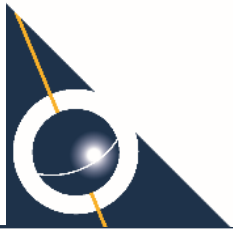




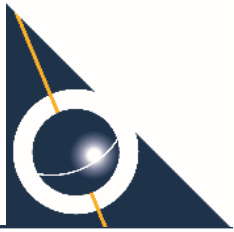
Workshop Ril 883.2000 und NXO-Net - GNSS Stationseffekte -

Martin Schmitz,
Stefan Wicke, Andreas Geilmann

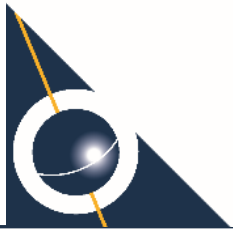
Geo++[®] GmbH
30827 Garbsen
Germany
www.geopp.com



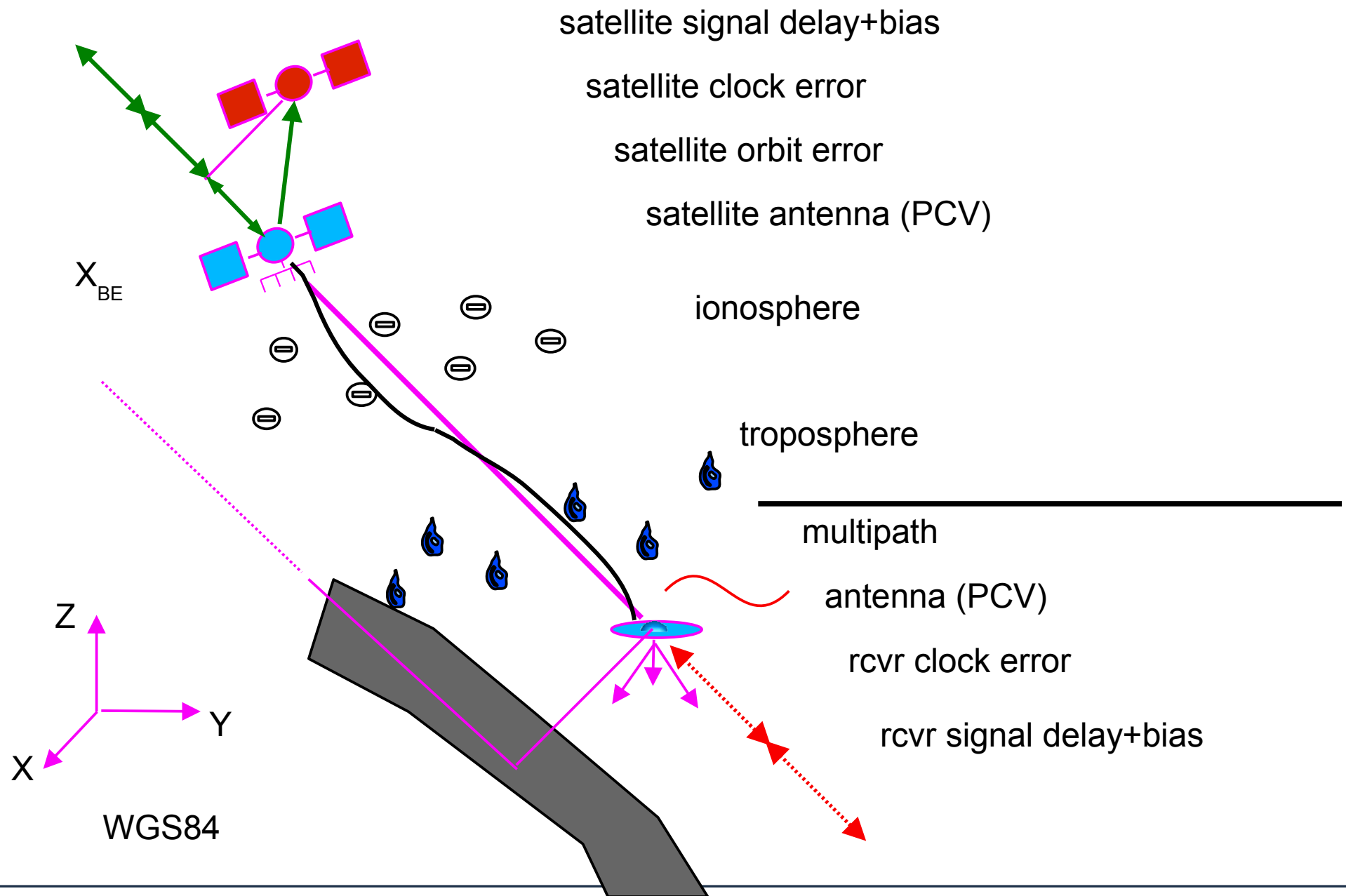
- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung



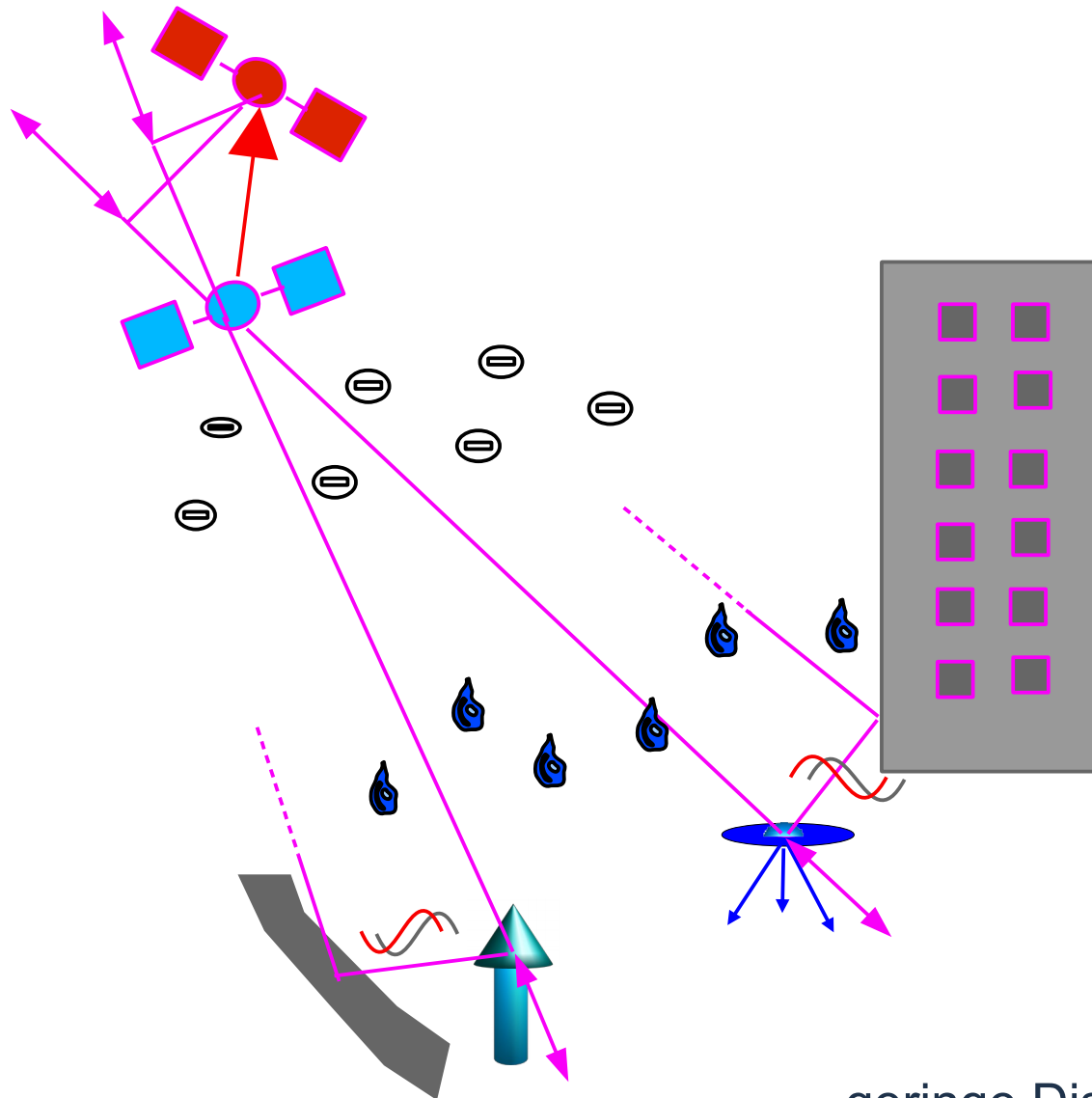
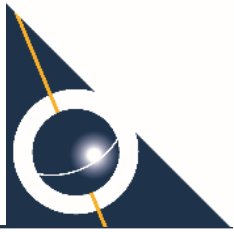
- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung



Wesentliche GNSS Fehlerquellen

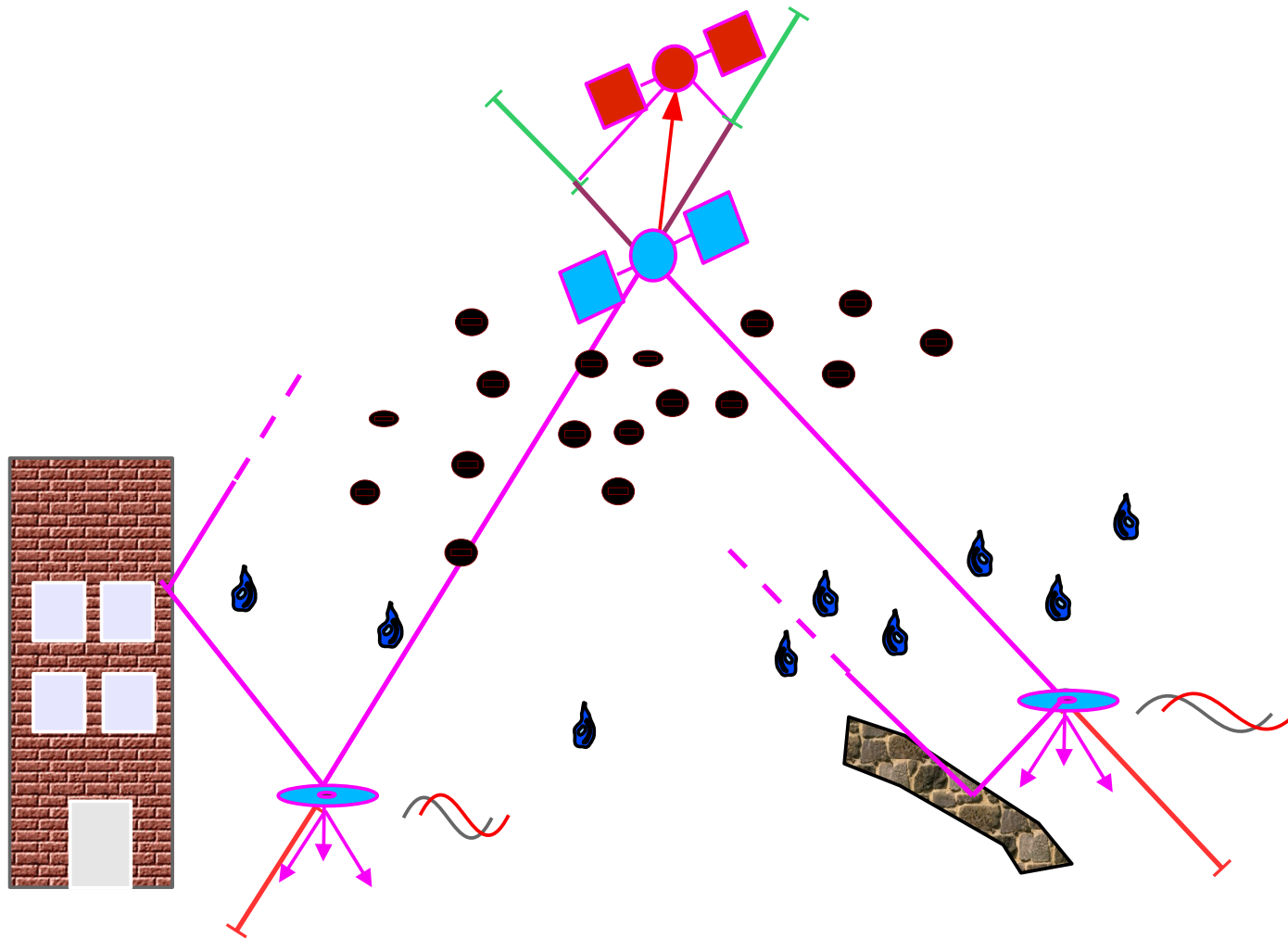
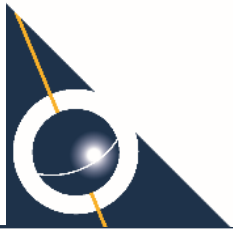


GNSS Fehlereinfluss – Räumliche Variationen (1)



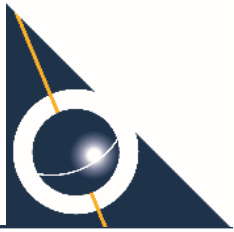
geringe Distanz -> hohe Korrelation

GNSS Fehlereinfluss – Räumliche Variationen (2)



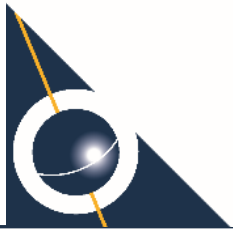
große Distanz → geringe Korrelation

Größenordnung der GNSS Fehlereinflüsse

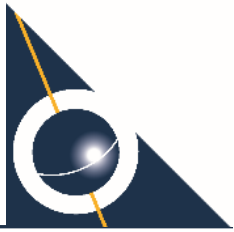


Fehlereinfluss	Absolute Einfluss	Relative Einfluss
Satellitenbahn	2 ... 50m	0.1 ... 2 ppm
Satellitenuhr	2 ... 100m	0.0 ppm
Ionosphäre	0.5 ... >100 m	1 ... 50 ppm
Troposphäre	0.01 ... 0.5 m	0 ... 3 ppm
Mehrwege Code	m	m
Mehrwege Phase	mm ... cm	mm ... cm
Antenne	mm ... cm	mm ... cm

 hohe räumliche Korrelation  lokal (Kalibrierung)



- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- **Mehrwegeeffekte (Multipath)**
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

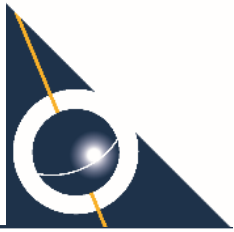


Stationsabhängige Effekte (dS)

- wesentliche Effekte

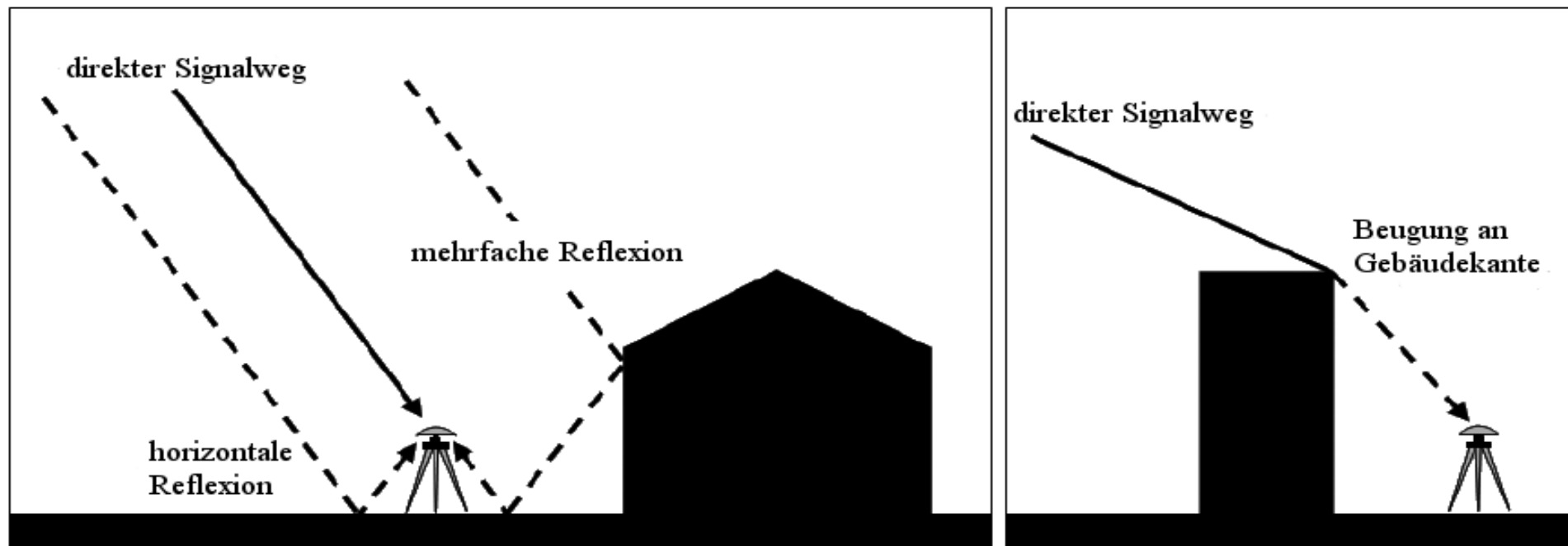
$$dS = MP_{\text{Fernfeld}} + MP_{\text{Nahfeld}} + PCV + dE$$

