

GNSS-Berechnungsdienste¹

Anja Heßelbarth, Lambert Wanninger
Geodätisches Institut, TU Dresden
Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden
anja.hesselbarth@tu-dresden.de

1 Einleitung

Für die nachträglichen Auswertungen von GNSS-Beobachtungen existiert eine Vielzahl von Softwareprodukten. Diese Produkte haben gemein, dass neben den Beobachtungsdaten zusätzliche Informationen wie z.B. Ephemeriden, Daten von Referenzstationen oder Antennenkorrekturen erforderlich sind. Oftmals sind diese Softwareprodukte kostenpflichtig und es ist eine gewisse Einarbeitungszeit notwendig, um ein optimales Ergebnis zu erreichen.

Eine einfache Möglichkeit, um ebenfalls eine satellitengestützte Positionsbestimmung durchzuführen, ist die Nutzung von GNSS-Berechnungsdiensten. Im einfachsten Fall übermittelt der Nutzer über das Internet seine GPS oder GPS- und GLONASS-Beobachtungsdaten an einen dieser Dienste und erhält binnen weniger Minuten seine Position incl. einer Genauigkeitsangabe. Für die notwendigen zusätzlichen Informationen und das Erreichen eines optimalen Ergebnisses ist der jeweilige Berechnungsdienst verantwortlich. Diese Dienste sind daher für Nutzer attraktiv, die über keine geeignete Auswertesoftware oder unzureichende Auswertekenntnisse verfügen. Weiterhin können die Ergebnisse auch als unabhängige Kontrolle verwendet werden.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über aktuelle GNSS-Berechnungsdienste. Der erste Abschnitt behandelt die notwendigen Grundlagen zur satellitengestützten Positionsbestimmung. Anschließend wird die Funktionsweise von GNSS-Berechnungsdiensten beschrieben und es werden sieben dieser Dienste stichpunktartig vorgestellt. Um die Qualität der Auswertungen beurteilen zu können, wurden verschiedene statische und kinematische Datensätze an diese Dienste gesandt. Die Genauigkeit der erhaltenen Ergebnisse sind in Abhängigkeit der Beobachtungsdauer und dem Zeitpunkt der Auswertung beurteilt worden.

¹ In: „GNSS 2013 – Schneller. Genauer. Effizienter.“, 124. DVW-Seminar, 14./15. März 2013, DVW-Schriftenreihe Band 70/2013, Seite 93-112, Wißner Verlag, Augsburg, 2013.

2 Grundlagen zur Positionsbestimmung

Die im nächsten Kapitel beschriebenen Dienste nutzen unterschiedliche Auswerteverfahren für die Positionsbestimmung. Dadurch ergibt sich, dass unterschiedliche Ephemeriden und Satellitenuhrkorrekturen verwendet werden und die Ergebnisse in verschiedenen Referenzsystemen vorliegen.

2.1 Verfahren zur präzisen Positionsbestimmung

Für die cm-genaue Positionsbestimmung mit GNSS-Phasendaten können zwei unterschiedliche Verfahren genutzt werden. Bei einer relativen Positionsbestimmung werden simultane Messungen auf mindestens zwei Stationen durchgeführt. D.h. es sind zusätzliche Beobachtungsdaten zu einer Referenzstation oder eines ganzen Referenzstationsnetzes erforderlich. Bei diesem Verfahren werden zunächst Basislinien- oder Netzberechnungen zwischen den Stationen durchgeführt und die präzisen Nutzerkoordinaten werden anschließend relativ zu der bekannten Station bzw. den bekannten Stationen bestimmt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass durch diese Anordnung zahlreiche Messabweichungen eliminiert (Satellitenuhrabweichung) oder zumindest stark reduziert (Satellitenorbitabweichung, Iono- oder Troposphäreneinflüsse) werden. Meist werden bei diesem Verfahren die Phasenmehrdeutigkeiten festgesetzt (*fixed-Lösung*). Für eine flächendeckende Positionsbestimmung ist eine große Anzahl an Referenzstationen erforderlich. Deren Anzahl kann deutlich verringert werden, wenn das Verfahren von Netz-RTK (RTK: *Real Time Kinematic*) bei der zeitverzögerten Auswertung angewandt wird. Dabei wird eine Virtuelle Referenzstation (VRS) erzeugt, die sich in der Nähe der Nutzerstation befindet (Wanninger 2006).

Precise Point Positioning (PPP) ist ein Verfahren zur absoluten Positionsbestimmung mit primär GNSS-Phasendaten, welches sich in den letzten Jahren immer mehr entwickelt und etabliert hat. Der Vorteil dieser Technik ist, dass keine unmittelbaren Beobachtungen von Referenzstationen notwendig sind. Allerdings müssen die Uhr- und -Orbitabweichungen genau erfasst und als Korrektur an die Beobachtungen angebracht werden. Auch die Bestimmung der Mehrdeutigkeiten ist deutlich schwieriger als bei einer relativen Auswertung. Bei den meisten Anwendungen werden im Gegensatz zur relativen Positionsbestimmung die Phasenmehrdeutigkeiten geschätzt aber nicht festgesetzt (*float-Lösung*). Dadurch sind bei PPP kontinuierliche Phasendaten und eine Beobachtungsdauer von mindestens einer Stunde erforderlich, um ein möglichst genaues Resultat zu erreichen (Zumberge 1997, Kouba und Héroux 2000, Heßelbarth 2011).

2.2 Ephemeriden und Uhrkorrekturen

Die *broadcast*-Ephemeriden sind als Teil der Satellitennachricht sofort verfügbar. Die Genauigkeit der Orbitbahnen und der Satellitenuhrkorrekturen wird mit einem *Root Mean Square* (RMS, quadratische Abweichung) von ca. 100 cm bzw. 5 ns angeführt (IGS 2013).

Da bei einer PPP-Auswertung die Genauigkeit der *broadcast*-Ephemeriden nicht ausreichend ist, sind präzise Satellitenbahnen und Uhrkorrekturen notwendig. Diese werden aus den GNSS-Beobachtungen weltweiter Referenzstationsnetze berechnet. Vor einigen Jahren waren die Hauptanbieter dieser Produkte die einzelnen *Analytical Centers* (AC) des *International GNSS Service* (IGS). Die AC berechnen zunächst eigene präzise Orbit- und Uhrdaten. Das IGS kombiniert die einzelnen Lösungen und stellt die daraus resultierenden Orbitbahnen und Satellitenuhrkorrekturen dem GNSS-Nutzer kostenlos bereit (IGS 2008).

