Geo++<sup>®</sup> White Paper

### Untersuchung des Däbel-Unterbaues auf GNSS Nahfeldeffekte

Martin Schmitz, Gerald Boettcher, Gerhard Wübbena Geo++ Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH D-30827 Garbsen, Germany www.geopp.de

14 September 2006

# Einleitung

Die Kombination von klassischen Vermessungsverfahren und modernen GNSS Verfahren fordert oftmals exakte Bezugspunktidentitäten. Für die Umsetzung werden technische Verfahren erprobt, die eine Verbesserung bei der Zuordnung der Messungen der unterschiedlichen Verfahren leisten sollen.

Andererseits werden mit GNSS Verfahren inzwischen Genauigkeiten in den Auswertungen erreicht, die bislang nicht berücksichtigte Fehleranteile neue Bedeutung zukommen lassen. Eine derartige Komponente stellte lange Zeit die Korrektur von GNNS Antennenphasenvariationen dar. Inzwischen sind operationelle Verfahren zur Bestimmung von absoluten Phasenzentrum und -variationen (PCV) entwickelt worden, die insbesondere durch die weitestgehende Eliminierung von Mehrwege-Einflüssen präzise Kalibrierungen von GNSS Antennen ermöglichen. In einer Feldkalibrierung wird dies mit der absoluten GNSS Antennenkalibrierung mit einem Roboter erreicht (Wübbena et al. 2000).

Durch die präzise Korrektur der Phasenvariationen werden systematische Fehler, die vor allem bei gemischten Einsatz von unterschiedlichen Antennentypen auftreten, berücksichtigt. Gemischte Antennentypen sind heute sowohl in RTK Netzen als auch in globalen Anwendungen mit unterschiedlichen GNSS-Ausrüstungen auf den permanenten Referenzstationen der Regelfall. Ein weiteres Anwendungsfeld sind präzise satellitengestützte Ingenieurvermessungen (z. B. Gleisvermessung). Durch die Korrekturen der PCV wird eine verbesserte Trennung von GNSS Fehlerkomponenten und eine Verbesserung der GNSS Modellierung erzielt, die dann folglich eine Genauigkeitssteigerung in der Anwendung ergibt.

Die Antennenkalibrierung mit einem Roboter ermöglicht es jedoch auch den Einfluss der direkten Umgebung der Antenne (Adaption, Dreifuß, Stativ, Pfeiler, etc.) zu untersuchen. Hierbei wurden Nahfeldeffekte auf die Empfangseigenschaften der Antenne bestimmt, die durch unterschiedliche Forschungs- und Arbeitsgruppen ebenfalls festgestellt, analysiert und bestätigt wurden (Wanninger et al. 2006, Ray et al. 2006, Becker et al. 2006). Eine qualitative Bestimmung bis hin zu der Bestimmung einer tatsächlichen Korrektur der Nahfeldeffekte ist über die Roboter-Antennenkalibrierung möglich.

Im folgenden wird der Däbel-Unterbau hinsichtlich seines Nahfeldeffektes auf unterschiedliche GNSS Antennen untersucht.



Abb. 1: Däbel-Unterbau (SDF) bei Messeinsatz im Harz 2003 (LGN)



Abb. 2: Roboter mit Däbel-Unterbau und Antenne

## Däbel-Unterbau

Eine spezielle Antennenhöhenmesseinrichtung wird von LVermGeo\* Sachen-Anhalt verwendet, die eine Stativaufstellung mit einer GNSS Antenne und gleichzeitig eine Nivellement-Ablesung ermöglicht. Die in den Untersuchungen verwendete Messeinrichtung wurde von Däbel entwickelt und von Fa. Bämpfer angefertigt (Abb. 1).

Eingesetzt wurde der Däbel-Unterbau beispielsweise 2003 in einer Messkampagne der LGN\* in Zusammenarbeit mit LVermGeo für GNSS-Höhenbestimmungen im Harz (Feldmann-Westendorff, Jahn 2006). In diesem Zusammenhang und in Hinblick auf die bundesweite GNSS-Kampagne im der mögliche Einfluss DHHN 2006-2011 ist der GNSS Aufstellungen auf die Koordinatenbestimmung von Interesse. Zu unterschiedlichen GNSS Aufstellungen sind Stativaufstellungen mit veränderten Adaptionen und Mimiken, aber auch allgemein Pfeileraufstellungen und Mastkonstruktionen zu zählen, die jedoch hier nicht im Detail weiter untersucht wurden.

