

# GNSS-Antennenwechsel auf den SAPOS-Referenzstationen in Rheinland-Pfalz

Lambert Wanninger und Martin Fettke

## Zusammenfassung

Durch den Wechsel von Empfangsantennen auf GNSS-Referenzstationen verändert sich vielfach auch die Wirkung der Mehrwegeinflüsse auf die Phasenbeobachtungen, wodurch scheinbare Positionsänderungen entstehen. Es wurde ein Verfahren entwickelt und anhand von Beobachtungsdaten aus Rheinland-Pfalz ausgetestet, das die Veränderungen bei einem Antennenwechsel erfasst und als Beobachtungskorrekturen zur Verfügung stellt.

## Summary

*Antenna changes at GNSS reference stations often alter multipath errors which affect carrier-phase observations. As a result, apparent shifts of the antenna position occur. A monitoring method was developed and successfully tested with observation data from Rhineland-Palatinate, which allows modelling these alterations and correcting carrier-phase observations.*

## 1 Einleitung

Permanent arbeitende Referenzstationen, die mit Antennen und Empfängern für *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), wie z.B. GPS, GLONASS oder in Zukunft Galileo, ausgerüstet sind, sind eine wesentliche Stütze des geodätischen Raumbezuges. In Deutschland besteht ein flächendeckendes, dichtes Referenzstationsnetz mit über 200 Stationen, dessen Beobachtungsdaten und -produkte unter dem Namen SAPOS durch die Landesvermessungsämter vermarktet werden. SAPOS-Referenzstationen dienen auch weiteren Anbietern (ascos, Trimble VRS Now) als Grundlage für ihre Positionsbestimmungsdienste. Aufgrund der großen Bedeutung dieser recht wenigen GNSS-Referenzstationen für die Realisierung des Raumbezuges und damit für die Vermessungspraxis wird der Pflege des SAPOS-Netzes ein besonders großer Stellenwert eingeräumt.

Bei einem Wechsel der auf einer GNSS-Referenzstation verwendeten Antenne können Probleme auftreten, die in diesem Artikel beschrieben und diskutiert werden und für die ein Lösungsansatz vorgestellt wird. Während man in den 1990er-Jahren noch dachte, dass mit einer Kalibrierung der Antennen alle Antennenabhängigkeiten erfasst werden können, ist seit wenigen Jahren bekannt, dass trotz sorgsamer Antennenkalibrierung systematische stationsabhängige Effekte auftreten, die die Beobachtungs-

größen und damit auch die Koordinatenergebnisse negativ beeinflussen. Diese systematischen Effekte können sich bei einem Austausch der Empfangsantennen verändern und führen dann zu Unstetigkeiten in den Zeitreihen der Stationskoordinaten (Klein und Klette 2005, Wanninger et al. 2006).

Hauptursache dieser systematischen Messabweichungen sind Mehrwegeinflüsse aus der näheren Umgebung der Empfangsantenne. Besondere Bedeutung kommt hierbei dem so genannten Antennennahfeld zu, weil alle Signalreflexionen mit kurzen Umweglängen (bis zu wenigen Dezimetern) zu langperiodischen Phasenfluktuationen führen, die besonders stark auf die geschätzten Koordinaten wirken (Wübbena et al. 2003). Es wurde von verschiedenen Forschungsgruppen vorgeschlagen, die Mehrwegeinflüsse auf Referenzstationen durch Kalibrierungen vor Ort zu erfassen und entsprechende Mehrwegekorrekturen zur Verfügung zu stellen (Böder et al. 2001, Dilßner 2007, Park et al. 2004). Bisher hat aber keine der vorgeschlagenen Techniken zu praktisch verwendbaren Ergebnissen geführt.

Eine weitere Ursache der Veränderung systematischer Messabweichungen ist in Restfehlern der Antennenkalibrierungen zu finden. Bei der Bestimmung der Veränderungen von Phasenmessabweichungen aufgrund eines Antennenwechsels, wie sie in diesem Beitrag beschrieben werden, werden auch diese Antennenkalibrierrestfehler mit erfasst.

