2014	Belastbare Information zur Verfügbarkeit der Galileo-Satelliten liegen vor, Planung und Bereitstellung von Haushaltsmitteln für die Folgejahre
2014/2015/2016	Beschaffung Hardware (Antennen, Receiver) Installation Hardware auf 27 Referenzstationen (»zur Zeit ungenutzter« G1-Standort). UND Beschaffung und Tests einer G3-fähigen Vernetzungssoftware, Tests der Gesamtkonfiguration
2017	1. Nutzerinformation 2. Parallelbetrieb GPS/GLONASS (G2) – Produktionssystem GPS/GLONASS/Galileo (G3) – Testsystem 3. G3-Raumbezug Verifizierung des bundesweiten SAPOS®-Netzes (G3) (Neue Diagnoseausgleichung?) Bestimmung der Überföhrungsparameter G2 → G3 im (dann) aktuellen integrierten geodätischen Raumbezug auf Basis der GNSS-Kampagne 2008/DHHN2006-2012 (Verfahrensweg noch offen!) 4. SAPOS® – G3-Testmessungen (EPS, HEPS, GPPS) mit ausgewählten Nutzern
2017/2018	Start Produktionsbetrieb GPS/GLONASS/Galileo (G3) Anbindung der Zentralen Stelle SAPOS®

In Nordrhein-Westfalen wurden die Koordinaten der dargestellten G2-Lösung des Einschnittverfahrens am 1. November 2009 eingeföhrt.

4 Ein Fahrplan für die Einführung von Galileo in SAPOS® in Nordrhein–Westfalen

Die beschriebene Integration von GLONASS in SAPOS® soll in Nordrhein-Westfalen als Blaupause für die Integration von Galileo dienen, wobei eine weitere Verzögerung der Zeitplanung bis zur vollständigen Verfügbarkeit von Galileo zunehmend kritisch gesehen wird (Hofmann-Wellenhof 2013). Nach aktuellen Ankündigungen der Europäischen GNSS-Agentur (GSA 2013) wird der Status der »Early Services« Ende 2014 erklärt werden, die »Full Operational Capability« soll 2019 erreicht werden. In 2014 werden damit, ähnlich wie zum Beginn der GLONASS-Integration, genügend Galileo-Satelliten für einen qualitativen Mehrwert einer GNSS-Bestimmung über GPS/GLONASS/Galileo zur Verfügung stehen.

Ausgehend von einer belastbaren Information zum Status und zur Verfügbarkeit von Galileo und der damit einhergehenden Entwicklung Galileo-fähiger Hard- und Software und auch verfügbarer Vernetzungssoftware, lässt sich der in Tab. 3 dargestellte Zeitplan für eine Galileo-Integration ableiten.

Hierbei sind neben den technischen Unwägbarkeiten noch fachliche Fragestellungen des künftigen integrierten geodätischen Raumbezugs zu beantworten. Es wird insbesondere zu entscheiden sein, ob zur Verifizierung

eines bundesweiten SAPOS®-Netzes (G3) eine neue Diagnoseausgleichung durchzuführen ist und wie die Überföhrungsparameter von G2 nach G3 bestimmt werden sollen.

Literatur

- AdV: Strategie für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland. AdV-Beschluss 115/7, 2004.
- AdV: Eckpunkte »Zukünftiges SAPOS®«. AdV-Beschluss 118/5, 2006.
- AdV-Arbeitskreis Raumbezug: Abschlussbericht »Referenzkoordinaten für SAPOS®« der Projektgruppe »Koordinatenmonitoring«, 2009.
- AdV-Arbeitskreis Raumbezug: Produktdefinition SAPOS®, www.adv-online.de, 2013.
- AdV-Arbeitskreis Raumbezug: Richtlinie für den einheitlichen geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland, Entwurfsfassung 2013, zur Veröffentlichung 2014 vorgesehen.
- GSA: Galileo and EGNOS applications in High Precision, www.clge.eu/documents/events/134/1_Reinhard_Blasi.pdf. Letzter Zugriff 07/2013.
- Hofmann-Wellenhof, B.: Kommt Galileo zu spät? In zfv 4/2013, S. 241–248, 2013.
- Riecken, J: Geodätischer Raumbezug 2015 in NRW. In zfv 4/2010, S. 219–225, 2010.
- Zeimetz, P: Zur Entwicklung und Bewertung der absoluten GNSS-Antennenkalibrierung im HF-Labor. Deutsche Geodätische Kommission (DGK), Reihe C, Heft Nr. 682, 2010.

Anschrift der Autoren

Dr.-Ing. Jens Riecken | Dipl.-Ing. Bernhard Ruf
Bezirksregierung Köln, Dezernat 71 – Datenstandards, Raumbezug
50606 Köln
jens.riecken@bezreg-koeln.nrw.de | bernhard.ruf@bezreg-koeln.nrw.de

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