Je nach Verfügbarkeit können diese IGS-Produkte in *Ultra-Rapid*, *Rapid* und *Final* unterteilt werden. Die *Ultra-Rapid*-Produkte stehen für den Nutzer schon nach wenigen Stunden bereit. Die Genauigkeiten der Orbit- und Uhrinformationen (RMS-Werte) betragen ca. 3 cm bzw. 0,15 ns. Die *Final*-Produkte erreichen nochmals eine doppelt so hohe Genauigkeit wie die *Rapid*-Daten mit dem Nachteil, dass diese erst nach ca. 2 Wochen vom Nutzer verwendet werden können (IGS 2013).

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Firmen (Trimble, GMV) die eigene Produkte aus den Berechnungen eigener Referenzstationsnetze verwenden (Leandro u.a. 2011, Píriz u.a. 2009). Weiterhin gibt es seit wenigen Jahren auch Organisationen die diese präzisen Informationen als Echtzeitprodukte anbieten. Einer dieser Anbieter ist das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Die Genauigkeit dieser Produkte wird für die Satellitenorbits und Uhrkorrekturen mit 5 cm und 0,5 ns angegeben. Diese können dann z.B. über einen Echtzeitdatenstrom direkt verwendet werden (Hauschild 2010).

2.3 Referenzsysteme und -rahmen

Ein globales Referenzsystem in der Geodäsie ist das *International Reference System* (ITRS). Für dieses System gibt es verschiedene Realisierungen. Eine aktuelle Realisierung ist der *International Reference Frame 2008* (ITRF2008). Die Koordinaten und Geschwindigkeiten der Stationen, die den Referenzrahmen de-

finieren, werden durch unabhängige Beobachtungsverfahren wie z.B. *Satellite Laser Ranging* (SLR), *Very Long Baseline Interferometrie* (VLBI) oder GNSS-Beobachtungen bestimmt. Werden nur die GNSS-Daten für die Berechnung verwendet, liegt eine IGS Realisierung zur jeweiligen Epoche vor, aktuell IGS08 (Altamimi u.a. 2011). Für GPS wurde das *World Geodetic System 1984* (WGS84) und für GLONASS das *Parametri Zemli 1990* (PZ-90.02) als Referenzsystem und -rahmen definiert (Görres u.a. 2012).

Damit in jedem Gebiet ausreichend Referenzstationen zur Verfügung stehen, ist eine Verdichtung für die Kontinente und Länder erforderlich. Das bundesweit einheitliche Bezugssystem ist das europäische Datum *European Terrestrial Reference System* (ETRS89). Die aktuelle Realisierung ist das ETRF2000. In Deutschland wird das ETRS89 durch Permanentstationen des Satellitenpositionierungsdienstes SAPOS definiert (Görres und Nothnagel 2012).

Aufgrund dieser verschiedenen Systeme und Realisierungen ist bei einer absoluten Positionsbestimmung wichtig zu wissen, welche Ephemeriden genutzt werden. Bei den präzisen Orbits liegt entweder aktuell das ITRF2008 oder das IGS08 als Realisierung vor. Wünscht der Nutzer seine Position im ETRS89 ist eine 7-Parameter-Transformation erforderlich. Die entsprechenden Translations- und Rotationsparameter sind z.B. in Boucher und Altamimi (2011) veröffentlicht.

Bei einer relativen Positionsbestimmung sind die Koordinaten abhängig von den Koordinaten der Referenzstation. Bei der Verwendung von SAPOS-Referenzstationen bezieht sich die Nutzerposition automatisch auf das ETRS89.

3 Berechnungsdienste

Insgesamt wurden für diese Veröffentlichung sieben GNSS-Berechnungsdienste untersucht. Ein kostenpflichtiger Berechnungsdienst wird von den Bundesländern Sachsen, Thüringen und Bayern angeboten. Dieser Service wird als GPPS-Online oder *BasisLinienBerechnungOnline* (**BaLiBo**, Frevert u.a. 2009, [bezeichnet. Des Weiteren wurden die Berechnungsdienste *AUSLIG Online GPS Processing System* \(**AUS-POS**, Dawson u.a. 2004, \[---

² Thüringen: <http://sapos.thueringen.de/webshop/m>; Bayern: <https://sapos.bayern.de/service.php#GPPS>\]\(http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/aus-</p></div><div data-bbox=\)](http://www.landesvermessung.sachsen.de/sapos²)

pos-online-gps-processing-service.html), *Online Positioning User Service (OPUS*, Soler u.a. 2006, <http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>), *Automatic Precise Positioning Service (APPS*, <http://apps.gdgps.net/>), *Candian Spatial Reference System (CSRS*, Mireault u.a. 2008, http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php), *magicGNSS* (<http://magicgnss.gmv.com/>, Píriz u.a. 2008) und *TrimbleRTX* (<http://www.trimblertx.com/>, Ducet u.a. 2011) untersucht.

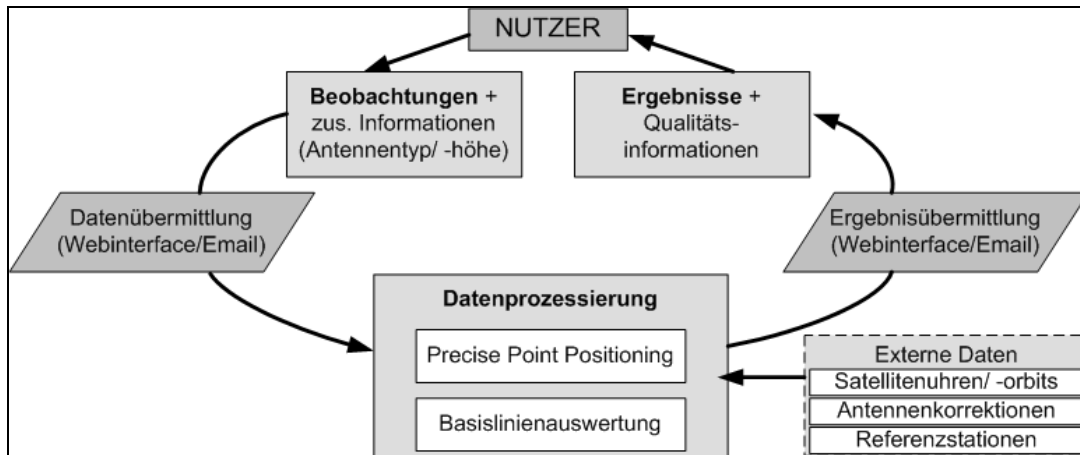


Abb. 1: Ablauf der Datenprozessierung bei GNSS-Berechnungsdiensten

Alle Anbieter haben gemein, dass der Nutzer seine Beobachtungsdaten und gegebenenfalls weitere Informationen wie z.B. Antennentyp und -höhe dem jeweiligen Dienst zur Verfügung stellt (Abb. 1). Die Übertragung zum Server des Dienstes erfolgt über eine Benutzeroberfläche oder per E-Mail. Anschließend erfolgt die Datenauswertung durch den Anbieter. Zusätzliche Daten wie GNSS-Beobachtungen von Referenzstationen, Antennenkorrekturen oder Satellitenuhrkorrekturen und Orbitdaten werden vom Berechnungsdienst selbst erzeugt oder extern bezogen. Nach der Prozessierung erhält der Nutzer die Koordinaten und zusätzliche Informationen zum Berechnungsablauf sowie zur Genauigkeit bzw. Qualität der Ergebnisse.