Die Problematik der scheinbaren Positionsänderungen, die ein Antennenwechsel mit sich bringen kann, wurde vom Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation (LVerGeo) Rheinland-Pfalz – wie auch von anderen Landesvermessungsämtern – schon bei früheren Antennenwechseln beobachtet. Aus diesem Grund sollte beim Wechsel von GPS- zu GPS/GLONASS-Antennen auf den SAPOS-Stationen eine Möglichkeit geschaffen werden, die auftretenden Effekte zu erfassen und auch besser verstehen zu lernen. Dazu gehört unter anderem eine Aussage über die möglichen Größenordnungen der Einflüsse zu erhalten, sowie ein praktikables Verfahren zur Erfassung der auftretenden Veränderungen für künftige Antennenwechsel zu entwickeln.

## 2 Wirkung eines GNSS-Antennenwechsels

Bei den meisten Antennenwechseln auf GNSS-Referenzstationen verändern sich die Mehrwegeinflüsse auf die Beobachtungsgrößen, insbesondere wenn Antennen unterschiedlicher geometrischer Dimensionen (unterschied-

liche Durchmesser der Grundplatten, Antennen mit und ohne Choke-Ringe) ausgetauscht werden. Weiterhin ändern sich vielfach auch die Antennenhöhe und der Antennenunterbau (neuer Dreifuß, andere Dreifußadapter). Hinzu kommt, dass Antennen aufgrund ihrer Signalempfangseigenschaften auch unterschiedlich mehrwegeempfindlich sein können.

Alle auf den ersten Blick auch noch so klein wirkenden Veränderungen an der Referenzstationsantenne ziehen nach sich, dass die Mehrwegeeinflüsse unterschiedlich auf die Beobachtungsgrößen und damit auch auf die Koordinatenergebnisse wirken. Da Mehrwegeeffekte von der Signalfrequenz abhängig sind, müssen die Einflüsse getrennt nach Frequenzen betrachtet werden.

Es sind eine Reihe von verschiedenen Lösungstypen zu betrachten, die alle von Phasen-Mehrwegeeinflüssen unterschiedlich beeinflusst werden. Die L1- bzw. L2-Lösungen basieren auf den originalen Phasemessungen der ersten bzw. zweiten GPS-Frequenz. Alle weiteren Lösungstypen verwenden Linearkombinationen dieser originalen Phasemessungen.

- **L1-Lösung:** Die Koordinatenlösung in kurzen Basislinien wird vielfach als reine L1-Lösung durchgeführt, wobei in einem vorhergehenden Arbeitsschritt die Festsetzung der Mehrdeutigkeiten unter Verwendung der Zweifrequenz-Beobachtungen – soweit diese vorhanden sind – erfolgt.
- **L2-Lösung:** Dieser Lösungstyp wird in der Praxis selten verwendet.
- **LN-Lösung:** Beim Vorhandensein von Zweifrequenz-Beobachtungen liefert eine *Narrow-Lane*-Lösung bei kurzen Basislinien häufig die genauesten Koordinaten.
- **L0-Lösung:** Eine ionosphärenfreie Lösung wird für längere Basislinien (ab einigen km) eingesetzt.
- **L0+T-Lösung:** Übersteigt die Basislinienlänge etwa 10km, ist es häufig sinnvoll, zusätzlich zu den Koordinatenunbekannten auch Troposphärenunbekannte zu schätzen, die verbleibende troposphärische Resteinflüsse erfassen. Dies führt insbesondere in der Höhenkomponente zu besseren Ergebnissen.

Bei den folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Antennenumgebung und ihre Reflexionsflächen ansonsten, d.h. mit Ausnahme des Antennenwechsels und eines ggf. notwendigen Dreifußwechsels etc., unverändert bleiben. Das in diesem Beitrag beschriebene Verfahren könnte mit leichter Abwandlung aber auch eingesetzt werden, um Mehrwegeveränderungen aufgrund von Umbauten in der näheren Antennenumgebung zu erfassen.

### 3 Modellierung der Veränderungen auf Beobachtungs- oder Koordinatenebene

Der hier vorzustellende Ansatz zur Erfassung der Veränderungen bei einem Antennenwechsel weicht grundsätzlich von dem Ansatz ab, der vom *International GNSS Service* (IGS) oder vom *European Permanent Network* (EPN) vorgeschlagen wird. Im Moment wird in diesen Netzen erwartet, dass bei einem absehbaren Antennenwechsel die alte und die neue Antenne für einige Zeit parallel betrieben werden (IGS 2007, EPN 2007). Beide Beobachtungsdatenströme sollen dann für diesen Zeitraum in die Netzauswertung eingehen und so ermöglichen, dass der geometrische Zusammenhang zwischen den beiden Stationen bestimmt wird.

