

Einzelabdruck des Artikels „GPS-Antennenkalibrierungen beim Landesvermessungsamt NRW – Konzept und erste Erfahrungen“ aus NÖV NRW 2/2006 mit Genehmigung der Schriftleitung.

NÖV

Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen Nordrhein-Westfalen



Innenministerium
des Landes
Nordrhein-Westfalen



.....	Geodätischer Raumbezug in NRW – gestern, heute und zukünftig –	
.....	Wolfgang Irsen	3
.....	Mit ALKIS® in ein neues Zeitalter	
.....	Stephan Heitmann	13
.....	Präsentation von ALKIS® Standardausgaben in NRW	
.....	– ein Werkstattbericht	
.....	Klaus Heyer	17
.....	Amtliche Hauskoordinaten, ein Angebot der AdV	
.....	Martin Knabenschuh und Gerfried Westenberg	27
.....	Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS®	
.....	Wolfgang Kuttner, Katja Nitzsche und Peter Reifenrath	37
.....	Zur Vertretung von Kirchengemeinden im Grenzfeststellungs- und Abmarkungsverfahren	
.....	Markus Rembold	51
.....	GPS-Antennenkalibrierungen beim Landesvermessungsamt NRW	
.....	– Konzept und erste Erfahrungen	
.....	Manfred Spata, Bernhard Galitzki, Klaus Strauch und Heidrun Zacharias	62
.....	Neue Mess-Schiene mit CFK-Stab zur EDM-Eichung beim Landesvermessungsamt NRW	
.....	Walter Knapp	78
.....	Zur Überprüfung der NN- und NAP-Höhen der Unterirdischen Festlegungen (UF) an der Grenze zu den Niederlanden	
.....	Reiner Boje, Winfried Klein, Jürgen Schulz und Manfred Spata	81

GPS-Antennenkalibrierungen beim Landesvermessungsamt NRW – Konzept und erste Erfahrungen

Von Manfred Spata, Bernhard Galitzki, Klaus Strauch und Heidrun Zacharias

1 Einleitung

Das Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (LVermA NRW) kalibriert seit Dezember 2000 die geodätischen GPS-Antennen der nordrhein-westfälischen SAPOS[®]-Referenzstationen. Das Ziel der Kalibrierung besteht darin, genaue Kenntnisse über die elektrischen Empfangseigenschaften einer GPS-Antenne zu erhalten, damit unterschiedliche Antennentypen und Fabrikate gleichzeitig eingesetzt werden können, ohne dass es bei den SAPOS[®]-Nutzungen zu Qualitätsverlusten kommt (www.saposnrw.de). Der vorliegende Beitrag gibt eine Einführung in die Thematik der GPS-Antennenkalibrierung am praktischen Beispiel des Kalibrierstandortes LVermA NRW in Bonn (Spata 2001). Danach wird über die bisher gewonnenen Erfahrungen aus rund 120 Einzelkalibrierungen mit dem Vergleich relativer und absoluter Antennenparameter sowie mit dem Vergleich individueller und typspezifischer Parameter ausführlich berichtet.

2 GPS-Antennenparametermodell

Zur eindeutigen Zuordnung von Kalibrierparametern müssen der Antennenreferenzpunkt (ARP) und die Nordorientierung der GPS-Antenne definiert sein. Der ARP ist definiert als Durchstoßpunkt der vertikalen Symmetrieachse der Zentriervorrichtung durch die dazu senkrecht stehende horizontale Antennenreferenzebene. Der virtuelle ARP liegt stets auf der Unterseite des Antennengehäuses und wird im englischen mit „bottom of antenna mount“

bezeichnet (<http://www.lverma.nrw.de/produkte/raumbezug/SAPOS/antennenphasen/images/antgraph.txt>).

Vom ARP aus werden sowohl die Exzentrizität zur Vermarkung des Vermessungspunktes (Zentrierelemente nach Lage und Höhe) als auch die Antennenparameter bestimmt (Abb. 1). Nicht bei allen GPS-Antennen ist eine Nordmarkierung werkseitig angebracht. Vor der Kalibrierung wird in solchen Fällen Norden auf der Antenne durch das LVermA NRW gekennzeichnet.

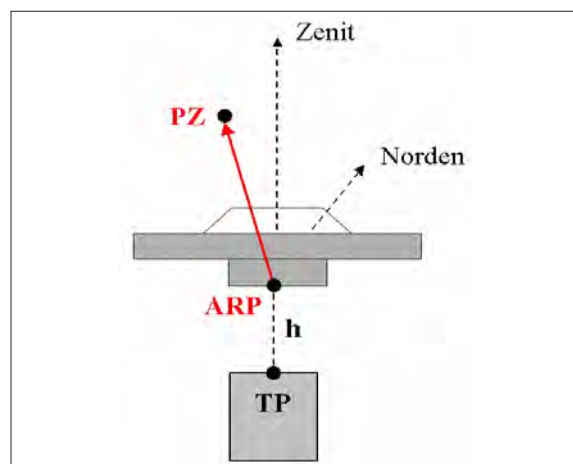


Abb. 1: Geometrische Definition des Antennenreferenzpunktes (ARP) und des elektrischen Phasenzentrums (PZ)

Das mechanische Phasenzentrum ist in der Regel ein dünnes Stück Metall, das als Mess-element (engl.: Patch) bezeichnet wird (Abb. 2). Für Zweifrequenz-Messungen muss die Antenne sowohl L1- als auch L2-Satellitenträgerphasen empfangen können. Um einen

optimalen Empfang zu gewährleisten, weist das Messelement für jede GPS-Frequenz andere Abmessungen auf.

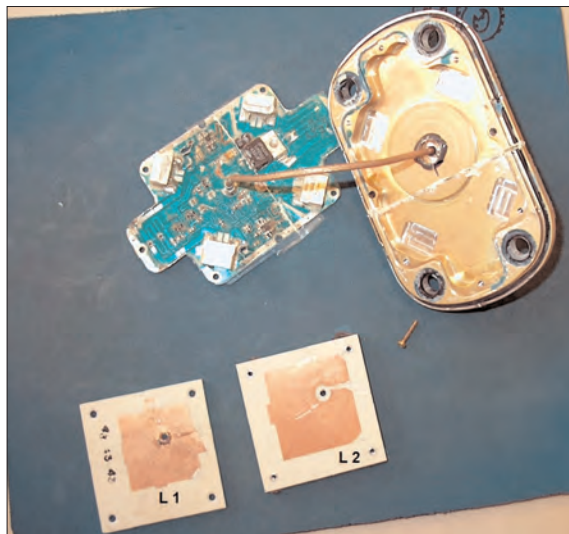


Abb. 2: Auseinandergebaute Spectra-Precision-Choke-Ring-Antenne (Foto: Strauch)

Das elektrische Phasenzentrum (PZ) der GPS-Antenne befindet sich im Idealfall im Mittelpunkt des Messelementes, dem mechanischen Zentrum der Antenne. In der Praxis ist das effektive elektrische Phasenzentrum der Antenne jedoch kein konstanter Punkt, sondern unterliegt kleinen Variationen. Diese Variation ist eine Funktion des aktuellen Azimuts und der Elevation des verfolgten Satelliten. Die Variation zwischen diesen elektrischen Antennenphasenzentren beschreibt die Form eines Fehlerellipsoids (Görres 2001, Krantz et al. 2001).

Zur Beschreibung der Variationen werden zwei Typen von Korrektionsparametern unterschieden: Der konstante Antennenphasenoffset (engl.: Phase Center Offset, PCO) sowie Antennenphasenvariationen (engl.: Phase Center Variations, PCV), die aus elevations- oder elevations- und azimutabhängigen Termen bestehen können (Abb. 3). Die Bestimmung von Antennenphasenoffsets und Antennenphasenvariationen sind voneinander abhängig und dürfen nur als konsistenter Datensatz gemeinsam zur Korrektion verwendet werden.

Der Antennenphasenoffset (PCO) beschreibt in seinen drei Komponenten die Exzentrizität nach Lage (Nord, Ost) und Höhe in einem antennenfesten Bezugssystem zwischen dem Antennenreferenzpunkt (ARP) und elektrischen Antennenphasenzentrum (PZ).