Die stichpunktartige Darstellung der einzelnen Dienste erfolgt in drei Kategorien. Die **Dateneingabe** beschreibt die Datenübermittlung zum Server, die Anforderungen an die Beobachtungsdaten sowie zusätzliche Informationen, die der Nutzer mit angeben muss bzw. kann. In der **Datenprozessierung** werden das Berechnungsverfahren, die verwendeten Satellitenorbits und -uhren, die Antennenkorrektur und -wenn vorhanden- das Genauigkeitsniveau des Dienstes angegeben. Die Kategorie **Ergebnisübermittlung** enthält Informationen, wie und in welchem Referenzsystem sowie welcher Darstellung und mit welchen Qualitätsmerkmalen die Resultate der Auswertung zum Nutzer übertragen werden.

3.1 GPPS-Online/BaLiBo

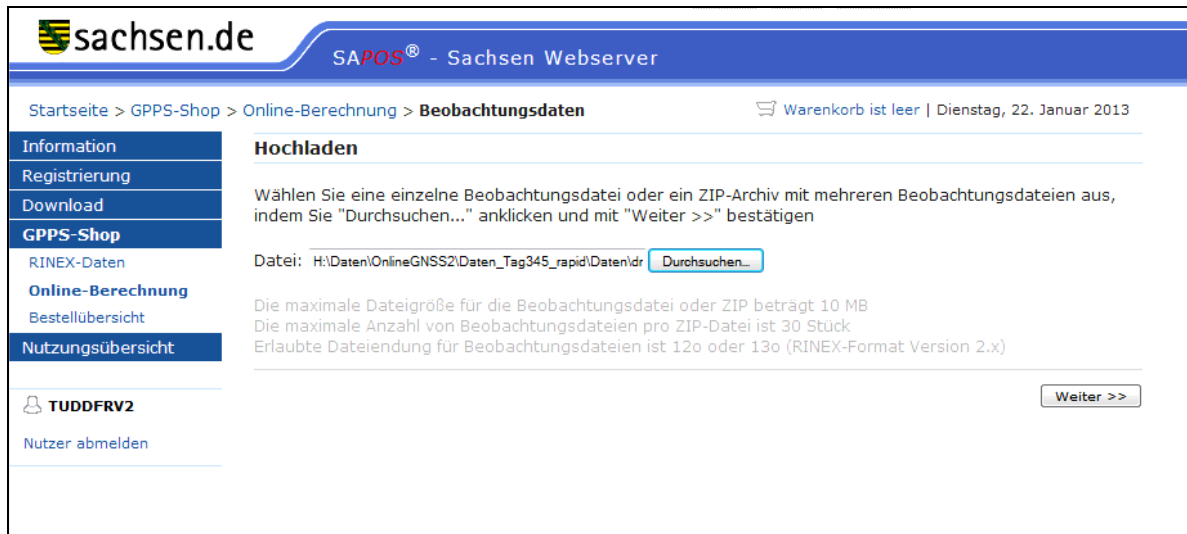


Abb. 2: Benutzeroberfläche von GPPS-Online/Balibo (Sachsen)

Anbieter

- Bundesländer Sachsen, Thüringen, Bayern

Dateneingabe

Datenübermittlung:

- Webinterface (mit Anmeldung), kostenpflichtig

Datenformat:

- RINEX, ZIP-Archiv bei mehreren Dateien

Beobachtungsdaten:

- GPS/GLONASS, 1- und 2-Frequenz, statisch
- aktuelle Daten (nicht älter als einen Monat)
- Beobachtungsdauer: 10 Minuten bis 24 Stunden

zusätzliche Informationen:

- Festlegung/Änderung v. Antennentyp und -höhe

Datenprozessierung

Berechnungsverfahren:

- VRS-Berechnung und anschließende Basislinienberechnung zw. VRS und Nutzerstation

Satellitenorbits/-uhren:

- *broadcast*-Ephemeriden

Antennenkorrekturen:

- eigene und IGS-Korrekturen

Genauigkeit

- 1-cm-Niveau

Ergebnisübermittlung

Datenübermittlung:

- per E-Mail und Rückblick im Benutzerprofil

Referenzsystem:

- ETRS89

Koordinatendarstellung:

- kartesisch, UTM/ellipsoidische Höhe und Normalhöhe (DHHN92)

Qualitätsinformationen:

- Lösungstyp, festgesetzte Mehrdeutigkeiten, empirische Standardabweichung (σ_0)

3.2 AUSPOS

The screenshot shows the AUSPOS web interface. At the top, there is a navigation breadcrumb: Home > Earth Monitoring and Reference Systems > Geodesy and Global Navigation Systems > AUSPOS - Online GPS Processing >. Below this is a form for submitting RINEX files. The form includes a dropdown for 'Number of RINEX files' set to 2, and radio buttons for 'Submit RINEX using' with 'upload' selected and 'ftp' unselected. There are two rows of input fields for 'File Name', 'Height (m)', and 'Antenna Type'. The first row has 'C:\Daten\Online GI' in the file name field, '0.045' in the height field, and 'LEIAR25.R4 LEIT' in the antenna type dropdown. The second row has 'C:\Daten\Online GI' in the file name field, '0.114' in the height field, and 'JAV_RINGANT_G3T NONE' in the antenna type dropdown. Below these fields is a text input for 'Your Email Address:'. At the bottom of the form are two buttons: 'submit' and 'start over'. At the very bottom of the page, there is a link: 'Back to the AUSPOS Online GPS Processing Service [Introduction Page](#).'