Bei dem hier vorgeschlagenen Ansatz erfolgt der Antennentausch dagegen auf einer Station (Wanninger 2009). Alte und neue Antenne werden vertikal über derselben Vermarkung positioniert. Eine Veränderung der Position des Antennenphasenzentrums wird dann im Wesentlichen auf geometrische Veränderungen der unterschiedlichen Antennenkonstruktionen und ggf. auf eine Änderung der Antennenhöhe (vertikale Strecke Vermarkung – Antennenreferenzpunkt) zurückzuführen sein und sich nur auf die vertikale Koordinatenkomponente beziehen. Zusätzlich sind Messungen einer temporären



Abb. 1: Messaufbau zur Erfassung von scheinbaren Positionsänderungen bei einem GNSS-Antennenwechsel

Station notwendig, die für einige Tage vor und nach dem Antennenwechsel in geringer Entfernung (1 ... 50 m) zur Referenzstation betrieben werden muss (Abb. 1).

Aus den Beobachtungsdaten der kurzen Basislinien von der temporären Station zur Referenzstation mit alter Antenne bzw. zur Referenzstation mit neuer Antenne können dann Korrekturen berechnet werden, die die Auswirkungen des Antennenwechsels exakt erfassen.

Dabei sind zwei Arten von Korrekturen zu unterscheiden. Zum einen können Koordinatenkorrekturen erzeugt werden, die sich auf die einzelnen Lösungstypen beziehen (siehe Tab. 1). Diese haben aber den Nachteil, dass sie nicht nur vom Lösungstyp, sondern auch von den Auswertalgorithmen der eingesetzten Software und auch von Softwareeinstellungen (z.B. Elevationsmaske, Gewichtungsansatz) abhängig sind. Sie können also nicht allgemeingültig erzeugt und verwendet werden. Koordinatenkorrekturen sind auch deshalb nachteilig, weil ein amtlich garantierter Raumbezug, den die SAPOS-Station

nen verwirklichen, aus der Sicht vieler Nutzer im Widerspruch zu sich ändernden Koordinaten von Referenzstationen steht.

Beobachtungskorrekturen sind dagegen vielseitiger verwendbar. Hier reicht es aus, sie für die Originalsignale L1 und L2 zu erzeugen. Konkret werden die Basislinienresiduen der kurzen Basislinien vor und nach dem Antennenwechsel in jeweils einem Modell erfasst und dann deren Differenz bestimmt. Als mathematischer Ansatz werden Kugelfunktionsentwicklungen von z.B. Grad 8 und Ordnung 5 verwendet. Damit werden ganz bewusst nur großräumigere, d.h. langperiodischere Anteile, der Mehrwegeeinflüsse erfasst, also die Anteile insbesondere aus dem Antennennahfeld, die auf die langzeitige Koordinatenbestimmung wirken. Die Modellierung stationsabhängiger Messabweichungen in Abhängigkeit von Azimut und Elevation des Satelliten durch Kugelfunktionsentwicklungen wurde seit der Veröffentlichung eines solchen Ansatzes durch Rothacher et al. (1995) vielfach angewendet und hat sich sehr bewährt.

Das Differenzmodell kann unter Zweckentfremdung des Antennenkorrekturformats ANTEX (Rothacher und Schmid 2006) in Korrekursionsdateien geschrieben werden und steht damit allen gängigen Auswertesoftwarepaketen zur Verfügung. Die Korrekturen können dann direkt auf die Phasenbeobachtungen angewendet werden und entfalten ihre volle Korrekturwirkung unabhängig vom im Auswerteprozess gewählten Lösungstyp oder Auswertesoftware.

Die so erzeugten Korrekturen vermindern die Mehrwegeeinflüsse nicht absolut. Sie sind aber fähig, die Verbindung zwischen altem und neuem Mehrwegeniveau herzustellen. Deshalb muss bei ihrer Anwendung unterschieden werden, ob sie dazu dienen sollen, Beobachtungsdaten, die vor dem Antennenwechsel gesammelt wurden, auf das Mehrwegeniveau nach dem Antennenwechsel umzurechnen oder umgekehrt, neue Beobachtungsdaten auf das alte Niveau umzurechnen. Bei der Durchführung der Korrektur besteht zwischen diesen beiden Ansätzen nur ein Unterschied in den Vorzeichen der Korrekturen.