- MP_{Fernfeld} = Multipath-Effekte in der Umgebung der Station
- MP_{Nahfeld} = Multipath-Effekte in unmittelbarer Nähe der Antenne
- PCV = Phasenzentrumsvariationen und -offsets der Antenne
- dE = entfernungsabhängige Fehlereinflüsse



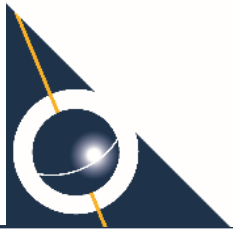
Fernfeld Multipath (Mehrwegeeffekt)

- reflektierte GNSS Signale weisen **Phasenverschiebung** gegenüber direktem Signal auf
- GNSS Misch-Signal hat **Auswirkung auf Pseudostreckenmessung**
- gebeugte GNSS Signale werden mit zu langer Laufzeit aufgezeichnet



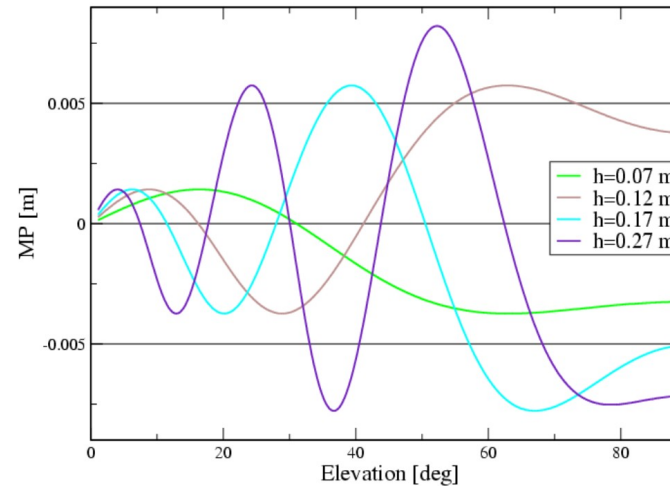
Quelle: Irsigler, M. (2008): Multipath Propagation, Mitigation and Monitoring in the Light of Galileo and the Modernized GPS. Dissertation, Universität der Bundeswehr München

Fernfeld/Nahfeld Multipath (Mehrwegeeffekt)



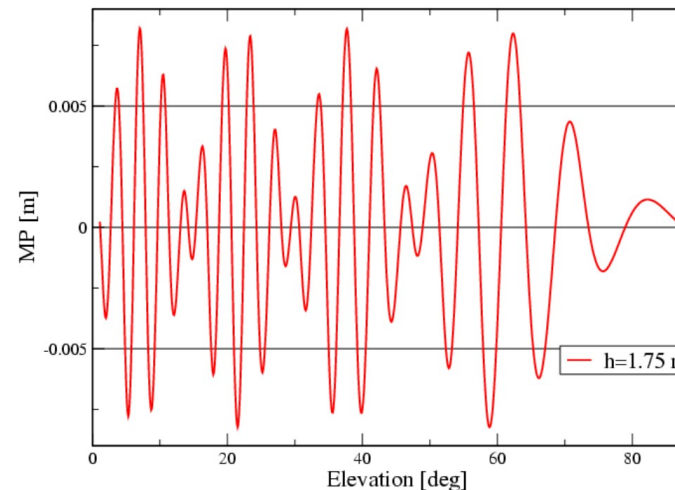
- **unmittelbare Nähe Antenne**
(Pfeileraufbau)

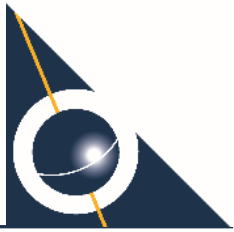
- große Wellenlängen
- Effekte auch in hohen Elevationen
- mittelt sich nicht über lange Beobachtungszeit heraus
- **systematische Koordinatenfehler**



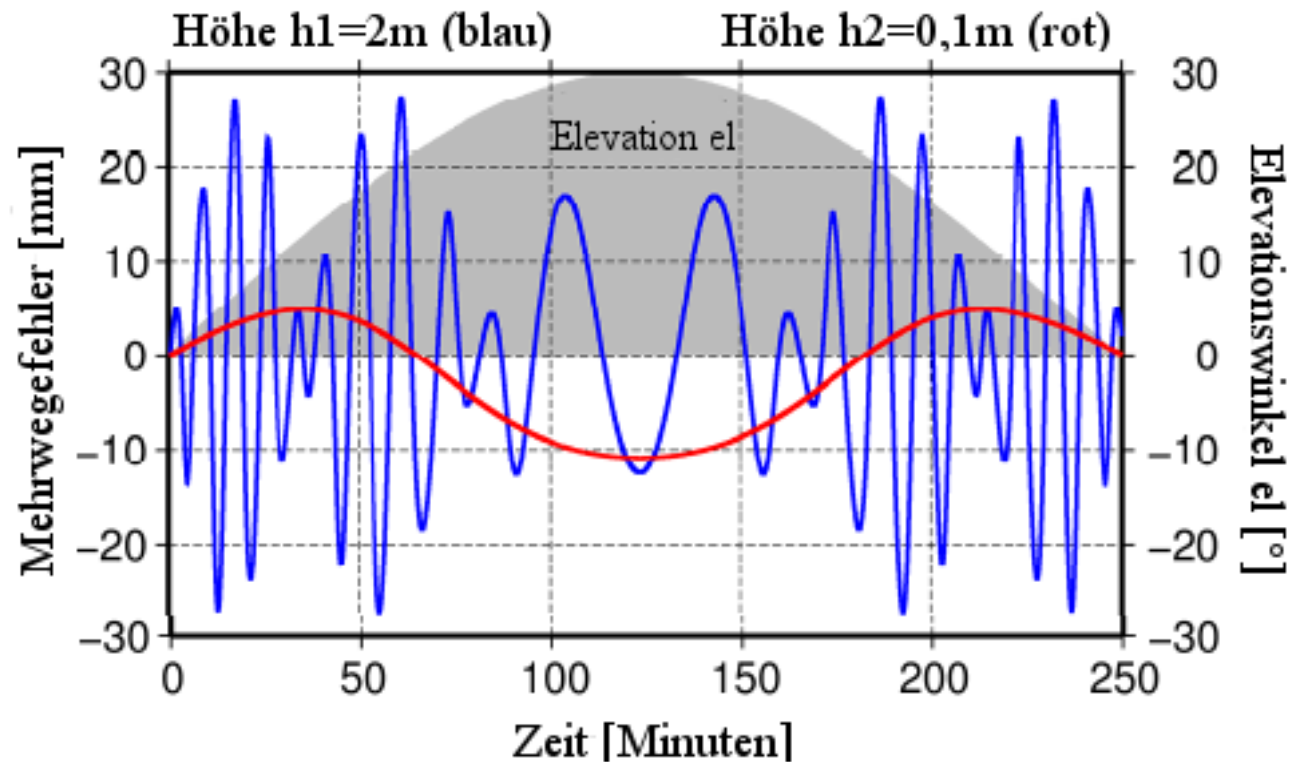
- **Umgebung Antenne**
(Stativaufbau)

- kurze Wellenlängen
- Effekte in allen Bereichen
- **mittelt sich über Zeit heraus**

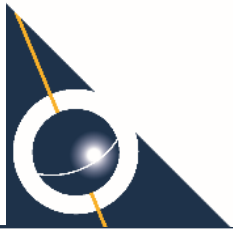




Fernfeld/Nahfeld Multipath (Mehrwegeeffekt)



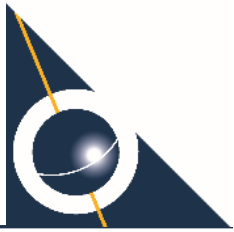
- Frequenz im Nahfeld der Antenne geringer
- durch lange Periodendauer der Mehrwegeeffekte im Nahfeld lassen sich diese nicht durch eine lange Beobachtungszeit herausmitteln
- **systematische Fehler** durch **Nahfeld-Multipath** in Koordinaten



Maßnahmen gegen Multipath

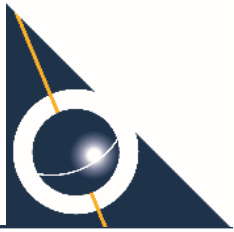
	Charakteristik	Maßnahme	
		Roverstation	Referenzstation
MPFernfeld	kurz-periodisch, systematischer Effekt	• vermeiden • Mittelung über Zeit • Gewichtung über Elevation oder Signalstärke (CNR)	• vermeiden • Mittelung über Zeit • Gewichtung über Elevation oder Signalstärke (CNR) • teilweise Korrektur durch Stationskalibrierung
MPNahfeld	lang-periodisch, systematischer Effekt, Bias	• vermeiden • kalibrieren	• vermeiden • kalibrieren • Korrektur durch Stationskalibrierung

Mittlung Fernfeld-Multiath typischerweise nach 20 ... 30 min



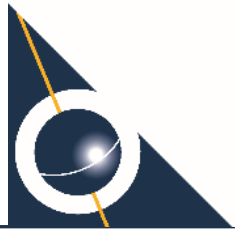
Weiter Stationsabhängige Fehler

- Effekte durch GNSS Interferenzen
(elektro-magnetische Störungen, Elektro-Smog)
 - absichtliches oder unabsichtliches „jamming“
 - (absichtlicher) Störsender
 - Effekte durch andere Techniken?
(z.B. Richtfunk, Radar, Fernsehen, etc)
- Manipulation von Daten „spoofing“

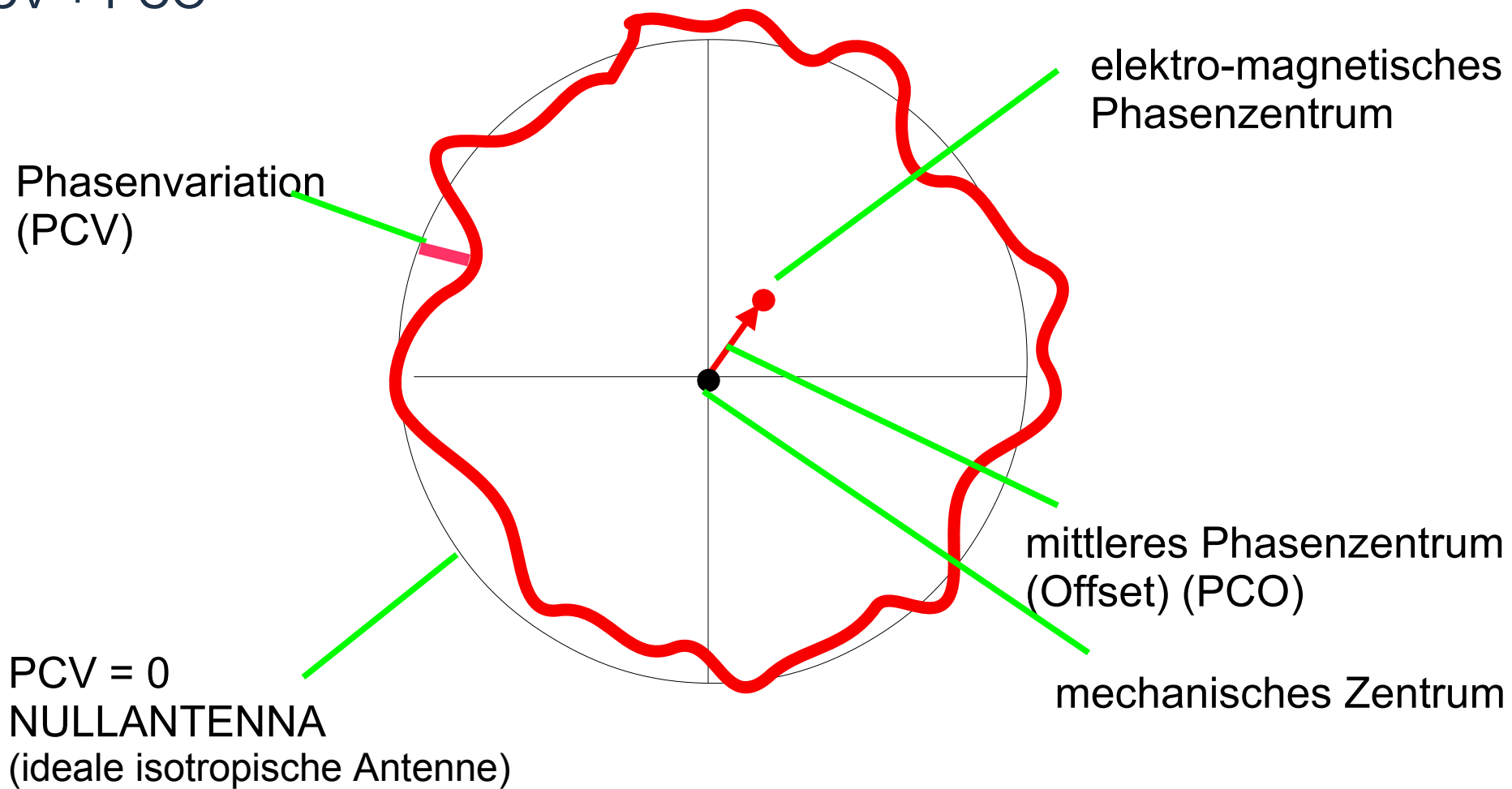


- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

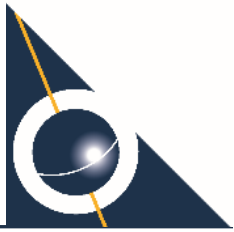
Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)



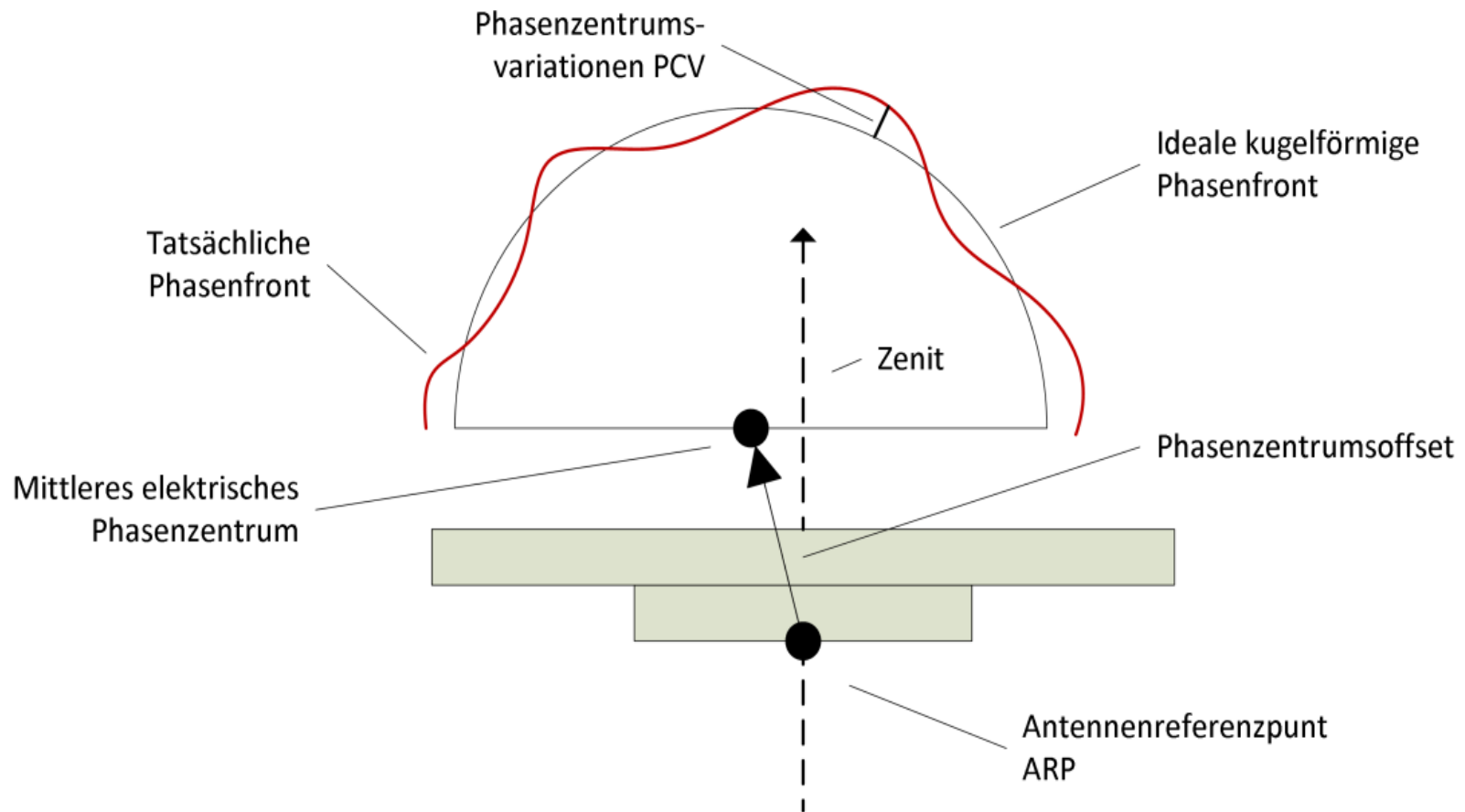
PCV + PCO

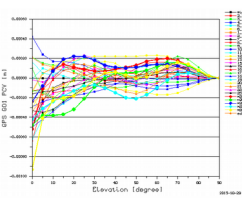


Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)

