

Konzept und Handhabung der NULLANTENNA in GNSS-Anwendungen

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

15 Dezember 2005

Einleitung

Der Aufbau permanent operierender GNSS Referenzstationen und deren Vernetzung führt zwangsläufig zur Verarbeitung von GNSS-Daten unterschiedlicher Empfänger- und Antennentypen. Dies trifft sowohl für den Betreiber des Referenzstationsnetzes, als auch für einen Nutzer des Referenzstationsdienstes zu.

Ein oftmals unterschätzter Effekt bei der Nutzung unterschiedlicher Ausrüstungen auf Referenz- und Nutzer-Seite sind unterschiedliche Empfangseigenschaften der eingesetzten Antennentypen, aber auch der individuellen Antennen untereinander.

Um diese Problematik technisch bestmöglich zu berücksichtigen, wurde das Konzept der absolut korrigierten Antenne in Form der NULLANTENNA vorgeschlagen (Wübbena et al. 2000). Die Nullantenne ist inzwischen international im IGS (International GPS Service) aufgenommen und ist als Standard im SAPOS beschlossen (AdV 2004).

Aus den Erfahrungen als Kalibrierungsstelle von GNSS-Antennen zeigt sich, das bei den Anwendern, aber auch bei den GNSS Herstellern und Dienstbetreibern, das Konzept und die Handhabung der NULLANTENNA zu Nachfragen führt. Im folgenden wird dies zusammengetragen, vorgestellt und diskutiert. Die dargestellten Aspekte der GNSS-Antennenkorrektur treffen sowohl für Echtzeit als auch für Post-Prozessing Anwendungen zu.

Größenordnung

GNSS-Antennen weisen unterschiedliche Empfangseigenschaften auf. Insbesondere beim Einsatz von unterschiedlichen (gemischten) Antennentypen entstehen Widersprüche in der Auswertung, wenn Unterschiede nicht berücksichtigt werden. Die Differenzen entstehen, weil die gemessenen GNSS-Beobachtungen sich nicht auf einen einheitlichen, geometrisch festen Empfangspunkt beziehen, sondern abhängig vom Einfallswinkel des Signals variieren. Häufig wird hierbei von Phasenzentrumsvariationen oder präziser von Phasenvariationen gesprochen. Abgekürzt werden diese als PCV.

Die Phasenvariationen sind von der Bauform der Antenne (Grundplatte, Radome, Material, etc.) abhängig. Die Phasenvariationen erreichen bei manchen Antennentypen cm-Werte. In Abbildung 1 sind die PCV einer typischen Referenzstationsantenne für das ionosphärenfreie Signal L0¹ dargestellt. Die PCV sind sowohl abhängig von der Elevation (0-90°) als auch vom Azimut (0-360°) des einfallenden Signals. Es ist offensichtlich, daß sich geometrische Widersprüche in der Anwendung im cm-Bereich ergeben, die sowohl die Koordinatenbestimmung als auch die Mehrdeutigkeitsfestsetzung durch Satellitenkonstellation und Beobachtungsdauer beeinflussen. Der resultierenden Fehler in der GNSS-Auswertung wird zusätzlich verstärkt, wenn der ebenfalls vom Einfallswinkel abhängenden GNSS-Fehler der Troposphäre geschätzt wird.

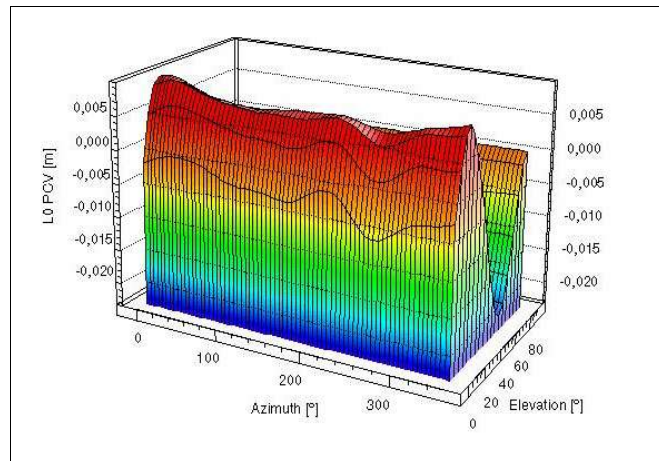


Abbildung 1: L0 PCV einer Referenzstationsantenne

NULLANTENNA

Eine Antenne, die keine Phasenvariationen aufweist und deren Beobachtungen sich auf einen Punkt beziehen, wird als Nullantenne bezeichnet. Die Phasenvariationen sind per Definition Null. In der IGS Namenskonvention über einheitliche Empfänger-, Antennen- und Radome-Bezeichnungen, wird die GPPNULLANTENNA als „ideale, isotrope, absolute Antenne“ angegeben. Abweichend zu der internationalen Konvention wird im SAPOS die Nullantenne als ADVNULLANTENNA benannt. Die Definition und das Konzept sind jedoch identisch.