Die Korrektur der Beobachtungsdaten, die vor dem Antennenwechsel gesammelt wurden, bietet sich in der Praxis nur an, wenn Zeitreihen von GNSS-Beobachtungsdaten wiederholt homogen ausgewertet werden, etwa um optimale Ergebnisse für die Beantwortung geodynamischer Fragestellungen zu erhalten. Die Korrektur der Beobachtungsdaten nach einem Antennenwechsel kann dagegen gewünscht sein, um eine alte Realisierung des geodätischen Bezugssystems über einen Antennenwechsel hinweg beizubehalten.

#### 4 Wechsel von GPS- zu GPS/GLONASS-Antennen in Rheinland-Pfalz

In Rheinland-Pfalz werden seit Ende 2007 die vorhandenen SAPOS-Referenzstationsantennen und -empfänger für eine gemeinsame Nutzung von GPS und GLONASS umgerüstet (Fettke 2006). Den Anfang machte dabei die Station Daun, die das Landesamt für Vermessung und



Abb. 2: Antennenwechsel im SAPOS-Referenzstationsnetz in Rheinland-Pfalz zwischen November 2007 und März 2008

Geobasisinformation Rheinland-Pfalz gemeinsam mit dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) als GREF-Station betreibt. Danach wurden die Antennen der SAPOS-Core-Stationen (BKG 2007) Simmern und Kaiserslautern gewechselt. Ein weiterer Wechsel wurde an der Station Koblenz vorgenommen. Bis Ende 2008 sollen neun von insgesamt 18 SAPOS-Stationen in Rheinland-Pfalz GPS/GLONASS-tauglich sein.

Bei allen schon durchgeführten Antennenwechseln wurde eine temporäre Station für mindestens eine Woche vor und eine Woche nach dem Antennenwechsel zusätzlich zu der eigentlichen Referenzstation betrieben. Für den Standort der temporären Antenne wurde versucht, in geringer Entfernung zur Referenzstation eine zusätzliche Halterung zu montieren. Wo die örtlichen Verhältnisse dies nicht zuließen, mussten Kompromisse für den Standort der temporären Antenne gefunden werden, so dass im Einzelfall auch Abstände von mehr als 50 m auftraten.

Tab. 1: Scheinbare Höhenänderungen in Millimetern bei vier Antennenwechseln im SAPOS-Netz von Rheinland-Pfalz 2007/08 (DM – Dorne-Margolin)

	Daun	Simmern	Koblenz	Kaiserslautern
Alte Antennenart	große Grundplatte	Choke-Ring (nicht Typ DM)	Choke-Ring (Typ DM)	Choke-Ring (nicht Typ DM)
Neue Antennenart	Choke-Ring (Typ DM)	Choke-Ring (Typ DM)	Choke-Ring (Typ DM)	Choke-Ring (Typ DM)
Stationsumgebung	naher horizontaler Reflektor unterhalb (siehe Abb. 3)	wenige nahe Reflektorflächen	wenige nahe Reflektorflächen	naher horizontaler Reflektor unterhalb
Lösungsarten:				
L1	0,3	0,5	1,2	1,2
L2	-3,4	0,6	1,4	-0,6
LN	1,3	0,6	1,3	0,4
L0	6,4	0,5	1,0	4,1
L0+T	14,3	5,6	-0,1	10,5

Einen Überblick über die bei den Antennenwechseln aufgetretenen scheinbaren Positionsänderungen gibt Tab. 1. Die Darstellung beschränkt sich auf die Höhenkomponente, bei der die deutlichsten Veränderungen erkennbar sind.

Die Koordinatenberechnungen erfolgten basierend auf den Beobachtungsdaten der kurzen Basislinien zwischen temporären Stationen und der jeweiligen Referenzstation. Die Daten wurden mit dem Basislinienauswerteprogramm Wa1 bearbeitet. Die gewählte Elevationsmaske betrug 10°. Die in Tab. 1 gesammelten Werte könnten als Koordinatenkorrekturen Verwendung finden, sind aber streng genommen nur für die verwendete Software und Softwareeinstellungen gültig.