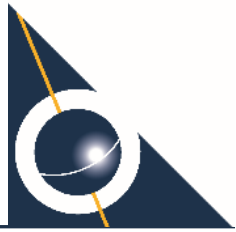


PCV + PCO





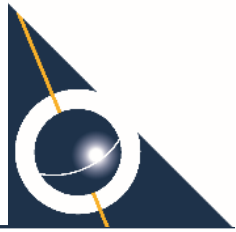
Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV) - Eigenschaften -



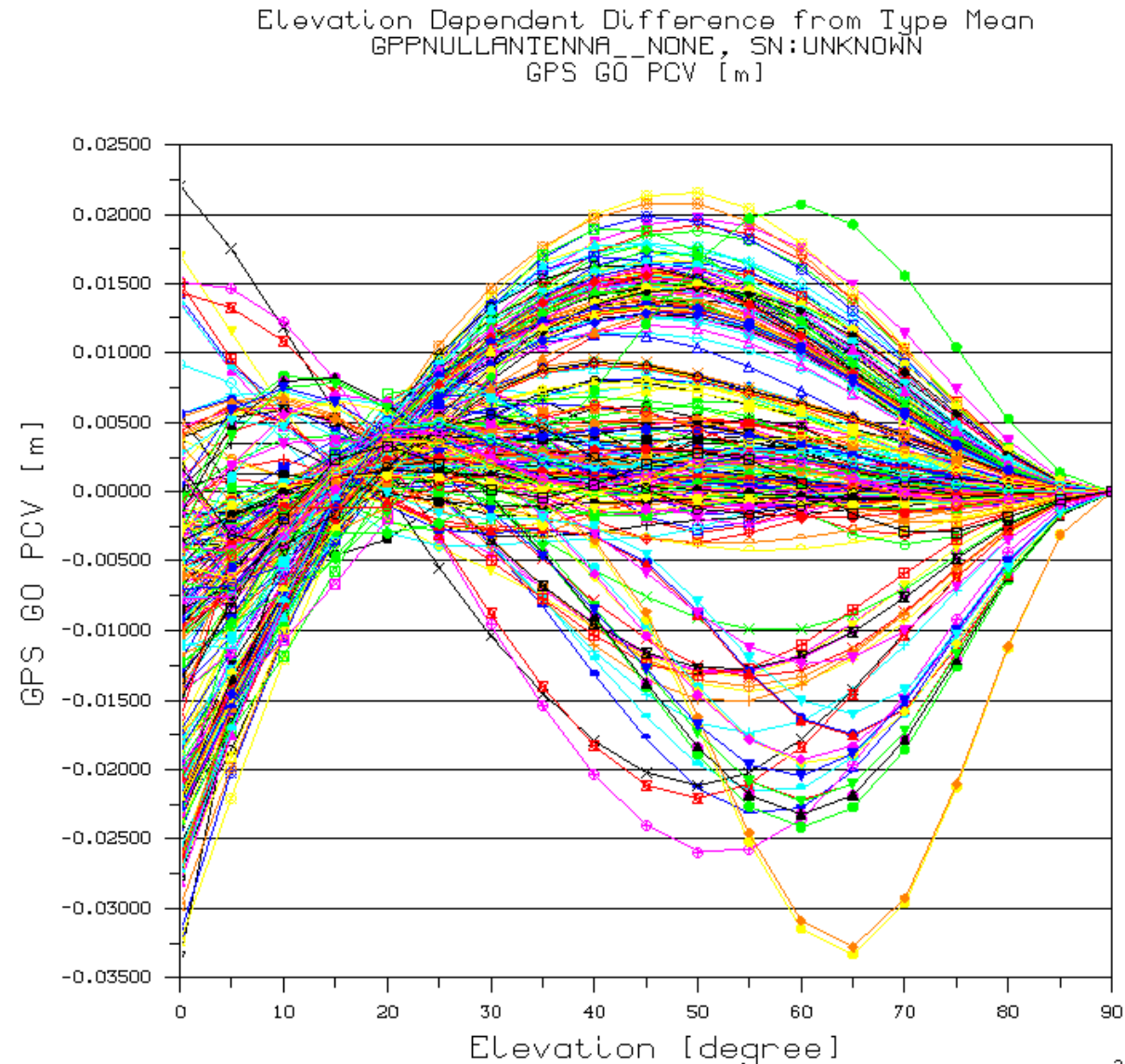
- Antennen-Phasenzentrum und Variationen (PCV) **abhängig vom Einfallswinkel** (Elevation und Azimut) und Frequenz des GNSS Signals
 - Antennen Phasenvariationen werden bestimmt
 - mittleres Phasenzentrum wird abgeleitet
- mittleres Phasenzentrum abhängig
 - von Elevationsmaske
 - gilt nur für gleichmäßige Verteilung der Signale
- **vollständiges Modell** besteht aus
 - mittleres Phasenzentrum (**Offset**)
 - **elevationsabhängige** Phasenvariationen
 - **und azimutabhängigen Phasenvariationen**
- im Allgemeinen relevant für Anwendung ist
 - ionosphärisch freie Signal L0

Faustformel:
L0 Faktor 3 größer als Originalsignale

Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV) - Größenordnung -



- **Phasenvariation**
(PCV ohne Offset)
bei unterschiedlichen
Antennentypen
- **266 Antennentypen**
 - Geo++ **GNPCVDB**
Datenbank
- **GPS L0 Signal**
- **PCV Differenz zur
GPPNULLANTENNA**
- **Größenordnung**
 - **bis zu mehreren cm**
 - in hohen Elevationen



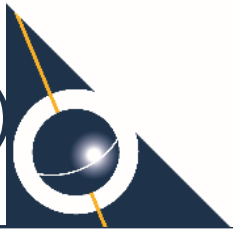
L0 ionosphärisch freie Signal

Faustformel:

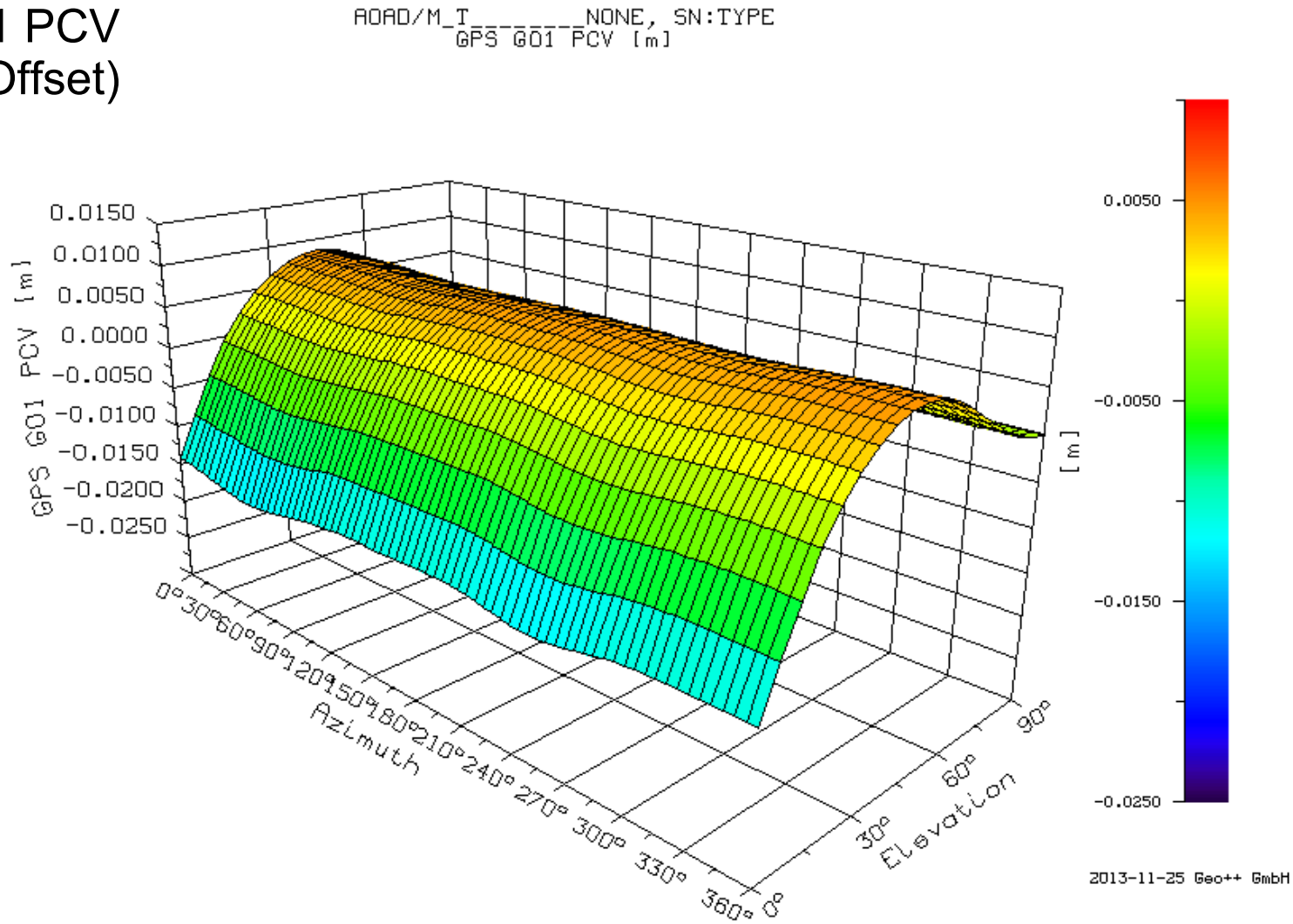
L0 Faktor 3 größer als Originalsignale

Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)

AOAD/M_T NONE



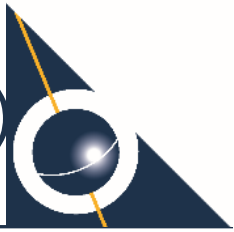
GPS L1 PCV
(ohne Offset)



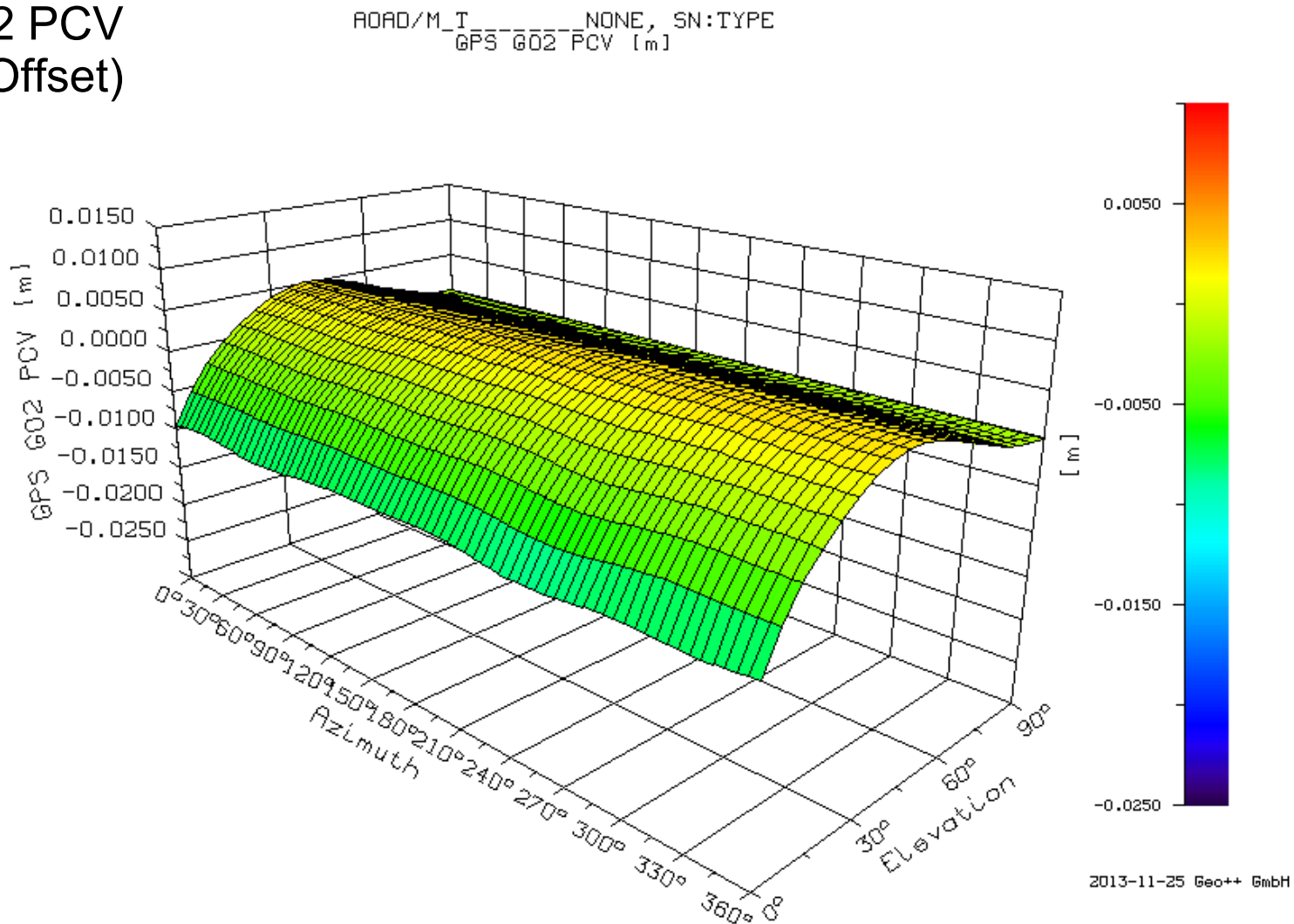
gezeigte PCV Graphiken im Allgemeinen ohne Offset

Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)

AOAD/M_T NONE

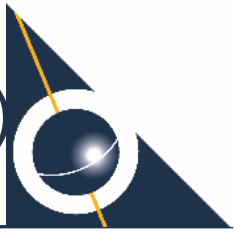


GPS L2 PCV
(ohne Offset)

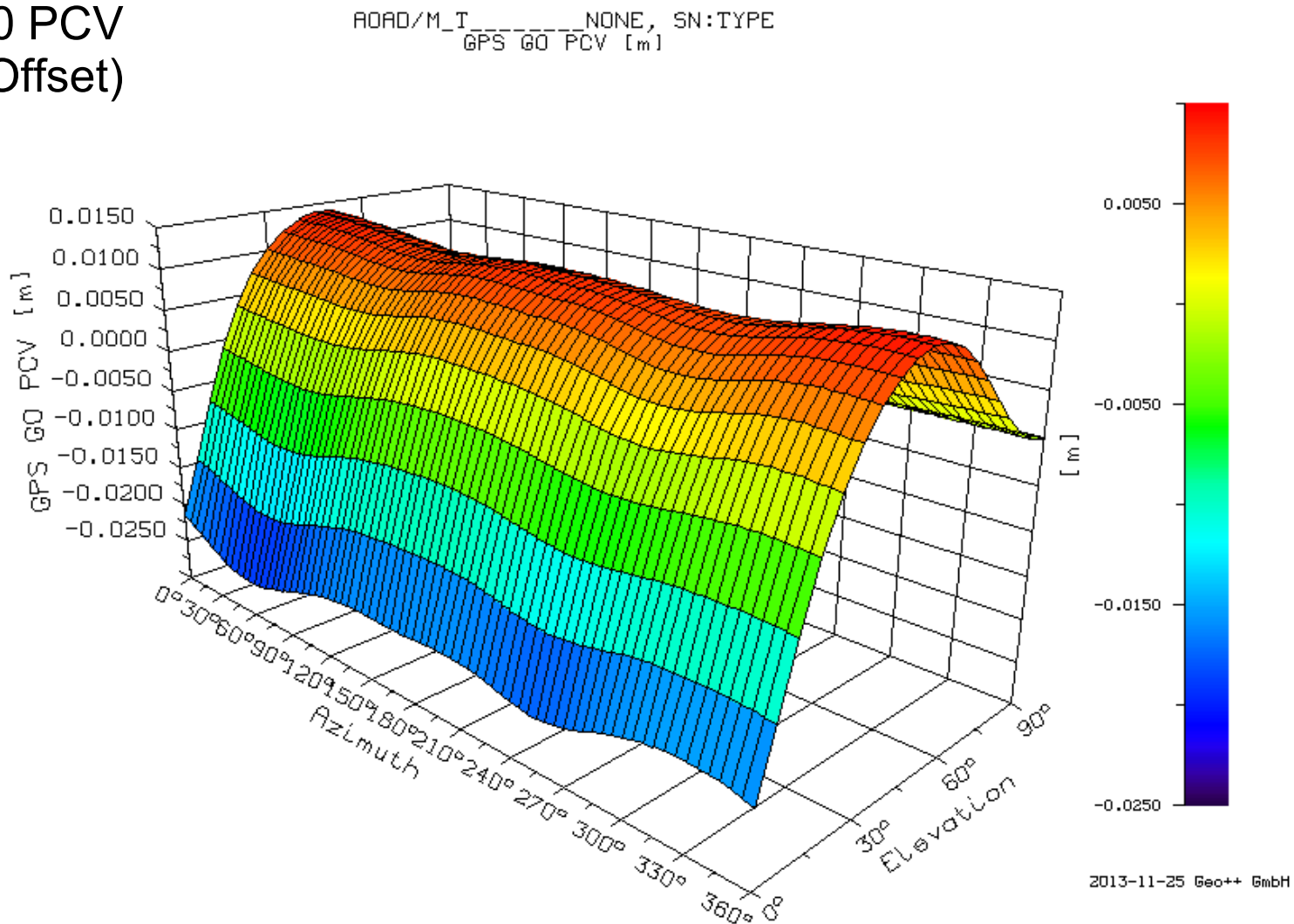


Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)