Die Nullantenne mit absoluten, elevations- und azimutabhängigen PCV wird am besten durch individuelle Antennenkorrekturen realisiert. Wesentlich für die Güte der Realisierung ist hierbei die erzielbare, verfahrensabhängige Genauigkeit der PCV-Bestimmung. Die präziseste, operationelle, absolute Kalibrierung wird durch den Einsatz eines Roboters erreicht, der den Antennenprüfling kippt und rotiert (Wübbena et al. 2000). Abbildung 2 zeigt PCV einer Antenne, die mit absoluten PCV-Korrekturen ein zweites Mal absolut

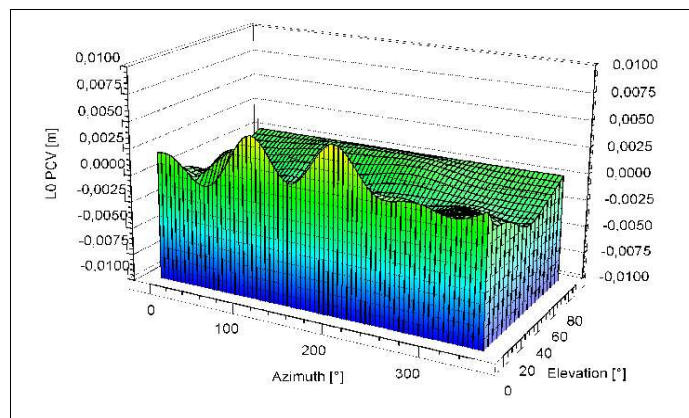


Abbildung 2: Realisierung einer NULLANTENNA: L0 PCV

mit dem Roboterverfahren kalibriert wurde. Es wird sozusagen eine Nullantenne kalibriert, die somit die Genauigkeit des Verfahrens aufzeigt. Die Kippungen und Rotationen der Antenne wurden während der Kalibrierung bei der PCV-Korrektur berücksichtigt. Die in dieser Kalibrierung geschätzten PCV sind ein verbleibender Einfluss nach der PCV-Korrektur und stellen die $\sqrt{2}$ -fache Unsicherheit der Verfahrens dar. In Abbildung 2 sind die PCV für das L0 Signal dargestellt. Für L1 und L2 ergeben sich Differenzen, die um den Faktor 2 bis 3 kleiner sind als L0. Eine präzise Kalibrierung erreicht Standardabweichungen von 0.2 bis 0.3 mm, die mit der erzielten Wiederholbarkeit in Abbildung 2 übereinstimmt.

¹ Das ionosphärenfreie L0 ist eine Linearkombination aus L1 und L2 und wird häufig zur Koordinatenschätzung in großen Netzen verwendet. L0 repräsentiert im allgemeinen auch den Effekt der Phasenvariationen bei einer RTK-Messung.

Bereitstellung des PCV Niveaus bei der Datenabgabe

Für den Nutzer eines Dienstes ist es wichtig, das er Informationen über die verwendeten Antennen mitgeteilt bekommt. Dies muss eindeutig, automatisierbar und vorzugsweise mit der Datenabgabe erfolgen.