Abb. 3: Benutzeroberfläche von AUSPOS

Anbieter

- Australian Surveying and Landinformation Group

Dateneingabe

Datenübermittlung:

- Webinterface (ohne Anmeldung)

Datenformat:

- RINEX-, Hatanaka-Format

Beobachtungsdaten:

- nur GPS, 2-Frequenz, statisch
- bis zu 7 Dateien gleichzeitig möglich
- Beobachtungsdauer: mind. 1 Stunde

zusätzliche Informationen

- manuelle Eingabe von Antennentyp und -höhe

Datenprozessierung

Berechnungsverfahren:

- Basislinienberechnung zu umliegenden Referenzstationen, anschließende Mittelbildung

Satellitenorbits/-uhren:

- IGS Ultra Rapid, IGS Rapid und IGS Final

Antennenkorrekturen:

- IGS-Korrekturen

Genauigkeit:

- < 1 cm horizontal, < 2 cm vertikal, Beobachtungsdauer > 6 h

Ergebnisübermittlung

Datenübermittlung:

- per Mail mit ausführlichem Ergebnisbericht

Referenzsystem:

- ITRF2008

Koordinatendarstellung:

- kartesisch, ellipsoidisch

Qualitätsinformationen:

- Standardabweichungen, festgesetzte Mehrdeutigkeiten in Prozent

3.3 OPUS



Abb. 4: Benutzeroberfläche von OPUS

Anbieter

- National Geodetic Survey (NGS), USA

Dateneingabe

Datenübermittlung:

- Webinterface (ohne Anmeldung)

Datenformat:

- RINEX-, Hatanaka-Format

Art der Daten:

- nur GPS, 2-Frequenz, statisch
- Beobachtungsdauer: mind. 1 Stunde

zusätzliche Informationen:

- manuelle Eingabe von Antennentyp und -höhe
- Auswahl der Referenzstationen möglich

Datenprozessierung

Berechnungsverfahren:

- Basislinienberechnung zu drei umliegenden Referenzstationen, anschließende Mittelbildung

Satellitenorbits/-uhren:

- IGS Ultra Rapid, IGS Rapid und IGS Final

Antennenkorrekturen:

- IGS-Korrekturen

Genauigkeit:

- < 3 cm (vertikal und horizontal)

Ergebnisübermittlung

Datenübermittlung:

- per Mail, enthält Ergebnisse und Genauigkeitsinformationen

Referenzsystem:

- ITRF2008

Koordinatendarstellung:

- kartesisch, ellipsoidisch, UTM

Qualitätsinformationen:

- RMS-Wert, festgesetzte Mehrdeutigkeiten in Prozent

3.4 APPS

The screenshot shows the 'Instant Positioning' web interface. It features a table of configuration options:

APPS Options	
Processing Mode	<input checked="" type="radio"/> Static <input type="radio"/> Kinematic
Measurement Type	<input type="radio"/> Single Frequency <input checked="" type="radio"/> Dual Frequency
Orbits/Clocks used	JPL Final: Data prior to 2012-11-17 JPL Rapid: Data from 2012-11-17 to 2012-12-01 JPL Ultra R/T: Data from 2012-12-01 to present
L1 Code	<input type="radio"/> CA Code <input checked="" type="radio"/> P Code
Model Pressure Data?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Advanced Options	10 Elevation Angle Cutoff 30 Solution Output Rate (seconds)

Below the table is a search button 'Durchsuchen...', a file input field containing 'gope3361.12o', a 'Select checkbox if the file is a met data' label, and 'Reset' and 'Upload' buttons.

Abb. 5: Benutzeroberfläche von APPS

Anbieter

- Jet Propulsion Laboratory (JPL)

Dateneingabe

Datenübermittlung:

- Webinterface (ohne Anmeldung nur mit eingeschränkten Optionen, Anmeldung kostenlos)

Datenformat:

- RINEX-, Hatanaka-Format

Beobachtungsdaten:

- nur GPS, 2-Frequenz, statisch und kinematisch

zusätzliche Informationen:

- manuelle Eingabe/Auswahl von Elevation und Ergebnisintervallen

Datenprozessierung

Berechnungsverfahren:

- PPP

Satellitenorbits/-uhren:

- JPL Ultra Rapid, JPL Rapid, JPL Final

Antennenkorrekturen:

- IGS-Korrekturen

Genauigkeit:

- keine Angaben

Ergebnisübermittlung

Datenübermittlung:

- Ergebnisdateien werden nach Berechnung direkt auf Webseite angezeigt, Ergebnisse der kinematisch Auswertung werden per Mail übermittelt

Referenzsystem:

- ITRF2008

Koordinatendarstellung:

- kartesisch, ellipsoidisch

Qualitätsinformationen:

- Standardabweichungen, Kovarianzmatrix

3.5 CSRS

Abb. 6: Benutzeroberfläche von CSRS

Anbieter

- Natural Resources Canada (NRCan)

Dateneingabe:

Datenübermittlung:

- Webinterface (Anmeldung erforderlich)

Datenformat:

- RINEX-, Hatanaka-Format

Beobachtungsdaten:

- GPS und GLONASS, 1- und 2-Frequenz, statisch und kinematisch

zusätzliche Informationen:

- Angabe einer Datei für ozeanische Auflasten
- Wahl des Referenzsystems (ITRF2008 oder NAD83)

Datenprozessierung

Berechnungsverfahren:

- PPP

Satellitenorbits/-uhren:

- NRCan Hourly, NRCan Rapid, IGS Final

Antennenkorrekturen:

- IGS-Korrekturen

Genauigkeit:

- < 4 cm, Beobachtungsdauer 2h
- < 1 cm, Beobachtungsdauer 12 h

Ergebnisübermittlung

Datenübermittlung:

- Link per Mail, ausführlicher Bericht und mehrere Ergebnis- und Prozessierungsdateien

Referenzsystem:

- ITRF2008

Koordinatendarstellung:

- kartesisch, ellipsoidisch, UTM

Qualitätsinformationen:

- u.a. Standardabweichungen, Residuen

3.6 magicGNSS

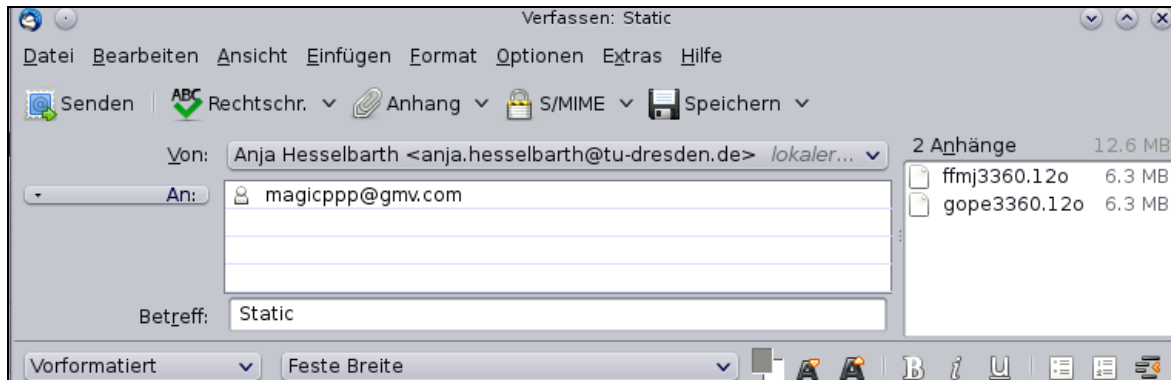


Abb. 7: Datenübertragung bei magicGNSS

Anbieter

- GMV, Madrid, Spanien

Dateneingabe

Datenübermittlung:

- per Mail oder Webinterface (mit Anmeldung)

Datenformat:

- RINEX, Binärformat der meisten Empfänger

Beobachtungsdaten:

- GPS und GLONASS, 2-Frequenz, statisch und kinematisch

zusätzliche Informationen:

- keine weiteren Einstellungen möglich

Datenprozessierung

Berechnungsverfahren:

- PPP

Satellitenorbits/-uhren:

- GMV Rapid

Antennenkorrekturen:

- IGS-Korrekturen

Genauigkeit :

- < 10 cm, Beobachtungsdauer 1h
- < 2 cm, Beobachtungsdauer 2 h

Ergebnisübermittlung

Art der Übermittlung:

- per Mail mit ausführlichen Bericht und Ergebnisdateien

Referenzsystem:

- ITRF2008, ETRS89 (nur für Spanien)

Koordinatendarstellung:

- kartesisch, ellipsoidisch

Qualitätsinformationen:

- Residuen

3.7 TrimbleRTX™

The screenshot shows a web form with three main sections:

- 1. Select a coordinate system and tectonic plate**: Two dropdown menus. The first is set to 'ITRF2008' and the second to 'None'.
- 2. Select a file to upload**: A text input field containing 'C:\Daten\Online GNSS\1Stunde_Rapid', a 'Durchsuchen...' button, and a 'Supported Devices' button. Below this, there is explanatory text about supported file formats (RINEX 2.x, RINEX 3.x, Trimble T01, T02 and DAT) and a note that only files collected after 14 May 2011 can be processed.
- 3. Provide your email address**: An 'Email address' input field, a CAPTCHA image, and a text prompt 'Please enter the security code as shown above'. At the bottom, there is a checkbox for 'I accept the terms of use listed in the Disclaimer section.' and a 'Process' button with the text 'The report will be sent to the email address you provided above'.

Abb. 8: Benutzeroberfläche von TrimbleRTX™

Anbieter:

Dateneingabe

Datenübermittlung

Datenformat:

Beobachtungsdaten:

zusätzliche Informationen:

Datenprozessierung

Berechnungsverfahren

Satellitenorbits/-uhren

Antennenkorrekturen

Genauigkeit:

Ergebnisübermittlung

Art der Übermittlung

Referenzsystem

Koordinatendarstellung

Qualitätsinformationen

- Trimble CENTERPOINT™ RTX™
- Webinterface (keine Anmeldung, max. 10 Daten pro Monat)
- RINEX, Trimble Datenformat
- GPS und GLONASS, 2-Frequenz, statisch
- Beobachtungsdauer: mind. 1 Stunde
- Wahl des Referenzsystems
- RTX-Positioning, PPP mit gelösten Mehrdeutigkeiten
- RTX Real-Time Produkte
- IGS-Korrekturen
- 1-2 cm, Beobachtungsdauer 1 h
- per Mail
- ITRF2008, ETRS89, ETRF2000R5
- kartesisch, ellipsoidisch,
- Standardabweichungen

4 Daten und Prozessierung

Um die Qualität der einzelnen Dienste zu untersuchen, wurden statische und kinematische Datensätze von den einzelnen Berechnungsdiensten ausgewertet. Für die statische Auswertung wurden Beobachtungsdaten von mehreren Tagen der europäischen Stationen POTS, LEIJ, DRES, GOPE und FFMJ sowie die Daten einer eigenen Station auf dem Dach des Beyerbaus der TU Dresden verwendet (Abb. 9). Aus diesen statischen Daten mit einer Beobachtungsdauer von 24 Stunden wurden zusätzlich Blöcke von jeweils einer Stunde sowie zwei Stunden erzeugt. Insgesamt standen am Ende 10 Datensätze je Beobachtungsblock zur Verfügung.

Die kinematischen Beobachtungsdaten stammen von einem Multi-GNSS-System (drei Antennen: LEFT, RGHT, FRNT) einer Messkampagne mit dem Bereisungsschiff Mainz auf der Mosel in Koblenz, welche im Rahmen des Projektes „PiLoNav“ erzeugt wurden. Beim ersten Datensatz (6 Stunden) befand sich das Schiff im Hafen, sodass nur leichte Bewegungen vorhanden waren. Der zweite Datensatz (eine Stunde) resultiert aus einer Messfahrt auf der Mosel mit mittleren Abschattungen.

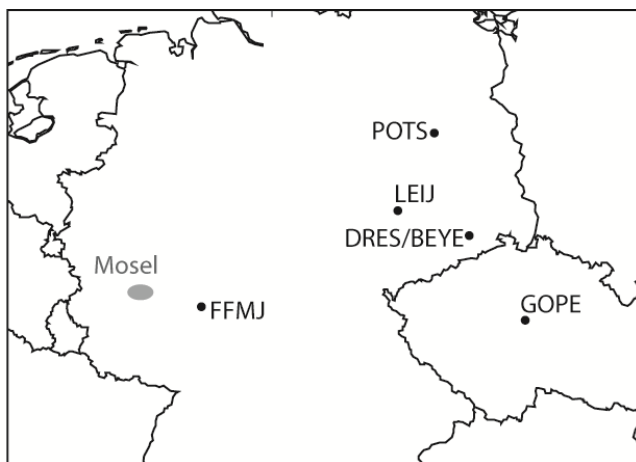


Abb. 9: Übersicht der statischen und kinematischen Daten

In Tab. 1 sind für die einzelnen Stationen Antennentyp und -höhe sowie das Intervall der Beobachtung aufgeführt.

Die statischen Datensätze wurden zum einen zeitnah, d.h. mit einer maximalen Verzögerung von 1-2 Tagen den Berechnungsdiensten zur Verfügung gestellt. Zum anderen wurden dieselben Beobachtungsdaten zu einem späteren Zeitpunkt (mind. 14 Tage Verzögerung) an diese gesandt.

Tab. 1: Antennentyp, -höhe und Beobachtungsintervall der Stationen

Station	Antennentyp	-höhe [m]	Intervall [s]
BEYE	TPSG3_A1 NONE	0.200	5
DRES	LEIAR25.R3 LEIT	0.566	30
FFMJ	LEIAR25.R4 LEIT	0.045	30
GOPE	TPSCR.G3 TPSH	0.111	30
LEIJ	LEIAR25.R4 LEIT	0.045	30
POTS	JAV_RINGANT_G3T NONE	0.121	30
LEFT/RGHT/FRNT	JAV_GRANT-G3T	0,000	1

Dadurch ergeben sich bei einigen der Anbieter unterschiedliche Orbit- und Uhrinformationen (Tab. 2). Bei BaLiBo, magicGNSS und TrimbleRTXTM sind die verwendeten Produkte unabhängig vom Zeitpunkt der Auswertung. Währenddessen werden bei AUSPOS, OPUS, APPS und CSRS bei der späteren Auswertung IGS/JPL-*Final*-Produkte genutzt.