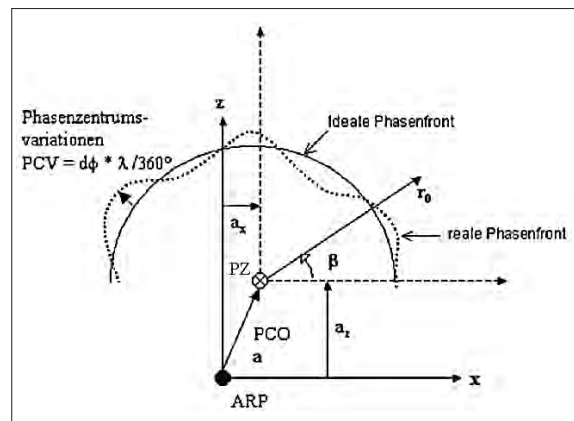


Abb. 3: Definition der Antennenphasenoffsets (PCO) und der Antennenphasenvariationen (PCV) (Campbell et al. 2004)

Die Antennenphasenvariationen (PCV) beschreiben die azimut- und elevationsabhängigen Abweichungen ($d\phi$) der realen von der idealen Phasenfront im antennenfesten Bezugssystem. Die Phasenfehler $d\phi$ werden in einem Raster über alle Elevationen W und alle Azimute W bestimmt. Die Antennenparameter sind getrennt für beide GPS-Observablen L1 und L2 zu ermitteln. Die Ergänzung einer GPS-Antenne um eine Grundplatte oder eine Wetterschutzhaube (Radom) beeinflusst das elektrische Antennenphasenzentrum und erfordert somit eine eigenständige Kalibrierung (Görres 2001, Menge 2003, Becker et al. 2006).

3 Bezugsniveau und Datenformate

Relatives Niveau

Die Antennenparameter einer relativen Kalibrierung beziehen sich auf eine Referenzantenne, hier konkret auf die allseits anerkannte US-amerikanische Referenzantenne Dorne-Margoline-Choke-Ring-Antenne, deren Lage-Offset-Werte und PCV-Werte zu Null gesetzt sind; lediglich Höhen-Offset-Werte von 110 mm für L1 und 128 mm für L2 sind berücksichtigt. Auch die vom International GPS Service for Geodynamics (IGS) veröffentlichten Antennenparameter in Form von Typmitteln beziehen sich auf diese Referenzantenne (Görres 2001, Wanninger 2002).

Absolutes Niveau

Die Antennenparameter einer absoluten Kalibrierung beziehen sich auf die zu kalibrieren-

de Antenne selbst (i.d.R. auf den ARP), also nicht auf eine Referenzantenne (Menge 2003, Wübbena 2003a, Campbell et al. 2004, Becker et al. 2006).

AdV-Nullantenne

Die Nullantenne bezeichnet eine quasi fehlerfreie GPS-Antenne. Werden die Messdaten einer Antenne um die in einer Kalibrierung bestimmten Einflüsse der PCO und PCV korrigiert, kann diese Fehlerfreiheit praktisch erreicht werden. Eine Nullantenne ist nur auswertetechnisch realisierbar, konstruktiv ist eine Nullantenne nicht möglich (Schmitz et al. 2005). Die Antennenbezeichnung „ADVNULLANTENNA“ zeigt an, dass die gemessenen Satellitendaten um die absoluten Antennenparameter korrigiert sind und dass sich die Beobachtungen auf den Antennenreferenzpunkt ARP beziehen. Im SAPOS[®]-HEPS wird zur Kennzeichnung dieses Bezugs in der RTCM-V2.3-Botschaft 23 der String „ADVNULLANTENNA“ verschickt (AdV SAPOS[®]-Techkom, 8. Sitzung 2002; AdV-SAPOS[®]-Flyer 2004).

Datenformate

Antennen-Kalibrierdaten gibt es in firmenspezifischen und firmenunabhängigen Formaten. Von SAPOS[®] werden die firmenunabhängigen Formate IGS und ANTEX (engl.: Antenna

Exchange) verwendet. Das **IGS-Format** (Abb. 4) berücksichtigt für die Frequenzen L1 und L2 neben den PCO nur elevationsabhängige PCV in 5 Grad Schritten, theoretisch ab Null Grad Elevation, praktisch ab 10 Grad; es werden jedoch keine azimutabhängigen Terme berücksichtigt. Der internationale Dienst IGS veröffentlicht seit 1996 typspezifische Kalibrierergebnisse (Typmittel) verschiedener Nutzergruppen unter ftp://igs.cb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/igs_01.pcv. Die Typmittel werden aus mehreren individuellen Kalibrierergebnissen baugleicher Antennen berechnet. Auch das NGS (National Geodetic Survey, U.S.A.) stellt im Internet typspezifische Kalibrierdaten im IGS-Format unter http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/ frei zur Verfügung. GPS-Antennen werden nach den Namenskonventionen des IGS bezeichnet. Die Bezeichnungen sind im Internet unter http://www.epncb.oma.be/ftp/station/general/rcvr_ant.tab aufgelistet. Im SAPOS[®]-Dienst werden diese Bezeichnungen ebenfalls verwendet.

Um dem Wunsch von Wissenschaft und Praxis nachzukommen, eine detaillierte Beschreibung einer kalibrierten Antenne zu erhalten, wurde auf dem IGS-Symposium im März 2004 in Bern ein neues Antennenparameterformat, das **ANTEX-Format** (Abb. 5), propagiert.

```

12345678911234567892123456789312345678941234567895123456789612345678971234567898
VENDOR          0          0          0          0          0          0          0          0
MODEL #         0          0          0          0          0          0          0          0
DESCRIPTION                                           (AVE) YR/MO/DY
[north] [ east] [ up ]                               | AVE = # in average
[90] [85] [80] [75] [70] [65] [60] [55] [50] [45] | L1 Offset (mm)
[40] [35] [30] [25] [20] [15] [10] [ 5] [ 0] | L1 Phase at
[north] [ east] [ up ]                               | Elevation (mm)
[90] [85] [80] [75] [70] [65] [60] [55] [50] [45] | L2 Offset (mm)
[40] [35] [30] [25] [20] [15] [10] [ 5] [ 0] | L2 Phase at
                                           | Elevation (mm)

TURBOROGUE      DORNE MARGOLIN T          OLD NAME          ( 0) 96/06/30
0.0 0.0 0.0 0.0 110.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 128.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

TRIMBLE         TRM33429.20+GP          NGS ( 3) 01/08/29
-.4 -1.0 72.9
.0 4.8 9.3 13.3 16.6 19.3 21.2 22.3 22.7 22.5
21.8 20.6 19.3 18.0 16.9 16.4 16.7 .0 .0
-.4 -1.3 75.0
.0 .3 .9 1.6 2.2 2.9 3.4 3.8 4.0 4.1
3.9 3.6 3.2 2.7 2.2 1.8 1.5 .0 .0

```

Abb. 4: Antennenparameter im IGS-Format (Auszug)

A		1.2	G	ANTEX VERSION / SYST PCV TYPE / REFANT COMMENT COMMENT COMMENT COMMENT END OF HEADER START OF ANTENNA TYPE / SERIAL NO METH / BY / # / DATE										
Written by CCANT (www.wasoft.de) ccant a799.ant +0a799.atx				12.01.2005 15:47:47										
TRM41249.00		12693799		22.12.2004										
FIELD		LVerMA NRW		1										
5.0	0.0	85.0	5.0	DAZI ZEN1 / ZEN2 / DZEN # OF FREQUENCIES START OF FREQUENCY NORTH / EAST / UP										
2	01	0.90	0.47	55.83	0.17 -0.09 -0.45 -0.53 -0.34									
NOAZI	2.17	2.32	2.39	1.89	1.02	0.41	0.17	-0.09	-0.45	-0.53	-0.34			
0.0	2.17	2.28	2.17	1.09	-0.26	-0.63	-0.14	-0.12	-1.05	-1.84	-1.58			
5.0	2.17	2.28	2.11	0.88	-0.57	-0.83	-0.14	-0.06	-1.04	-1.75	-1.22			
10.0	2.17	2.28	2.08	0.79	-0.71	-0.93	-0.14	0.01	-0.93	-1.51	-0.76			
15.0	2.17	2.28	2.10	0.82	-0.68	-0.91	-0.12	0.06	-0.76	-1.15	-0.27			
20.0	2.17	2.28	2.15	0.97	-0.47	-0.76	-0.08	0.11	-0.54	-0.72	0.20			
25.0	2.17	2.28	2.23	1.23	-0.10	-0.49	-0.01	0.14	-0.29	-0.26	0.59			
30.0	2.17	2.28	2.34	1.58	0.41	-0.13	0.07	0.16	-0.05	0.16	0.87			
35.0	2.17	2.28	2.46	1.97	0.98	0.29	0.16	0.16	0.15	0.50	1.00			
40.0	2.17	2.29	2.57	2.36	1.55	0.72	0.26	0.14	0.30	0.72	0.96			
45.0	2.17	2.29	2.67	2.70	2.06	1.09	0.33	0.09	0.36	0.79	0.77			
50.0	2.17	2.28	2.73	2.95	2.45	1.38	0.38	0.03	0.34	0.71	0.44			
55.0	2.17	2.27	2.75	3.08	2.66	1.53	0.38	-0.04	0.24	0.49	0.03			
60.0	2.17	2.26	2.73	3.07	2.67	1.52	0.35	-0.12	0.07	0.15	-0.43			
65.0	2.17	2.25	2.67	2.93	2.49	1.37	0.27	-0.20	-0.15	-0.26	-0.89			
70.0	2.17	2.23	2.56	2.67	2.12	1.09	0.17	-0.26	-0.39	-0.70	-1.29			
75.0	2.17	2.21	2.43	2.32	1.63	0.71	0.05	-0.29	-0.62	-1.11	-1.58			