In Postprocessing Anwendungen werden Daten in der Regel über RINEX Dateien ausgetauscht, die direkt lesbar sind (ASCII). Im Header der RINEX Datei sind detaillierte Angaben zur verwendeten Antenne und Empfänger möglich. Ein korrekter automatischer Datenfluss steht und fällt mit den korrekten Angaben im RINEX Header und der Verarbeitung durch die eingesetzte Auswerte-Software. Grundvoraussetzung ist die einheitliche Bezeichnung der verwendeten Antenne und Empfänger, insbesondere bei einem Betrieb eines Referenzdienstes (IGS, SAPOS, etc.). Hier hat es sich bewährt die IGS Namenskonvention (Datei rcvr_ant.tab) einzuhalten. Bei der Verwendung der Nullantenne ist dann als Antennentyp GPPNULLANTENNA anzugeben. Zusätzlich ermöglicht RINEX Kommentarzeilen im Header. Hier ist es oftmals hilfreich, wenn die ursprüngliche Antenne mit Typ und Seriennummer angegeben wird. Zur Zeit wird ebenfalls diskutiert, als Seriennummer der NULLANTENNA immer die Seriennummer der originären Antenne auszutauschen. Die zur Realisierung der Nullantenne verwendete Kalibrierungsdatei und das Kalibrierungsverfahren sollten in einem Kommentar ebenfalls benannt werden. Die Forderung nach Einheitlichkeit bezieht sich neben den Antennenangaben in den Daten auch auf die Dateibenennung und sogar auf die Strukturierung von Daten auf digitalen Datenträgern.

2.10	OBSERVATION DATA	M						RINEX VERSION /
TYPE								
GN-RINEX 1.1	SenStadt Berlin	28-JUN-04 06:59						PGM / RUN BY / DATE
RXO2RXO 1.1u		08-Jul-04 11:40						COMMENT
0897								MARKER NAME
Berlin-Wittenau								MARKER NUMBER
SAPOS	SenStadt Berlin							OBSERVER / AGENCY
MT300345636	JPS EUROCARD	2.2 Jun,13,2002p3						REC # / TYPE / VERS
RR2-30064	GPPNULLANTENNA							ANT # / TYPE
3778795.7600	895001.9200	5042858.3600						APPROX POSITION XYZ
ETRS89/ETRF91								COMMENT
0.0000	0.0000	0.0000						ANTENNA: DELTA
H/E/N								
1 1								WAVELENGTH FACT
L1/2								
5 C1 L1 D1 P2 L2								# / TYPES OF OBSERV
10.000								INTERVAL
2004 6 28 7 0 0.000000						GPS		TIME OF FIRST OBS
13								LEAP SECONDS
								END OF HEADER

Tabelle 1: RINEX-Header nach IGS Konventionen

Das binäre RTCM Format wird bei Echtzeitdaten für den Datenaustausch verwendet. Für den Nutzer ist es nicht ohne weiteres möglich, die Inhalt der Daten selber zu analysieren, sondern diese Aufgabe fällt der verwendeten Software zu. In der Regel wird dieses von RTK-Systemen, sog. Rovern, durchgeführt. Seit der Version 2.3 ist es möglich, die Antenne und die Antennenhöhe bis zum Antennenreferenzpunkt (ARP) im Datenstrom mitzuteilen.

Ein Referenzstationsdienst, der Daten mit sogenannten relativen PCV-Korrekturen bereitgestellt, muss für eine korrekte und eindeutige Zuordnungsmöglichkeit sorgen. Dies kann durch die Angabe des Antennentyps erfolgen, auf den sich die relative Korrektur bezieht. Dies ist in der Regel die AOAD/M_T Antenne. Um den Unterschied zwischen absoluten und relativen Niveau näher zu erläutern, folgt ein kurze Exkurs.

Exkurs absolutes und relatives Niveau

Absolute Kalibrierungsergebnisse wurden wegen nicht erklärbarer Effekte in der Anwendung lange verworfen. Erst durch die absolute Feldkalibrierung mit einem Roboter konnten absolute Ergebnisse aus Kammerkalibrierungen unabhängig bestätigt (Rothacher 2001, Campbell et al. 2004) und die auftretenden Effekte anderen Ursachen korrekt zugeordnet werden. Bei der absoluten Feldkalibrierung in Echtzeit hat die zwingend für die präzise GNSS-Auswertung notwendige zweite Antenne keinen Einfluss auf die bestimmten Phasenvariationen.

Bei der relativen Feldkalibrierung von Antennen sind immer zwei Antennen involviert, der Prüfling und eine Referenzantenne. Die Trennung der PCV-Einflusses beider Antennen ist nicht ohne weiteres möglich. Daher wurde aus messtechnischen Gründen als Referenzantennentyp die AOAD/M_T benutzt und deren Phasenvariationen per Definition zu Null gesetzt.