Die geringsten scheinbaren Positionsänderungen treten immer bei den Lösungstypen L1 oder LN auf. L2 kann dagegen schon mehrwegeempfindlicher sein, was zu größeren Koordinatenänderungen führt. Diese wachsen weiter an, wenn man auf die ionosphärenfreie Linear-kombination übergeht. Eine weiter verstärkte Wirkung tritt ein, wenn zusätzlich troposphärische, zenitale Laufzeitverzögerungen geschätzt werden.

Die größten scheinbaren Positionsänderungen sind bei der Station Daun erkennbar. Hier wurde einerseits zwischen sehr unterschiedlichen geodätischen Antennentypen gewechselt und andererseits existieren große Reflektionsflächen nahe unterhalb der Antenne (siehe Abb. 3). Die geringsten scheinbaren Höhenänderungen ergaben sich bei der Station Koblenz. Dies ist die einzige Station, bei der die alte und die neue Antenne vom gleichen Typ sind. Sie stammen zwar von unterschiedlichen Herstellern, es sind aber beides Choke-Ring-Antennen vom Typ Dorne-Margolin. Wie auch auf anderen Stationen zu beobachten, ist ein solcher Wechsel von baugleichen Antennen im Allgemeinen unproblematisch.

### 5 Beispiel Daun

Am Beispiel der Referenzstation Daun und des dortigen Antennenwechsels am 21.11.2007 sollen die Auswirkungen des Antennenwechsels, die Erzeugung von Beobachtungskorrekturen sowie deren Anwendung auf die Beobachtungsdaten gezeigt und diskutiert werden.



Abb. 3: SAPOS-Referenzstation DAUN mit temporärer Station

Die Referenzstation Daun ist bezüglich Mehrwegeinflüssen aus dem Nahbereich eine besonders problematische Station. Die Antenne ist auf einem betonierten Schornstein montiert, so dass sich z.T. in geringer Entfernung unterhalb der Antenne ein starker Reflektor befindet (Abb. 3). Der Antennenwechsel erfolgte von einer TRM41249.00 TZGD (geodätische Antenne mit großer Grundplatte) zu einer LEIAT504GG NONE (Choke-Ring-Antenne vom Typ Dorne-Margolin), also zwischen sehr unterschiedlichen geodätischen Antennentypen. Gleichzeitig veränderte sich die Antennenhöhe aufgrund eines neuen Unterbaus (Dreifuß, Adapter) von 7,2 cm auf 19,1 cm. Auch diese deutliche Höhenänderung hat Auswirkungen auf die Mehrwegeinflüsse. Alte wie neue An-

Tab. 2: Koordinatenkorrekturen für die neue Antenne Daun im Bezug auf die alte Antenne (Software Wa1, 10° Elevationsmaske)

	L1	L2	LN	LO	LO+T
$\Delta$ Nord [mm]	0,8	0,9	0,8	0,5	0,7
$\Delta$ Ost [mm]	-0,5	-0,9	-0,7	0,0	-0,1
$\Delta$ Höhe [mm]	-0,3	3,4	1,3	-6,4	-14,3

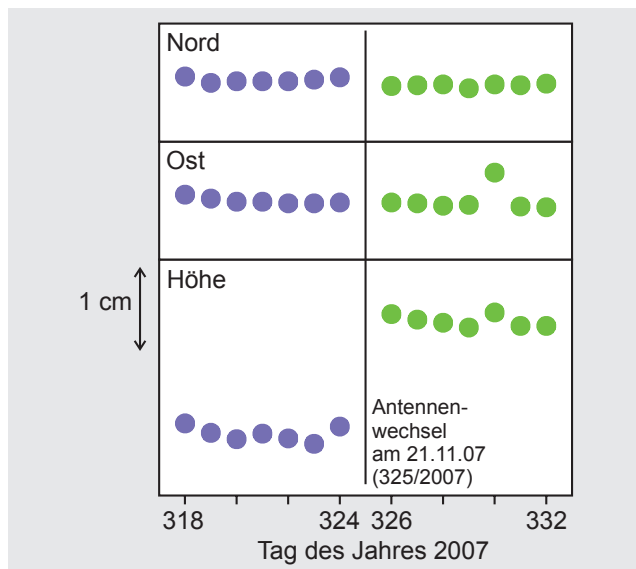


Abb. 4: Scheinbare Positionsänderungen der Referenzstation Daun aufgrund des Antennenwechsels am 21.11.2007: Tages-Basislinienergebnisse der kurzen Basislinie zwischen temporärer Station und Referenzstation, Lösungstyp LO+T (Software Wa1, 10° Elevationsmaske)

tenne waren absolut kalibriert worden. Differenzen der Kalibrierrestfehler werden bei dem in diesem Beitrag beschriebenen Verfahren mitbestimmt.