AOAD/M_T NONE

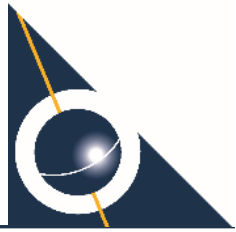


GPS L0 PCV
(ohne Offset)



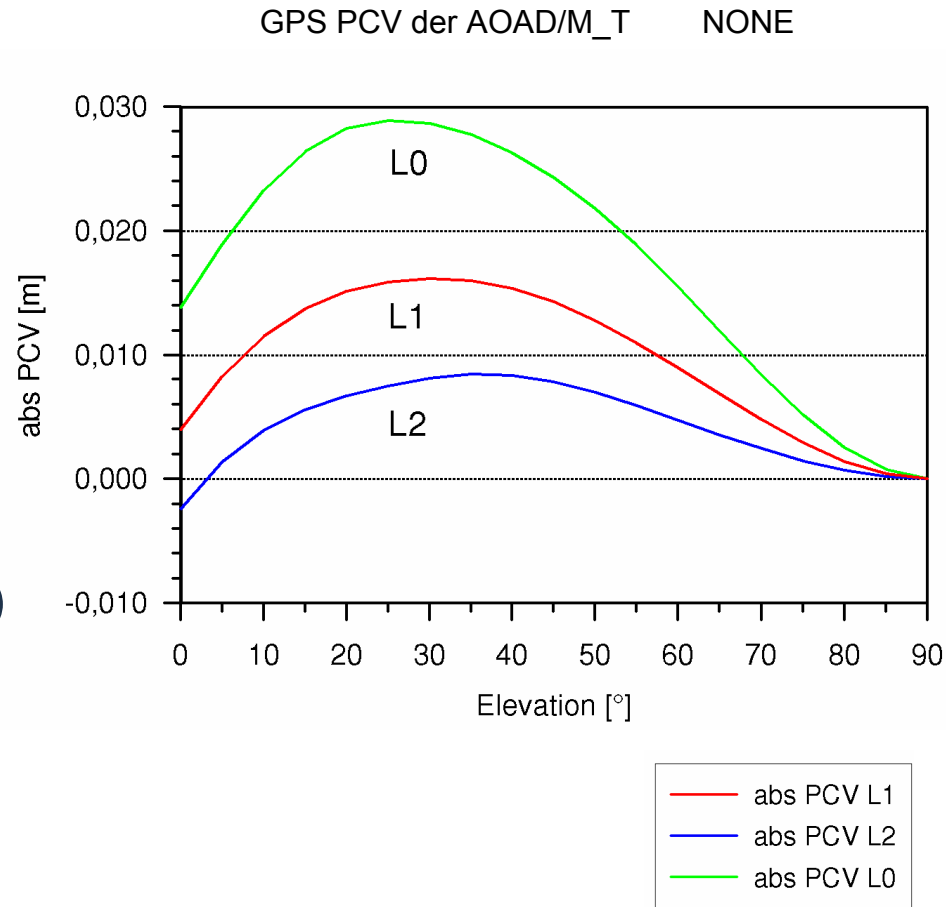
L0 ionosphärisch freie Signal

Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV) - Beziehung relative und absolute PCV -

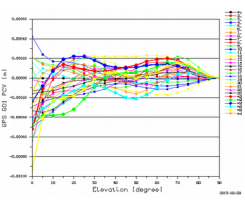


Absolute* vs Relative PCV Korrekturen

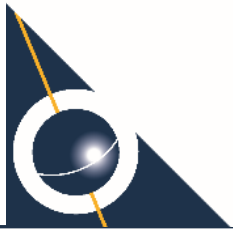
- **relative PCV** Korrekturen
 - Referenzantenne
AOAD/M_T NONE
 - Normierung auf die PCV der Referenzantenne
- **potentielle Probleme** relativer PCV
 - wachsen mit Entfernungen
 - in Modellierung (z.B. Troposphäre)
 - für Mehrdeutigkeitsalgorithmen
- **absolute PCV** Korrekturen
 - Stand-der-Technik
 - Verbesserungen in Vielzahl von Anwendungen



* unabhängig von einer Referenzantenne

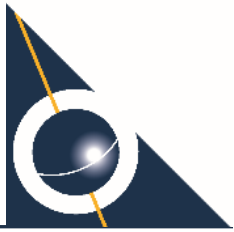


Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV) - Austauschformat -



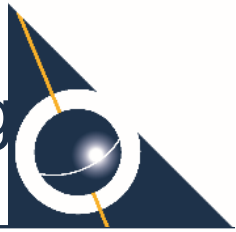
ANTEX Format als internationales Format

<pre> 1.2 G A AOAD/M_T NONE ROBOT Geo++ GmbH 42 5.0 0.0 90.0 5.0 2 # # (C) Geo++ GmbH # www.geopp.de # # Antenna Type: AOAD/M_T_____NONE # Antenna Serial Number: 404 # Antenna Calibration Date: 2000-05-28 03:24:06 # created by ant2atx 08-JUL-08 10:37:53 G01 0.60 -0.46 91.24 NOAZI 0.00 -0.24 -0.92 -1.97 -3.27 -4.69 0.0 0.00 -0.28 -1.01 -2.12 -3.49 -4.95 5.0 0.00 -0.28 -1.01 -2.12 -3.48 -4.94 10.0 0.00 -0.28 -1.01 -2.11 -3.46 -4.92 ... G01 G02 -0.10 -0.62 120.06 ... G02 </pre>	<pre> ANTEX VERSION / SYST PCV TYPE / REFANT END OF HEADER START OF ANTENNA TYPE / SERIAL NO METH / BY / # / DATE DAZI ZEN1 / ZEN2 / DZEN # OF FREQUENCIES COMMENT COMMENT COMMENT COMMENT COMMENT COMMENT COMMENT COMMENT COMMENT START OF FREQUENCY NORTH / EAST / UP -6.05 -7.19 -7.97 -8.30 -8.14 -7 -6.35 -7.52 -8.32 -8.63 -8.43 -7 -6.34 -7.50 -8.30 -8.62 -8.42 -7 -6.32 -7.48 -8.27 -8.59 -8.39 -7 ... END OF FREQUENCY START OF FREQUENCY NORTH / EAST / UP ... END OF FREQUENCY END OF ANTENNA </pre>
--	---



- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- **Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung**
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung - Geo++ GNPCV System -



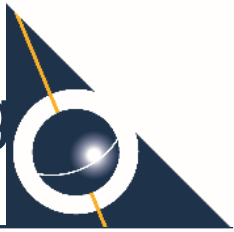
- roboter-basierte absoluten GNSS Antennenkalibrierung als Feldverfahren
- Entwicklung durch **Geo++** in Kooperation mit Institut für Erdmessung, **Universität, Hannover**
- **Vermarktung und Weiterentwicklung** seit 2000 durch Geo++
- 2000 Geo++, **Garbsen**, Germany
- 2000 ife, **Hannover**, Germany
- 2005 SenB, Berlin, Germany
- 2009 Geo++, **Garbsen**, Germany
- 2012 GSA, Canberra, **Australia**
- 2013 SenB, **Berlin**, Germany
- insgesamt sechs Geo++ GNPCV Systeme



drei Roboter-Test, Mai 2012, Geo++ Garbsen

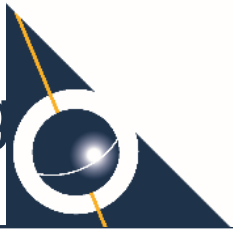
Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung

- Motivation und Ziele -



- Status späte **1990iger** Jahre
 - **Probleme** mit Korrekturen aus existierenden relativen **Feld-Kalibrierungsverfahren**
 - **Probleme** mit Korrekturen aus absoluten **Kammer-Kalibrierungen**
 - **PCV** Korrekturen dringend **notwendig** für Anwendungen mit **gemischte Antennentypen**
(z.B. RTK Vernetzung, Ingenieur-Aufgaben, ...)
- **Anforderungen** an ein Antennen-Kalibrierungsverfahren
 - **Trennung von** Phasenvariationen (PCV) und **Mehrwege-Effekten** (MP)
 - **absolute PCV** (unabhängig von einer Referenzantenne)
 - **hohe** Auflösung und **Genauigkeit** der ermittelten PCV
 - **unabhängig von Station und Ort** (d.h. MP und geografischer Breite)
 - Feldverfahren

Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung - Entwicklung Automatisierter Antennenunterbau -



- **Orientierungsänderung** der GNSS Antenne notwendig
- Unterbau für **Drehung und Kippung**
 - mit präzisem, festen und stabilem Drehpunkt
 - Möglichkeit zur Automatisierung
 - Ziel ist eine operationelle Prozedur
- letztendlich Nutzung eines **Roboters**
 - schnelle Änderungen
 - Automatisierung über Roboter-Steuerung
 - echtzeitfähig



1996



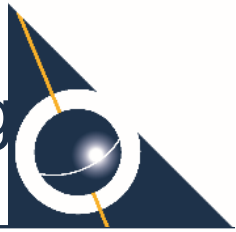
1998



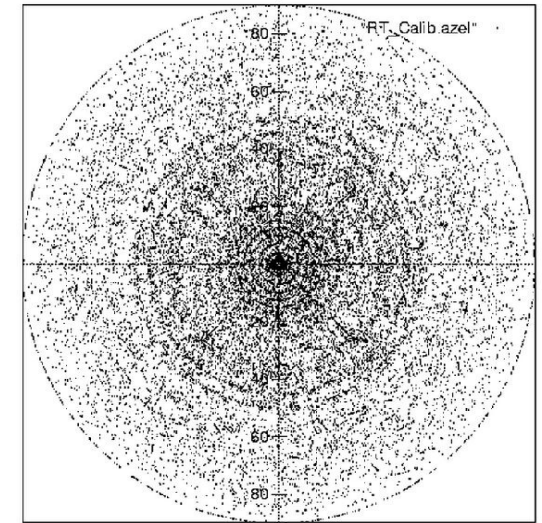
2000

Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung

- Methode -



- nutzt tatsächliche **GNSS Signale**
- **schnelle Orientierungsänderung** durch Roboter
- **gekippte und gedrehte** GNSS Antenne
- atmosphärische und Bahn-Fehler werden eliminiert durch Nutzung nahe Referenzstation
- Einfluss Antenne Referenzstation wird eliminiert durch Prozedur
- **Fernfeld Mehrweg** wird
 - **vermieden** durch hohe Elevationsmaske von 18° , dynamisch angepasst an gekippte Stellungen
 - **eliminiert** durch Modell uns Ausnutzen der hohen Korrelation zwischen aufeinanderfolgenden Epochen (1-2 s)
- **homogene Abdeckung** der Hemisphäre
- Beobachtungen mit **negative Elevation**
- Ergebnisse in **Echtzeit**



typische Antennenabdeckung einer roboter-basierten Kalibrierung



Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung - Eigenschaften -



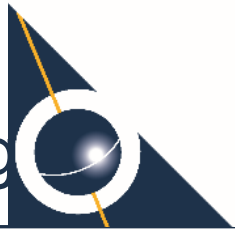
- wesentliche Aufgabe ist Bestimmung
 - absoluter*
Phasenzentrums- und **Variationen** (PCV)
- Roboter ausgezeichnetes Instrument zur Bestimmung weiterer Parameter
 - **Signalstärke** (carrier-to-noise, CN0)
 - Group Delay Variations (GDV)/
Code Kalibrierung
 - **Nahfeld Effekte** auf Antennen
 - Trennung von Mehrweg in Nah- und Fernfeld Effekte
 - absolute **Stationskalibrierung** von Mehrwegen
- Antennenkalibrierung liefert (2013)
 - GPS + GLO L1 and L2 PCV
 - GPS + GLO S1 and S2 CNRV
 - GPS + GLO P1 and P2 GDV



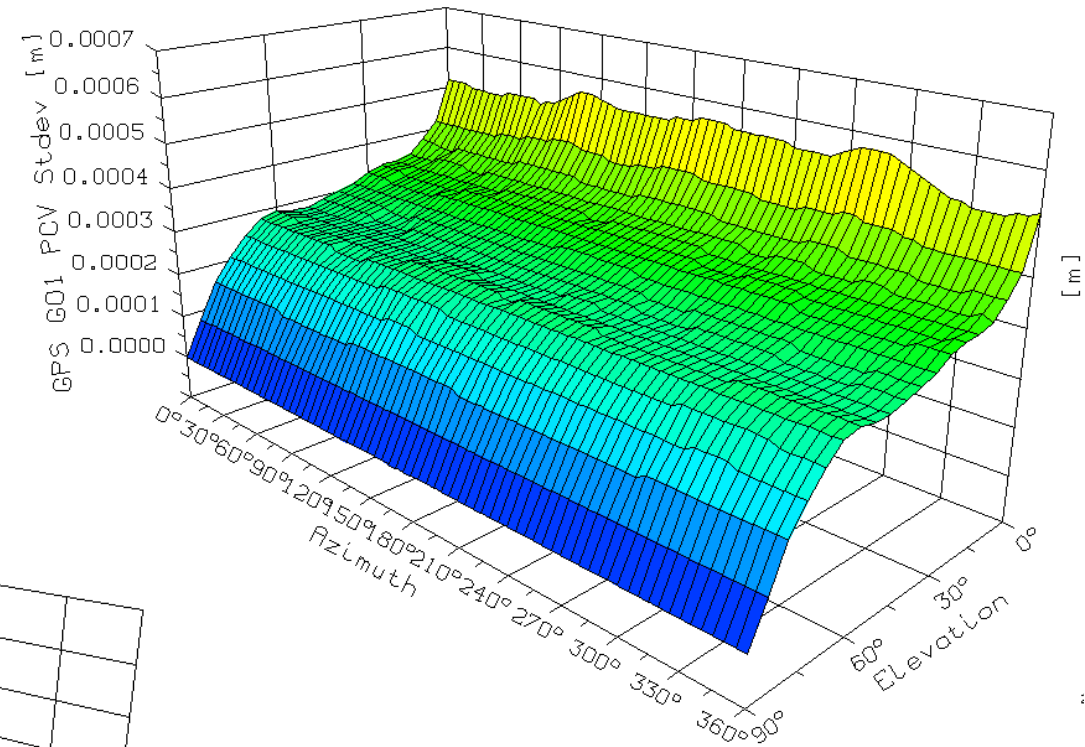
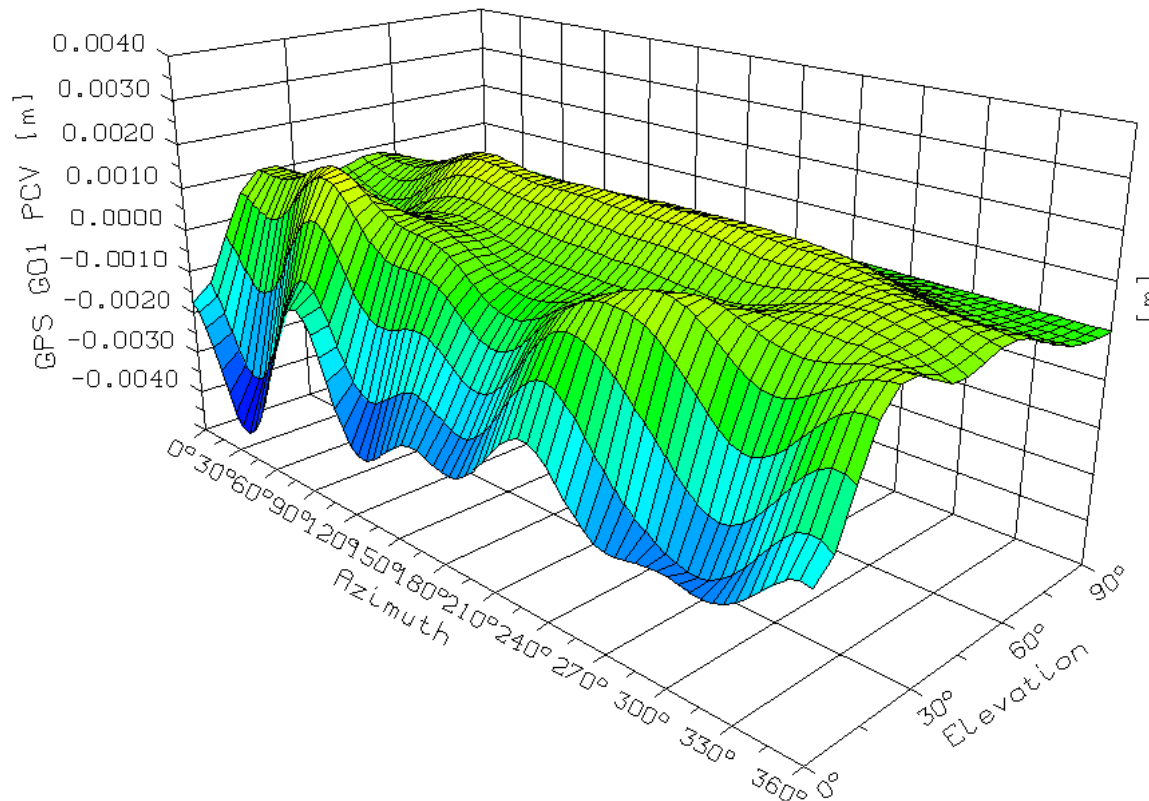
Geo++ Roboter mit TPSPN_A5 NONE