Die bei der relativen Feldkalibrierung verwendeten Referenzantenne AOAD/M_T hat naturgemäß ebenfalls Phasenvariationen von 1-2 cm, wie in Abbildung 3 erkennbar ist. Die Phasenvariationen der Referenzantenne werden per Definition mit Null angenommen, tatsächlich jedoch auf den Prüfling übertragen. Ergebnis einer relativen Feldkalibrierung ist somit die Differenz der Phasenvariationen des Prüflings gegenüber der Referenzantenne. Relative PCV-Korrekturen verändern die Phasenvariationen des Antennenprüflings

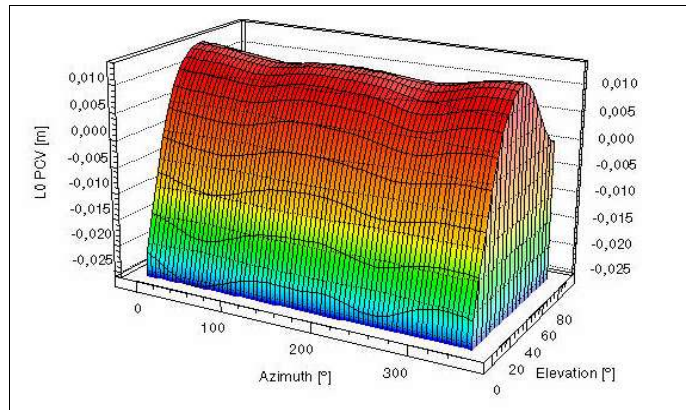


Abbildung 3: L0 PCV der AOAD/M_T

so, dass sie den PCV der Referenzantenne entsprechen. Wird bei der relativen Antennenkalibrierung ein anderer Typ als Referenzantenne benutzt, sollten dieser auf die international verwendete AOAD/M_T umgerechnet werden.

Sind in der relativen Feldkalibrierung für die verwendete Referenzantenne absolute Phasenvariationen bekannt, so können die Ergebnisse in der Auswertung bzw. nachträglich auf ein absolutes Niveau umgerechnet werden (Schmitz et al. 2001). Hierbei ist allerdings zu beachten, dass durch die Umrechnung Unsicherheiten mehrerer Kalibrierungen im Ergebnis enthalten sind (Fehlerfortpflanzung).

Bezugspunkte einer Kalibrierung

Der Bezug der Phasenvariationen zur Antenne selber wird durch die Definition einer Nordrichtung und eines Höhenbezuges bei der Kalibrierung erreicht. Voraussetzung hierbei ist, dass bei der Herstellung der Antennen bereits auf einen gleichen Zusammenbau geachtet wird. Durch umfangreiche Kalibrierungen individueller Antennen wurden beispielsweise Verdrehungen des Empfangselementes in einem Antennentyp (Wübbena et al. 2000) oder Modifikationen in der Bauserie nachgewiesen (GNPCVDB). Einzelne Bauteile der Antenne, wie Grundplatten und Radome, sollten immer in gleicher Weise an den Antennenkörper angebracht werden. Bei einem Abbau ist es sinnvoll die Stellung zu dem Antennenkörper zu markieren.

Als Richtlinie für den Höhenbezug wird der unterste, nicht entfernbare Teil der Antenne als Antennenreferenzpunkt angehalten. In einzelnen Fällen kann dies jedoch abweichen oder anders festgelegt worden sein. In der Regel wird als Nordrichtung eine von Hersteller angebrachte Markierung oder der Kabelanschluss verwendet. Es gibt jedoch Antennentypen die keine Markierung der Nordrichtung besitzen und völlig symmetrisch sind, so dass keine ausgezeichnete Richtung festlegbar ist. Hier ist bei der Kalibrierung eine Markierung anzubringen. Der Antennenreferenzpunkt wird vom IGS dokumentiert, die Nordrichtung leider nicht. Letztendlich sind jedoch ausschließlich die bei der Kalibrierung definierte ARP und Nordrichtung für die

Antenne zu verwenden. Auf eine Ausrichtung der Antenne, auch bei RTK-System, ist in der späteren Messung zu achten oder der Effekt durch eine Vernachlässigung sorgfältig abzuschätzen.