Abb. 5: Antennenparameter im Format ANTEX (Auszug)

(ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/antex13.txt) Das neue Datenformat beinhaltet zusätzlich zum IGS-Format u.a. folgende Informationen:

- Bezugsniveau,
- individuelle Antennenangaben,
- Kalibrierverfahren,
- Kommentarzeilen,
- azimutale Korrektionswerte in 5-Grad-Schritten.

Hinsichtlich der Antennen-Nordrichtung besteht auch im neuen ANTEX-Format nur die Möglichkeit, diese als Kommentar zu erfassen, ohne eine wünschenswerte Abbildung.

Das ANTEX-Datenformat für relative und absolute Kalibrierergebnisse sollte ab 2004 das bisherige offizielle IGS-Format ablösen. Die Einführung der Absolutparameter stieß jedoch bei den IGS-Beteiligten auf erhebliche logistische Schwierigkeiten, so dass in Bern noch kein konkreter Einführungszeitpunkt benannt worden ist (Rothacher und Schmid 2002, Schmid et al. 2004). Der Umstieg vom relativen auf das absolute Niveau soll innerhalb des IGS zeitgleich mit dem Umstieg auf das neue System ITRF2005 nun im Mai 2006 stattfinden.

Bereits auf seiner Sitzung am 16./17.06.2004 in Schwerin fasste der AdV-Arbeitskreis Geodätischer Raumbezug folgenden Beschluss:

1. Der Arbeitskreis beschließt die Nutzung des Formates ANTEX zur Verwaltung der Antennenkorrektionsparameter.
2. Die von den Ländern bei der Zentralen Stelle SAPOS® vorliegenden Kalibrierwerte werden in das Format ANTEX gewandelt und von den Ländern gepflegt.

Bei allen GPS-Auswertungen ist darauf zu achten, dass konsistente Kalibrierformate benutzt werden.

4 Verfahren zur Kalibrierung von GPS-Antennen

Zur Kalibrierung von GPS-Antennen gibt es folgende Messmethoden:

- Absolute Kalibrierung in einer Messkammer,
- Absolute Kalibrierung im Feldverfahren,
- Relative Kalibrierung im Feldverfahren.

Im folgenden werden die absolute und relative Feldkalibrierung näher behandelt, hingegen wird die absolute Kammerkalibrierung hier nicht erörtert.

Die **absolute Feldkalibrierung** hat den großen Vorteil, das die Ergebnisse unabhängig von einer Referenzantenne (Mutterantenne) sind. Die Parameter aus einer Absolutkalibrie-

ung sind nahezu frei von Mehrwegeeffekten und reichen bis zum Nullhorizont (Menge 2003, Wübbena et al. 2003a, Campbell et al. 2004, Becker et al. 2006). Dazu muss die zu prüfende Antenne (Prüfling) in Azimut und Elevation auf einem Roboterarm gedreht werden (**Abb. 6**).



Abb. 6: Roboterarm der Firma Geo++[®] (Foto: Geo++[®])

Das absolute Feldkalibrierverfahren wurde von der Firma Geo++[®] (www.geopp.de) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Erdmessung (IfE) der Universität Hannover entwickelt. Das automatisierte Echtzeitverfahren setzt auf Epochendifferenz-Beobachtungen auf (Menge 2003, Wübbena et al. 2003a).

Beim Verfahren der **relativen Feldkalibrierung** werden stets in Bezug auf die bekannten Parameter der Mutterantenne die Antennenphasenoffsets (PCO) und Antennenphasenvariationen (PCV) des Prüflings bestimmt (**Abb. 7**) (Görres 2001, Wanninger 2002, Menge 2003, Becker et al. 2006). Seit Dezember 2000 wird das Verfahren der relativen Feldkalibrierung beim Landesvermessungsamt NRW praktiziert. Die Eignung des Kalibrierstandortes wurde vorab vom Ingenieurbüro Wanninger untersucht. Eine erneute Untersuchung fand im Januar 2005 statt. Auf dem Flachdach des

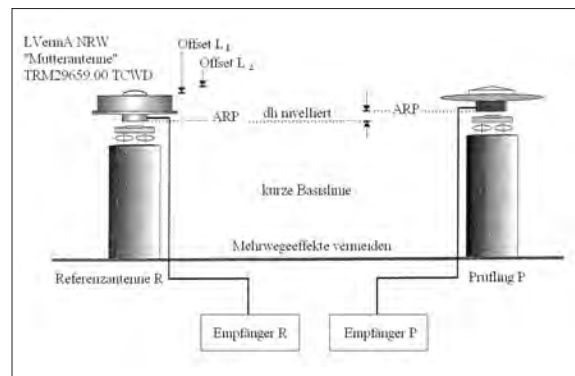


Abb. 7: Prinzipieller Messaufbau der relativen Feldkalibrierung (nach Menge 2003)

LVermA-Gebäudes ist eine rund vier Meter lange Messeinrichtung (Stahlschiene) fest montiert (**Abb. 8**). Auf dem einen Ende ist sie mit der Antenne vom Typ Trimble (TRM 29659.00 TCWD) der SAPOS[®]-Station RS 0576 Bonn als Referenzantenne besetzt, auf dem anderen Ende der Schiene befindet sich die zu kalibrierende Antenne.

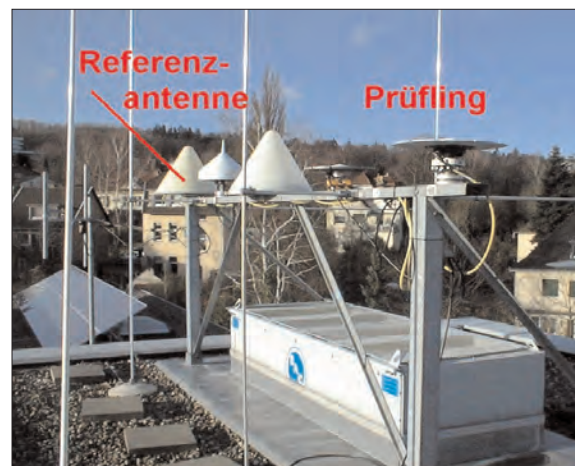


Abb. 8: Messeinrichtung zur relativen Feldkalibrierung auf dem Flachdach des LVermA NRW, links die Referenzantenne (Mutterantenne), rechts der Prüfling (Foto: Galitzki)

Um höchste Genauigkeiten für das Kalibrierergebnis zu erreichen, wurde der Höhenunterschied zwischen den beiden Antennenreferenzpunkten (ARP) vorab nivellistisch im Submillimeterbereich bestimmt (**Abb.7**). Die Kalibriermessungen werden über einen langen Beobachtungszeitraum von mehreren Tagen aufgezeichnet. Die Bestimmung von azimutabhängigen Phasenvariationen ist wegen des bekannten Nordlochs der GPS-Satellitenkonfiguration erst bei Messung in mindestens zwei Ausrichtungen des Prüflings sinnvoll. Die SAPOS[®]-Referenzstationsantennen werden

über einen Zeitraum von 4 x 24 Stunden kalibriert, wobei der Prüfling in seiner horizontalen Lage alle 24 Stunden um 90 Grad gedreht wird. Mit dieser Vorgehensweise sind die Lagekomponenten Nord und Ost des PCO-Vektors absolut bestimmbar, d.h. unabhängig von der Mutterantenne; sie sind nahezu frei von Mehrwegeeffekten. Dagegen werden die Höhenkomponenten des PCO und die PCV-Werte immer nur relativ bestimmt; sie beziehen sich auf die Mutterantenne. Nachteilig am relativen Feldverfahren ist der Einfluss der lokalen Mehrwegeeffekte und die nicht mögliche Ermittlung der horizontnahen Parameteranteile (Görres 2001, Schmitz et al. 2001, Wanninger 2002, Menge 2003, Becker et al. 2006).

