

# GNSS-Antennen im SAPOS<sup>®</sup> Baden- Württemberg

*- Informationen für den Nutzer über Grundlagen und Anwendung -*

Team SAPOS<sup>®</sup> Baden-Württemberg im April 2013

## Einleitung

Die präzise Bestimmung von Koordinaten und insbesondere Höhen mit Hilfe von SAPOS® erfordert ein Mindestmaß an Grundkenntnissen im Umgang mit den Eigenschaften und Dimensionen von GNSS-Antennen, sei es bei der Messausrüstung des Nutzers (im Folgenden als Rover bezeichnet), oder im Zusammenwirken mit dem Satellitenpositionierungsdienst. Die folgenden Ausführungen sollen hierbei als Hilfestellung dienen.

Zunächst werden die äußeren Zentrierelemente, d.h. i.d.R. die Bestimmung der Antennenhöhe betrachtet. Danach wird auf die spezifischen Antenneneigenschaften wie vertikale und horizontale Offsets und signal- und richtungsabhängige Phasenexzentrizitäten eingegangen. Die unterschiedlichen Anforderungen von Echtzeit -und Postprocessing-Anwendungen bezüglich der Antennenproblematik sind abschließend erläutert. Alle SAPOS®-Nutzer sollen mit Hilfe dieser Hinweise mit den Daten der verschiedenen Servicebereiche, die für ihre jeweiligen Erfordernisse optimalen Ergebnisse erzielen.

## Antennenmodell

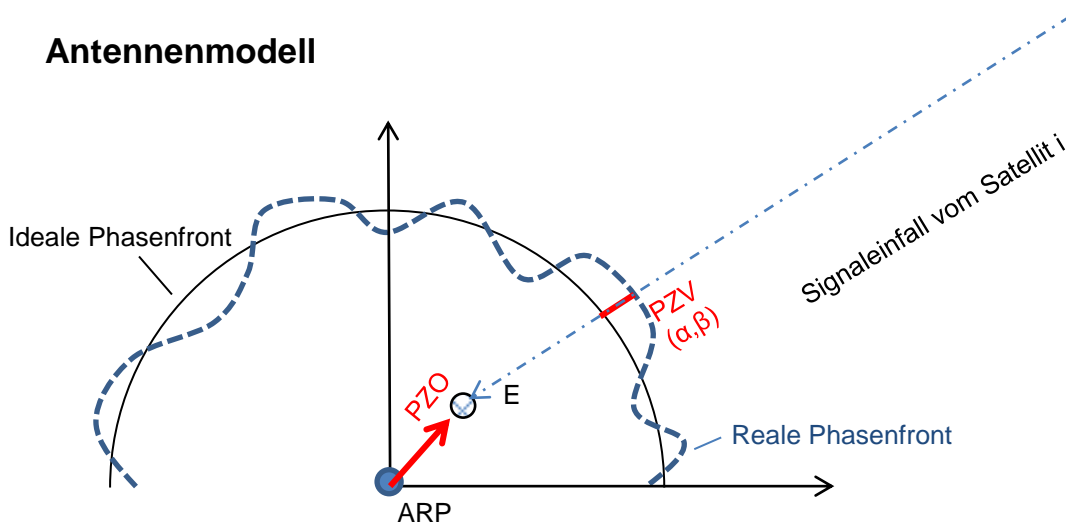


Abbildung 1: Antennenparameter

Eine "ideale" GNSS-Antenne würde sich durch einen räumlich klar definierten Bezugspunkt **E** für die Phasenmessungen im Antenneninneren auszeichnen. Die physikalischen Gegebenheiten (Welleneigenschaft elektromagnetischer Signale....) führen aber leider, insbesondere bei Zweifrequenzmessungen, zu einer Verschiebung zwischen elektrischem und mechanischem Phasenzentrum. Zusätzlich ist der Ort des Phasenzentrums nicht konstant, sondern ändert sich mit Frequenz und räumlichem Einfall der Satellitensignale. Dieses dynamische Verhalten wird über die Antennenparameter in einem antenneneigenen Koordinatensystem beschrieben, wobei der Nullpunkt als sogenannter Antennenreferenzpunkt (**ARP**) bezeichnet wird. Dieser ist bei radialsymmetrischen Antennen durch den Schnittpunkt zwischen der Antennendrehachse und der Ebene des unteren Teils des Antennenvorverstärkers definiert. Da es allerdings Abweichungen von dieser Standarddefinition geben könnte, sei an dieser Stelle immer auf ein genaues Studium der technischen Handbücher verwiesen. Auf diesen ARP bezieht sich nun der konstante Anteil der Antennenparameter, die Phasenoffsets **PZO**, und der signalbezogene Anteil, die vom Azimut  $\alpha$  und der Elevation  $\beta$  abhängigen Phasenoffsetvariationen (**PZV**).

