
Berücksichtigung von Antennenkorrekturen bei GNSS-Anwendungen

Fachautoren: Philipp Zeimetz, Universität Bonn
Matthias Becker, TU Darmstadt
Heiner Kuhlmann, Universität Bonn
Steffen Schön, Leibniz Universität Hannover
Lambert Wanninger, TU Dresden

weitere Beteiligte: DVW Arbeitskreise:
- Ingenieurvermessung (AK 4)
- Messmethoden und Systeme (AK 3)
- Experimentelle Angewandte und Theoretische Geodäsie (AK 7)

Beschlussfassung: Beschlossen vom DVW Arbeitskreis 4 am 09.09.2011
Verabschiedet vom Präsidium des DVW am 09.09.2011

**Dokumentenstatus:
verabschiedet**

Zielsetzung

Im Merkblatt „Berücksichtigung von Antennenkorrekturen bei GNSS-Anwendungen“ wird die Antennenproblematik aufgegriffen und der Einfluss richtungsabhängiger Phasenvariationen auf die Positionsbestimmung diskutiert. Es wird zudem dargestellt, wie diese Einflüsse durch die Anbringung von Kalibrierwerten korrigiert werden können.

GNSS-Empfangsantennen (GNSS: globales Satellitennavigationssystem) sind die eigentlichen Sensoren bei der Koordinatenbestimmung mit GNSS-Verfahren. Bei der auf Trägerphasenmessungen basierenden Positionsbestimmung führen richtungsabhängige Variationen des Phasenzentrums zu systematischen Phasenabweichungen, die aufgrund ihrer Größenordnung zusammen mit Mehrwege-, Nahfeld- und Atmosphäreinflüssen zu den dominierenden Störgrößen gehören. Da die Antenneneigenschaften als zeitlich konstant angesehen werden können, sind eine Kalibrierung der Antennen und eine rechnerische Korrektur der GNSS-Beobachtungen möglich. Für die Kalibrierung stehen heute sowohl Feld- als auch Laborverfahren zur Verfügung.

1 Antennenmodell

Bei der Bestimmung von Koordinaten bzw. Koordinatenunterschieden mit GNSS-Verfahren wird im funktionalen Modell der Ausgleichung angenommen, dass sich die Beobachtung, d.h. die Trägerphasenmessung ϕ , auf einen festen, geometrisch bekannten Bezugspunkt bezieht, beispielsweise den Antennenreferenzpunkt (ARP). Tatsächlich variiert die Position des Bezugspunkts der Phasenmessung in Abhängigkeit von der Einstrahlrichtung (relevant ist hier die Einstrahlrichtung bezogen auf ein antennenfestes System). Der Gesamteinfluss wird durch zwei Komponenten beschrieben: Die Lage des mittleren Phasenzentrums E bezüglich des ARPs wird durch den Phasenzentrumsoffset (PZO) beschrieben. Die richtungsabhängigen Variationen werden als Phasenzentrumsvariationen (PZV) bezeichnet. Die geometrischen Zusammenhänge zwischen den PZV, dem ARP und dem PZO sind in Abbildung 1 dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur die Abweichungen von der Kugelfläche um E als PZV in die Auswertung eingehen, da richtungsunabhängige Anteile durch die Bildung von Doppeldifferenzen oder die Bestimmung des Empfängeruhrenfehlers eliminiert werden. (Anm.: In der Abbildung sowie in der nachfolgenden Formel wird der PZO aufgrund von Konventionen für die Darstellung von Vektoren in Kleinbuchstaben und in Fettschrift dargestellt).

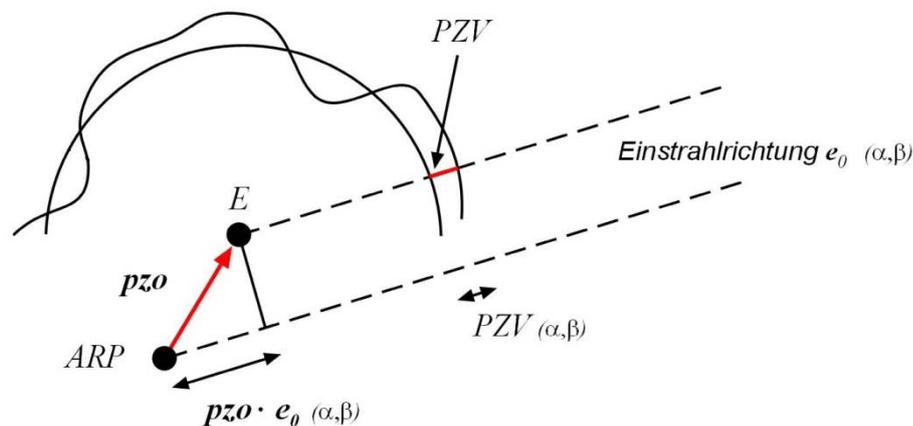


Abbildung 1: Modell der richtungsabhängigen Phasenvariationen

Der Gesamteinfluss $\Delta\phi$ kann durch die folgende Gleichung beschrieben werden.