Alle GPS-Antennen der SAPOS[®]-Referenzstationen werden gemäß GPS-Richtlinien NRW Nr. 2.3.3 (3) individuell kalibriert und in der SAPOS[®]-Vernetzung NRW verwendet.

5 Auswertestrategie des LVermA NRW mit WaSoft/Kalib

Laut AdV-Beschluß 10/3 vom 13.11.2002 sind die auf den SAPOS[®]-Referenzstationen eingesetzten GPS-Antennen hinsichtlich elevations- und azimutabhängiger Phasenzentrumsvariationen für den Elevationsbereich 5 bis 90 Grad und den Azimutbereich 0 bis 360 Grad mit einer formalen Unsicherheit (RMS über den gesamten Winkelbereich) von ≤ 1 mm in L1 und $\leq 1,5$ mm in L2 zu kalibrieren.

Die Auswertung der relativen Feldkalibrierung geschieht mit dem Programmsystem WaSoft/Kalib des Ingenieurbüros Wanninger. Das Programm unterstützt unterschiedliche Arten von Antennenkalibrierungen im relativen Feldverfahren. Die einsetzbaren Mess- und Auswerteverfahren unterscheiden sich im Beobachtungsaufbau, in der Wahl der gewünschten Korrektionsparameter und im Ausgabeformat (www.wasoft.de, Wanninger 2002).

Die Kalibrierauswertung mit WaSoft/Kalib besteht aus zwei Teilschritten:

1. Basislinienauswertung und
2. Berechnung der Antennenkorrektionswerte.

Das Kalibrierergebnis umfasst Korrektionswerte für das mittlere Antennenphasenzentrum (PCO) und Korrekturen für Phasenzentrumsvariationen (PCV). Für die SAPOS[®]-Referenzstationsantennen wird der Berechnungsansatz „unbekannte Basislinie“ gewählt. Zwingende Voraussetzung für diesen Rechenansatz ist die Antennenrotation des Prüflings, da nur so eine präzise Bestimmung der Lage seines Phasenzentrums möglich ist. Die Beobachtungsdaten werden im 60-Sekundentakt aufgezeichnet. Aufgrund der kurzen Basislinie von ca. 4 m zwischen Mutterantenne und Prüfling können die Mehrdeutigkeiten einfach gelöst werden. Das Ergebnis ist praktisch frei von ionosphärischen und troposphärischen Fehlern.

Mit Bezug auf das bekannte Phasenzentrum der Mutterantenne werden die Parameter des Prüflings bestimmt. Es werden zunächst die PCO-Werte ermittelt und danach die PCV-Werte über Kugelfunktionsentwicklungen modelliert. Die Wahl der Korrektionsparameter für die Mutterantenne bestimmt das Niveau der Antennenkorrekturen des Prüflings im Sinne einer Relativkalibrierung oder einer Absolutkalibrierung. Da für die Mutterantenne Parameter auf dem relativen und absoluten Niveau vorliegen, können mit den Beobachtungen aus dem relativen Feldverfahren beim Landesvermessungsamt NRW Parameter auf beiden Niveaus bestimmt werden. Für die beim LVermA NRW kalibrierten GPS-Antennen beziehen sich

- die Kalibrierergebnisse auf relativem Niveau auf die Werte der Mutterantenne Trimble (TRM29659.00 TCWD Nr. 022011 7349), die vom Geodätischen Institut der Universität Bonn GIUB 1999 bestimmt wurden,
- die Kalibrierergebnisse auf absolutem Niveau auf die Werte derselben Mutterantenne Trimble, die von der Firma Geo++[®] 2002 bestimmt wurden.

Desweiteren liegen für die Mutterantenne und für den Prüfling die Kalibrierparameter Parameter in den Formaten IGS und ANTEX vor.

Im SAPOS[®]-Dienst werden absolute und relative Parameter verwendet.

- Bei SAPOS[®]-HEPS werden Antennenparameter aus der Absolutkalibrierung in die RTCM-Korrekturdaten der SAPOS[®]-Referenzstationen vor dem Versenden eingerechnet und mit der Botschaft „ADVNULLANTENNA“ ausgesandt. Ist die Nullantenne in der Rover-Firmware implementiert, braucht der Nutzer keine Kenntnis vom Bezugsniveau der verwendeten Antennenparameter der SAPOS[®]-Referenzstationsantennen zu haben, sondern kann dafür immer die „ADVNULLANTENNA“ wählen.
- Die RINEX-Daten des SAPOS[®]-GPPS sind nicht auf diese Weise vorab korrigiert, sondern stellen unveränderte Rohdaten mit Bezug zum elektrischen Phasenzentrum dar. Im Postprocessing ist nun dafür Sorge zu tragen, dass bei allen weiteren Berechnungen ein einheitliches (absolutes oder relatives) Niveau verwendet wird (Görres 2001, Dick 2002, Becker et al. 2006). Für die Postprocessing-Anwendungen GPPS werden in NRW individuelle Kalibrierungen auf IGS-Niveau (relatives Niveau) für SAPOS[®]-Stationsantennen unter (http://www.lverma.nrw.de/produkte/raumbezug/SAPOS/antennenphasen/images/SAPOS_Ref-Ant_NRW.txt) zum Download bereitgestellt. Auch Typmittel für eine Auswahl von GPS-Antennen bietet das Landesvermessungsamt NRW seit April 2006 zusätzlich im Internet an.

Damit in Postprocessing-Anwendungen (z.B. mit den Programmen ViGO und WaSoft/Virtuell) auch die individuellen Korrektionswerte den SAPOS[®]-Stationsantennen in NRW zugeordnet werden können, wird das IGS-Format vom LVerma NRW leicht modifiziert. An Stelle der gebräuchlichen Herstellerbezeichnung (Vendor) verwendet das LVerma NRW die Seriennummer der Antenne. Auf Anfrage sind für die SAPOS[®]-Antennen auch Kalibrierwerte auf absolutem Niveau im ANTEX-Format erhältlich.

6 Vergleich verschiedener Kalibrierergebnisse

Beim Vergleich von Kalibrierergebnissen dienen alle Datenformate nur zur Darstellung der PCO- und PCV-Werte (mit Elevation oder Elevation und Azimut). Problematisch bleibt der Vergleich von Kalibrierergebnissen verschiedener Quellen. Ursache dafür sind folgende Einflüsse:

- Örtliche Kalibriersituation (z.B. Mehrwegeeffekte, Antennenträger),
- Bezeichnung der Antenne (eindeutige Feststellung des Typs, Seriennummer),
- Definition des ARP und der Nordausrichtung der GPS-Antenne,
- Kalibrieraufbau (z.B. mit und ohne Radom),
- Kalibrierverfahren (relative Feldkalibrierung, absolute Feldkalibrierung, Messkammer),
- Messverfahren (z.B. 4 x 24 Stunden mit Rotation des Prüflings),
- Auswerteprogramm,
- Parametermodell (z.B. mit oder ohne PCV-Werte).

Daraus folgt, dass ein Vergleich von Kalibrierergebnissen aus verschiedenen Quellen nur mit genauer Kenntnis des Kalibrieransatzes und mit geeigneter Software (z.B. CCANT, Wanninger 2004), statthaft ist. PCO-Werte dürfen hier nie für sich alleine betrachtet werden, da sie immer im Zusammenhang mit den PCV-Werten stehen. Die Auswirkung der Korrektionswerte für die Observablen L1 und L2 auf die ionosphärenfreie Linearkombination L0 sind erheblich (Wübbena et al. 2003a, Menge 2003, Becker et al. 2006).

Alle nachfolgenden Vergleichsrechnungen wurden mit dem Programm CCANT des Ingenieurbüros Wanninger durchgeführt. Das Programm ermöglicht die differenzierte Betrachtung von verschiedenen GPS-Antennenkorrekturen, u.a.:

- Umwandlung von Datenformaten,
- Wechsel zwischen Relativ-Niveau und Absolut-Niveau,
- Vergleich von Einzelkalibrierergebnissen,

- Zusammenfassung von Einzelkalibrierergebnissen zu Typmitteln einer Baugruppe.