Formate für Antennenkorrekturen

Die Phasenvariationen einer Antenne müssen einem Nutzer bereitgestellt und in der Auswertung angebracht werden. Hierfür sind standardisierte Formate notwendig, die zum einen sämtliche Informationen transportieren und zum anderen in der Auswertung direkt benutzt werden können. Das IGS-Format wurde lange Zeit hierfür verwendet. Es hat jedoch den wesentlichen Nachteil, dass keine azimutabhängigen PCV definiert sind und das Niveau der Korrekturen (absolut oder relativ) nicht erkennbar ist. Hersteller entwickelten deshalb eigene Formate (z. B. Geo++ Format). Bereits in 2000 wurde ein neues internationales Antenna Exchange Format (ANTEX) definiert, das inzwischen allgemein akzeptiert und aufgenommen wird.

Handhabung auf der Referenz-Seite

Die Korrektur der Antennen in einem Referenzdienst ist mit der Bezeichnung NULLANTENNA als Antennentyp eindeutig festgelegt. Ob individuelle Korrekturen auf absolutem Niveau oder umgerechnete Korrekturen aus relativen Kalibrierungsverfahren benutzt werden, bleibt den Genauigkeitsstandard der Dienstbetreiber überlassen. Bei Daten mit relativ korrigierten Antennen ist als Antennentyp die Referenzantenne, also im allgemeinen die AOAD/M_T, in den Daten anzugeben. Unkorrigierte Daten beinhalten immer die Bezeichnung der originalen Antenne. Der Nutzer ist somit eindeutig darüber informiert, welche Fehleranteile der Antenne in den Daten enthalten sind.

Handhabung auf der Nutzer-Seite

Der Nutzer muss entscheiden, welche Maßnahmen für die Korrektur der Antennen in seiner GNSS Auswertung angewendet werden sollen. Die notwendigen Informationen hierüber liegen ihm mit den korrekt geführten Angaben in den Daten vor.

Wenn die RINEX Daten sich nicht auf eine Nullantenne beziehen, müssen die Korrekturwerte als externen Informationen bereitgestellt werden. Im SAPOS werden individuelle Korrekturdateien im allgemeinen für die Auswertung der gelieferten Daten zur Verfügung gestellt. Oftmals ist die Verwendung von PCV-Korrekturen ausschließlich auf die gelieferten Daten beschränkt. Alternativ kann auf Typdatenbanken zugegriffen werden, wobei Genauigkeit- und Konsistenzunterschiede (Verfahren bzw. Quelle) für die eigene Anwendung abzuschätzen sind.

Bei RTCM-Datenströmen liegen die gleichen Bedingungen vor. Hier sind die RTK-Rover Hersteller gefordert, die eine klare und eindeutige Konfiguration der Antennenkorrekturen erlauben müssen. Dies ist wiederum völlig unabhängig vom Niveau (absolut oder relativ) der Kalibrierungen, das auf Referenz-Seite verwendet, oder auf Rover-Seite benutzt werden soll.

Auf der Referenz-Seite kann es grundsätzlich drei Fälle geben: absolute Kalibrierung (NULLANTENNA), relative Kalibrierung (AOAD/M_T) und individuelle, nicht korrigierte Antenne. Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung von allgemein vorkommenden Kombinationen. Auf Fälle ohne eine Korrektur oder nur einer Offset-Korrektur wird nicht eingegangen. Der Nutzer eines Referenzstationsdienstes hat keinen Einfluss, wie die Daten auf der Referenz-Seite korrigiert werden, sondern muss sich auf die Antennenangaben im Datenstrom verlassen. Dies zeigt auch eine Verantwortung der Betreiber für korrekte Angaben über die Antennen auf (nach Umbauten, Änderungen, Historie).

		<i>Antenne Referenz-Seite</i>		
			absolut korrigiert (NULLANTENNA)	relativ korrigiert (AOAD/M_T)
<i>Antenne Nutzer-Seite</i>	absolute Korrektur	Referenzdaten	keine Korrektur	absolute Korrektur AOAD/M_T
		Nutzerdaten	absolute Korrektur	absolute Korrektur
	relative Korrektur	Referenzdaten	1. absolute Korrektur AOAD/M_T 2. relative Korrektur AOAD/M_T	keine Korrektur
		Nutzerdaten	relative Korrektur	relative Korrektur

Tabelle 2: Kombinationen von Antennenkorrekturen

In Tabelle 2 werden nur einzelne Korrekturen für die unterschiedliche Berücksichtigung der Antennen angebracht. Generell kann die Zuordnung eindeutig über das neue ANTEX-Format erfolgen, das eine Unterscheidung von relativen und absoluten PCV ermöglicht. Bei den gegenwärtig verwendeten Formaten ist der Inhalt einer PCV-Korrektur-Datei nicht immer offensichtlich und nur mit externer Information bekannt. Deshalb stellt die Tabelle 2 die Korrektur von Daten der NULLANTENNA für eine Auswertung auf relativem Niveau in zwei Schritten dar, um eine Zusammenfassung von mehreren Korrekturen zu vermeiden.