$$\Delta\phi = \mathbf{pzo} \cdot \mathbf{e}_0(\alpha, \beta) + PZV(\alpha, \beta)$$

Eine auf den ARP bezogene Phasenmessung muss demnach um die Einflüsse von PZO und PZV, die vom Azimut α und der Elevation β abhängen, korrigiert werden. Der Einfluss des PZOs auf die

Phasenmessung kann durch das Produkt des PZO mit dem normierten Richtungsvektor $\mathbf{e}_o(\alpha, \beta)$ zum jeweiligen Satelliten berechnet werden. Die von der Einstrahlrichtung abhängigen PZV können direkt an die Phasenmessung angebracht werden. Zur vollständigen Beschreibung des Antennenmodells sind somit stets beide Anteile (PZO, PZV) zu berücksichtigen. Informationen zur Vorzeichenkonvention sind in Rothacher und Schmid (2010) gegeben.

Der Abstand des mittleren Phasenzentrums vom ARP variiert in Abhängigkeit des Antennentyps. Zudem sind die Werte frequenzabhängig. In Tabelle 1 sind für einige Antennentypen Angaben zum Abstand des mittleren Phasenzentrums vom ARP sowie die Größenordnung der Phasenzentrumsvariationen exemplarisch für die GPS-Frequenzen L1 und L2 dargestellt.

Tab. 1: Darstellung typischer Größenordnungen von PZO und PZV am Beispiel ausgewählter Antennen für die Frequenzen L1 und L2. Je nach Methode zur Trennung der PZO- und PZV-Komponenten können abweichende Ergebnisse resultieren.

Antennentyp (IGS-Bezeichnung)	vertikale PZO L1 / L2 [mm]	horizontale PZO L1 / L2 [mm]	maximale PZV L1 / L2 [mm]
Choke-Ring-Antennen			
JAV_RINGANT_G3T	49 / 55	2 / 7	9 / 9
LEIAR25.R3	162 / 159	<1 / <1	5 / 9
TPSCR.G3	88 / 119	<1 / <1	16 / 8
Große Grundplatten			
ASH700228A	58 / 65	3 / 4	13 / 11
TRM41249.00	55 / 57	<1 / <1	7 / 7
Kleine Grundplatten (Rover-Antennen)			
LEIAX1203+GNSS	59 / 55	2 / 3	2 / 2
TRMR8 GNSS3	84 / 72	1 / 1	4 / 6

Die PZV sind bei geodätischen Antennen meist kleiner als 1 Zentimeter. Dabei treten häufig starke elevationsabhängige Phasenzentrumsvariationen auf, während azimutale Variationen oft deutlich geringer ausfallen. Auch die PZV sind für verschiedene Antennentypen unterschiedlich.

Neben den genannten bauarttypischen Charakteristika, treten auch antennenspezifische Variationen auf (Serienstreuung), die je nach Genauigkeitsanforderung die individuelle Kalibrierung von GNSS-Antennen notwendig machen können. Die heute verfügbaren Antennenkalibrierverfahren, die eine Bestimmung von PZO und PZV ermöglichen, werden in Kapitel 3 erläutert. Zunächst werden jedoch kurz die Auswirkungen der Antenneneinflüsse auf die GNSS-Messungen dargestellt.

2 Auswirkung der Antenneneinflüsse auf GNSS-Messungen

Bei der absoluten Punktbestimmung hängt die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Antennenkorrekturen vom Messverfahren und der daraus resultierenden Positionsgenauigkeit ab. Werden phasengeglättete Codemessungen verwendet, ist bei der heute zu erwartenden absoluten Positionsgenauigkeit grundsätzlich eine Anbringung der PZO-Korrekturen zu empfehlen. Bei hochpräzisen Messverfahren wie beispielsweise der relativen Positionsbestimmung gehören die Antenneneinflüsse heute, neben Troposphären-, Mehrwege- und Nahfeldeinflüssen zu den dominierenden Einflussgrößen, so dass die Anbringung von PZO- und PZV-Korrekturen notwendig ist, wobei stets die Effekte der Antennen auf beiden Stationen zu berücksichtigen sind. Bei präzisen Absolutverfahren wie beispielsweise dem Precise Point Positioning (PPP) ist die Anbringung von PZO- und PZV-Korrekturen ebenfalls anzuraten.