In den nachfolgenden Tabellen werden folgende CCANT-Begriffe verwendet (Wanninger 2004):

- dy (Nord), dx (Ost), dh (Höhe) = Differenzen des individuellen PCO zum mittleren PCO (Typmittel).
- PCV-RMS = Standardabweichung einer einzelnen Antenne, berechnet über alle PCV-Werte aus den Differenzen zwischen mittlerem (Typmittel) und individuellem Datensatz.
- RMS_diff = quadratisches Mittel über alle Differenz-PCV-Werte. Dieser Wert ist für die Beurteilung zweier Datensätze ausschlaggebend: Standardabweichungen für L1 und L2 um einen Millimeter deuten auf eine gute Übereinstimmung hin.
- max_diff = maximaler Wert aller Differenz-PCV-Werte.

Die Differenzbildung in CCANT geschieht folgendermaßen:

- die PCV-Werte werden über den Elevationsbereich von 5 bis 90 Grad betrachtet,
- für beide Datensätze werden die PCO in die PCV hineingerechnet (die PCO betragen dann für Nord, Ost und Höhe Null, wobei sich die Gesamtkorrekturwirkung aber nicht ändert),
- es werden die Differenzen der PCV berechnet,
- aus diesen Differenzen werden neue PCO geschätzt und die Differenz-PCV entsprechend angepasst.

7 Ergebnisvergleich aus verschiedenen Kalibriereinrichtungen

7.1 Tabelle 1a und 1b: Ergebnisvergleich individueller Antennenkalibrierungen aus verschiedenen Kalibriereinrichtungen

In einem ersten Vergleich werden für vier Antennen vom Typ Trimble-Zephyr-Geodetic (TRM41249.00 NONE) (**Abb. 9**) die Kalibrierergebnisse des LVermA NRW und der Firma Geo++[®] gegenübergestellt. Die Tabellen zei-

gen die Differenzen der Kalibrierungsergebnisse dieser vier Antennen zwischen Geo++[®] (Roboter 4. Quartal 2004) und LVermA NRW (Messeinrichtung 4. Quartal 2004). Trotz unterschiedlicher Kalibriermethoden, Kalibrierorte und Auswerteprogramme stimmen die PCO und PCV dieser vier Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen gut überein. Die Tab. 1a zeigt Differenzen zwischen Kalibrierungen auf absolutem Niveau, wobei die Kalibrierungen des LVermA mit einer Mutterantenne vorgenommen wurden, die durch Geo++[®] absolut kalibriert wurde. Die Tab. 1b enthält Differenzen zwischen Kalibrierungen auf relativem Niveau, wobei die Mutterantenne des LVermA durch das Geodätische Institut der Universität Bonn kalibriert wurde.

Die Differenzen der Lageoffsets (dy , dx) liegen für L1 und L2 im Submillimeterbereich. Die Differenzen der Höhenoffsets (dh) liegen unter 1,6 mm, lediglich die Antenne #948 weist für die L1-Frequenz eine ungeklärte Differenz von -2,3 mm auf. Für die Beurteilung der Übereinstimmung der PCV ist der Wert RMS_diff ausschlaggebend. Die Standardabweichungen für L1 und L2 streuen nur im Submillimeterbereich und bedeuten eine gute Übereinstimmung.

7.2 Tabelle 1c: Vergleich von Typmitteln aus verschiedenen Kalibriereinrichtungen

Um eine Aussage zur Übereinstimmung der Kalibrierwerte des NGS mit denen des Landesvermessungsamtes NRW machen zu können, wurden beispielhaft die Typmittel von Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (**Abb. 9**) verglichen. In **Tabelle 1c** liegen die Differenzen der Lageoffsets (dy , dx) für L1 und L2 im Submillimeterbereich. Die Differenzen der Höhenoffsets (dh) betragen für L1 weniger als 1 Millimeter, lediglich für L2 erhöht 3 Millimeter. Berechnet man eine ionosphärenfreie Linearkombination L0, wirken sich diese Differenzen in der Höhenkomponente mit etwa 6 mm aus.

Ein Vergleich der Typmittel von Trimble-Choke-Ring-Antennen ist nicht möglich, da bei den Kalibrierungen des NGS eine andere Wetterschutzhaube (Radom) verwendet wurde sowie Nordrichtung und ARP nicht beschrie-

Antennennummer Differenzen		Vergleich der PCO zwischen Geo++ und LVerMA NRW			
		#400 mm	#606 mm	#805 mm	#948 mm
L1	dy (Nord)	0,09	-0,02	0,16	-0,15
	dx (Ost)	-0,26	-0,29	-0,16	-0,18
	dh (Höhe)	1,05	0,90	1,14	-1,52
	RMS_diff	1,02	0,94	0,94	0,87
L2	dy (Nord)	0,24	0,20	0,30	0,09
	dx (Ost)	-0,25	-0,58	-0,14	-0,32
	dh (Höhe)	1,03	0,18	1,56	0,43
	RMS_diff	0,89	0,97	0,96	0,85

Tab. 1a: Differenzen individueller Kalibrierungen von vier Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (TRM41249.00 NONE) auf absolutem Niveau

Antennennummer Differenzen		Vergleich der PCO zwischen Geo++ und LVerMA NRW			
		#400 mm	#606 mm	#805 mm	#948 mm
L1	dy (Nord)	0,10	0,00	0,10	-0,20
	dx (Ost)	-0,30	-0,30	-0,20	-0,30
	dh (Höhe)	0,35	0,19	0,42	-2,32
	RMS_diff	0,50	0,46	0,31	0,60
L2	dy (Nord)	0,30	0,20	0,50	0,10
	dx (Ost)	-0,10	-0,60	-0,20	-0,30
	dh (Höhe)	0,80	0,10	1,40	0,22
	RMS_diff	0,51	0,62	0,56	0,31

Tab. 1b: Differenzen individueller Kalibrierungen von vier Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (TRM41249.00 NONE) auf relativem Niveau

PCO dy, dx, dh RMS max. Differenz PCV		Differenz LVerMA NRW - NGS mm
L1	dy (Nord)	-0,10
	dx (Ost)	0,10
	dh (Höhe)	-0,68
	RMS_diff	0,53
	max_diff	1,17
L2	dy (Nord)	-0,80
	dx (Ost)	-0,10
	dh (Höhe)	3,08
	RMS_diff	0,44
	max_diff	1,05

Tab. 1c: Differenzen der Typmittel des LVerMA NRW und des NGS der Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne (TRM41249.00 NONE), 18 Antennen LVerMA NRW und 4 Antennen NGS auf relativem Niveau



Abb. 9: Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (TRM41249.00 NONE) (Foto: Galitzki)

ben sind. Deshalb sind Typmittel des NGS von den SAPOS[®]-Betreibern für die Referenzstationsantennen nicht zu verwenden.

8 Ergebnisvergleich individueller und typspezifischer Antennenparameter

Zur Überprüfung der Produktgleichheit innerhalb der Fertigungstoleranz von GPS-Antennen wurden mit dem Programm CCANT Typmittel gerechnet. Bei der Berechnung des Typmittels werden individuelle Kalibrierdatensätze von baugleichen Antennen zu einem Kalibrierdatensatz zusammengefasst. Nach einer gemeinsamen Neuberechnung der PCO- und PCV-Werte für jeden einzelnen Datensatz und einer Mittelbildung aller Datensätze werden hier die Differenzen zwischen mittlerem Datensatz (Typmittel) und den einzelnen Datensätzen ausgegeben. Die Darstellung erfolgt getrennt für L1 und L2 und besteht jeweils aus den PCO-Werten für Nord/Ost/Höhe und der Standardabweichung PCV-RMS.

8.1 Tabelle 2a: Typmittelberechnung aus 6 Spectra-Precision-Choke-Ring-Antennen (SPP571908273 SPKE)

Bisherige Erfahrungen der IGS-Beteiligten haben gezeigt, dass die Parameterwerte zwischen einer Individualkalibrierung und einem Typmittel (z.B. von IGS oder NGS) bis zu wenigen Zentimetern differieren können.