* ohne Einfluss einer Referenzantenne

Absolute GPS L1 PCV und Standardabweichung

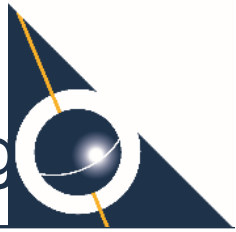


- **Roverantenne**
- CHCX91+S NONE
- ohne Offset
- GPS L1 PCV: -4 ... +2 mm
- Stdev: 0.1 ... 0.4 mm

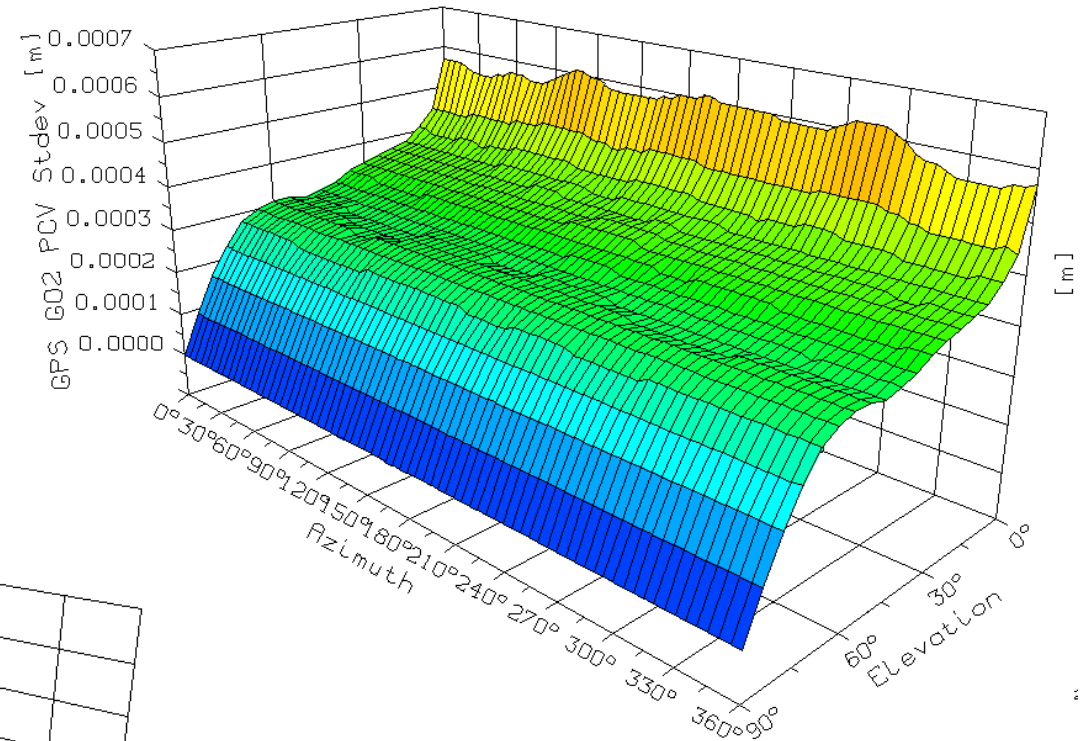
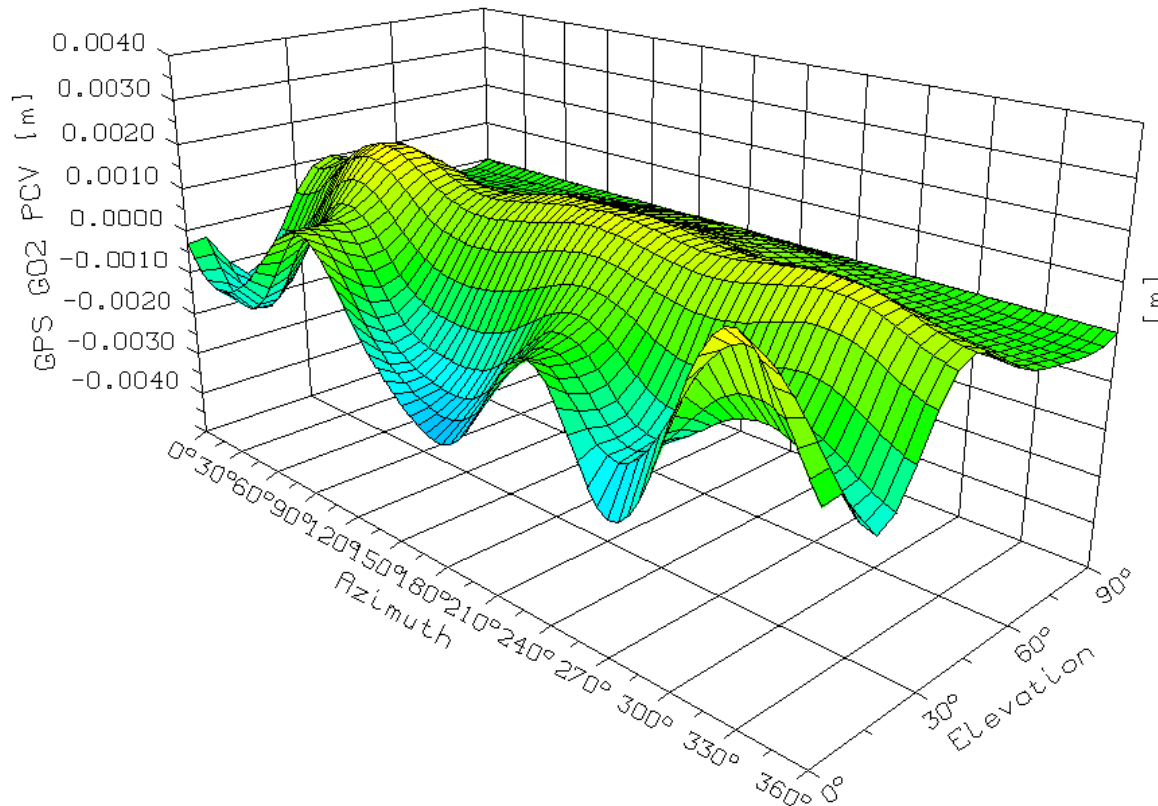


Stdev für geodätische Antennen
besser

Absolute GPS L2 PCV und Standardabweichung



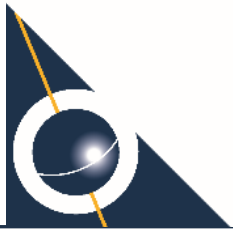
- **Roverantenne**
- CHCX91+S NONE
- ohne Offset
- GPS L2 PCV: -4 ... +2 mm
- Stdev: 0.1 ... 0.4 mm



Stdev für geodätische Antennen
besser

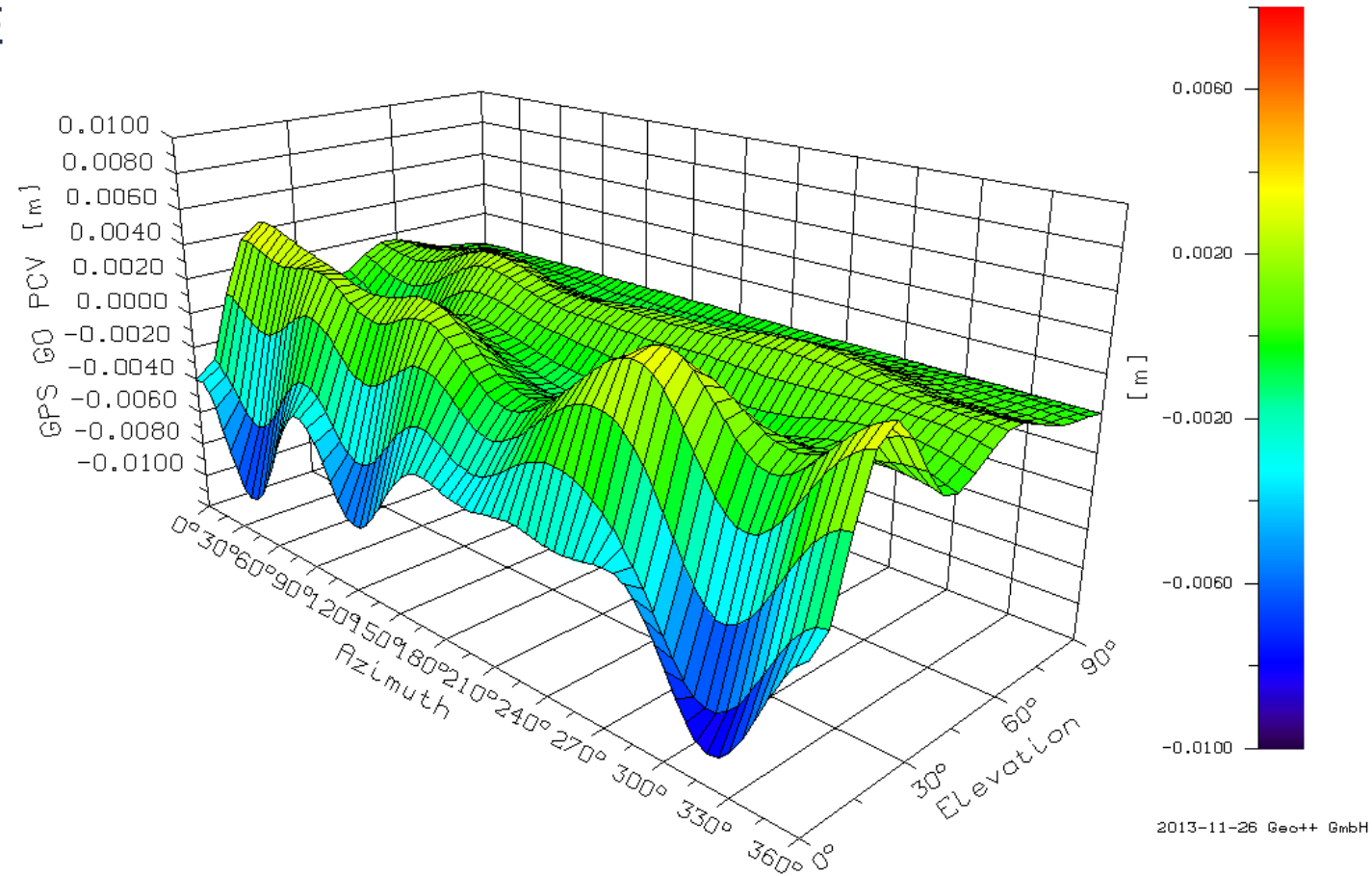


Absolute GPS L0 PCV

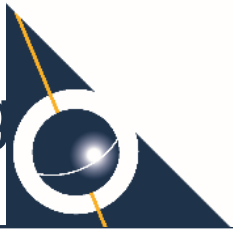


- **Roverantenne**
- **CHCX91+S NONE**
- **ohne Offset**
- **GPS L0 PCV:**

-10 ... +4 mm



Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung - Wiederholbarkeit Phasenzentrum und Variationen -



unterschiedliche Roboter/Systeme

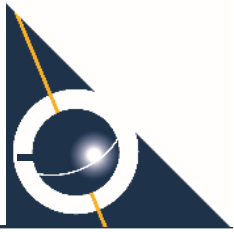
- Wiederholbarkeit der absoluten PCV Antennen- Kalibrierung mit Roboter
- drei unterschiedliche GNPCV Roboter

Roboter	betrieben
Geo++	in Garbsen
ife	in Hannover
Berlin	getestet in Garbsen

- individuelle ASH700936D_M Antenne wurde kalibriert

Roboter	Datum der PCV-Kalibrierung
Geo++	2005-08-08
Berlin	2006-02-15
ife	2006-01-14





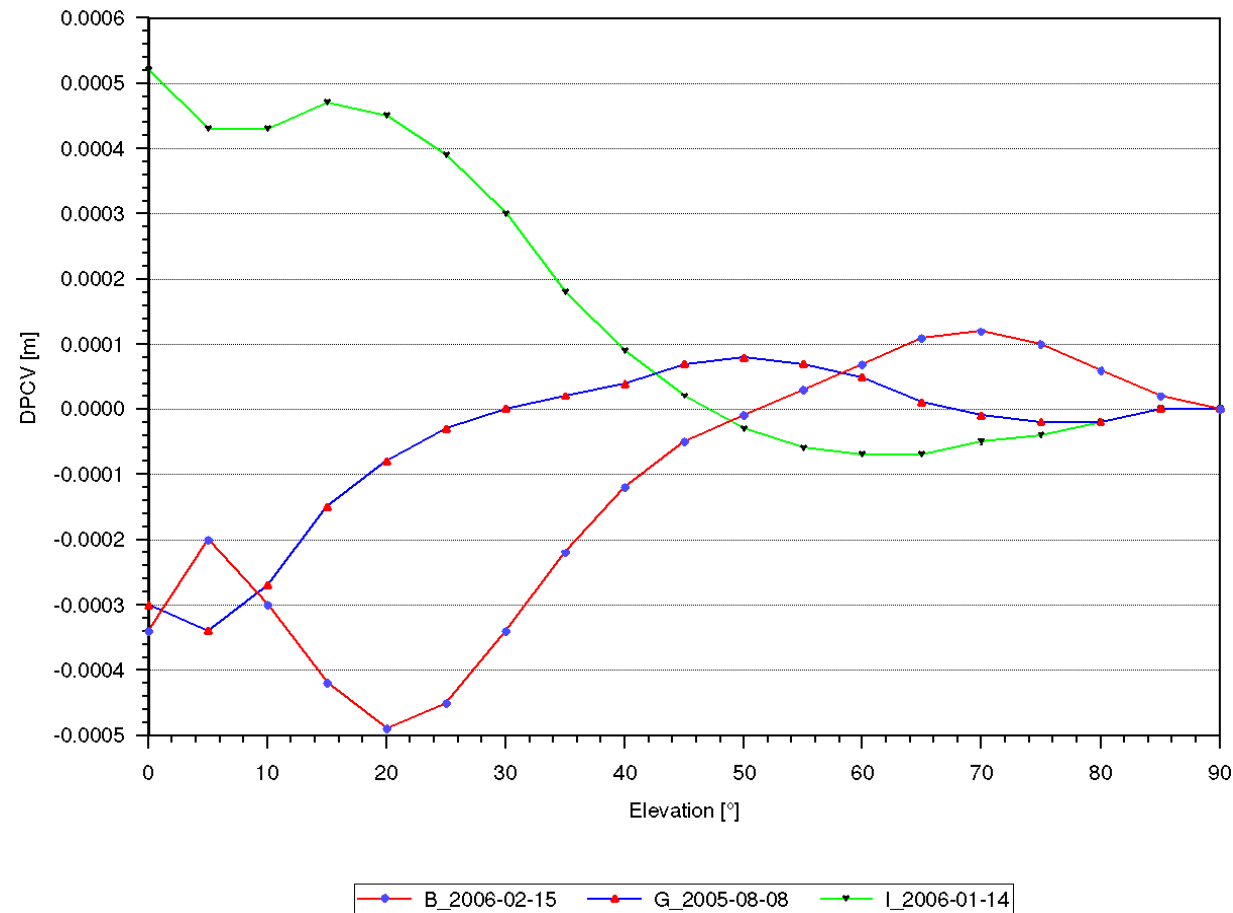
L1 GPS dPCV

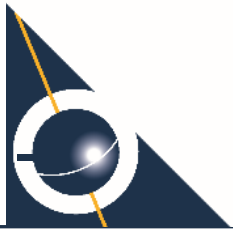
- individuelle ASH700936D_M Antenne
- drei unterschiedliche Roboter
- GPS L1 Signal
- Größenordnung PCV Differenzen