Die Berücksichtigung von Antennenkorrekturen ist heute in fast allen geodätischen GNSS-Auswerteprogrammen möglich. Teilweise enthalten diese Programme für einige Antennentypen Korrekturdaten für die Berücksichtigung antennentypabhängiger mittlerer PZO. Antennentypabhängige Phasenzentrumsvariationen liegen bei kommerziellen Produkten häufig nicht oder nur für wenige Antennentypen vor. Antennentypkorrekturen können aber meist vom Nutzer, ebenso wie antennenspezifische individuelle Korrekturen, importiert werden. Als Datenaustauschformat hat sich hierfür das ANTEX-Format (aktuell in der Version 1.4) durchgesetzt. Eine ANTEX-Formatbeschreibung befindet sich auf der Homepage des IGS (International GNSS Service, <http://igsb.jpl.nasa.gov>). Ebenfalls verbreitet ist das ältere NGS-Format (NGS: National Geodetic Survey, <http://www.ngs.noaa.gov>), das jedoch wenig umfangreich ist und insbesondere die Darstellung azimutabhängiger Variationen nicht vorsieht.

2.1 Verwendung antennenspezifischer (individueller) Kalibrierwerte

Eine bestmögliche Elimination der oben dargestellten azimut- und elevationsabhängigen Antenneneinflüsse wird durch die Verwendung antennenspezifischer Kalibrierwerte erreicht. Die individuelle Kalibrierung von Antennen ist dann zu empfehlen, wenn hochgenaue Positionen angestrebt werden. Für die Durchführung individueller Kalibrierungen stehen die in Kapitel 3 genannten Kalibrierverfahren zur Verfügung. Eine Liste der Kalibriereinrichtungen in Deutschland findet sich in Abschnitt 4.

Werden individuelle Kalibrierwerte verwendet, kann für den Bereich von 10° bis 90° Elevation eine Reduktion der richtungsabhängigen Phasenvariationen auf 1 bis 2 mm erreicht werden (gilt für die GPS-Frequenzen L1 und L2). Die Größenordnung der verbleibenden Kalibrierunsicherheiten ist vom verwendeten Antennentyp abhängig. Im Allgemeinen gilt, dass gut geschirmte Antennen (z.B. Choke-Ring-Antennen) mit einer höheren Genauigkeit kalibriert werden können als zum Beispiel Roverantennen. Ursache hierfür ist der Einfluss des Antennennahfelds, der zu einer systematischen Veränderung des Antennenempfangsverhaltens führen kann. Daraus resultiert, dass Kalibrierergebnisse bei veränderter Antennenumgebung nur noch bedingt gültig sind. Dieses Phänomen ist seit langem bekannt und wurde bereits im Rahmen wissenschaftlicher Arbeiten behandelt, wobei jedoch noch keine vollkommen zufriedenstellende Lösung für den Umgang mit den Nahfeldeffekten gefunden werden konnte (s. allgemeine Hinweise in Abschnitt 5).

2.2 Verwendung antennentypspezifischer Kalibrierwerte (Typmittel)

Baugleiche Antennen weisen im Allgemeinen vergleichbare Empfangscharakteristika auf, so dass dann durch die Verwendung von Antennentypkorrekturdaten bereits ein großer Teil der Antenneneinflüsse eliminiert werden kann. Die Verwendung von Antennentypkorrekturdaten wird folglich empfohlen, wenn eine individuelle Kalibrierung nicht möglich ist oder nur geringere Genauigkeitsanforderungen vorliegen. So stellen auch einige Antennenhersteller für ihre Antennen Typkorrekturdaten zur Verfügung, welche teilweise auch in den kommerziellen GNSS-Auswerteprogrammen enthalten sind, so dass dieser Anteil bei der GNSS-Auswertung bereits als Korrektur berücksichtigt werden kann.