Für eine zuverlässige und genaue Positionsbestimmung ist es notwendig, dass sich die Phasenmessungen zu allen Satelliten über den gesamten Beobachtungszeitraum auf den ARP

beziehen. Dafür müssen zu jedem Zeitpunkt alle Phasenmessungen um die konstanten und richtungsabhängigen Parameter PZO und PZV korrigiert werden.

Die horizontalen PZO sind im Vergleich zum vertikalen PZO sehr klein und betragen bei modernen Antennen maximal 1 bis 2 mm. Demgegenüber stellt der vertikale Anteil mit Dimensionen bis in den Dezimeter-Bereich die weitaus größte Reduktion dar, so dass es früher oft üblich war nur diesen Wert zu berücksichtigen.

Die PZV-Werte sind meist kleiner als 1 cm. Ihre größten Variationen treten in Elevationsrichtung auf. Die azimutalen Variationen sind im Vergleich dazu zwar wesentlich geringer, dürfen aber für eine vollständige Parametrisierung nicht vernachlässigt werden. Bei der relativen Positionsbestimmung im Zuge des SAPOS®-Verfahrens gehören die Antennenparameter nach den atmosphärischen Einflüssen und den Mehrwegeeffekten zu den wichtigsten zu modellierenden Größen.

## Ausrichtung der Antenne und Bestimmung der Antennenhöhe

Eine Nord-Ausrichtung mit Kompass sollte bei statischen Messungen immer erfolgen, da die Antennenparameter in dieser Lage bestimmt wurden. Im Fall von Echtzeitmessungen bleibt in der Regel keine Zeit diese Ausrichtung vorzunehmen. Die durch eine falsche Ausrichtung auftretenden Fehler liegen aber innerhalb der bei RTK-Messungen zu erreichenden Genauigkeiten.

Besondere Sorgfalt ist bei der Bestimmung der Antennenhöhe notwendig, insbesondere wenn präzise Höhenbestimmungen durchgeführt werden sollen. Die manuelle Antennenhöhenmessung stellt eine mögliche Fehlerquelle dar und sollte immer kontrolliert werden. Bei RTK-Messungen werden Antennen auf Lotstöcken verwendet. Sie haben den Vorteil einer konstant einzustellenden Antennenhöhe.

Der Bezugspunkt dieser Messung ist immer eindeutig zu bezeichnen (ARP, mittleres Phasenzentrum, sonstige Bezugspunkte). Darauf muss auch bei der Eingabe im Rover oder in die Auswertesoftware (Post Processing) geachtet werden. Der ARP-bezogenen Messung ist dabei eindeutig der Vorzug zu geben.

## Prüfung und Kalibrierung von GNSS-Antennen

Abhängig vom SAPOS®-Messverfahren und der angestrebten Genauigkeit, ist die Kenntnis der Parameter des Antennenmodells notwendig. Bereits bei modifizierten Codemessungen (mit Phasenglättung) können dm-Genauigkeiten erreicht werden und demzufolge wäre zumindest die Kenntnis der Phasenzentrumsoffsets (PZO) erforderlich. Im Bereich der cm-genauen Positionierung sollten darüber hinaus auch die Phasenzentrumsvariationen (PZV) bekannt sein. Werden in einer GNSS-Messung Antennen gleicher Bauart verwendet, kann die Variation innerhalb der Baureihe i.d.R. vernachlässigt werden, da die Fertigungsunterschiede meist im Submillimeterbereich liegen. Bei beschädigten Antennen (Sturz) oder bei Produktionsfehlern ist diese Annahme jedoch nicht mehr gültig. Es ist deshalb wichtig, auch bei der Verwendung baugleicher Antennen, das Equipment regelmäßig zu prüfen. Die Prüfung der Antennen liefert i.d.R. nicht die Antennenparameter (PZO, PZV), dazu ist eine Kalibrierung erforderlich.

SAPOS®-Messverfahren sind differenzielle Messverfahren, d.h. die Kenntnis der Eigenschaften der Roverantennen allein genügt nicht. Eine Baugleichheit von Rover- und SAPOS®-Antenne kann aufgrund der massiven und schweren Bauart letzterer zudem ausgeschlossen werden.