L1 < 0.5 mm

Elevation Dependent Difference from Type Mean

ASH700936D_M#CR14348, L1 PCV





L2 GPS dPCV

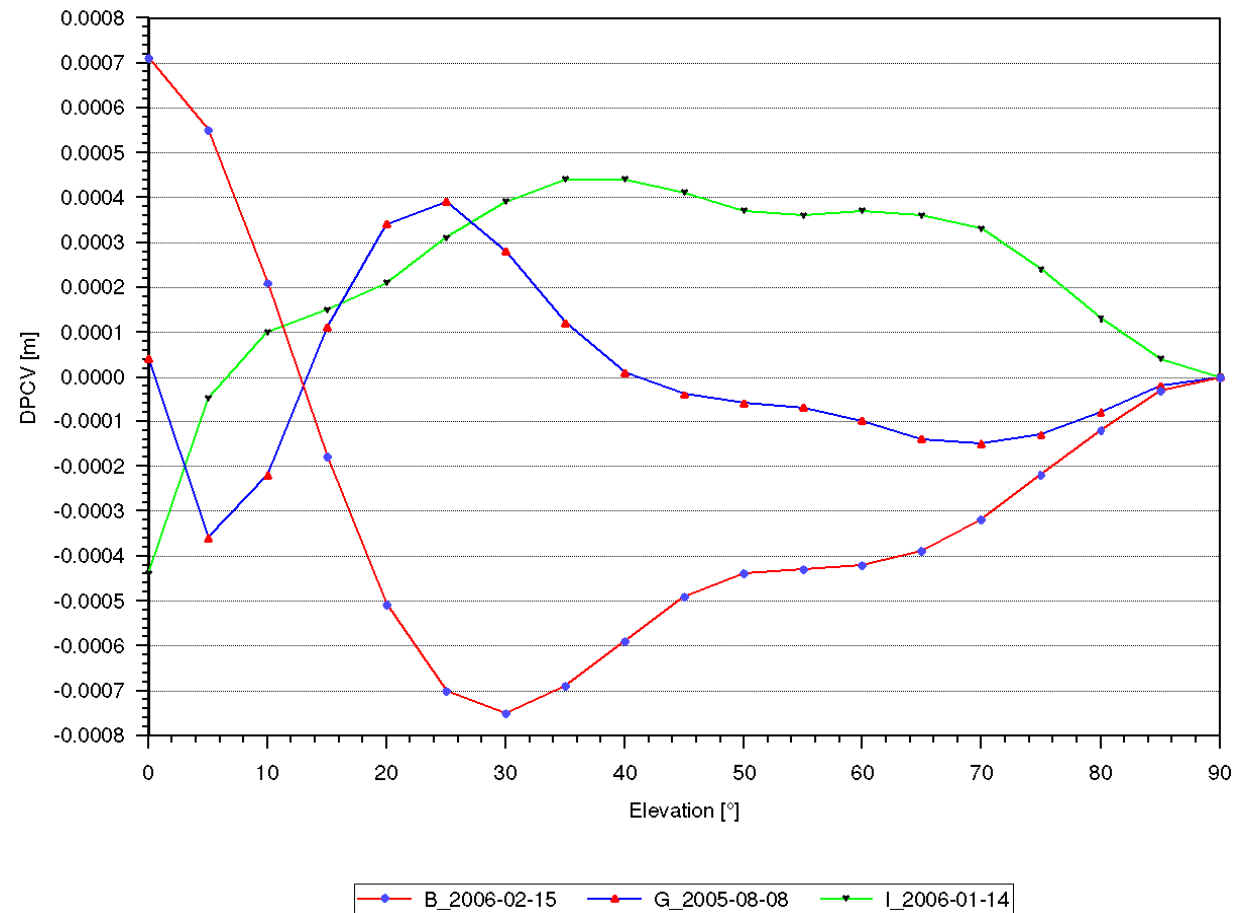
- individuelle ASH700936D_M Antenne
- drei unterschiedliche Roboter
- GPS L2 Signal
- Größenordnung PCV Differenzen

L2 < 1 mm

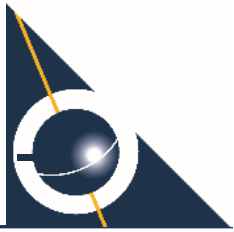
- L2 im allgemeinen schlechter aufgrund anderer Signal-Erfassung

Elevation Dependent Difference from Type Mean

ASH700936D_M#CR14348, L2 PCV



- Wiederholbarkeit Phasenzentrum und Variationen



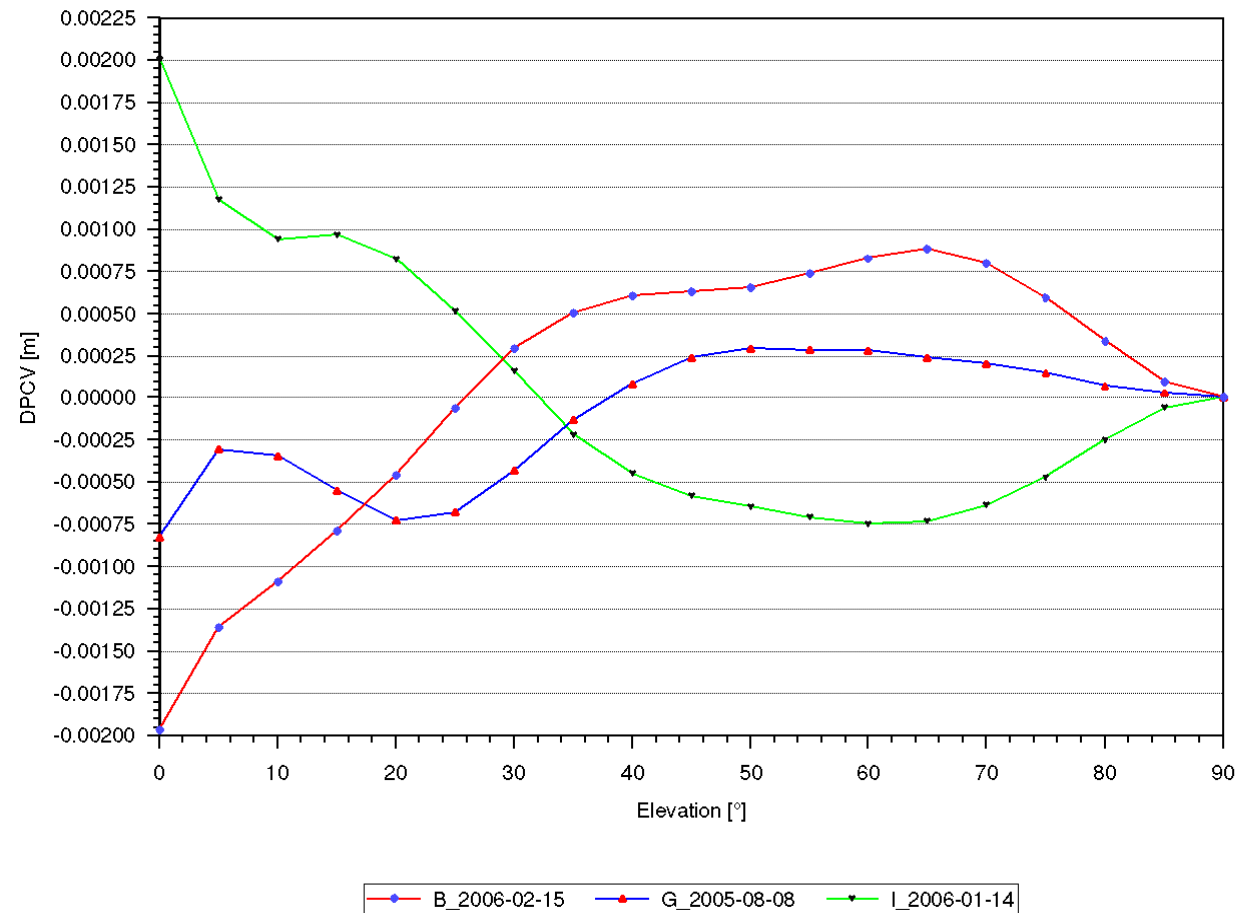
L0 GPS dPCV

- individuelle ASH700936D_M Antenne
- drei unterschiedliche Roboter
- ionosphärisch freies Signal
- Größenordnung PCV Differenzen

L0 < 1 mm
über 10 deg

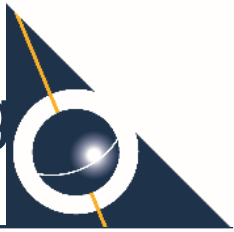
Elevation Dependent Difference from Type Mean

ASH700936D_M#CR14348, L0 PCV



Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung

- Kalibrierung von GLONASS PCV -



- **Unterschiede zu GPS**

- Frequenzbereiche
- **individuelle Frequenz pro sichtbaren GLONASS Satellit**

- GLONASS PCV Korrekturen

- **Annahme GPS == GLO**

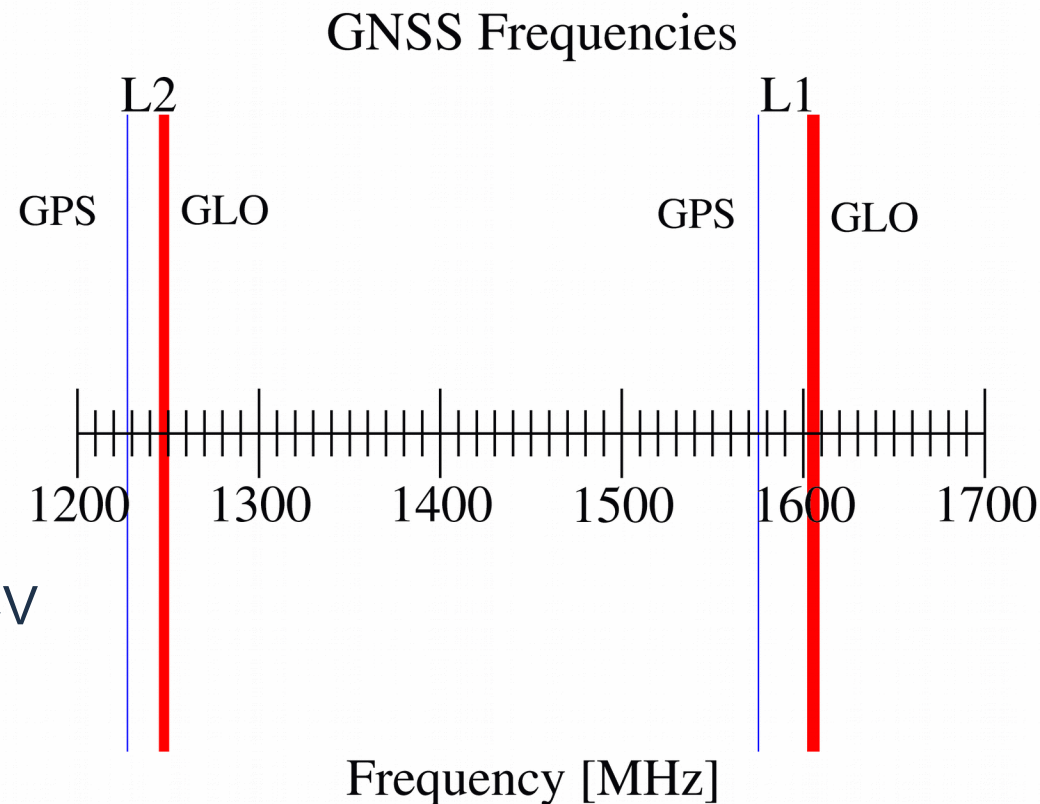
- GPS PCV werden als GLO PCV benutzt

- frequenzunabhängige GLO PCV

- **zufällige Mischung der Frequenzen** in einer Feld-Kalibrierung

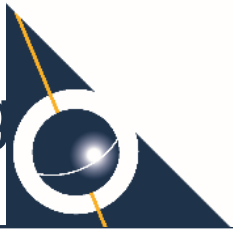
- frequenzabhängige GLO PCV

- Bestimmung von DeltaPCV (**Änderung der PCV mit der Frequenz**)
- metrische PCV aus **Kombination von GPS und GLO DeltaPCV**
- **PCV Berechnung für eine Frequenz** (z.B. $k=0$), **extrapolierbar**

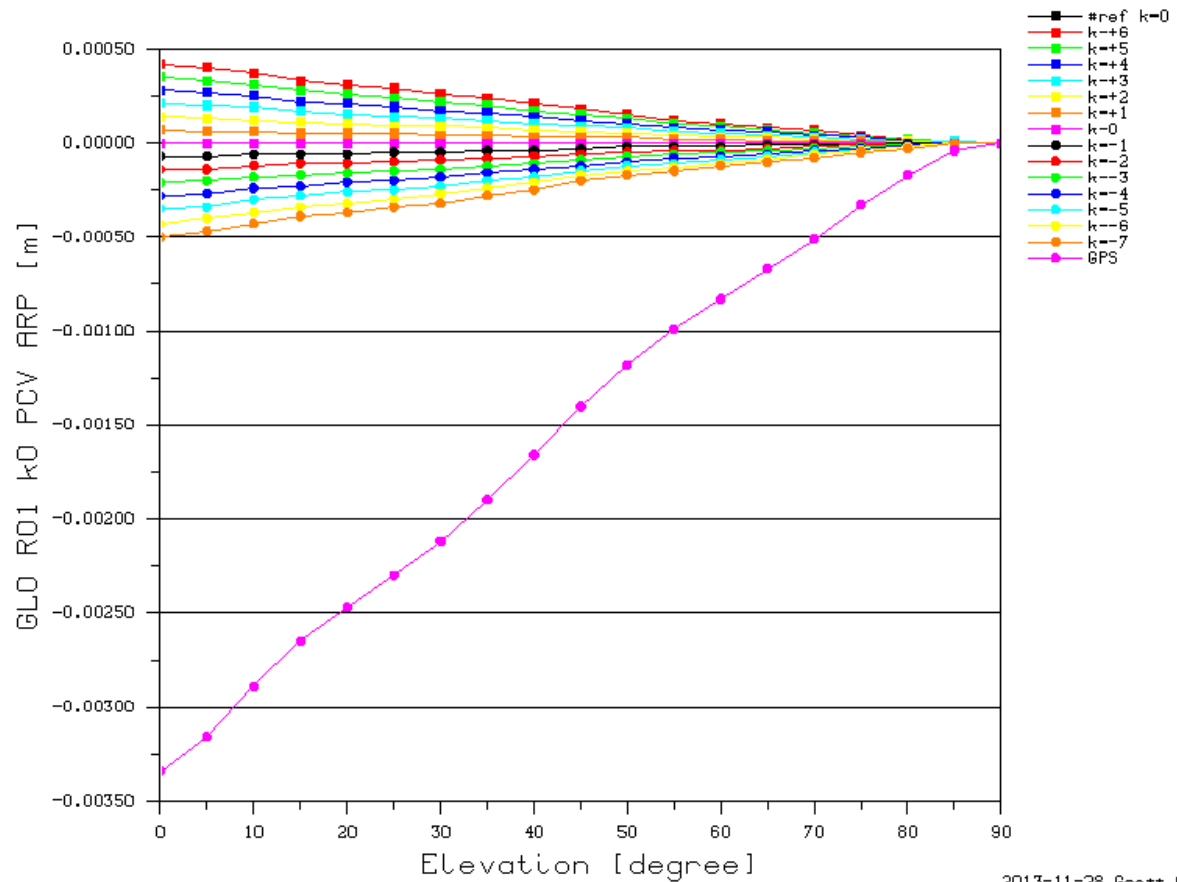


Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung

- Kalibrierung von GLONASS PCV -



- **frequenzabhängige GLO PCV**
- umgerechnet auf metrische PCV
- frequency channel $K = -7 \dots +6$
- dPCV, Referenz ist $k=0$
- Antenne mit großen DeltaPCV
- Größenordnung **Differenz GLO L1/L2 Frequenzen** ca. 0.5 ... 1.0 mm
- **Differenz zu GPS** bis zu mehreren mm

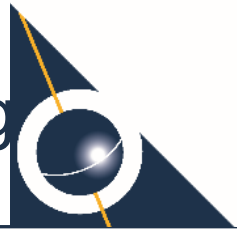


2013-11-28 Geo++ GmbH

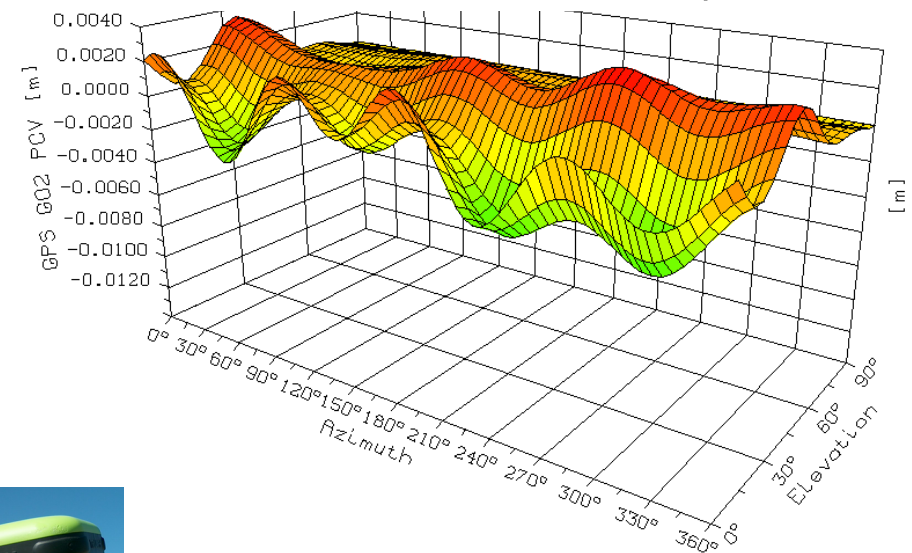
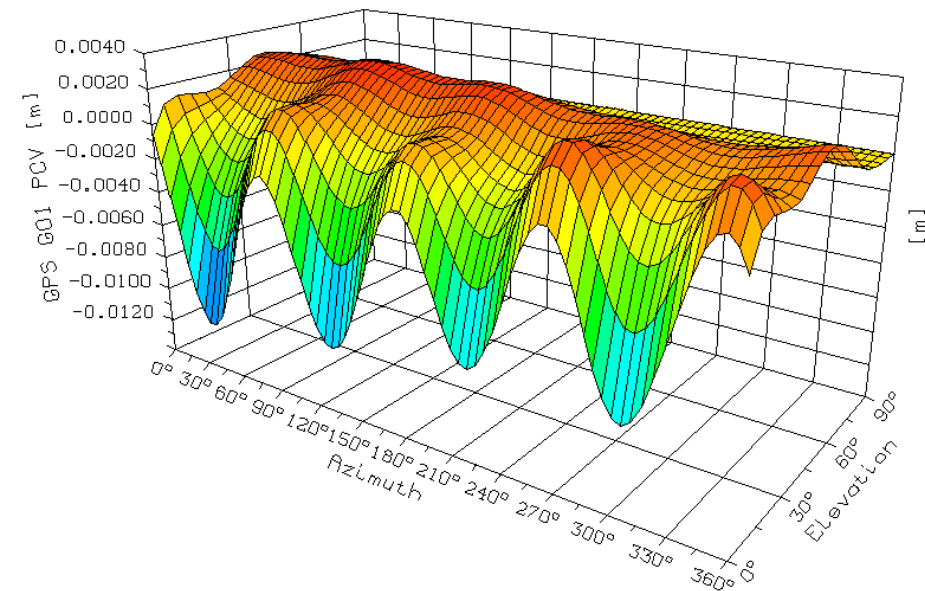
Beispiel GLO L1 PCV JAV_RINGANT_G3T NONE

Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung

- PCV Ergebnisse -



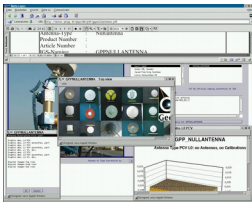
- **absolute 3D Offset**
(Größenordnung mm ... cm)
- **absolute Phasenvariationen**
(Größenordnung mm ... cm)
- PCV von ($<$) 0° bis 90° Elevation
- 0° to 360° **azimutale PCV**
- gleichzeitige Bestimmung von L1, L2
GPS und GLONASS PCV
- Standardabweichung
0.2 ... 0.4 mm (1 sigma)
für vollständige PCV
(Offset plus Variation)
- Verifikation der Genauigkeit durch
Wiederholbarkeit
- **frei von Mehrweg Einfluss**
- **stations- und orts-unabhängig**



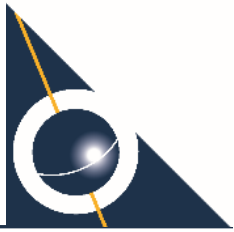
GPS L1 and L2 PCV JAV_TRIUMPH-1 NONE



- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - **Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen**
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung



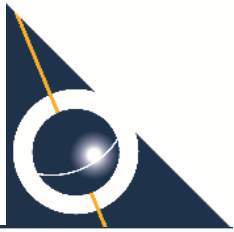
Analyse Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen Geo++ GNPCVDB Datenbank



Absolute PCV Typmittel

- **Typmittel** berechnet aus Roboter kalibrierten Antennen
- strenge Ausgleichung unter Nutzung der vollständigen Varianz-Kovarianz Matrix der individuellen Kalibrierungen
- **Dezember 2016**
 - ca. **314** unterschiedliche **Antennentypen**
 - 2649** individuell GPS kalibrierte Antennen
 - 7595** individuelle GPS **Kalibrierungen**
 - 1267** individuell GPS+GLO kalibrierte Antennen
 - 3567** individuelle GPS+GLO Kalibrierungen
- **frei zugängliche Information** über PCV Pattern (Graphiken, **ARP**- und **NRP** Definition, etc.)
- bestimmte Typmittel werden IGS/EPN bereitgestellt (z.B. **IGS igs14.atx**)
- Lizenz für Nutzung absoluter PCV (tatsächlicher Zugang zu den numerischen PCV)
- <http://gnpcvdb.geopp.de/>

ARP Antenna Reference Point (height)
NRP North Reference Point (orientation)



Kann ich PCV Pattern sehen?

- eigene ANTEX Dateien können visualisiert werden
- Geo++ GNPCV2PDF verfügbar unter

<http://wox.geopp.de/gnpcv2pdf/index.html>

Lesenzeichen

GPS G01 PCV [m]

GPS G02 PCV [m]

GPS G0 PCV [m]

GLO R01 PCV [m]

GLO R02 PCV [m]

GLO R0 PCV [m]

GPS G01 PCV Stdev [m]

GPS G02 PCV Stdev [m]

GPS G01 AZI PCV [m]

JAVRINGANT_GST_JAVC, SN:00002
GLO R0 PCV [m]

2017-03-30 Geo++ GmbH

Home

ANTEX-File: ANTEX file with PCV corrections of a single GNSS antenna to be uploaded and visualized

Search... Open a file chooser to search an ANTEX file in the local directory

Mail-Address email address to send to the visualized PCV as a PDF-file

Upload Upload the ANTEX input data to server and start processing

Cancel Remove all input strings from the input fields

UPLOAD

Please enter path and **ANTEX file** with PCV to be uploaded and visualized with GNPCV2PDF

ANTEX file: Keine Datei ausgewählt.

Please enter an **e-mail address** to send to the resulting PDF-file with visualized PCV

Mail address:

Copyright © 2013 by Geo++ GmbH. All rights reserved

Home

Thank you for using Geo++® GNPCV2PDF.

Your uploaded ANTEX file is processed with the job id da72b9f8 and GNPCV2Pdf version 1.0.1.221.

The visualized PCV file will be **sent as a PDF-file** to the following mail address **ms@geopp.de**

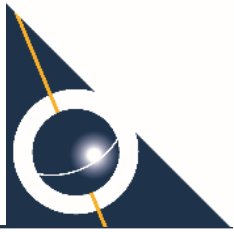
Click here for **next upload** or **Quit**

You will receive the visualized PCV from the uploaded ANTEX file as a **PDF-file via mail within a few minutes ...**

Copyright © 2013 by Geo++ GmbH. All rights reserved

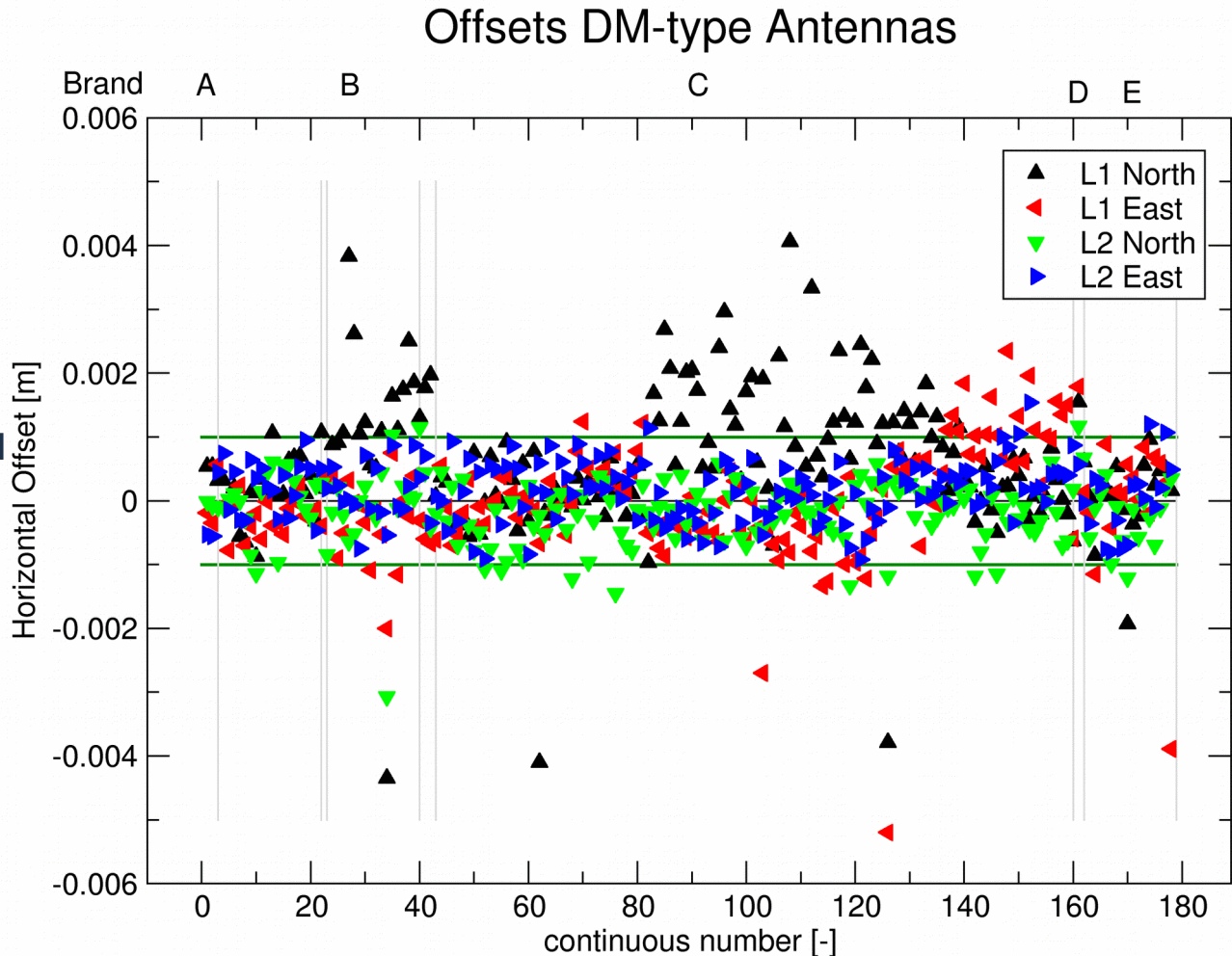
- verschickt pdf-Datei an e-mail-Adresse

Analyse Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen - Offset Analyse DM-typ Choke Ring Antennen -

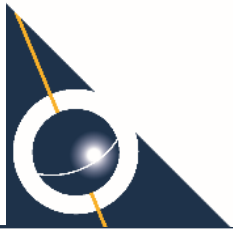


horizontale Offsets

- 5 unterschiedliche Hersteller (A-E)
- 8 DM-typ Antennen
- mit oder ohne Radom nicht unterschieden
- Offsets nicht geeignet um PCV vollständig zu beschreiben, aber **Offsets sind azimuthale PCV**
- offensichtlich
 - Ausreißer
 - signifikante Änderungen in Model-Serie

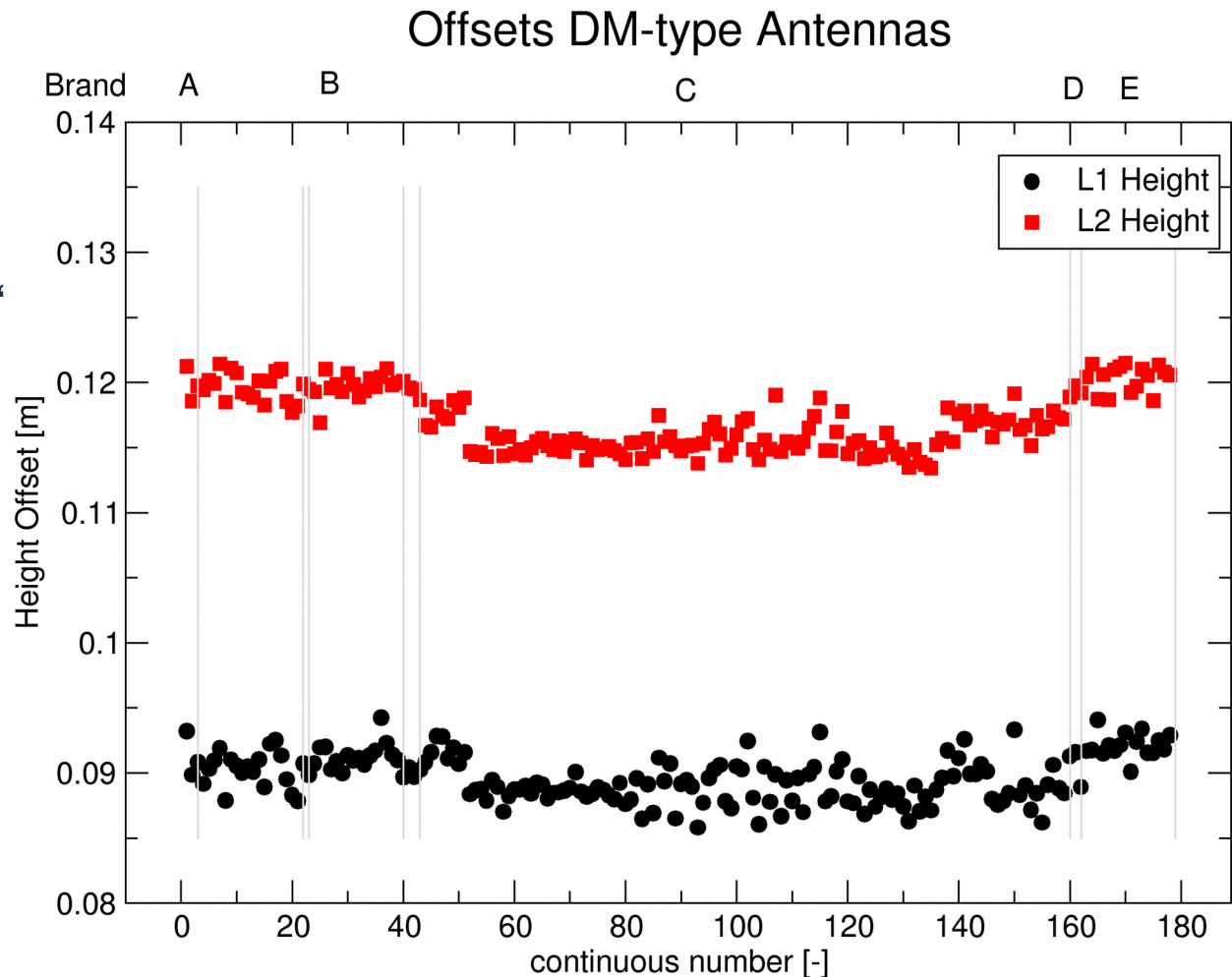


Analyse Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen - Offset Analyse DM-typ Choke Ring Antennen -



Höhen-Offset

- **Abmessungen** der Antennen **weitestgehend identisch**
- Höhen-Offset „weicher“ als horizontale Offsets
- Standardabweichung über alle Antennen ca. 2 mm
- **unterschiedliches Höhen-Niveau** für unterschiedliche Model-Typen





- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- **Erkenntnisse aus Analysen von**
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - **Radom/Revision von Antennen**
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

Analyse Radom/Revision von Antennen



LEIAR25.R4 LEIT



NOV750.R5 NOVS



LEIAR25.R4 SCIT

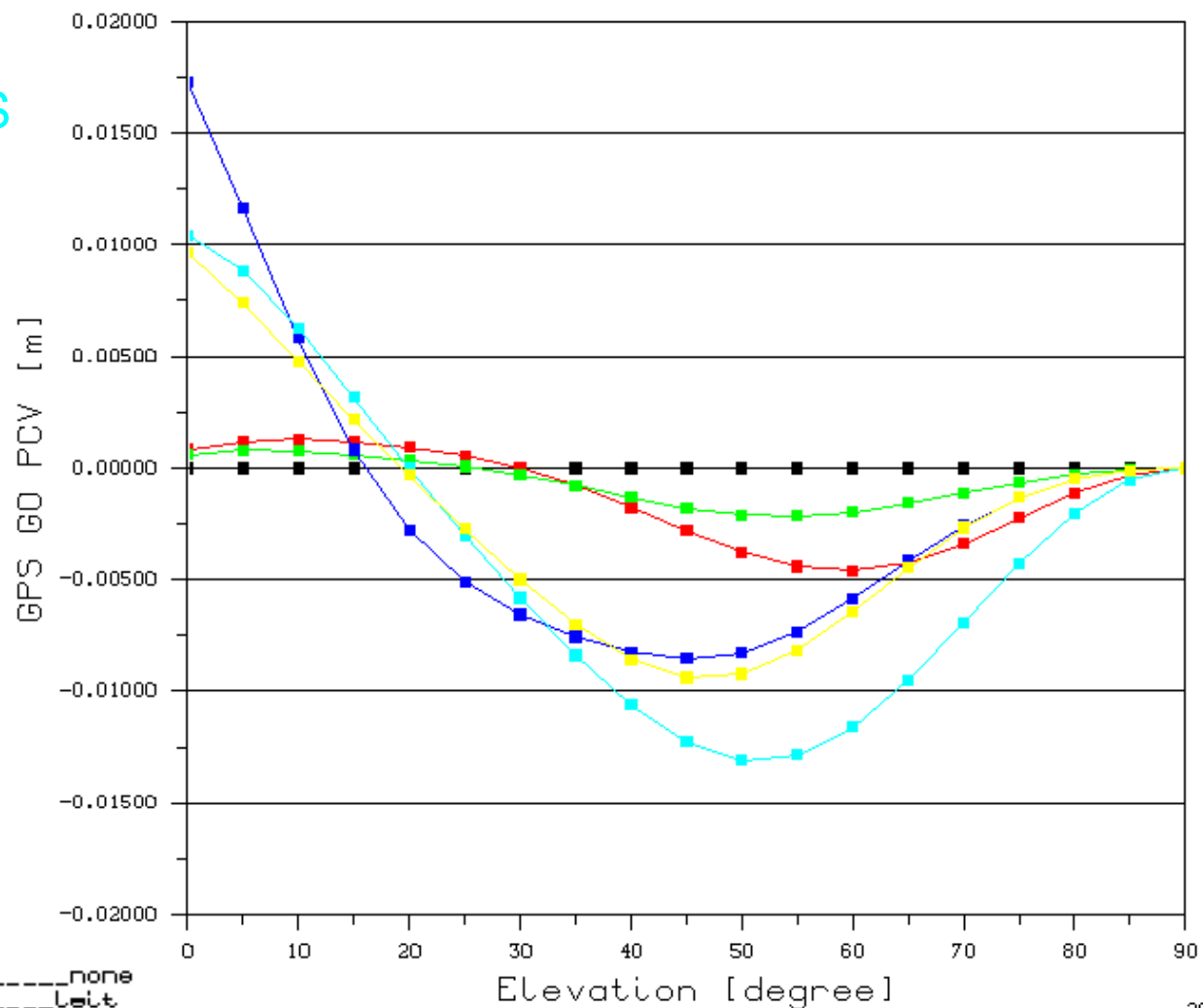
- baugleiche bzw, weitestgehend baugleiche Antenne (LEIAR25.R3, LEIAR25.R4, NOV750.R4, NOV750.R5)
- **sphärischer** Radom vs **zylindrisch/sphärischer Radom** (LEIT, NOVS)
- unterschiedliches **Material** (LEIT, SCIT) sowie **Grundplatte** (SCIT)