Inwieweit das Typmittel repräsentativ für eine individuelle Antenne ist, hängt stark vom verwendeten Antennentyp ab. Bei modernen Antennen sind Abweichungen von mehr als 3 mm (PZO & PZV) selten. Da sich insbesondere die PZO-Variationen bei der Anwendung unmittelbar als systematische Koordinatenverschiebungen in alle drei Raumrichtungen auswirken und vereinzelt auch größere

Abweichungen auftreten, ist es ratsam, die Gültigkeit der Typkalibrierdaten für eine spezielle Antenne durch einfache Testmessungen (z.B. auf SAPOS®-Testfeldern) zu validieren, so dass zumindest sichergestellt ist, dass keine größeren Abweichungen aus der Verwendung des Typmittels resultieren.

Ein ähnlicher Fall liegt bei der Messung kurzer bis mittlerer Basislinien (bis ca. 100 km) mit baugleichen Antennen vor, wenn diese gleich ausgerichtet sind. Da bei diesen Basislinien die Einstrahlrichtung des Satellitensignals bei beiden Antennen nahezu identisch ist, werden bei der relativen Positionsbestimmung mittlere antennentypspezifische Effekte eliminiert. Es wirken sich auf die Positionsbestimmung somit – auch beim vollständigen Verzicht auf die Anbringung von Korrekturwerten – lediglich die Unterschiede zwischen den Antennen aus. Die im Vergleich zur Verwendung individueller Kalibrierungen auftretenden zusätzlichen Abweichungen liegen dann im Bereich der Einflüsse, die bei Verwendung eines Typmittels zu erwarten sind.

Typkorrekturen werden für gängige Antennentypen u.a. vom NGS (<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>) und vom IGS (<ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs05.atx>) kostenfrei bereitgestellt. In der „igs05.atx“-Datei sind zum einen vollständige Korrekturdatensätze (elevations- und azimutabhängige PZV) der Geo++ GmbH aus Feldkalibrierung mit Drehung und Kippung enthalten und für weitere Antennen Korrekturdatensätze aus dem Feldverfahren ohne Drehung und ohne Kippung des NGS (nur elevationsabhängige PZV). Die NGS-Datensätze bezogen sich ursprünglich auf eine Referenzantenne vom Typ AOAD/M_T (so genannte relative Korrekturen) und wurden in absolute Korrekturen umgerechnet. Damit sind alle Datensätze in der Datei „igs05.atx“ absolute Korrekturen, also unabhängig von einer Referenzantenne. Zu beachten ist, dass für die NGS-Datensätze für Elevationen unterhalb von 10° keine vollständigen Korrekturen vorliegen. Die ursprünglichen relativen Typkorrekturen des NGS sind auf dessen Webseite zu finden. Relative Kalibrierdaten werden aber als überholt angesehen und es sollten heute absolute Korrekturen verwendet werden. Auf keinen Fall dürfen beide Korrekturarten miteinander vermischt werden.

2.3 Verwendung mittlerer Phasenzentrumsoffsets

Wird auf die Berücksichtigung der Phasenzentrumsvariationen vollständig verzichtet und stattdessen nur der Einfluss eines mittleren Offsets korrigiert, können bei der relativen Positionsbestimmung in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer, der Basislinienlänge, der Frequenz und dem verwendeten Antennentyp Koordinatenabweichungen von mehreren Zentimetern resultieren, insbesondere wenn unterschiedliche Antennentypen kombiniert werden. Die Höhenkomponente ist dabei wegen der in der Regel dominierenden elevationsabhängigen Variationen stärker betroffen als die Lagekomponenten.

2.4 Einfluss der Restabweichungen einer absolut kalibrierten Antenne

Systematische Abweichungen, die bei den Kalibrierabweichungen häufig dominieren, wirken sich unmittelbar auf die Positionsbestimmung aus. Meist kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Einfluss der verbleibenden Kalibrierabweichungen auf die Koordinaten bei den GPS-Frequenzen L1 und L2 Werte von 1 bis 2 mm nicht übersteigt, wenn antennenspezifische Kalibrierwerte verwendet werden. Bei der Anwendung der ionosphärenfreien Linearkombination kann dieser Einfluss entsprechend der Multiplikatoren der Einzelfrequenzen ansteigen (ca. Faktor 3). Werden bei Basislinienauswertungen zusätzlich stationsspezifische Troposphärenparameter geschätzt (häufig als L0+t-Lösung bezeichnet), so resultieren hieraus häufig größere Abweichungen.