Differenzen der individuellen PCO zum PCO des Typmittels				
	PCO-N mm	PCO-E mm	PCO-H mm	PCV-RMS mm
L1				
Antenne 1	-6,56	4,18	-0,51	0,45
Antenne 2	-5,86	4,58	0,66	0,25
Antenne 3	-6,66	2,78	-0,27	0,40
Antenne 4	5,22	-3,12	-0,02	0,24
Antenne 5	5,82	-4,12	0,04	0,21
Antenne 6	8,12	-4,32	0,09	0,16
L2				
Antenne 1	1,12	1,87	-0,26	0,79
Antenne 2	-1,08	1,47	-1,19	0,92
Antenne 3	0,52	2,37	0,57	0,36
Antenne 4	-0,28	-1,63	1,52	0,36
Antenne 5	-0,98	-1,23	-1,91	1,17
Antenne 6	0,72	-2,83	1,26	0,71

Tab. 2a: Typmittel aus 6 Spectra-Precision-Choke-Ring-Antennen (SPP571908273 SPKE), Feldkalibrierung beim LVermA NRW auf relativem Niveau; gegenläufige Lageoffsets sind farbig hinterlegt (in der Internetversion)

Offenbar gibt es auch Antennentypen mit Bauuntergruppen, deren PCV-Werte um 180 Grad gedreht sind, was auf entsprechende Änderungen im elektrischen bzw. mechanischen Aufbau der Antennen einer Typreihe hindeutet

(Schmid et al. 2004). In der ersten Ausbaustufe von SAPOS[®]-NRW wurden u.a. sechs Spectra-Precision-Choke-Ring-Antennen (Abb. 2, 10a und 10b) eingesetzt.

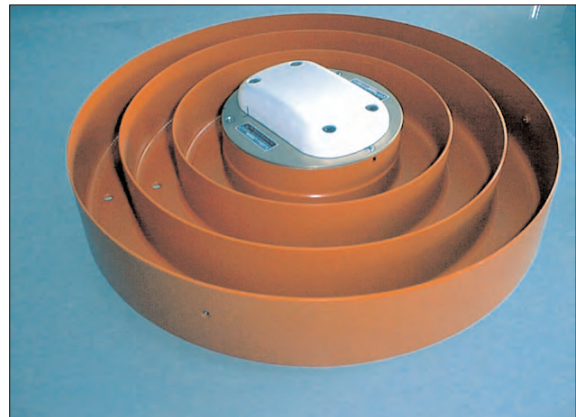


Abb. 10a: Spectra-Precision-Choke-Ring-Antenne (SPP571908273), hier ohne Radom (Foto: Galitzki)



Abb. 10b: Spectra-Precision-Choke-Ring-Antenne (SPP571908273 SPKE), hier mit Radom (Foto: Galitzki)

Die Berechnung des Typmittels aus den sechs individuellen Datensätzen mit CCANT zeigt deutlich, dass dieser Antennentyp große gegenläufige Lageoffsets hat.

Die Spectra-Precision-Choke-Ring-Antennen wurden von der U.S.-amerikanischen Firma AeroAntenna Technologies hergestellt. Die Konstruktion der Antenne erlaubt einen um 180 Grad gedrehten Einbau der Antennenteile

(Patches, **Abb. 2**) für L1 und L2 im Antennengehäuse. Daraus folgt, dass eine uneinheitliche Nordausrichtung möglich ist und somit auch unterschiedliche Werte für die Lageexzentrizitäten bei verschiedenen Antennen der gleichen Baureihe auftreten können. Hieraus erklären sich die umgekehrten Vorzeichen der Exzentrizitäten für Nord und Ost bei den Ergebnissen in **Tab. 2a**. Für diesen Antennentyp sollten deshalb keine Typmittel, sondern nur individuelle Kalibrierdatensätze verwendet werden. Ansonsten kann es zu Fehlern in der Lagebestimmung von bis zu 2 cm kommen.



Abb. 11a: Trimble-Choke-Ring-Antenne (TRM29659.00) ohne Radom (Foto: Galitzki)

8.2 Tabelle 2b: Typmittelberechnung aus 15 Trimble-Choke-Ring-Antennen mit Radom (TRM29659.00 TCWD)

Die Trimble-Choke-Ring-Antenne (**Abb. 11a und 11b**) ist speziell für den stationären Einsatz, z.B. in Referenzstationsnetzen, konzipiert. Beim Aufbau des SAPOS[®]-Referenzstationsnetzes in NRW wurden bis 2005 überwiegend diese Antennen mit Wetterschutzhaube (**Abb. 11b**) verwendet. Die 15 Antennen stimmen fertigungstechnisch gut überein. Nach Tab. 2b betragen die Differenzen der individuellen Lageoffsets für L1 und L2 zum Typmittel etwa 1 mm. Erwartungsgemäß sind die Höhenoffsets etwa zweifach größer, maximal -2,3 mm.



Abb. 11b: Trimble-Choke-Ring-Antenne (TRM29659.00 TCWD) hier mit Radom (Foto: Galitzki)

		Differenzen der individuellen PCO zum PCO des Typmittels	
		Mittelwert aus Absolutbeträgen mm	Wertebereich mm
L1	dy (Nord)	0,38	-1,13 bis 0,67
	dx (Ost)	0,37	-0,77 bis 0,83
	dh (Höhe)	0,71	-2,16 bis 1,11
	PCV-RMS	0,26	0,11 bis 0,42
L2	dy (Nord)	0,25	-0,63 bis 0,37
	dx (Ost)	0,25	-0,52 bis 0,78
	dh (Höhe)	1,09	-2,27 bis 1,76
	PCV-RMS	0,48	0,19 bis 0,77

Tab. 2b: Typmittel aus 15 Trimble-Choke-Ring-Antennen (TRM29659.00 TCWD) mit Radom, Feldkalibrierung beim LVerMA NRW auf relativem Niveau.

8.3 Tabelle 2c: Typmittelberechnung aus 18 Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (TRM41249.00 NONE)

Die Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne hat eine ähnlich hohe Produktgleichheit (Fertigungstoleranz) wie die Trimble-Choke-Ring-Antenne. Auch hier deuten in Tab. 2c die kleinen Differenzen der individuellen PCO zum Typmittel in dx, dy und dh sowie in PCV-RMS auf eine hohe fertigungstechnische Übereinstimmung der einzelnen Antennen hin. Die Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen werden z.Z. auf 18 der 27 SAPOS®-Referenzstationen in NRW eingesetzt.

Die **Abbildungen 12a und b** zeigen die gute Übereinstimmung der 18 individuellen elevationsabhängigen PCV-Werte gegenüber ihren Typmitteln in L1 und L2 auf relativem Niveau. Die Abweichungen zum Typmittel sind auch darin begründet, dass die individuellen PCO-Werte nicht vorab auf einen Mittelwert gezwängt worden sind.

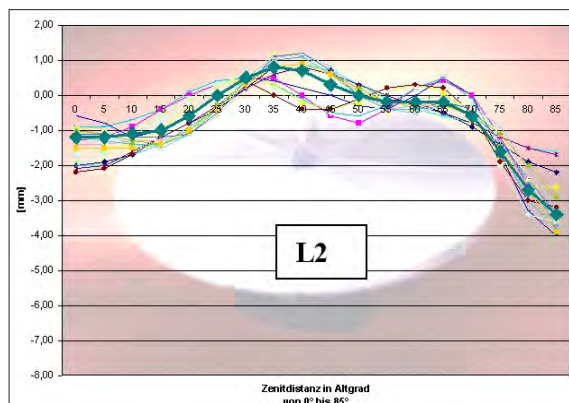
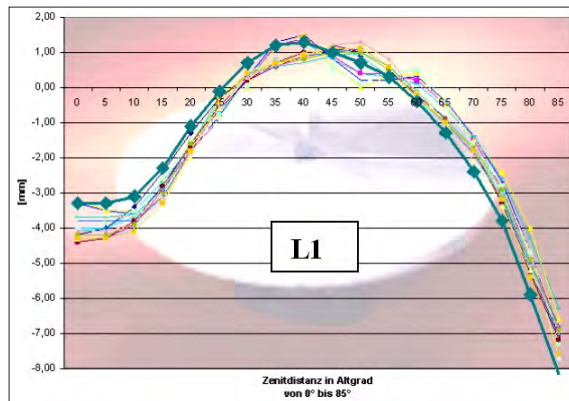


Abb. 12a und 12b: Individuelle Kalibrierergebnisse und Typmittel von 18 Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (TRM41249.00 NONE); elevationsabhängige PCV, relatives Niveau, Feldkalibrierung beim LVerma NRW; Typmittel mit großen Rauten dargestellt

		Differenzen der individuellen PCO zum PCO des Typmittels	
		Mittelwert aus Absolutbeträgen mm	Wertebereich mm
L1	dy (Nord)	0,21	-0,54 bis 0,46
	dx (Ost)	0,17	-0,46 bis 0,34
	dh (Höhe)	0,62	-1,50 bis 1,16
	PCV-RMS	0,23	0,12 bis 0,41
L2	dy (Nord)	0,21	-0,49 bis 0,51
	dx (Ost)	0,17	-0,41 bis 0,39
	dh (Höhe)	0,83	-1,79 bis 2,44
	PCV-RMS	0,36	0,22 bis 0,51

Tab. 2c: Typmittel aus 18 Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (TRM41249.00 NONE), Feldkalibrierung beim LVerma NRW auf relativem Niveau

Die **Abbildungen 13a und b** enthalten die Typmittel in L1 und L2 der elevationsabhängigen PCV-Werte auf absolutem Niveau.