Zur Bestimmung scheinbarer Positionsveränderungen wurden in der kurzen Basislinie zwischen temporärer Station und Referenzstation für sieben Tage vor dem Antennenwechsel und für sieben Tage nach dem Antennenwechsel mit der Auswertesoftware Wa1 Koordinatenlösungen für alle in Tab. 1 erwähnten Lösungstypen erzeugt. Die Differenzen der Koordinatenlösungen zwischen alter und neuer Antenne sind in Tab. 2 zusammengefasst. Sie können als Koordinatenkorrekturen verwendet werden. Exemplarisch sind in Abb. 4 die Tageslösungen für den Lösungstyp ionosphärenfrei mit Troposphärenschätzung (LO+T) graphisch dargestellt. Die in den Koordinatenzeitreihen am Tag des Antennenwechsels auftretenden Sprünge entsprechen den in Tab. 2 für den Lösungstyp LO+T aufgelisteten Werten. Die Wiederholgenauigkeit der Tageslösungen ist aufgrund der kurzen Basislinienlänge sehr hoch.

Im Gegensatz zu den Koordinatenkorrekturen sind Beobachtungskorrekturen vielseitiger einsetzbar. Zu ihrer Erzeugung wurden mit dem Basislinienauswertemodul Wa1 in den kurzen Basislinien vor und nach dem Antennenwechsel die Phasemehrdeutigkeiten festge-

setzt. Auf der Basis der Beobachtungsresiduen, die in der Form einfacher Differenzen zwischen Stationen abgespeichert werden, wurden dann Modelle für die elevations- und azimutabhängigen Einflüsse berechnet. Diese basieren auf Kugelfunktionsentwicklungen von Grad 8 und Ordnung 5. So entstanden getrennt für die beiden Signalfrequenzen L1 und L2 jeweils zwei Modelle: ein Modell der Beobachtungsresiduen für vor dem Antennen-

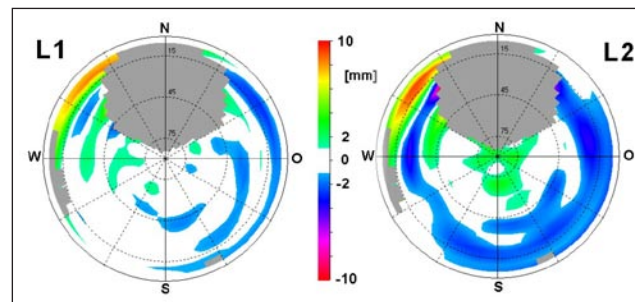


Abb. 5: Beobachtungskorrekturen in L1 und L2 für die neue Antenne Daun im Bezug auf die alte Antenne

wechsel und ein Modell für nach dem Antennenwechsel. Die Differenz dieser beiden Modelle ergibt die Beobachtungskorrekturen wie sie in Abb. 5 graphisch dargestellt sind. Im Falle von Daun liegen bei L2 stark elevationsabhängige Residuen vor. Dies führt insbesondere bei Auswertesätzen, die auch Troposphärenparameter schätzen, zu großen Höhenabweichungen, hier um 1,5 cm.

Die Verifizierung der Beobachtungskorrekturen erfolgt am besten in einer großräumigen Netzlösung, die standardmäßig mit dem Lösungstyp LO+T ausgewertet wird. Zur Verkürzung der Berechnungsdauer wurde hier nicht das gesamte SAPOS-Netz Rheinland-Pfalz erneut ausgewertet, sondern nur ein Teilnetz aus vier Stationen wie in Abb. 6 gezeigt. Die Netzberechnungen erfolgten in einem automatisierten Modus mit WaSoft/Netz.