Da die Charakteristik der systematischen Abweichungen vom Kalibrierverfahren und vom Antennentyp abhängig ist, kann die Auswirkung der systematischen Einflüsse bei der relativen Positionsbestimmung häufig reduziert werden, wenn Antennen eines Typs in Verbindung mit Kalibrierdaten eines Verfahrens verwendet werden.

3 Kalibrierverfahren für GNSS-Antennen

Die heute verfügbaren Kalibrierverfahren lassen sich wie in Abbildung 2 dargestellt gliedern.

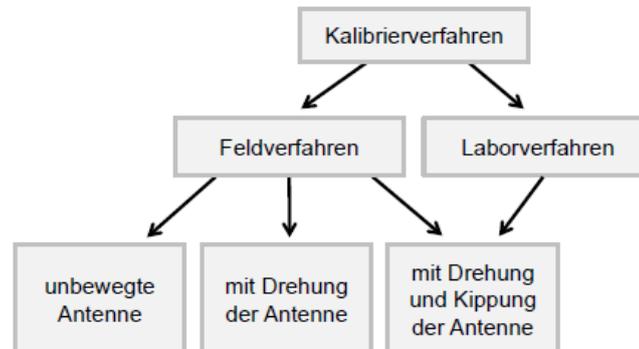


Abbildung 2: Kategorisierung der Kalibrierverfahren für GNSS-Antennen

Alle **Feldkalibrierverfahren** basieren auf der Auswertung von GNSS-Trägerphasenmessungen. Bei Realisierungen mit unbewegter Antenne werden Basislinienmessungen zwischen Referenz- und Testantenne durchgeführt, wobei sich der PZO aus der Differenz der ermittelten Koordinaten zu vorgegebenen Sollkoordinaten und die PZV aus den Residuen der Basislinienauswertung ergeben. Das Kalibrierergebnis bezieht sich stets auf die Referenzantenne (relatives Kalibrierverfahren). Stehen für die Referenzantenne absolute Kalibrierdaten zur Verfügung, so können auch mit diesem relativen Verfahren absolute Kalibrierdaten abgeleitet werden.

Die **Feldkalibrierung mit Antennendrehung** ermöglicht durch schnelle Rotationen der Antenne neben der Verringerung der Kalibrierdauer auch die Reduktion von Mehrwegeeffekten. Hierbei wird ausgenutzt, dass Mehrwegeeffekte bei geringen Epochenabständen als nahezu konstant angesehen werden können, während sich der Einfluss von PZO und PZV aufgrund der Antennendrehung ändert.

Beim **Feldverfahren mit horizontaler Drehung und Verkippung** der zu kalibrierenden Antenne wird ebenfalls die hohe Erhaltungsneigung von Mehrwegesignalen zur Bestimmung des richtungsabhängigen Empfangsverhaltens bei gleichzeitiger Elimination der Mehrwegeeffekte ausgenutzt. Durch die Verkippung der Antenne kann ein vom Empfangsverhalten einer Referenzantenne unabhängiges Kalibrierergebnis erhalten werden. Zudem kann durch die Kippung der Antenne eine Kalibrierung im Bereich des Antennenhorizonts erfolgen, ohne dass die häufig stark durch Mehrwegeeffekte überlagerten Signale der horizontnahen Satelliten verwendet werden müssen.

Laborverfahren unterscheiden sich grundlegend von den Feldverfahren, da keine Satellitensignale benötigt werden, sondern ein im Labor erzeugtes Testsignal zur Bestimmung der richtungsabhängigen PZV genutzt wird. Dabei wird die Änderung der Einstrahlrichtung durch die Drehung und Kippung der zu kalibrierenden Antenne realisiert. Da dieses Verfahren nicht auf operable GNSS-Systeme angewiesen ist, können Kalibrierungen für zukünftige Signale (z.B. Galileo, GPS-L5) schon jetzt durchgeführt werden. Eine Kalibrierung von Antennen mit integriertem Empfänger ist nicht möglich, da diese Antennen im Allgemeinen keinen Ausgang für das empfangene Hochfrequenzsignal haben.