Im Post-Prozessing hat der Auswerter es selbst in der Hand, welche und auf welche Art und Weise Korrekturen angebracht werden. RTK-Systeme lassen eine Auswahl zwischen relativen oder absoluten Antennenkorrekturen oftmals nicht zu. Hier erfolgt dann der 1. Schritt in der Kombination Referenz-Seite „absolut korrigiert“ und Nutzer-Seite verwendet „relative Korrektur“ durch die Rover-Software nicht automatisch. Formell ändert sich nach dem 1. Schritt der Antennentyp in den Referenzdaten von NULLANTENNA in AOAD/M_T und wird dann korrekt behandelt. Die beiden Korrekturen können zusammengefasst und in einem Schritt angebracht werden. Die hierfür benötigten Korrekturdaten sind frei verfügbar (IfE, Geo++ 2000).

Hierzu einige Beispiele:

Es wird eine ADVNULLANTENNA über RTCM-Daten mitgeteilt. Dies bedeutet, dass der Referenzstationsdienst eine absolute Antennenkalibrierung angebracht hat und keine Phasenvariationen mehr enthalten sind. Die Daten sind so korrigiert, so dass sich alle Phasenbeobachtungen auf den ARP beziehen. Gegebenenfalls ist eine Antennenhöhe zu berücksichtigen um einen Koordinatenbezug herzustellen.

- Der Nutzer hat individuelle absolute Korrekturen seiner Antenne, die er im RTK-System einspielen und konfigurieren kann. Die ankommenden RTCM-Daten werden nicht korrigiert und die Daten der eigenen Antennen mit den vorliegenden individuellen Daten korrigiert.
- Der Nutzer findet auf seinem RTK-System nur Typ-Korrekturen auf relativem Niveau für seine Antenne, aber auch die bislang als Referenzantenne verwendete AOAD/M_T Antenne mit absoluten Korrekturen (frei verfügbar). An den Daten der Referenz-Seite wird die absolute AOAD/M_T Kalibrierung angebracht. Hierdurch ändert sich formell die Antenne von ADVNULLANTENNA auf AOAD/M_T, siehe oben. Alle weiteren Entscheidungen können eindeutig und korrekt anhand der vorliegenden Information getroffen werden, in diesem Fall für das relative Niveau. Der Nutzer bringt eine relative Typkalibrierung für die RTK-Daten an.

Offsets, Elevationabhängige und Azimutale Korrekturen

Oftmals wurden in GNSS-Auswertungen nur Antennen-Offsets für die Korrektur verwendet. Die Hersteller argumentieren mit einer einfacheren Handhabung für den Nutzer. Dies führt jedoch sehr leicht zu inkonsistenten Korrekturen. Der Höhen-Offset der Antenne ist im allgemeinen zwischen Kalibrierungsstellen nicht vergleichbar, da eine Abhängigkeit von der Berechnungsweise und der Elevationsmaske der Eingangsdaten bei der PCV-Bestimmung besteht². Eine Korrektur sollte deshalb mindestens aus Offsets und zugehörigen elevationsabhängigen Korrekturen bestehen. Eine vollständige und bestmögliche Beschreibung ist mit Offsets und zugehörigen elevations- und azimutabhängigen PCV gegeben. Die Orientierung der Antenne ist sowohl für die Offsets als auch für die azimutalen Korrekturen notwendig. Das Argument, man kann einem Nutzer eine Nordausrichtung der Antenne nicht zumuten, erfordert sehr geringe Lage-Offsets der Antenne.

Liegen keine Orientierungsinformationen vor, muss die Auswirkung der Vernachlässigung sorgfältig abgeschätzt werden. Die Offsets sollten demnach nachweislich sehr klein und nur elevationsabhängige PCV verwendet werden. Sind auch die PCV sehr klein, kann bei vorliegender NULLANTENNA auf Referenz-Seite in Abhängigkeit von der angestrebten Genauigkeit auch auf diese Korrektur verzichtet werden.