Tab. 2: Übersicht über die verwendeten Orbit- und Uhrinformationen

Anbieter	Zeitnahe Auswertung	Verzögerte Auswertung
BaLiBo	Broadcast	Broadcast
AUSPOS	IGS Ultra Rapid	IGS Final
OPUS	IGS Ultra Rapid	IGS Final
APPS	JPL Rapid	JPL Final
CSRS	NRCan Rapid	IGS Final
magicGNSS	GMV Rapid	GMV Rapid
TrimbleRTX TM	Real Time RTX	Real Time RTX

5 Genauigkeitsanalyse

Die beschriebenen Datensätze wurden an die Dienste gesandt und nach wenigen Minuten sind die Ergebnisse übermittelt worden. Dabei traten bei den statischen Datensätzen folgende Probleme auf:

- OPUS lieferte keine Ergebnisse für Daten mit einer Beobachtungsdauer von nur einer Stunde
- magicGNSS konnte zwei Datensätze nicht auswerten
- bei TrimbleRTXTM war für die Station POTS keine Antennenkorrektion verfügbar.

5.1 Statische Auswertung

Die Referenzkoordinaten für die statische Auswertung wurden entweder durch Mittelbildung mehrerer PPP-Auswertungen von 24-Stundendatensätzen mit der Software WaPPP (www.wasoft.de) erzeugt und/oder es wurden gegebene IGS08-Koordinaten verwendet. In Abb. 10 sind die aus den einzelnen Differenzen berechneten RMS-Werte, getrennt nach Lage und Höhe, für die jeweiligen Dienste in Abhängigkeit der Beobachtungsdauer und dem Zeitpunkt der Auswertung dargestellt.

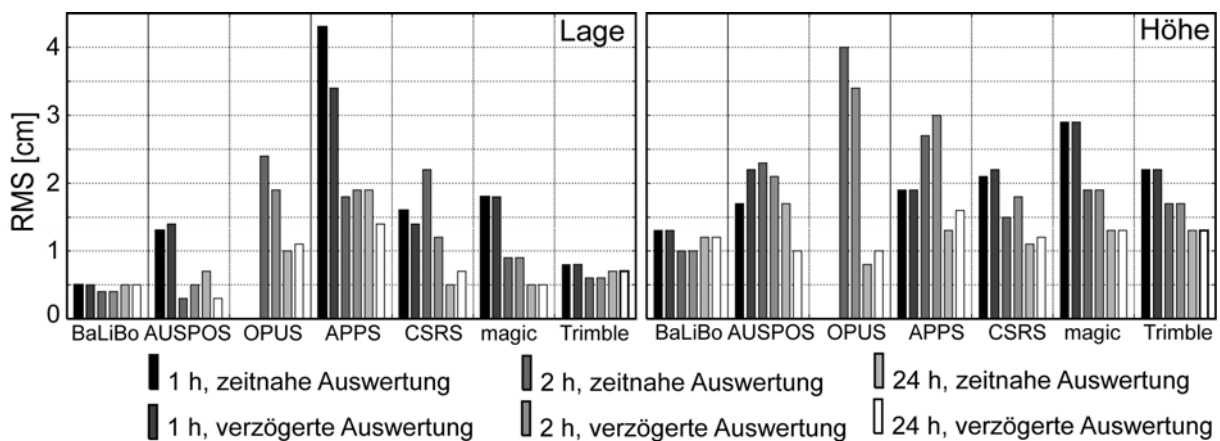


Abb.10: RMS-Werte (Lage und Höhe) einer statischen Auswertung in Abhängigkeit des genutzten Berechnungsdienstes, der Beobachtungsdauer und dem Zeitpunkt der Auswertung

Bei allen Datensätzen werden in der Lage und Höhe RMS-Werte erreicht, welche deutlich kleiner als 5 cm sind. Die Lagegenauigkeit ist dabei meist etwas besser als die in der Höhe. Die Genauigkeitsangaben der Berechnungsdienste können anhand dieser Werte größtenteils bestätigt werden.

Die besten Ergebnisse werden mit den kostenpflichtigen Anbieter GPPS-Online/BaLiBo erzielt. Die Lage- und Höhengenaugigkeit ist mit einem RMS-Wert von ca. 0,5 cm und 1 cm unabhängig von der Beobachtungsdauer. Dieses Ergebnis war hinsichtlich des Berechnungsverfahrens zu erwarten. Durch die engmaschige Vernetzung des SAPOS-Netzes und der Generierung einer VRS innerhalb dieser Stationen sind die scheinbaren Basislinien sehr kurz. Der Vorteil dieser kurzen Basislinien ist vor allem, dass die Mehrdeutigkeiten schneller festgesetzt werden können. Ähnliche Genauigkeiten können daher schon mit einer Beobachtungsdauer von 15 min und weniger erreicht werden (Frevert u.a. 2009).

Bei AUSPOS und OPUS werden Basislinien zu benachbarten IGS-Stationen gebildet und diese können dadurch mehrere hundert Kilometer lang sein. Dies ist ungünstig für einige Messabweichungen und auch die Festsetzung der Mehrdeutigkeiten verzögert sich deutlich. Somit ergibt sich eine Abhängigkeit zwischen der Beobachtungsdauer und der Koordinatengenauigkeit. Besonders deutlich wird dies bei dem Berechnungsdienst OPUS. Werden diese Dienste für Gebiete verwendet, in denen eine höhere Referenzstationsdichte vorliegt, ist auch bei kürzeren Beobachtungszeiten eine deutlich höhere Genauigkeit erreichbar.

Die restlichen Berechnungsdienste nutzen alle das PPP-Verfahren zur Positionsbestimmung. Dadurch ist zumindest in einer Komponente eine Abhängigkeit zwischen der erreichten Genauigkeit und der Beobachtungsdauer erkennbar. Bei 24-Stundendatensätzen werden die genauesten Ergebnisse erreicht. Die Anbieter CSRS, magicGNSS und TrimbleRTXTM haben bei dieser Beobachtungsdauer etwa ein gleiches Genauigkeitsniveau. Bei einer kürzeren Beobachtungszeit (1h und 2 h) hat TrimbleRTXTM vor allem in der Lage einen Vorteil.