Der Däbel-Unterbau bleibt während der gesamten GNSS Messung unter der Antenne, weshalb der (systematische) Einfluss auf das Nahfeld der Antenne von besonderem Interesse ist. In Abb. 1 ist der Einsatz mit einem Wild-Dreifuß zu sehen. Andere Adaptionen/Mimiken mit beispielsweise einem Zeiss-Dreifuß sind ebenfalls denkbar und in Verwendung.

Ein Däbel-Unterbau sowie eine Trimble Geodetic Antenne (TRM14532.00) wurde durch LVermGeo Sachsen-Anhalt bzw. LGN der Geo++ und dem ife\* für Analysen zur Verfügung gestellt. Bei den durchgeführten Untersuchungen durch Geo++ wurde der Wild-Dreifuß mit unterschiedlichen



Abb. 3: Bestandteile des Däbel-Unterbaues

Antennentypen verwendet. Der in Abb. 1 erkennbare Maßstab konnte aufgrund der Roboterbewegungen während der Kalibrierung nicht montiert werden. Die einzelnen Bestandteile und Abmaße des Däbel-Unterbaues ohne den Wild-Dreifuß werden in Abb. 3 gezeigt.

<sup>\*</sup> LVermGeo Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt Landesvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen Institut für Erdmessung, Universität Hannover

LGN ife

# Durchgeführte Antennenkalibrierungen

Für eine Bestimmung der Nahfeldeffekte müssen PCV Kalibrierungen mit und ohne den Unterbau vorliegen. Die Nahfeldeffekte werden zusammen mit den PCV der Antenne erfasst, so dass sich aus der Differenz der Nahfeld-Anteil quantifizieren lässt. Um individuelle Differenzen der Antennen auszuschließen, sollten dieselben Antennen in beiden Kalibrierungen verwendet werden. Die Dreifuß-Höhe wurde für alle Antennentypen konstant verwendet und jeweils vor und nach den Kalibrierungen kontrolliert.

Insgesamt wurden acht unterschiedliche GPS Antennentypen untersucht, wobei vier Antennen als Rover-Antennen zu klassifizieren sind und vier weitere als geodätische Antennen. Als geodätische Antennen werden Konstruktionen mit einer großen Grundplatte angesehen. Abb. 4 bis Abb. 11 zeigen die untersuchten Antennentypen. Teilweise sind die Abbildungen ohne Däbel-Unterbau.

Da die Wiederholbarkeit der PCV Kalibrierung von Rover-Antennen schlechter als von geodätischen Antennen ist, sind unterschiedliche Qualitäten der Differenzen in Abhängigkeit vom Antennentyp zu erwarten. In Tab. 1 sind die durchgeführten Kalibrierungen mit dem Unterbau zusammengestellt und in Tab. 2 die verwendeten Referenzkalibrierungen. Für eine Rover-Antenne (ASH701975.01a) wurde die Wiederholbarkeit der Kalibrierung explizit überprüft.

	Seriennummer	Datum	Interne Bemerkung
ASH701975.01A+SDF	7545	2006-02-09	geopp15
ASH701975.01A+SDF	7545	2006-02-10	geopp16
LEIAT502+SDF	00137	2006-02-13	geopp5
LEIAX1202+SDF	03500030	2006-02-16	geopp3
TRM14532-00+SDF	3239a64268	2006-02-07	geopp2
TRM22020-00+GP+SDF	0220034221	2006-02-08	geopp6
TRM22020-00-GP+SDF	0220034221	2006-02-09	geopp9
TRM33429-20+GP+SDF	0220226043	2006-02-08	geopp39
TRM41249-00+SDF	11884439	2006-02-06	geopp5

Tab. 1: Durchgeführte Kalibrierungen mit Unterbau (+SDF)

	Seriennummer	Datum	Interne Bemerkung
ASH701975.01A	7545	2004-05-21	geopp12
LEIAT502	00137	2006-02-14	geopp6
LEIAX1202	03500030	2006-02-17	geopp4
TRM14532-00	3239a64268	2006-02-15	geopp3
TRM22020-00+GP	0220034221	2004-09-14	geopp5
TRM22020-00-GP	0220034221	2005-11-08	geopp8
TRM33429-20+GP	0220226043	2005-11-09	geopp38
TRM41249-00	11884439	2006-02-03	geopp3