Durch Ringversuche wurde nachgewiesen, dass die Feldverfahren „mit Drehung“ und „mit Drehung und Kippung“ sowie das Laborverfahren vergleichbare Kalibrierergebnisse liefern. Die Ergebnisse unterscheiden sich in der Regel um 1 bis 2 Millimeter (PZO + PZV bei L1 bzw. L2), wobei bei niedrigen Elevationen auch größere Abweichungen auftreten. Diese Abweichungen erhöhen sich bei Bildung der ionosphärenfreien Linearkombination entsprechend der Faktoren der Einzelfrequenzen. Die Auswirkung der Kalibrierabweichungen auf die Positionsbestimmung steigt zudem, wenn bei der GNSS-Auswertung stationsspezifische Troposphärenparameter geschätzt werden, so dass auch bei der Verwendung individuell kalibrierter Antennen – insbesondere bei der Höhenkomponente – deutliche Abweichungen im Bereich vieler Millimeter auftreten können.

4 GNSS-Antennenkalibriereinrichtungen in Deutschland

Im Folgenden sind in Deutschland verfügbare Kalibriereinrichtungen aufgelistet. Einige Stellen bieten einen kommerziellen Kalibrierdienst an, andere betreiben die Kalibriereinrichtung für Aufgaben im Bereich der deutschen Landesvermessung oder für wissenschaftliche Untersuchungen. Ein Anspruch auf Vollständigkeit wird nicht erhoben.

Feldverfahren mit Antennendrehung:

- Technische Universität Dresden, Geodätisches Institut

Feldverfahren mit Drehung und Kippung:

- Leibniz Universität Hannover, Institut für Erdmessung
- Geo++ GmbH, Garbsen
- Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung

Laborverfahren:

- Antennenmesskammer Bonn, Kooperationseinrichtung:
 - Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation
 - Bezirksregierung Köln, GEObasis.nrw

5 Hinweise zur Berücksichtigung der Kalibrierwerte

Die folgenden Anweisungen sind für die Berücksichtigung von Kalibrierabweichungen zu befolgen:

Antennenausrichtung:

Um den Einfluss des PZO sowie der PZV korrekt berücksichtigen zu können, müssen die horizontalen Antennen bei der Messung mit der Nordmarke (oft Antennenanschluss) nach Norden ausgerichtet werden. Theoretisch kann statt der Ausrichtung der Antenne auch der Winkel zwischen Antennennord und der Nordrichtung eingeführt und zur rechnerischen Korrektur verwendet werden. Dieses Vorgehen wird jedoch von den meisten kommerziellen Auswerteprogrammen nicht unterstützt.

Wird auf eine Ausrichtung der Antennen verzichtet – wie es bei kinematischen Messverfahren häufig der Fall ist – verbleiben azimutabhängige Antennenvariationen als Messabweichungen in den GNSS-Beobachtungen. Daraus können Positionsabweichungen von einigen Millimetern resultieren.

Definitionen des Antennenbezugssystems:

Der Ursprung des Antennenkoordinatensystems fällt im Allgemeinen mit dem Antennenreferenzpunkt (ARP) zusammen, die Orientierung des Systems ist durch die Nordrichtung der Antenne in einem linkshändigen Nord, Ost, Hoch-System gegeben. Der ARP ist durch den Schnittpunkt der Auflagefläche der Antenne mit der Symmetrieachse der Antenne definiert. Bei einzelnen Antennentypen, z.B. Antennen mit integriertem Empfänger gibt es Abweichungen hiervon. Eine Übersicht der Definitionen für die gängigen Antennen ist in der Datei <http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/station/general/antenna.gra> zu finden. Für die Festlegung der Nordrichtung (z.B. Herstellermarkierung, Antennenstecker) gibt es keine allgemein verwendeten Konventionen.

Trennung von PZO und PZV:

Eine strenge Trennung von PZO und PZV ist nicht möglich, da für jeden beliebigen PZO Phasenzentrumsvariationen existieren, die das Empfangsverhalten vollständig beschreiben. Für die Unterteilung der Gesamtkorrektur in die Anteile PZO und PZV werden verschiedene Ansätze verwendet, die zu stark unterschiedlichen Werten für PZO und PZV führen, weshalb zur vollständigen Beschreibung des Antennenmodells stets beide Anteile zu berücksichtigen sind. Werden bei der Auswertung nur die PZO-Komponenten berücksichtigt, ist sicherzustellen, dass für die Berechnung der PZO jeweils der selbe Ansatz gewählt wurde.

Antennenaustauschformate:

Als Austauschformat für Antennenkorrekturdaten hat sich das ANTEX-Format (Antenna Exchange Format) durchgesetzt. Parallel werden jedoch auch noch andere Formate (z.B. NGS, ANT/Geo++) verwendet. Bei der Umrechnung sind neben unterschiedlichen Einheiten (z.B. mm und m) auch unterschiedliche Vorzeichenkonventionen zu berücksichtigen.