Sind die Eigenschaften einer Antenne bekannt, können diese in geeigneter Weise weitgehend eliminiert bzw. modelliert werden. Dazu sind alle am Markt befindlichen GNSS-Auswerteprogramme, sowie die Firmware der GNSS-Rover in der Lage.

Die Kalibrierung der GNSS-Antennen erfolgt bei allen Herstellern grundsätzlich vor einer Auslieferung und liefert Angaben in Form eines firmenspezifischen Typmodells. Dieses kann als externe ASCII -oder Binärdatei oder im Rover fest verdrahtet sein. Müssen Antennen verschiedener Hersteller kombiniert werden, was bei SAPOS®-Verfahren oft der Fall ist, müssen die Kalibrierwerte vom Hersteller auch in einem standardisierten Format zur Verfügung gestellt werden.

In der Praxis werden aktuell zwei Kalibriermethoden unterschieden:

- die Feldkalibrierung (mit bewegter oder unbewegter Antenne)
- und die Kammerkalibrierung

Beide Verfahren sind mittlerweile auf einem hohen Stand der Technik und liefern hochgenaue individuelle Parameter für die jeweils kalibrierte Antenne. Die Unterschiede zwischen den Methoden sind zwar sehr klein, durch ihren systematischen Charakter für allerhöchste Genauigkeitsansprüche aber zu berücksichtigen. Für die Allgemeinheit frei verfügbar sind mittlerweile die gemittelten Ergebnisse mehrerer baugleicher Antenne aus einem der Kalibrierverfahren, die sogenannten Typmittel. Seit wenigen Jahren hat sich auch im Bereich der Feldverfahren die Kalibrierung auf Absolutniveau etabliert, d.h. ohne die Annahme einer „fehlerfreien“ Referenzantenne kalibriert. Der Vorteil der Feldverfahren ist die Möglichkeit jedes am Markt befindliche Antennenmodell erfassen zu können, während in der Kammer die im Roversegment gängigen Antennen mit integriertem Empfänger nicht kalibrierbar sind. Der Vorteil des Kammerverfahrens wiederum besteht darin mit synthetischen Signalen zu arbeiten, d.h. ab der Veröffentlichung der Signalstruktur können Antennen auch für noch nicht im Betrieb befindliche GNSS (z.B. Galileo, Beidou) kalibriert werden.

## Verwendung der Kalibrierergebnisse bei RTK

Der Nutzer der beiden SAPOS®-Echtzeitdienste EPS und HEPS benötigt keine Kenntnis über die Antennen der Referenzstationen. Die Antenneneigenschaften der SAPOS®-Referenzstationen werden hochgenau durch eine Feldkalibrierung mit Roboter bestimmt und beim Vernetzungsbetrieb berücksichtigt:

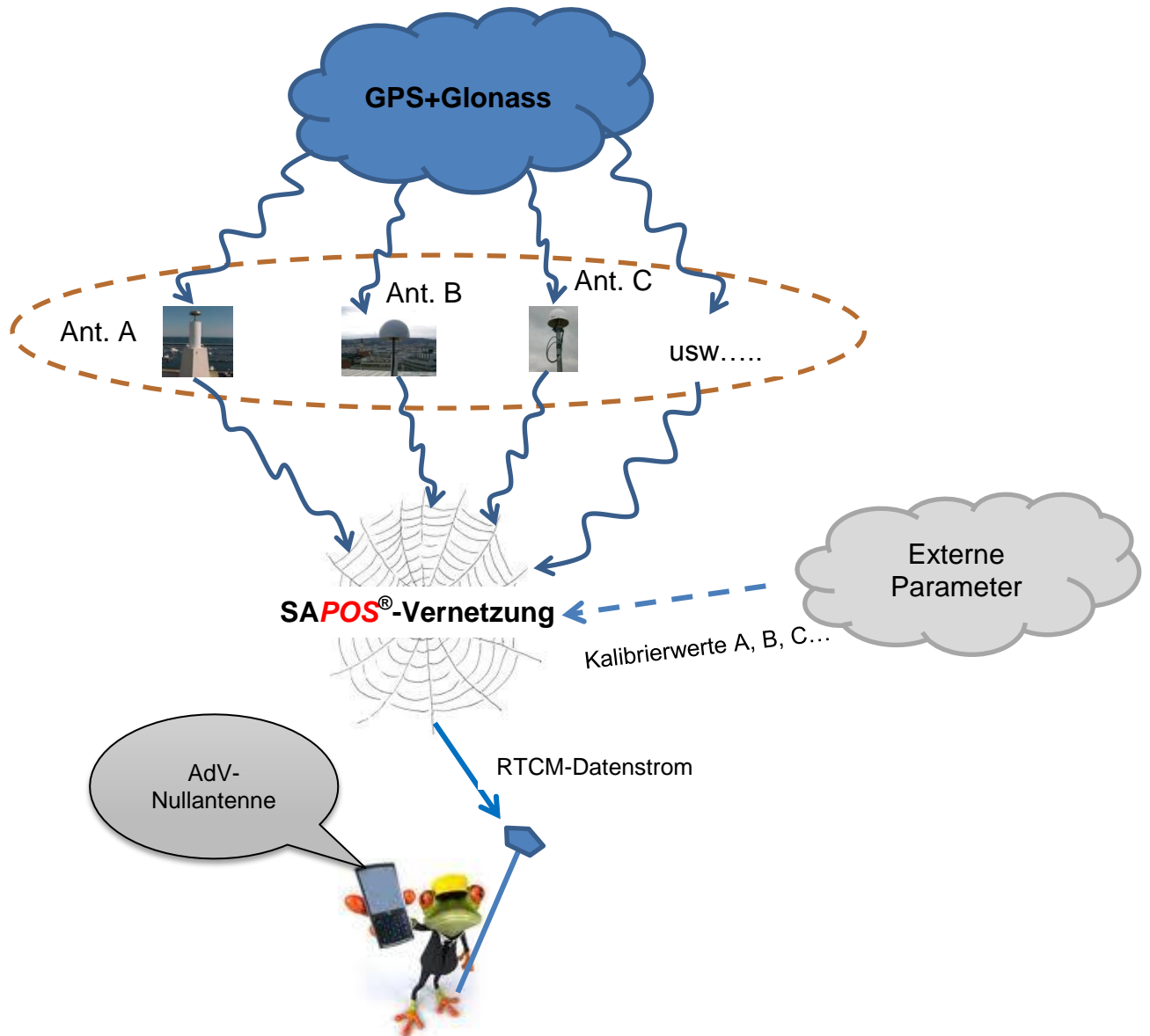


Abbildung 2: Handling der SAPOS®-Antennenparameter

Damit sich die Arbeit mit SAPOS®-Daten für den Nutzer vereinfacht, werden die individuellen Antennenparameter (PZO/PZV) aller Referenzstationen so in den RTCM-Datenstrom integriert, dass sich die ausgesendeten RTCM-Nachrichten auf eine virtuelle Antenne beziehen deren Parameter alle den Wert Null annehmen (AdV-Nullantenne). Dieser Bezug auf eine Nullantenne hat den Vorteil, dass keine Kenntnisse über die tatsächlichen Eigenschaften der SAPOS®-Antennen notwendig sind. Die Einstellungen am Rover sind dementsprechend herstellerabhängig, sowohl für Rover als auch für die SAPOS®-Daten, korrekt vorzunehmen. Für die SAPOS®-Daten muss dann beispielsweise „Unknown“ oder „None“ ausgewählt werden, bzw. sonstige Namen für Antennen mit der Eigenschaft „alle Parameterwerte gleich Null“.

## Verwendung der Kalibrierergebnisse im Post-Processing

Die RINEX-Daten des GPPS sind nicht wie bei RTK vorab korrigiert, sondern stellen unveränderte Rohdaten dar. Im Post Processing ist dafür Sorge zu tragen, dass bei allen Berechnungen für

Rover und Referenzstation korrekte Kalibrierwerte in einem einheitlichen Niveau und Format verwendet werden.