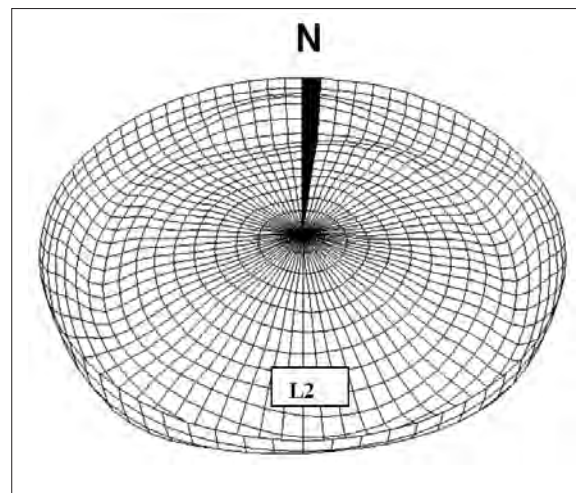
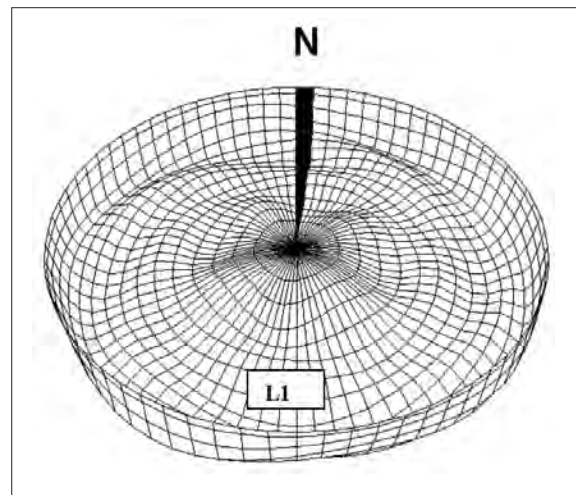


Abb. 13a und 13b: PCV-Typmittel der 18 Trimble-Zephyr-Geodetic-Antennen (TRM41249.00 NONE), dargestellt mit dem NRW-Programm BIANKA für L1 und L2; Zenitwinkel 0° im Zentrum; absolutes Niveau, Feldkalibrierung beim LVerma NRW

9 Kalibrierung unter verschiedenen Montagebedingungen (Grundplatte, Radom, Dreifuß)

Der Einfluss eines veränderten Nahfeldes (Montage der Antenne) und seine elektrische Kopplung können das Empfangsverhalten der Antenne verändern (Wübbena et al. 2003b, Becker et al. 2006). Die Kalibrierergebnisse wurden an folgenden drei Fällen untersucht:

- Antenne mit Grundplatte,
- Antenne mit Grundplatte und Radom,
- Antenne mit zweitem Dreifuß über Grundplatte mit Radom.

9.1 Tabelle 3a: Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne mit Grundplatte

Die Montage einer Grundplatte unter einer Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne (**Abb. 14**) bewirkt eine Änderung beim L1-Höhenoffset von +1,89 mm und beim L2-Höhenoffset von -1,10 mm (**Tab. 3a**). Die PCV-Werte weisen Differenzen von bis zu 4 mm aus.

PCO dy, dx, dh RMS max. Differenz PCV		Differenz mit Grundplatte - ohne Grundplatte mm
L1	dy (Nord)	-0,10
	dx (Ost)	0,40
	dh (Höhe)	1,89
	RMS_diff	2,07
	max_diff	3,71
L2	dy (Nord)	-0,50
	dx (Ost)	-0,10
	dh (Höhe)	-1,10
	RMS_diff	2,02
	max_diff	3,48

Tab. 3a: Differenzen der Antennenparameter einer Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne (TRM41249.00) mit bzw. ohne Grundplatte bei Feldkalibrierung des LVerMA NRW auf relativem Niveau

9.2 Tabelle 3b: Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne mit Grundplatte und Radom

Die Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne wird auf den Referenzstationen in der Regel ohne Wetterschutzhaube (Radom) eingesetzt (**Abb. 9 und 15**). Allerdings ist es sinnvoll, in Mittelgebirgslagen die Antenne durch Montage eines Radomes mit Grundplatte gegen Witterungseinflüsse zu schützen. Der Einfluss dieser Montage auf das Kalibrierergebnis (**Tab. 3b**) beträgt beim L1-Höhenoffset -3,18 mm und beim L2-Höhenoffset -2,16 mm. Die PCV-

Werte weisen Differenzen von bis zu 5 mm aus. Erfahrungen mit Eis und Schnee auf der GPS-Antenne liegen bei den eigenen Kalibrierungen nicht vor.

PCO dy, dx, dh RMS max. Differenz PCV		Differenz ohne-mit TCWD mm
L1	dy (Nord)	-0,20
	dx (Ost)	0,20
	dh (Höhe)	-3,18
	RMS_diff	2,50
	max_diff	4,77
L2	dy (Nord)	-0,20
	dx (Ost)	0,20
	dh (Höhe)	-2,16
	RMS_diff	1,49
	max_diff	4,84

Tab. 3b: Differenzen der Typmittel einer Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne (TRM41249.00) mit Trimble Conical Weather Dome (TCWD) bzw. ohne (NONE), Feldkalibrierung beim LVerMA NRW auf relativem Niveau



Abb. 14 Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne (TRM29659.00) mit Grundplatte auf Dreifuß (Foto: Galitzki)

9.3 Tabelle 3c: Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne mit zweitem Dreifuß über Grundplatte im Radom

Auch die Veränderung des Abstandes zwischen Antenne und Grundplatte durch Montage eines zusätzlichen Dreifußes im Radom (**Abb. 15**) hat einen signifikanten Einfluss auf das Empfangsverhalten (**Tab. 3c**). Dieser erhöhte Abstand von der Grundplatte wirkt auf den L1-Höhenoffset mit -3,61 mm und beim L2-Höhenoffset mit +6,73 mm. Die maximalen Differenzen bei den PCV-Werten betragen ca. 7 mm.

PCO dy, dx, dh RMS max. Differenz PCV		Differenz mit / ohne Dreifuß über Grundplatte mm
L1	dy (Nord)	-0,20
	dx (Ost)	0,30
	dh (Höhe)	-3,61
	RMS_diff	3,90
	max_diff	7,09
L2	dy (Nord)	-0,10
	dx (Ost)	0,30
	dh (Höhe)	6,73
	RMS_diff	3,90
	max_diff	7,40

Tab. 3c: Differenzen der Antennenparameter einer Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne (TRM41249.00 TCWD) mit bzw. ohne Dreifuß über Grundplatte im Radom, Feldkalibrierung beim LVermA NRW auf relativem Niveau



Abb. 15: Trimble-Zephyr-Geodetic-Antenne (TRM29659.00) mit zusätzlichem Dreifuß auf Grundplatte, hier ohne Radom (Foto: Galitzki)

Fazit: Diese drei Untersuchungen (Tab. 3a bis 3c) verdeutlichen, dass Veränderungen im Nahfeld (Montage) der Antenne signifikante Auswirkungen auf das Empfangsverhalten haben. Es stellte sich heraus, dass hierbei die Höhenoffsets und auch die PCV-Werte bei L1 und L2 Differenzen von mehreren Millimetern aufweisen. Bei Auswertungen mit der Linearkombination L0 können sie Höhenfehler von bis zu 2 cm zur Folge haben. Demgegenüber sind die Lagekomponenten durch die unterschiedliche Montage nicht signifikant beeinflusst. Die Betreiber von Referenzstationsnetzen haben daher zwingend Sorge zu tragen, dass der Kalibrierenaufbau mit dem Referenzstationsaufbau übereinstimmt.