Einheitliche Korrekturdaten verwenden:

Heute sind sowohl absolute als auch relative Korrekturdatensätze vorhanden (s. Abschnitt 2.2). Diese Korrekturdatentypen dürfen nicht gemischt verwendet werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit die Korrekturdaten ineinander zu überführen. Die Verwendung absoluter Korrekturdaten gilt heute jedoch als Standard, so dass die Verwendung absoluter Korrekturdaten empfohlen wird.

Frequenzabhängigkeit der Antenneneigenschaften:

Das Empfangsverhalten der Antennen ist frequenzabhängig, so dass für jede GNSS-Trägerfrequenz eine separate Kalibrierungen durchzuführen ist. Folglich kann beispielsweise die Übertragung von GPS-Korrekturen (GPS: amerikanisches GNSS) auf GLONASS-Frequenzen (GLONASS: russisches GNSS) oder Galileo-Frequenzen (Galileo: zukünftiges europäisches GNSS) nur zu Näherungswerten führen. Die Qualität der Näherungslösung ist unter anderem vom Antennentyp abhängig. Zur Zeit können über einen möglichen Genauigkeitsverlust noch keine pauschalen Aussagen getätigt werden.

Radome/Wetterschutzhauben:

Radome zur Abdeckung von Antennen gegen Witterungseinflüsse können die Kalibrierergebnisse stark verändern. Es ist darauf zu achten, dass die Antennen, falls in der späteren Verwendung vorgesehen, immer mit dem dazu ausgewählten Radomtyp kalibriert werden.

Antennentypbezeichnungen:

Werden von den Antennenherstellern kleinere Änderungen an der Konstruktion der Antenne vorgenommen (z.B. Elektronikkomponenten, Material), so wird die Antennentypbezeichnung häufig beibehalten und nur die Revisionsnummer geändert. Da sich die Antenneneigenschaften jedoch signifikant geändert haben können, ist die vollständige Typenbezeichnung von Wichtigkeit.

Nutzung von Referenzstationsdiensten:

Werden GPS-Beobachtungen oder Korrekturdaten von Dritten zur Verfügung gestellt (z.B. vom Satellitenpositionierungsdienst SAPOS®), so ist zu überprüfen, ob bereits Antenneneinflüsse korrigiert worden sind. In diesem Fall dürfen die Antennenkorrekturen nicht erneut angebracht werden. Falls die Kalibrierwerte bereits berücksichtigt worden sind, wird häufig eine fiktive Antenne mit dem Namen „Nullantenne“ angegeben.

Auswertung langer Basislinien:

Grundsätzlich gilt, dass GNSS-Phasenbeobachtungen sowohl durch die Empfangsantennen als auch durch die Satellitenantennen beeinflusst sind. Bei längeren Basislinien oder einer größeren Netzausdehnung sollten absolute Korrekturen für die Empfangsantenne verwendet und gleichzeitig Satellitenantennenkorrekturen berücksichtigt werden. Letztere werden vom IGS zur Verfügung gestellt. Bei kurzen Basislinien (<100km) sind die Einflüsse der Satellitenantennen vernachlässigbar.

Berücksichtigung von Nahfeldeffekten:

Nahfeldeffekte gehören zu den größten verbleibenden Einflussgrößen bei der GNSS-Positionsbestimmung. Alle Gegenstände im direkten Umfeld der Antenne (Nahfeld) beeinflussen das Empfangsverhalten der Antenne. Die Stärke des Nahfeldeinflusses hängt unter anderem von Größe, Geometrie, Lage und Material eines Störkörpers ab. Diese Einflüsse führen dazu, dass Kalibrierergebnisse streng nur in der Kalibrierumgebung gültig sind. Um die Nahfeldeinflüsse, die auch bei der GNSS-Messung wirken (z.B. Pfeilereinflüsse), zu reduzieren, gibt es derzeit drei Ansätze:

- a) Optimierung der Antennenabschirmung (durch die Antennenhersteller),
- b) Kalibrierung der Antenne mit der Nahfeldsituation, die bei der GNSS-Messung verwendet wird, und
- c) weitestgehende Entfernung aller Objekte aus dem Nahfeld der GNSS-Antenne