Das herstellerunabhängige internationale Format für GNSS-Antennenkalibrierungen heißt ANTEX (Antenna Exchange Format). Die Kalibrierwerte aller Referenzstationen von SAPOS®-BW werden für GPPS-Nutzer exklusiv im Antex-Format online zur Verfügung gestellt.

```

I 1.3 M ANTEX VERSION / SYST
A PCV TYPE / REFANT
END OF HEADER
START OF ANTENNA
TRM59800.00_____SCIS4804A44380 TYPE / SERIAL NO
ROBOT SenStadt_BERLIN 2 2008-04-29 METH / BY / # / DATE
5.0 ZEN1 / ZEN2 / DZEN
0.0 90.0 5.0 DZG1
4 # OF FREQUENCIES
# COMMENT
# Created By SenStadt Berlin COMMENT
# Antenna Phase Center Variations COMMENT
# Antenna Type: TRM59800.00_____SCIS COMMENT
# Antenna Serial Number: 4804A44380 COMMENT
# Antenna Setup ID: 0 COMMENT
# Antenna Calibration Date: 2008-04-29 09:30:43 COMMENT
# Comments: VerraBW COMMENT
# GNSS: GPS COMMENT
G input file: 4804A44380.ant COMMENT
G input file: 4804A44380.ene COMMENT
# Created By SenStadt Berlin COMMENT
# Antenna Phase Center Variations COMMENT
# GLONASS PCV COMMENT
# derived from Delta PCV per 25.0 MHz COMMENT
# for frequency channel number k=0 COMMENT
# created by ant2ant COMMENT
R input file: 4804A44380_k0.ant COMMENT
R input file: 4804A44380_k0.ene COMMENT
created by ant2atx 21-OCT-08 10:48:57 COMMENT
G01 START OF FREQUENCY
-0.03 1.41 87.55 NORTH / EAST / UP
NOAZI 0.00 -0.34 -1.30 -2.74 -4.47 -6.25 -7.87 -9.16 -9.98 -10.26 -9.99 -9.14
0.0 0.00 -0.38 -1.38 -2.83 -4.55 -6.32 -7.97 -9.31 -10.22 -10.58 -10.34 -9.45
5.0 0.00 -0.39 -1.39 -2.84 -4.55 -6.32 -7.95 -9.30 -10.22 -10.61 -10.37 -9.48
10.0 0.00 -0.40 -1.40 -2.85 -4.55 -6.31 -7.94 -9.29 -10.23 -10.62 -10.39 -9.49
15.0 0.00 -0.41 -1.41 -2.85 -4.55 -6.30 -7.93 -9.29 -10.23 -10.62 -10.39 -9.48
20.0 0.00 -0.41 -1.42 -2.86 -4.55 -6.30 -7.93 -9.28 -10.23 -10.62 -10.38 -9.46
25.0 0.00 -0.42 -1.42 -2.87 -4.55 -6.30 -7.92 -9.27 -10.21 -10.60 -10.35 -9.42
30.0 0.00 -0.42 -1.43 -2.87 -4.56 -6.30 -7.92 -9.26 -10.19 -10.57 -10.31 -9.37
35.0 0.00 -0.43 -1.44 -2.88 -4.56 -6.29 -7.91 -9.24 -10.15 -10.52 -10.26 -9.31
40.0 0.00 -0.43 -1.44 -2.88 -4.56 -6.29 -7.89 -9.21 -10.11 -10.46 -10.19 -9.24
45.0 0.00 -0.43 -1.44 -2.88 -4.55 -6.28 -7.87 -9.18 -10.06 -10.40 -10.12 -9.18
50.0 0.00 -0.43 -1.45 -2.88 -4.55 -6.26 -7.84 -9.13 -9.99 -10.32 -10.05 -9.12
55.0 0.00 -0.43 -1.45 -2.88 -4.55 -6.25 -7.81 -9.08 -9.92 -10.24 -9.97 -9.07
60.0 0.00 -0.44 -1.45 -2.88 -4.54 -6.23 -7.77 -9.02 -9.85 -10.16 -9.90 -9.02
65.0 0.00 -0.44 -1.45 -2.88 -4.54 -6.22 -7.74 -8.96 -9.77 -10.08 -9.84 -8.99
    
```

Abbildung 3: Headerzeilen des Antex-Formats

Eine große Anzahl von Antennenkalibrierungen im Antex-Format ist beim IGS frei verfügbar und wird ständig weiter aktualisiert (<http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/station/general/igs08.atx> ). Enthalten sind Typmittel, welche für die meisten gängigen Anwendungen völlig ausreichen. Zu beachten ist vor einem Import dieser Datei in eine GNSS-Auswertesoftware, dass es zu keinen Konflikten mit dem vorhandenen Datenbestand kommt. Gegebenenfalls sind nur Textauszüge zu importieren.

GNSS-Empfänger und Antennen werden im SAPOS®-Baden-Württemberg nach den Namenskonventionen des IGS (International GPS Service for Geodynamics) bezeichnet. Die Bezeichnungen sind im Internet in der stets aktuellen Textdatei: [http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/station/general/rcvr\\_ant.tab](http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/station/general/rcvr_ant.tab) aufgelistet.

## Literatur

DVW (2010): Berücksichtigung von Antennenkorrekturen bei GNSS-Anwendungen, Merkblatt 1-2010 zum Download auf der Webseite des Deutschen Vereins für Vermessungswesen.

Rothacher, M.; Schmid, R.: ANTEX: The Antenna Exchange Format, Version 1.4, Quelle (4/2013): <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/station/general/antex14.txt>