Zwei Zeitreihen von Koordinaten für die Referenzstation Daun wurden dabei erzeugt: zum einen ohne Berücksichtigung irgendwelcher Beobachtungskorrekturen für den Antennenwechsel (Abb. 7, links) und zum ande-

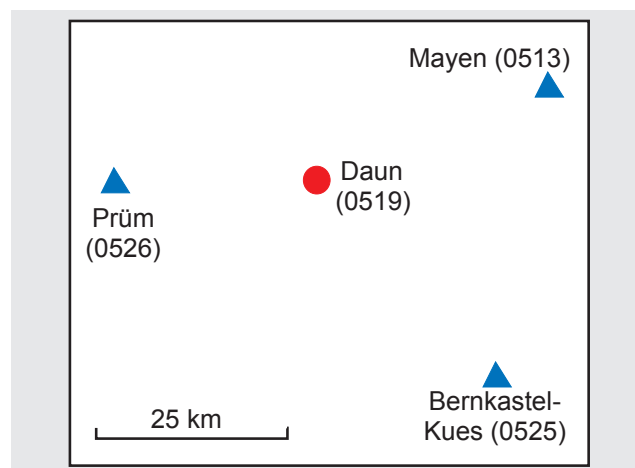


Abb. 6: Verwendete Referenzstationen für die Verifizierung der Beobachtungskorrekturen von Daun

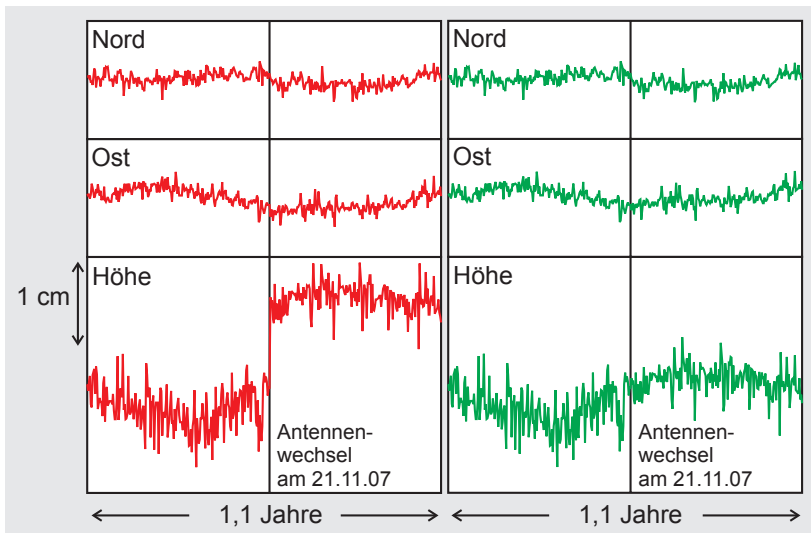


Abb. 7: Tagespositionslösungen für Daun im Netz umliegender Referenzstationen, ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung von Beobachtungskorrekturen, berechnet mit WaSoft/Netz

ren unter Berücksichtigung der Korrekturen aus Abb. 5 (Abb. 7, rechts). Die Korrekturen wurden dabei an die Beobachtungen der neuen Antenne angebracht, also mit der Motivation, das durch die alte Antenne repräsentierte Bezugssystem beizubehalten.

Durch Verwendung der Beobachtungskorrekturen für L1 und L2 konnten die Sprünge in den Koordinatenzeitreihen in der L0+T-Lösung weitestgehend beseitigt werden. Dies zeigt sich insbesondere in der Höhenkomponente. Die verbleibenden Variationen der Koordinaten folgen wohl vornehmlich einer Jahresperiode und sind bei Stationen, die auf Hausdächern installiert sind, häufig vorzufinden.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Antennenwechsel auf GNSS-Referenzstationen können zu scheinbaren Positionsveränderungen führen, die in der Höhenkomponente vielfach 1 cm übersteigen. Diese sind für die typischen Aufgaben von Referenzstationen, wie die Realisierung des Bezugssystems und die Beobachtung geodynamischer Prozesse, nicht akzeptabel.

Durch zusätzliche Messungen auf einer temporären Station in der Referenzstationsumgebung für einige Tage vor und nach dem Antennenwechsel können diese Veränderungen, die vornehmlich durch Phasen-Mehrwegeeffekte verursacht werden, erfasst und geeignete Korrekturen zur Verfügung gestellt werden. Diese Korrekturen sind zwar nicht dazu geeignet, den absoluten Mehrwegeeffekt zu verringern, aber sie erfassen die Mehrwegedifferenzen aufgrund des Antennenwechsels.