Bislang ist es jedoch nicht gelungen, den Einfluss des Nahfelds auf ein vernachlässigbares Niveau zu reduzieren. Um optimale Ergebnisse erzielen zu können, wird deshalb die Umsetzung aller Ansätze empfohlen. Neben der Verwendung einer gut geschirmten Antenne, sollte der Aufbau so gewählt sein, dass sich möglichst wenige Komponenten im Nahfeld der Antenne befinden. So sollte der Abstand zwischen der Antenne und den Nahfeldkomponenten (z.B. Pfeiler/Stativkopf) nach Möglichkeit mindestens 50 cm betragen. Eine weitere Reduktion der Nahfeldeinflüsse kann durch eine Kalibrierungsmessung mit diesen Nahfeldkomponenten (z.B. Dreifuß, Antennenhalter) angestrebt werden.

6 Literatur

Eine Beschreibung des Antennenmodells sowie der Antennenproblematik findet sich in Geiger (1998) und Campbell et al. (2004). Das Verfahren der relativen Kalibrierung ohne automatisierte Antennendrehung wird in Wanninger (2002) beschrieben. In Frevert et al. (2003) wird das relative Verfahren mit schneller Antennendrehung erläutert. Das Funktionsprinzip des absoluten Feldverfahrens ist in Menge (2003) und in Wübbena et al. (2000) dokumentiert. In Zeimetz (2010) wird das Laborverfahren beschrieben. In Görres (2010) werden die verschiedenen Kalibrierverfahren gegenübergestellt und auf stationsabhängige Effekte und die Nahfeldproblematik eingegangen. Ausführliche Untersuchungen zum Einfluss des Antennennahfelds auf die Positionsbestimmung und das Empfangsverhalten der GNSS-Antenne finden sich in Dilßner (2007) und Wanninger et al. (2006).

Campbell, J.; B. Görres; M. Siemes; J. Wirsch; M. Becker (2004): *Zur Genauigkeit der GPS-Antennenkalibrierung auf der Grundlage von Labormessungen und deren Vergleich mit anderen Verfahren*. In: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten AVN, 1/2004, S. 2-11.

Dilßner, F. (2007): *Zum Einfluss des Antennenumfeldes auf die hochpräzise GNSS-Positionsbestimmung*. In: Wiss. Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, Nr. 271, 2007.

Frevert, V.; A. Nuckelt; D. Stöcker (2003): *Beschleunigte Feldkalibrierung von GPS Antennen*. In: DGON-Symposium POSNAV 2003, Schriftenreihe des Geodätisches Instituts der TU Dresden, Heft 3, S. 353-359.

Geiger, A. (1988): *Einfluss und Bestimmung der Variabilität des Phasenzentrums von GPS-Antennen*. In: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der ETH Zürich, Mitteilungen Nr. 43, Zürich, 1988.

Görres, B. (2010): *Ist das GNSS-Antennenproblem gelöst?* In: Zeitschrift für Vermessungswesen zfv, 4/2010, S. 256-267.

Menge, F. (2003): *Zur Kalibrierung der Phasenzentrumsvariationen von GPS-Antennen für die hochpräzise Positionsbestimmung*. Wiss. Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, 247, 2003.

Rothacher, M.; R. Schmid (2010): *ANTEX: The Antenna Exchange Format, Version 1.4*. Quelle: <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/antex14.txt>.

Wanninger, L. (2002): *Möglichkeiten und Grenzen der relativen GPS-Antennenkalibrierung*. In: Zeitschrift für Vermessungswesen zfv, 1/2002, S.51-58.

Wanninger, L.; C. Rost; G. Hartlieb; M. Köhr (2006): *Zur Problematik des Antennenwechsels auf GNSS-Referenzstationen*. In: Zeitschrift für Vermessungswesen zfv, 4/2006, S. 171-175.

Wübbena, G.; M. Schmitz; F. Menge; V. Böder; G. Seeber (2000): *Automated Absolute Field Calibration of GPS Antennas in real-Time*. In: Proceedings ION GPS 2000, Sep., Salt Lake City, USA.

Zeimetz, P. (2010): *Zur Entwicklung und Bewertung der absoluten GNSS-Antennenkalibrierung im HF-Labor*. Dissertation Universität Bonn, 2010.



Impressum

Herausgeber

Deutscher Verein für Vermessungswesen (DVW) e.V.
Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement

Geschäftsstelle

D-79235 Vogtsburg-Oberrotweil
Telefon: +49 7662/949287
Fax: +49 7662 / 949288
E-Mail: christiane.salbach@dvw.de