Tab. 2: Verwendete Referenzkalibrierungen



Abb. 4: ASH701975.01A



Abb. 6: LEIAX1202+SDF



Abb. 8: TRM22020.00+GP



Abb. 5: LEIAT502+SDF



Abb. 7: TRM14532.00



Abb. 9: TRM22020.00-GP+SDF



*Abb. 10: TRM33429.20+GP+SDF* 



Abb. 11: TRM41249.00+SDF

#### Nahfeldeinfluss durch Unterbau

Um einen Vergleich der unterschiedlichen Antennentypen zu ermöglichen, wurden die elevationsund azimutabhängigen PCV auf vergleichbare rein elevationsabhängige PCV umgerechnet. Dabei werden die individuellen Offsets in Phasenvariationen umgerechnet und mit den bereits vorliegenden Phasenvariationen kombiniert um einen strengen Vergleich aller PCV-Anteile – Offsets und Phasenvariationen – zu gewährleisten. Die Differenzen der individuellen Kalibrierungsergebnisse derselben Antenne mit und ohne Däbel-Unterbau wurden so berechnet.

In Abb. 12 und Abb. 13 sind die PCV für die Beobachtungsgrößen L1 und L2 angegeben. In Abb. 14 ist die ionosphärisch freie Linearkombination L0 dargestellt.

Die Wiederholbarkeit der PCV Differenz ASH701975.01a mit und ohne SDF ist für L1 sehr gut, jedoch für L2 und folglich für L0 schlechter. Die Wiederholbarkeit insbesondere von Rover-Antennen ist abhängig vom Antennentyp. Für einen völlig anderen Antennentyp TPSPG\_A1 wurden beispielsweise bei Nahfelduntersuchungen deutlich bessere Wiederholbarkeit erzielt (Wübbena et al. 2006b). Vergleicht man die von den Dimensionen der Antenne sehr ähnlichen Antennen TRM14532.00, TRM22020.00+GP und TRM33429.20+GP, so sind die PCV Differenzen zur Referenzantenne hoch korreliert und die Differenzen untereinander deutlich geringer als bei der durchgeführten Wiederholung der ASH701975.01a Rover-Antenne.

#### Elevationsabhängiger Nahfeld-Einfluss

Insgesamt weisen die Differenzen für L1 und L2 eine Bandbreite von ca. 6 mm auf. Für das ionosphärische Signal L0 verstärkt sich der Einfluss der ursprünglichen Signale und die Bandbreite beträgt 15 mm bis nahezu 20 mm. Werden nur geodätische Antennen betrachtet, so ist die Bandbreite ca. 3 mm in den ursprünglichen Signalen und ca. 8 bis 10 mm im L0 Signal.



*Abb. 12: L1 PCV Differenzen mit und ohne Däbel-Unterbau (SDF) unterschiedlicher Antennen* 

Die PCV Differenzkurven sind teilweise zwischen den einzelnen Antennentypen korreliert. Eine eindeutige Klassifizierung ist jedoch wegen der unterschiedlichen Konstruktion und Anmaßung der Antennen nicht möglich. Die PCV Differenzen aus Kalibrierung mit und ohne Däbel-Unterbau liegen jedoch deutlich über der Genauigkeit der Roboter-Antennenkalibrierung und sind somit als signifikant anzusehen.



*Abb. 13: L2 PCV Differenzen mit und ohne Däbel-Unterbau (SDF) unterschiedlicher Antennen* 



*Abb. 14: L0 PCV Differenzen mit und ohne Däbel-Unterbau (SDF) unterschiedlicher Antennen* 

Die PCV Differenzen entsprechen dem Nahfeld-Einfluss des Däbel-Unterbaues auf die untersuchten Antennentypen. Die Auswirkungen im Koordinatenraum entsprechen jedoch nicht direkt den aufgezeigten Größenordnungen, sondern der Effekt wird zusätzlich durch unterschiedliche Modellierung- und Auswerteansätze verstärkt. Ebenso besteht eine Abhängigkeit von der Satellitenkonstellation.