Im Vergleich zu einer Untersuchung von PPP-Berechnungsdiensten Anfang des Jahres 2010 (Giese u.a. 2011) haben sich die Ergebnisse von CSRS und magicGNSS bei einer Beobachtungsdauer von 1 h Stunde verbessert. Im Gegensatz zu der letzten Untersuchung wurden jetzt zusätzlich zu GPS auch GLONASS-Beobachtungen verwendet. Diese zusätzlichen Beobachtungen führen gerade bei einer kurzen Beobachtungszeit zu einer Genauigkeitssteigerung.

Die Genauigkeiten sind nur geringfügig abhängig von dem Zeitpunkt der Auswertung. Bei GPPS-Online/BaLiBo, magicGNSS und TrimbleRTXTM sind die Ergebnisse, aufgrund dessen, dass dieselben Satellitenorbits und Uhrkorrekturen (vgl. Tab. 3) verwendet werden, identisch. Bei den anderen Anbietern ist der Unterschied in der Genauigkeit zwischen einer zeitnahen und verzögerten Auswertung nur gering. Die Ergebnisse, die mit den *Final*-Produkten erreicht werden, sind nicht unbedingt genauer.

5.2 Kinematische Auswertung

Für die kinematischen Datensätze des Multi-GNSS-Systems wurden zunächst Basislinienlösungen zu einer SAPOS- oder eigenen Referenzstation mit dem Basislinienprozessor Wa1 (www.wasoft.de) erzeugt. Aus den Positionen der drei Antennen konnten zwischen diesen drei 3D-Differenzvektoren für jede Epoche erzeugt werden. Die sich daraus ergebenden mittleren Basislinien wurden mit

denen aus einer Tachymeteraufnahme verglichen. Da die Abweichungen nur 1-2 cm und die Standardabweichungen, die sich aus den Basislinien der einzelnen Epochen ergeben, ebenfalls nur 1-2 cm betragen, kann diese Lösung als Referenzlösung genommen werden.

Für die kinematische Auswertung konnten nur die Berechnungsdienste APPS, CSRS und magicGNSS verwendet werden. Da bei APPS und magicGNSS eine Datenbegrenzung von 10 Mbyte vorliegt, wurden die ersten Datensätze (6 Stunden Beobachtungsdauer) auf 5 Sekunden ausgedünnt. Tab. 3 zeigt die RMS-Werte für die drei Antennen LEFT, FRNT und RGHT. Für APPS konnte beim Datensatz 1 nur für die RGHT-Station eine akzeptable Lösung erzeugt werden. Auch die Qualität der restlichen Ergebnisse ist mit RMS-Werten von mehreren Dezimetern deutlich schlechter als die der beiden anderen Dienste.

Tab. 3: RMS-Werte in Lage und Höhe einer kinematischen Auswertung in Abhängigkeit des genutzten Berechnungsdienstes

	Berechnungs- dienst	Epochen	RMS-Wert [cm] in Lage/Höhe		
			LEFT	FRNT	RGHT
Daten 1	APPS	3429	-----	-----	17,3/16,5
	CSRS	4400	3,7/ 4,2	3,7/5,2	4,1/7,8
	magicGNSS	3907	6,2/10,8	7,4/5,9	10,5/13,5
Daten 2	APPS	3600	50,0/34,8	19,5/15,9	48,3/28,0
	CSRS	3600	7,7/ 10,8	13,3/6,1	9,1/6,9
	magicGNSS	3600	4,8/ 5,5	7,3/5,0	10,4/8,1

Werden bei CSRS und magicGNSS die RMS-Werte beider Datensätze betrachtet, kann die Lösungsqualität dieser Dienste in etwa als gleich gut beschrieben werden. Die RMS-Werte in der Lage und Höhe sind bei allen Auswertungen kleiner als 1,5 dm, oftmals deutlich unter einem Dezimeter. Die Ergebnisse der Stationen LEFT, FRNT und RGHT des Datensatzes 1, welcher geringere Abschattungen aufweist, sind bei CSRS deutlich genauer. Möglicherweise wird dieser Vorteil durch die Verwendung von *Final*-Produkten erreicht.

Die Beobachtungen des zweiten Datensatzes sind aufgrund der Messfahrt durch stärkere Abschattungen gekennzeichnet. Besonders bei CSRS wirkt sich dies negativ auf die Qualität der Ergebnisse aus. Die Abweichungen pro Epoche zur Referenzlösung sind in Abb. 11 für CSRS und magicGNSS dargestellt. Die Lageabweichungen sind meist kleiner als 2 dm. In der Höhe liegen die Schwankungen in einem Bereich von -1,5 bis 1,5 dm. Größere Abweichungen treten vor

allein am Anfang der Messfahrt auf. Trotzdem sind diese Resultate unter diesen Bedingungen für eine kinematische Prozessierung akzeptabel.

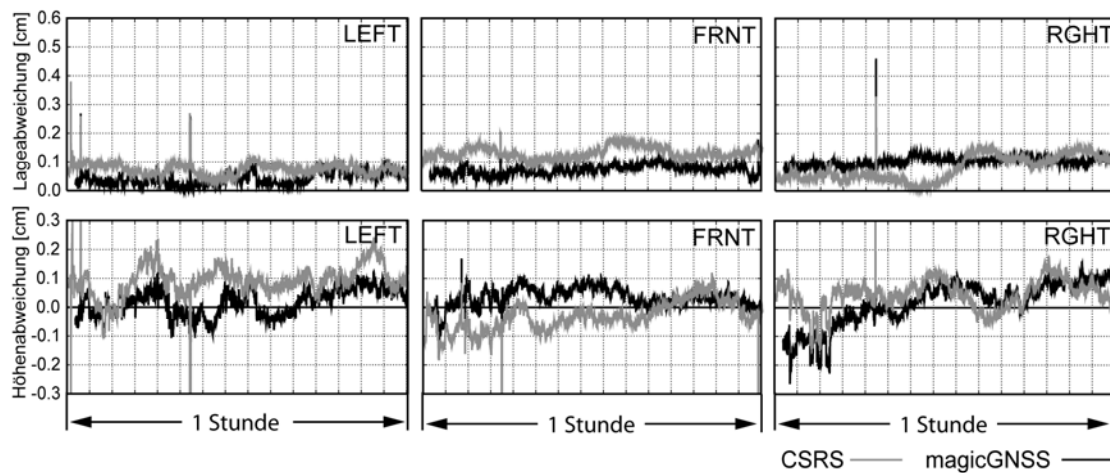


Abb. 11: Abweichungen (Lage und Höhe) zur Referenzlösung pro Epoche für die Antennen LEFT, FRNT und RGHT

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Nutzung von GNSS-Berechnungsdiensten ist eine einfache Variante eine nachträgliche Positionsbestimmung durchzuführen. Im Idealfall benötigt der Nutzer nur geringe Kenntnisse in der GNSS-Auswertung. Für erfahrene Anwender bietet sich die Möglichkeit, die Ergebnisse der Dienste mit den Resultaten aus vorhandener oder eigens entwickelter Software zu vergleichen. Vor allen Anbieter wie CSRS oder magicGNSS sind aufgrund des umfangreichen Ergebnisberichtes und der Prozessierungsdateien für solche Nutzer interessant.