Wird jedoch auf der Referenz-Seite noch mit relativen PCV korrigiert, entstehen in den Streckenmessungen zu den Satelliten Diskrepanzen im Zentimeterbereich. Der Antennentyp AOAD/M_T, der der relativen Korrektur entspricht, weist ebenso Höhen-Offsets auf, die nicht null sind².

Die sorgfältige Korrektur der Antennen hat nicht nur Einfluss auf die bestimmten Koordinaten, sondern auch auf Schnelligkeit und Zuverlässigkeit der Mehrdeutigkeitslösung. Somit ist diese recht einfach zu korrigierende Komponente eine wesentliche Aufgabe für ein optimal konfiguriertes GNSS-System nicht zu vernachlässigen.

Einfluss auf Koordinatenbestimmung

Die Genauigkeit der Antennenkalibrierung ist nicht getrennt für die Bestimmung von Offset und PCV anzusetzen, sondern gemeinsam für PCV und Offset. Dies wird offensichtlich, wenn Fehlerfortpflanzung und die ionosphärenfreie Linearkombination (L0) für eine Abschätzung des Einflusses von Offset und PCV auf die GPS-Positionsbestimmung betrachtet wird. Die Standardabweichung des L0 PCV ist ungefähr das dreifache des L1 und L2 PCV. Für die Positionsbestimmung in ionosphärisch aktiven Zeiten ist das L0 relevant. Oftmals werden Genauigkeiten von 1-2 mm für L1/L2 Offset sowie von 1-2 mm für L1/L2 PCV diskutiert. Die Standardabweichung der PCV für die Linearkombination L0 liegt dann mit diesen Größenordnungen im Bereich von ca. 4 bis 7 mm.

Der Effekt auf die GPS-Positionsgenauigkeit wird über Standardabweichung der Position s_P , Standardabweichung der Phasenmessungen s_R und einem Maß der Satellitengeometrie, Position Dilution of Precision (PDOP), definiert zu:

$$s_P = s_R * PDOP .$$

Mit einem PDOP Wert von 1-3 ergeben sich durch die Unsicherheiten der PCV-Einflüsse auf die Positionierung im Bereich von ca. 4 bis 21 mm. Dies ist für präzise Anwendungen zu ungenau. Für eine PCV-Bestimmung sind somit bestmögliche Genauigkeiten für die Gesamtheit von Offsets und PCV zu fordern. Es wird ebenfalls oft die Frage nach der Notwendigkeit von individuellen Antennenkalibrierungen gegenüber Typkalibrierung gestellt. Die obige Abschätzung besitzt auch für individuelle Differenzen einzelner Antennen ihre Gültigkeit.

² Hierdurch ergeben sich beispielsweise die Differenzen einer AOAD/M_T Höhen-Offset Angaben zwischen NGS und GNPCVDB von 8 bzw. 19 mm in L1 und L2.

Konsistenz/Mischung von Korrekturen

Vielfältigen Untersuchungen im Rahmen der seit 1999 jährlich durchgeführten Antennen-Workshops in Deutschland (AWS 1999-2003) und internationale Aussagen (Mader 2001) bestätigen, dass bei höchsten Genauigkeitsanforderungen die Antennenkorrekturen aus einem konsistenten Verfahren/einer Quelle verwendet werden sollen. Beispielsweise sind absolute Kalibrierungen mit einem Roboter aus unterschiedlichen Quellen konsistent. Die Mischung unterschiedlicher Herkunft reduziert die erreichbare Genauigkeit insbesondere in der Höhenkomponente. Nichtsdestotrotz sind nur auf Lagekoordinaten abzielende Anwendungen auch betroffen, da beispielsweise die Fähigkeit auf einem RTK-Rover Mehrdeutigkeiten festzusetzen sowie die Zeitdauer hierfür von der konsistenten und präzisen Korrektur der Antennen abhängt.

Diskussion

Die Größenordnung, Notwendigkeit und Unterschiede der Korrektur von Antennenphasenvariationen wurde aufgezeigt und die Handhabung insbesondere bei Echtzeitanwendungen anhand der Nullantenne dargestellt.