#### Azimutabhängigkeit

Um die Azimutabhängigkeit zu analysieren sind PCV Differenzen der Vollmodelle notwendig. Abhängig vom Antennentyp sind azimutale Variationen vorhanden, die mit der Längsausrichtung des Däbel-Unterbaues nach Norden zusammenfallen. Der Einfluss ist für Rover-Antennen im allgemeinen größer als für geodätische Antennen. Als Beispiele sind in den Abbildungen Abb. 15 und Abb. 16 die L0 PCV Differenzen über Azimut und Elevation für die LEIAT502 und TRM41249.00 angegeben.



*Abb. 15: L0 PCV Differenzen mit und ohne Däbel-Unterbau (SDF) der LEIAT502* 



(C) GeoService, 04.04.2007

ce, 04.04.2007



*Abb. 16: L0 PCV Differenzen mit und ohne Däbel-Unterbau (SDF) der TRM41249.00* 

Die Verwendung des Unterbaues fordert die konsequente Orientierung des Unterbaues während der GNSS-Messungen. Hierzu ist eine Nordmarkierung bzw. Definition notwendig. Abweichungen von der Nordorientierung können Größenordnungen in Abhängigkeit vom Antennentyp von mehr als 5 mm im L0 Signal betragen.

#### Auswirkungen im Koordinatenraum

Die aufgezeigten Nahfeld-Effekte aus den Differenzen der PCV-Kalibrierungen mit und ohne den Däbel-Unterbau beeinflussen die GNSS-Auswertung in komplexer Weise.

Die PCV Differenzen sind zunächst Modellfehler in der Korrektur der Antennen. Es verbleiben Restfehler in genau der Größenordnung der Nahfeld-Effekte, die jedoch nicht einfach als Auswirkung im Koordinatenraum übertragen werden können. Vielmehr ergibt sich eine Verstärkung durch die verwendete Linearkombination, durch die troposphärische Modellierung und durch die tatsächlich wirkende Satellitenkonstellation.

Im allgemeinen wird als Linearkombination das ionosphärisch freie Signal verwendet, das den Einfluss in den Koordinaten um den Faktor 3 verstärken kann (abhängig von Vorzeichen und Größenordnung der originären Beobachtungen L1 und L2). Zusätzlich werden die Nahfeld-Effekte von einem troposphärischen Maßstabsfaktor im GNSS Auswertemodell aufgenommen und verfälschen die Troposphärenschätzung. Dies führt zu einer weiteren Verstärkung, die durch die aktuell wirksame Satellitenkonstellation überlagert wird. Die Satellitenkonstellation kann abhängig von den elevations- und azimutabhängigen Restfehler sowohl eine Verstärkung als auch eine Reduktion bewirken. Ähnliches trifft für die wirksamen stationsabhängige Fehler auf der jeweiligen Station zu (z. B. Multipath). Insgesamt ist der Einfluss der Nahfeldeffekte vorrangig in der Höhenkomponente wirksam. Dies schließt azimutale Effekte nicht aus, sondern aufgrund der meist statischen Anwendungen ist nur der integrierte Effekt über die Beobachtungszeit sichtbar, der für die horizontale Komponente im allgemeinen vermittelnd wirkt und in der Höhenkomponente einen systematischen Fehler verursacht.

Simulationen (Feldmann-Westendorff 2006, Dilßner, Seeber 2006) mit den bestimmten Differenzen des Däbel-Unterbaues zeigen einen Einfluss in der Höhenkomponente unterschiedlich für die jeweiligen Antennentypen von 3 bis 20 mm (Auswerteparameter: Elevationsmaske 8°, ionosphärische Signal mit Troposphärenschätzung). In der Simulation wird der ausschließliche Effekt des Nahfeldes auf die Positionierung aufgezeigt. In der Praxis sind zusätzlich stationsabhängige Fehler und der allgemeine Fehlerhaushalt der GPS Auswertung vorhanden.

Praktische Beispiel mit Nahfeldeffekten in einer RTK-Vernetzung sind in Wübbena et al. 2006a, Wübbena et al. 2006b aufgezeigt. Die Auswirkungen im Koordinatenraum zeigen weit größere Effekte mit über 50 mm in der Höhenkomponente, die orts- und zeitabhängig stark variieren (Lesparre 2006).