10 Wiederholung und Alterung der Kalibrierergebnisse

10.1 Tabelle 4: Wiederholung der Antennenkalibrierung

Für eine Antenne Trimble microcentered L1/L2 w gp (TRM 33429.00+GP, #445, Abb. 16) ergaben die beiden direkt zeitlich aufeinanderfolgenden Kalibrierungen, dass die PCO-Werte im Submillimeterbereich übereinstimmen und somit die Kalibriersituation an diesen Tagen ausreichend stabil war (Tab. 4). Die Feldkalibrierungen auf relativem Niveau liefen an den Tagen 346 bis 350 und 351 bis 354 des Jahres 2000, jeweils über 4 x 24 Stunden.

PCO dy, dx, dh RMS max. Differenz PCV		Differenz mm
L1	dy (Nord)	0,10
	dx (Ost)	-0,30
	dh (Höhe)	-0,35
	RMS_diff	0,17
	max_diff	0,50
L2	dy (Nord)	0,00
	dx (Ost)	0,10
	dh (Höhe)	-0,86
	RMS_diff	0,36
	max_diff	0,80

Tab. 4: Wiederholung der Kalibrierung einer Trimble-Microcentered-Antenne mit Grundplatte (TRM33429.00+GP) im Jahr 2000 (Tage 346 und 351) Feldkalibrierung auf relativem Niveau



Abb. 16: Trimble-Microcentered-Antenne (TRM33429.00+GP) mit Grundplatte (Foto: Galitzki)

10.2 Tabelle 5: Alterung einer Trimble-Choke-Ring-Antenne

Es ist nicht auszuschließen, dass die Antennenparameter einiger GPS-Antennen sich langfristig durch technische Alterung signifikant ändern. RTK-Feldantennen altern vermutlich stärker als Choke-Ring-Antennen (Wübbena et al. 2003a). Im Februar 2001 wurde eine Trimble-Choke-Ring-Antenne beim Landesvermessungsamt NRW erstmals kalibriert. Diese Antenne wurde nach vier Jahren Einsatz auf einer SAPOS®-Referenzstation im Januar 2005 erneut unter vergleichbaren Bedingungen kalibriert. Der Vergleich der Kalibrierwerte von 2001 und 2005 zeigt lediglich eine Änderung von max. -1,6 mm im L2-Ostwert (**Tab. 5**). Berücksichtigt man, dass bei der wiederholten Kalibrierung die Differenzen im Submillimeterbereich liegen, kann die Differenz im L2-Ostwert zwar als signifikant bezeichnet werden, jedoch ist hieraus noch nicht auf eine Veränderung der Empfangseigenschaften durch technische Alterung zu schließen. Hierzu sind weitere, langjährigere Kalibrierwiederholungen erforderlich.

PCO dy, dx, dh RMS max. Differenz PCV		Differenz mm
L1	dy (Nord)	-0,50
	dx (Ost)	1,10
	dh (Höhe)	0,08
	RMS_diff	0,43
	max_diff	0,78
L2	dy (Nord)	-0,40
	dx (Ost)	-1,60
	dh (Höhe)	0,40
	RMS_diff	1,00
	max_diff	3,61

Tab. 5: Alterung einer Trimble-Chokering-Antenne mit Radom (TRM29659.00 TCWD), Feldkalibrierung beim LVermA NRW auf relativem Niveau im Februar 2001 und Januar 2005

11 Zusammenfassung

Der Vergleich der Kalibrierergebnisse des LVermA NRW mit anderen Kalibrierstellen zeigt eine gute Übereinstimmung und bestätigt die bisherige Vorgehensweise bei der Antennenkalibrierung des LVermA NRW. Sowohl die Relativergebnisse als auch die Absolutergebnisse sind mit den entsprechenden Ergebnissen

anderer Stellen gleichwertig. Die Anforderungen nach Nr. 2.1.6 der GPS-Richtlinien NRW (Stand vom 23.09.2005) zur GPS-Antennenkalibrierung werden voll erfüllt. Alle zur Zeit eingesetzten SAPOS®-Referenzstationsantennen in NRW sind individuell kalibriert; sie weisen innerhalb ihrer Baugruppen eine hohe Fertigungstoleranz auf. Somit können auch SAPOS®-Nutzer mit hochpräzisen Anwendungen bedient werden. Dagegen reichen den SAPOS®-Anwendern bei Katasterfortführungsvermessungen die Typmittel für die Referenzstationsantennen in NRW aus. Die Ergebnisvergleiche haben bestätigt, dass die Antennenmontagen vor Ort mit den entsprechenden Kalibrierungen übereinstimmen müssen.

Die Antennenkalibrierungen werden auch künftig beim LVermA NRW fortgeführt. Wesentliche Aspekte sind dabei die Untersuchung zur möglichen technischen Alterung von Antennen und zu verschiedenen Antennenmontagen. Eine messtechnisch wünschenswerte Stationskalibrierung in situ ist für die Zukunft denkbar, jedoch bis heute wirtschaftlich nicht realisierbar.

Literaturangaben:

Becker, M., E. Schönemann, P. Zeimetz: Gelöste und ungelöste Probleme der Antennenkalibrierung. In: Elliot Gordon (Hg.), GPS und GALILEO, 66. DVW-Seminar in Darmstadt, Augsburg 2006, 189-208.

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

Dick, H.-G.: GNSS-Antennen im SAPOS®-Baden-Württemberg. In: Bernhard Heck und Michael Illner (Hg.), GPS 2002: Antennen, Höhenbestimmungen und RTK-Anwendungen, 57. DVW-Seminar in Karlsruhe, Stuttgart 2002, 136-148.

Görres, B.: Kalibrierung von GPS-Antennen. In: Rolf Bull (Hg.), GPS-Referenzstationsdienste – GPS-Antennen, Koordinatensysteme und Transformationen, VDV-Schriftenreihe Band 19, Wiesbaden 2001, 31-46; desgl. in: Hans Heister und Rudolf Staiger (Hg.), Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik, 54. DVW-Seminar in Fulda, Stuttgart 2001, 206-221.

Krantz, E., S. Riley, P. Large: Neuheiten in der GPS-Antennentechnologie: Die neuen Trimble Zephyr-Antennen. White paper, Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, California, USA 2001.

Menge, F.: Zur Kalibrierung der Phasenzentrumsvariationen von GPS-Antennen für die hochpräzise Positionsbestimmung. Diss. 2003, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 247, Hannover 2003.

Rothacher M. und R. Schmid: GPS-Antennenkalibrierungen aus nationaler und internationaler Sicht., In: Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) (Hg.), 4. SAPOS®-Symposium, Hannover 2002, 124-131.

Schmid, R., G. Mader, T. Herring: From Relative to Absolute Antenna Phase Center Corrections. Position Paper, IGS Workshop und Symposium in Bern März 2004.

Schmitz, M., G. Böttcher, G. Wübbena: Konzept und Handhabung der NULLANTENNA in GNSS-Anwendungen. White Paper, Geo++®, Garbsen 2005 (www.geopp.de).

Schmitz, M., G. Wübbena, G. Böttcher: Umrechnung des Niveaus von GPS Antennenkalibrierungen. White Paper, Geo++®, Garbsen 2001 (www.geopp.de).

Spata, M.: Die Bedeutung der Kalibrierung in der amtlichen Vermessung. In: Hans Heister und Rudolf Staiger (Hg.), Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik, 54. DVW-Seminar in Fulda, Stuttgart 2001, 91-105.

Wanninger, L.: Möglichkeiten und Grenzen der relativen GPS-Antennenkalibrierung. In: ZfV 1/2002, 51-58.

Wanninger, L.: Anleitung CCANT Version 2.1, 07/2004 (www.wasoft.de).

Wübbena, G., M. Schmitz, G. Böttcher: Analyse umfangreicher Messreihen von GPS-Antennen-PCV aus absoluten Roboter-Feldkalibrierungen seit Januar 2000. In: 5. GPS-Antennen-Workshop, Frankfurt am Main 2003a.

Wübbena, G., M. Schmitz, G. Böttcher: Zum Einfluss des Antennennahfeldes. In: 5. GPS-Antennen-Workshop, Frankfurt am Main 2003b.

Manfred Spata
Bernhard Galitzki
Klaus Strauch
Heidrun Zacharias
Landesvermessungsamt NRW
Muffendorfer Str. 19-21
53177 Bonn
E-Mail:
spata@lverma.nrw.de
galitzki@lverma.nrw.de
strauch@lverma.nrw.de
zacharias@lverma.nrw.de