Fällt eine Antenne ungeplant aus, ist die beschriebene Methode nicht einsetzbar. Erfahrungen zeigen aber, dass dann bei Ersatz durch eine baugleiche Antenne an exakt gleicher Position (Antennenhöhe) nicht mit Veränderungen der Mehrwegeeffekte zu rechnen ist.

Ansonsten gilt weiterhin, dass Antennenwechsel möglichst vermieden werden sollten. Lassen sie sich aber aufgrund von technischen Weiterentwicklungen wie z.B. die Hinzunahme weiterer Signalfrequenzen oder aufgrund administrativer Sachzwänge nicht verhindern, bietet das hier vorgestellte Verfahren die Möglichkeit, die Veränderung der auftretenden Mehrwegeeffekte zu erfassen und ggf. Korrekturen an die (alten oder neuen) Beobachtungen anzubringen.

### Literatur

- BKG: Bericht über die Tätigkeit des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie 1. Juli 2006 – 30. Juni 2007, Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2007.
- Böder, V., Menge, F., Seeber, G., Wübbena, G., Schmitz, M.: How to Deal With Station Dependent Errors – New Developments of the Absolute Calibration of PCV and Phase Multipath With a Precise Robot. Proc. ION GPS 2001, 2166–2176, 2001.
- Dilßner, F.: Zum Einfluss des Antennenfeldes auf die hochpräzise GNSS-Positionsbestimmung. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, Nr. 271, 2007.
- EPN: Guidelines for EPN Stations & Operational Centres, EUREF Permanent Network (EPN) Central Bureau, 15. Mai 2007. [www.epncb.oma.be/\\_organisation/guidelines/guidelines\\_station\\_operationalcentre.pdf](http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf)
- Fettke, M.: Nichts Neues bei SAPOS? Nachrichtenblatt der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz, Heft 4, S. 152–166, 2006.
- IGS: IGS Site Guidelines. 26. Juli 2007, <http://igsweb.jpl.nasa.gov/network/guidelines/guidelines.html>
- Klein, G., Klette, M.: Monitoring der SAPOS-Stationen in Bayern. Mitteilungen des DVW Bayern, Heft 3/2005, S. 401–424, 2005.
- Park, K.-D., Elósegui, P., Davis, J.L., Jarlemark, P.O.J., Corey, B.E., Niell, A.E., Normandeau, J.E., Meertens, C.E., Andreatta, V.A.: Development of an Antenna and Multipath Calibration System for Global Positioning System Sites. Radio Sci, 39:RS5002, 2004.
- Rothacher, M., Schaer, St., Mervart, L., Beutler, G.: Determination of Antenna Phase Center Variations Using GPS Data. Proc. IGS-Workshop, Potsdam, S. 205–220, 1995.
- Rothacher, M., Schmid, R.: ANTEX: The Antenna Exchange Format Version 1.3, <ftp://igsweb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/antex13.txt>, 2006.
- Wanninger, L., Rost, Ch., Hartlieb, G., Köhr, M.: Zur Problematik des Antennenwechsels auf GNSS-Referenzstationen. zfv, 131:171–175, 2006.
- Wanninger, L.: Correction of apparent position shifts caused by GNSS antenna changes. GPS Solution, im Druck, 2009.
- Wübbena, G., Schmitz, M., Boettcher, G.: Zum Einfluss des Antennenfeldes. 5. GPS-Antennenworkshop, 03. Nov. 2003, Frankfurt am Main, [www.sapos.de/pdf/5aws/Schmitz\\_AWS03.pdf](http://www.sapos.de/pdf/5aws/Schmitz_AWS03.pdf), 2003.

### Anschrift der Autoren

Prof. Dr.-Ing. Lambert Wanninger  
Geodätisches Institut, TU Dresden  
01062 Dresden  
[lambert.wanninger@tu-dresden.de](mailto:lambert.wanninger@tu-dresden.de)

Dipl.-Ing. (FH) Martin Fettke  
Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz  
56073 Koblenz  
[martin.fettke@lvermgeo.rlp.de](mailto:martin.fettke@lvermgeo.rlp.de)