#### Diskussion und Zusammenfassung

Es konnten signifikante Effekte des Däbel-Unterbaues auf die PCV-Werte unterschiedlicher Antennen nachgewiesen werden. Die Differenzen gegenüber einer Referenzkalibrierung stellen den Multipath Nahfeldeffekt dar, der in einer GNSS-Auswertung als nicht korrekt modellierte Fehler eingeht. Der Nahfeldeffekt beeinflusst die ursprünglichen Beobachtungen und Troposphärenmodellierung. Generell ist eine Verstärkung des Effektes im Koordinatenraum bekannt, der um mehrere Faktoren größer als die ursprüngliche bestimmten PCV-Differenz ist (Feldmann-Westendorff 2006, Dilßner, Seeber 2006). Vorrangig die Höhenkomponente ist beeinflusst und kann systematische Fehler im mehreren Zentimetern aufweisen.

#### Referenzen

- Becker, M., B. Görres, P. Zeimetz, E. Schönemann (2006). New results of absolute antenna calibrations and related problems. Poster presented at the *IGS Workshop 2006 , Perspectives and Visions for 2010 and beyond*", May 8-12, ESOC, Darmstadt, Germany.
- Dilßner, F., Seeber, G. (2006). Zum Einfluss nicht modellierter Antennenphasenfehler auf die präzise Positionsbestimmung. *6. GPS-Antennen-Workshop*, 21. September, Geodätisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelm Universität Bonn, Bonn.
- Dilßner, F., G. Seeber, M. Schmitz, G. Wübbena, G. Toso, D. Maeusli (2006). Characterization of GOCE SSTI Antennas. *ZfV*, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 131, Heft 2, 61-71.
- Feldmann-Westendorff, U. (2006). Antennenkalibrierung für die GNSS-Kampagne im DHHN 2006-2011. 6. GPS-Antennen-Workshop, 21. September, Geodätisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelm Universität Bonn, Bonn.
- Feldmann-Westendorff, U., C.-H. Jahn (2006). GNSS-Höhenbestimmung in einem einheitlichen Raumbezug. *Schriftenreihe des DVW*, Band 49, Wißner Verlag, 147-171.
- Lesparre, J. (2006). The impact of the antenna mounting on the phase centre variation. Presentation at *Symposium of the IAG Subcommission for Europe* (EUREF), June 14-17, Riga, Latvia.
- Ray, J. (2006). Systematic Errors in GPS Position Estimates. Presentation at the IGS Workshop 2006 "Perspectives and Visions for 2010 and beyond", May 8-12, ESOC, Darmstadt, Germany.
- Schmitz, M., G. Wübbena, G. Boettcher (2004). Near Field Effects of a Car Roof on TPSHIPER\_PLUS Phase Variations. *Geo*++® *White Paper*, 06. Dezember 2004, Garbsen.
- Wanninger, L., C. Rost, G. Hartlieb, M. Kohr (2006). Zur Problematik des Antennenwechsels auf GNSS-Referenzstationen. ZfV, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 131, Heft 4, 171-175.
- Wübbena, G., M. Schmitz, G. Boettcher (2003). Zum Einfluss des Antennennahfeldes. 5. GPS-Antennen-Workshop 2003, B. Görres, J. Campbell, G. Seeber, Geodätisches Institut der Universität Bonn und Institut für Erdmessung der Universität Hannover, Im Rahmen des 5. SPOS-Symposiums. 3. November 2003, Frankfurt/Main.
- Wübbena, G., M. Schmitz, G. Boettcher (2006a). Near-field Effects on GNSS Sites: Analysis using Absolute Robot Calibrations and Procedures to Determine Corrections. Submitted to Proceedings of the IGS Workshop 2006 "Perspectives and Visions for 2010 and beyond", May 8-12, ESOC, Darmstadt, Germany.
- Wübbena, G., M. Schmitz, G. Boettcher (2006b). Neue Aspekte bei der Stationskalibrierung: Trennung Nahfeld und Fernfeld Multipath. 6. GPS-Antennen-Workshop, 21. September, Geodätisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelm Universität Bonn, Bonn.
- Wübbena, G., M. Schmitz, F. Menge, V. Böder, G. Seeber (2000). Automated Absolute Field Calibration of GPS Antennas in Real-Time. Presented at *ION GPS-00*, 19-22 September, Salt Lake City, Utah, USA.