Absolute Antennenkorrekturen sind inzwischen weltweit als genaueste und einzig korrekte Behandlung der Phasenvariationen von Antennen anerkannt (Schmid et. al. 2004). Zurückhaltung bestehen allerdings bei der Umsetzung, da sich das neue internationale Antennenaustauschformat ANTEX durchsetzen muss und der Einfluss auf die eigene Anwendung meist unterschätzt wird.

Die Wahl der Antennenkorrektur ist letztendlich abhängig von der geforderten Genauigkeit der Anwendung. Jedoch sind Mehrdeutigkeitslösung und Initialisierungszeit eines RTK-Rover auch von der korrekten und konsistenten Antennenkorrektur abhängig. Ein Referenzstationsdienst sollte für seine Kunden immer die zur Zeit technisch beste Lösung realisieren, damit dieser die für seine Anwendung angemessenen Maßnahmen durchführen kann. Das sind aus heutiger Sicht sicherlich absolute, individuelle, elevations- und azimutabhängige Phasenvariationen aus einer Quelle.

Literaturverzeichnis

- AdV (2004). *Einheitlichkeit von SAPOS. Kalibrierung von Antennen auf den SAPOS-Referenzstationen*. Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung, www.sapos.de, Stand August 2004.
- AWS (1999). *Workshop zur Festlegung des Phasenzentrums von GPS-Antennen*. Geodätisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 28. April 1999.
- AWS (2000). *GPS-Antennenworkshop*. G. Seeber, F. Menge, V. Böder (Hrsg.), Institut für Erdmessung, Universität Hannover, 10. Mai 2000.
- AWS (2001). *3. GPS-Antennen-Workshop 2001*. Geodätisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 11. Mai 2001.
- AWS (2002). *4. GPS-Antennen Workshop*. Im Rahmen des 4. SAPOS-Symposium, Institut für Erdmessung (IfE) und Landesvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen (LGN), Hannover, 21. Mai 2002.
- AWS (2003). *5. GPS-Antennen-Workshop 2003*. B. Görres, J. Campbell, G. Seeber (Hrsg.), Geodätisches Institut der Universität Bonn und Institut für Erdmessung der Universität Hannover, Im Rahmen des 5. SPOS-Symposium, Frankfurt/Main, 3. November 2003.
- Campbell, J., B. Görres, M. Siems, J. Wirsch, M. Becker (2004). Zur Genauigkeit der GPS Antennenkalibrierung auf der Grundlage von Labormessungen und deren Vergleich mit anderen Verfahren. *AVN, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 111. Heft 1, 2-11.
- IfE, Geo++[®] (2000). *AOAD/M_T Choke Ring Antenna Absolute PCV Field Calibration at IfE and Geo++[®]*. Internet publication compiled by F. Menge and M. Schmitz, http://www.ife.uni-hannover.de/~web/AOA_DM_T oder http://www.geopp.com/gnpcvdb/AOA_DM_T.
- Mader, G. (2001). A Comparison of Absolute and Relative GPS Antenna Calibrations. *GPS Solutions*, 4, No.4, 33-40.
- Rothacher, M. (2001). Kombination absoluter und relativer Antennenkalibrierungen. AWS (2001).

Schmid, R., G. Mader, T. Herring (2004). From Relative to Absolute Antenna Phase Center Corrections. Position paper, *IGS Workshop & Symposium "Celebrating a Decade of the International GPS Service IGS"*, March 1-5, 2004, Berne, Switzerland.

Schmitz, M., G. Wübbena, G. Boettcher (2001). Umrechnung des Niveaus von GPS Antennenkalibrierungen. *Geo++® White Paper*, 14. Dezember 2001, Garbsen.

Wübbena, G., M. Schmitz, A. Bagge (2000). Internationale Standards und PCV Korrekturen. *AWS 2000*.

Wübbena, G., M. Schmitz, G. Boettcher, F. Menge, V. Böder, H. Leistner, G. Seeber (2000). Absolute Feldkalibrierung von GPS-Antennen – Ergebnisse (Teil 2). *AWS 2000*.

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.

Internet-Links

ANTEX	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/antex12.txt
GNPCVDB	www.gnpcvdb.geopp.de
IGS	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/antenna.gra
IGS Namenskonvention	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/rcvr_ant.tab
NGS	www.ngs.noaa.gov/antcal/index.shtml
RINEX	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/data/format/rinex210.txt
RTCM	http://www.rtcn.org/
SAPOS	www.sapos.de