GPSS-Online/BaLiBo ist der einzige Anbieter der regionale Referenzdaten nutzt und aufgrund der schnellen Festsetzung der Phasenmehrdeutigkeiten nicht auf eine lange Beobachtungszeit angewiesen ist. Dieser Dienst könnte daher für Nutzer interessant sein, die mit einer Beobachtungsdauer von deutlich weniger als einer Stunde ein zuverlässiges und genaues Ergebnisse erreichen wollen.

Bei einer Beobachtungsdauer von mind. 2 Stunden und statischen Daten werden auch bei den anderen Diensten Genauigkeiten in der Lage und Höhe von weniger als 4 cm erreicht. Diese sind für viele Anwendungen schon ausreichend. Für die statische Auswertung spielt es dabei keine Rolle, ob *Rapid*- oder *Final*-

Orbit- und Uhrinformationen verwendet werden. Der Nutzer kann daher relativ zeitnah eine Auswertung durchführen lassen.

Kinematische Daten lassen sich nur von drei Diensten prozessieren. Dabei ist die Qualität des Dienstes APPS unzureichend. CSRS und magicGNSS erreichen Genauigkeiten von einigen cm bis wenigen dm in Lage und Höhe und können so zur kinematischen Positionsbestimmung, auch unter schwierigeren Bedingungen, eingesetzt werden.

Hinsichtlich des Referenzsystems sollte der Nutzer wissen, mit welchem Verfahren und mit welchen Ephemeriden die Anbieter die Auswertung durchführen. Meist erhält der Nutzer seine Koordinaten im ITRF2008, sodass gerade für europäische Nutzer eine Transformation ins ETRS89 unumgänglich ist. Es wäre wünschenswert wenn z.B. magicGNSS als europäischer Anbieter wie TrimbleRTXTM die Koordinatenangabe im ETRS89 auf ganz Europa ausdehnen würde.

Literatur

- Altamimi, Z., Collilieux, X., Métivier, L. (2011): ITRF2008: an improved solution of the International Terrestrial Reference Frame. *Journal of Geodesy* 85:457-473, DOI 10.1007/s00190-011-0444-4.
- Boucher, C. und Altamimi, Z. (2011): Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. <http://etrs89.ensg.ign.fr>.
- Dawson, J. Govind, R., Manning, J. (2004): The AUSLIG Online GPS Processing (AUSPOS). http://www-ext.ga.gov.au/image_cache/GA5057.pdf.
- Doucet, K., Herwig, M., Kipka A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer, M, Pagels, C. (2012): Introducing Ambiguity Resolution in Web-hosted Global Multi-GNSS Precise Point Positioning with Trimble RTX-PP. http://www.trimble.com/positioning-services/pdf/RTX_Post_Processing.pdf.
- Frevert, V., Schwabe, J., Wanninger, L., Zeisler J. (2009): Balibo – zentralisierte Prozessierung von GPS-Beobachtungen. In *GNSS 2009: Systeme, Dienste, Anwendungen*. DVW-Schriftenreihe, Band 57/2009, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 145-162.
- Giese, M., Kaczkowski, J., Lange, A., Stiegert, C., Wiegratz, J., Zakrzewski, P., Wanninger, L. (2011): Berechnungsdienste für Precise Point Positioning (PPP). *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten* 3/2011.

- Görres, B., Mayer, M., Nothnagel, A., Heck, B. (2012): Bezugssysteme für GNSS. DVW-Merkblatt 5-2012, http://www.dvw.de/sites/default/files/merkblatt/daten/2012/05_DVW-Merkblatt_Bezugssysteme-fuer-GNSS_0.pdf.
- Görres, B. und Nothnagel, A. (2012): Übergeordnete geodätische Koordinaten in Deutschland heute – Teil 2: Bezugssystem für Europa. Allgemeine Vermessungsnachrichten 7/2012.
- Hauschild, A. (2010): Precise GNSS clock-estimation for real-time navigation and precise point positioning. Dissertation. Technische Universität München.
- Heßelbarth, A. (2011): Statische und kinematische GNSS-Auswertung mittels *Precise Point Positioning* (PPP), Dissertation. Deutsche Geodätische Kommission, C-667, München 2011, ISSN 0065-5325, ISBN 978-3-7696-5079-2.
- IGS (2013): IGS products. International GNSS Service. Zugriff 23.01.2013, <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.
- IGS (2008): International GNSS Service, Strategic Plan 2008-2012. IGS Central Bureau, Jet Propulsion Laboratory.
- Leandro, R., Landau H., Nitschke, M., Glocker, M. Seeger, S., Chen, X., Deking, A., BenThar, M., Zhang, F., Ferguson, K., Stolz, R., Talbot, N., Lu, G., Allison, T., Brandl, M., Gomez, V., Cao, W., Kipka, A. (2011): RTX Positioning: The Next Generation of cm-accurate Real-Time GNSS Positioning. 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Portland OR.
- Kouba, J. und Héroux, P. (2000): GPS Precise Point Positioning using IGS orbits products. GPS Solutions, 5.12-28.
- Mireault, Y., Tétrault, P. Lahaye, F., Héroux, P., Kouba, J. (2008): Online Precise Point Positioning – A New, Timely Service from Natural Resources Canada. GPS World, http://images.questex.com/GPSW/2008/GPSW_Daily/082508/GPS0908_Innov_v7.pdf.
- Píriz, R., Calle, D., Mozo, A., Navarro, P., Rodríguez, D., Tobias, G. (2009): Orbits and Clocks for GLONASS Precise-Point-Positioning. 22th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Savannah, GA.
- Píriz, R., Mozo, A., Navarro, P., Rodríguez, D. (2008): magicGNSS: Precise GNSS Products Out of the Box. 21th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Savannah, GA.
- Soler, T., Michalak, P., Weston, N. D., Snay, R. A., Foote, R. H. (2006): Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-hour observing sessions. GPS Solution 10: 45-55, DOI 10.1007/s10291-005-0007-3.

- Wanninger, L. (2006): Netz-RTK. In: "GPS und Galileo - Methoden, Lösungen und neueste Entwicklungen“ . DVW-Schriftenreihe, Band 49/ 2006, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 221-239.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. W., Webb, F. H. (1997): Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research*, 102:5005-5017.