Analyse Radom/Revision von Antennen



- Differenz zu LEIAR25.R4 NONE
- GPS L0 dPCV
- **Bauform Radom**
 - Radom **LEIT** vs **NOVS** bis zu 12 mm
- **Material/Grundplatte**
 - Radom **LEIT** vs **SCIT** bis zu 8mm
 - bis zu 12...17 mm am Horizont
- **Revision Änderungen**
 - LEIAR25.**R3** vs **R4** bis zu 2 mm
 - NOV750.**R4** vs **R5** bis zu 5 mm

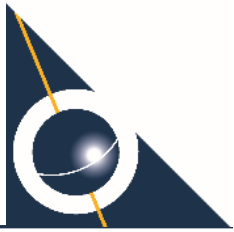
Elevation Dependent Difference from Type Mean
LEIAR25.R4-----NONE, SN:UNKNOWN
GPS GO PCV [m]



■ #lei25.r4-----none
 ■ lei25.r3-----leit
 ■ lei25.r4-----leit
 ■ lei25.r4-----scit
 ■ nov750.r4-----novs
 ■ nov750.r5-----novs



- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- **Erkenntnisse aus Analysen von**
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - **Nahfeld Mehrweg Einfluss**
- Was verursachen Millimeter?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

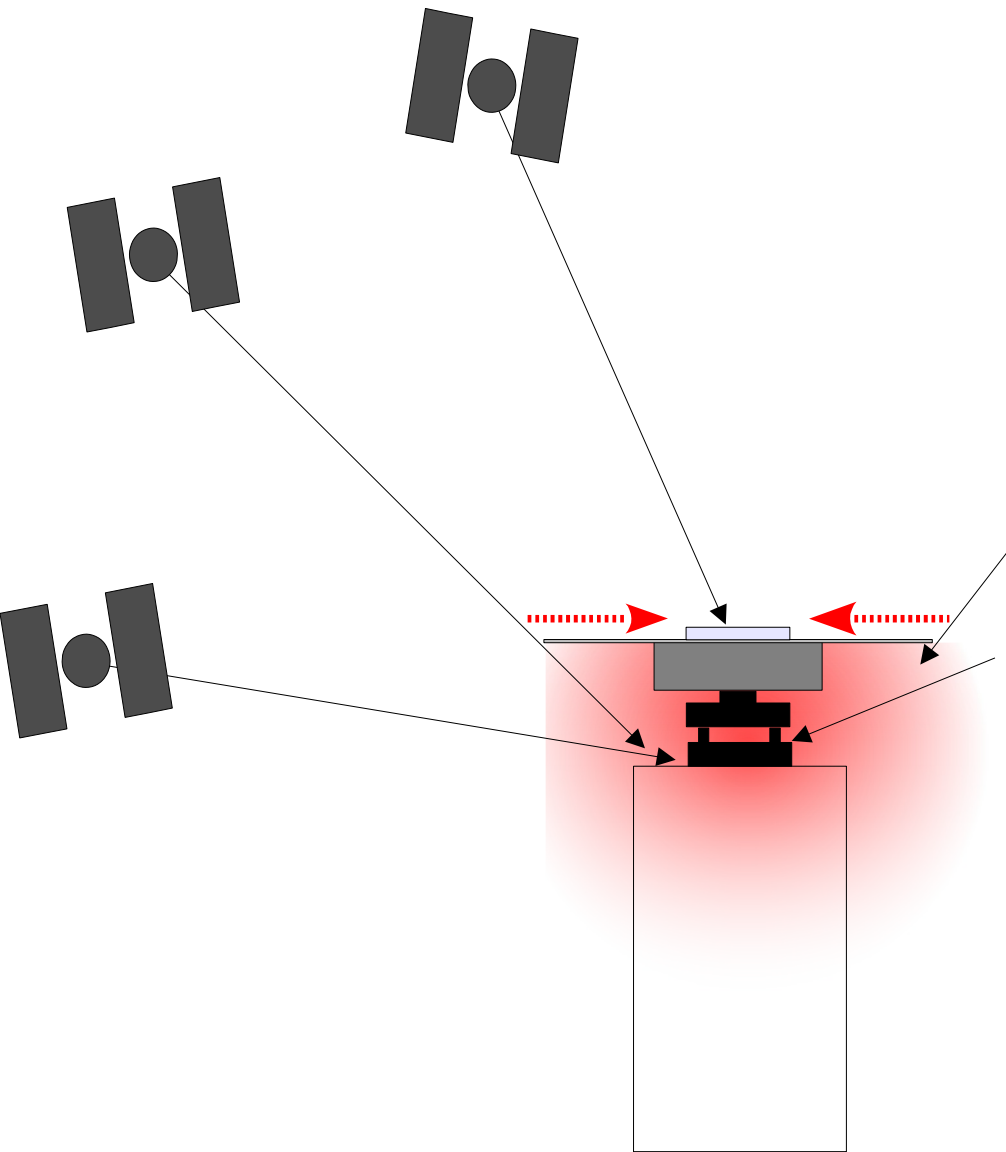
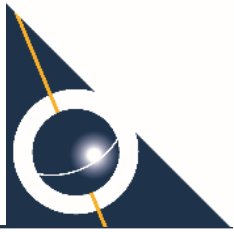


Analyse Nahfeld Mehrweg Einfluss

- gibt es **Einflüsse durch direkte Umgebung der Antenne?**
- **repräsentative** Nahfeld Mehrweg **Umgebung während der Kalibrierung** notwendig
- ungenaue Grenze zwischen Nah- und Fernfeld (dm ... m)
- Grenze hängt ab von Wellenlänge und Dimension der Antenne
- **konstante Geometrie zwischen Antenne/Nahfeld trotz Bewegungen der Antenne**
- Kalibrierung liefert PCV inklusive Nahfeld Mehrwege
- Trennung durch Differenz der Kalibrierungen mit und ohne Nahfeld Umgebung

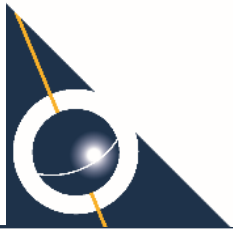


Analyse Nahfeld Mehrweg Einfluss - Ursachen -

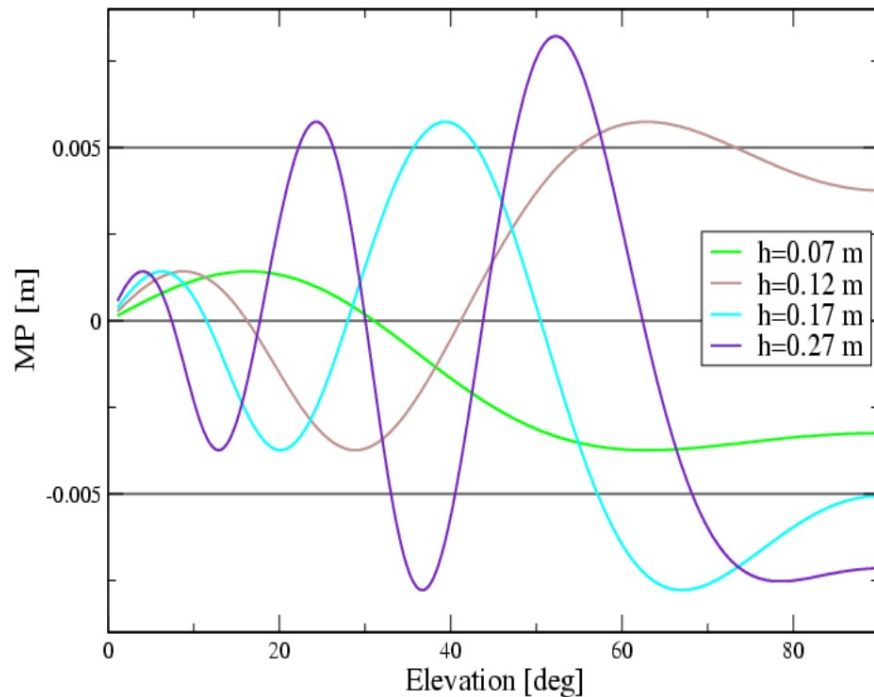


- Antennen **Nahfeld abhängig** von
 - **Antennentyp**
(plus Radom Konstruktion, ...)
 - **Unterbau / Aufbau**
(Dreifuß, Stativ, Adaption, ...)
 - **Stationsumgebung**
(Pfeiler, Dach, Reflektoren, ...)
 - **Witterungsbedingungen**
(Reflektionskoeffizient, Schnee, ...)
- **Ursache/Einfluss** auf Signale durch
 - **Reflektion**
 - **Beugung**
 - **“Imaging”** /
electromagnetische Interaktion

Analyse Nahfeld Mehrweg Einfluss - Theoretischer Einfluß -

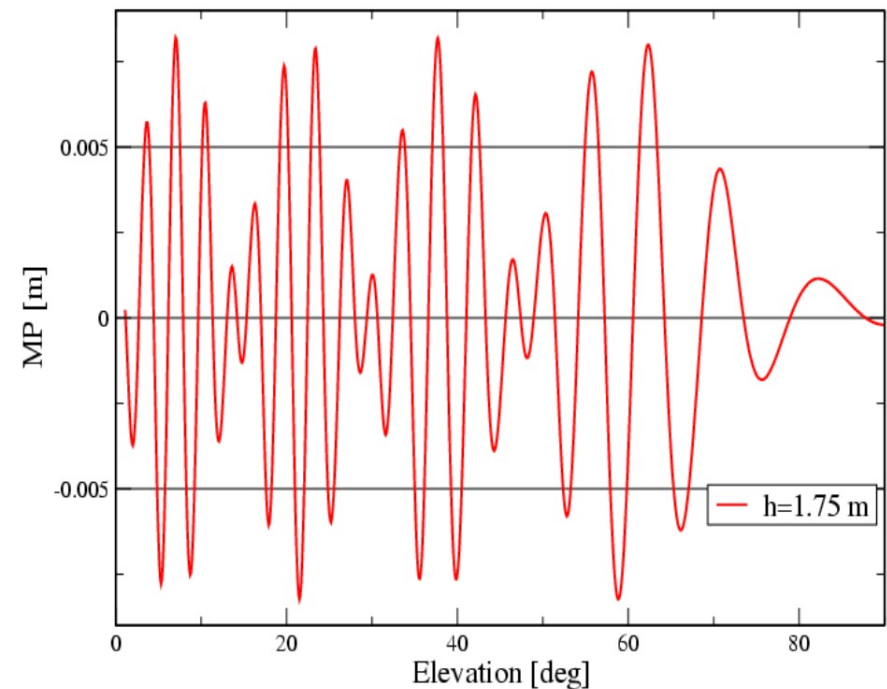


- Pfeileraufbau



- große Wellenlängen
- Effekte auch in hohen Elevationen
- mittelt sich nicht über lange Beobachtungszeit heraus
- **systematische Koordinatenfehler**

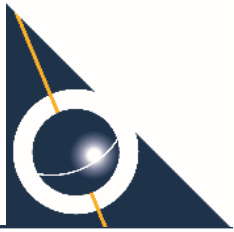
- Stativaufbau



- kurze Wellenlängen
- Effekte in allen Bereichen
- **mittelt sich über Zeit heraus**

Modellannahme: ein unendlicher horizontaler Reflektor

Analyse Nahfeld Mehrweg Einfluss - Dreifuß -



- **LEIAR10 Kalibrierung**
 - **Standard**
 - **+DFB**
Leica Dreifuß (GDF121),
Bajonett (GRT144) und
Klemmadapter
 - Differenz zeigt
Nahfeld Einfluss
- **GPS L0 dPCV:**

-8 ... +4 mm



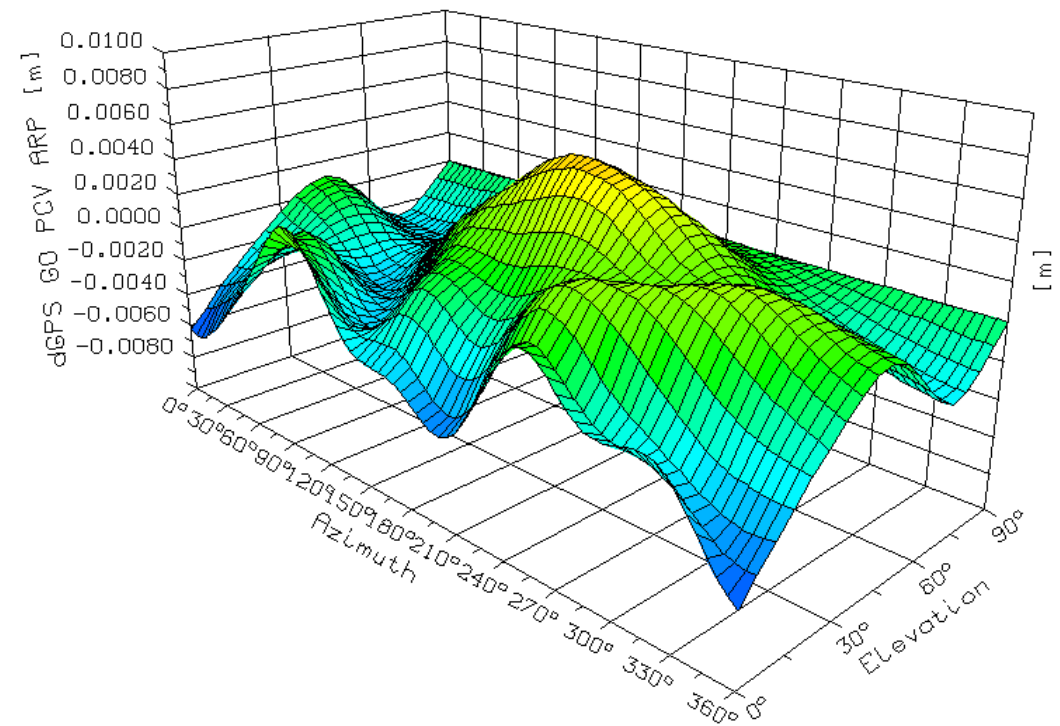
LEIAR10+DFB

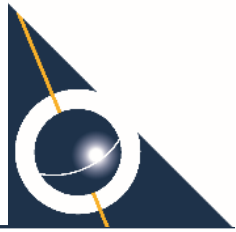
NONE



LEIAR10

NONE

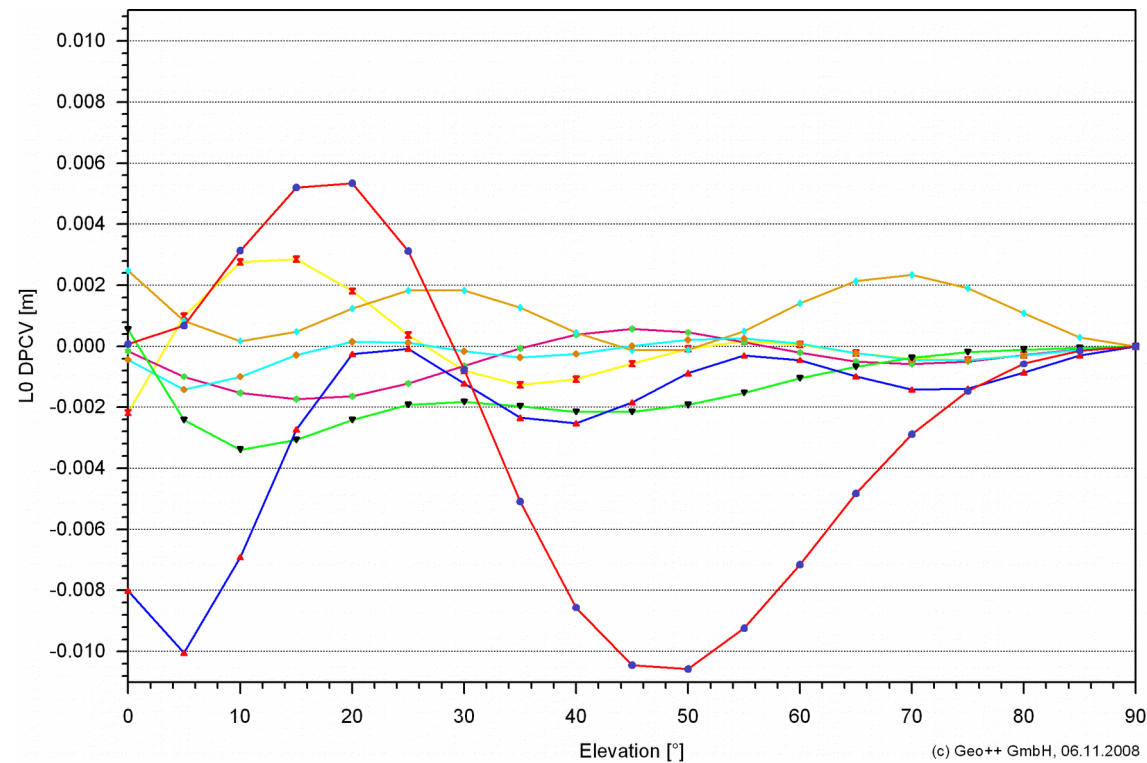




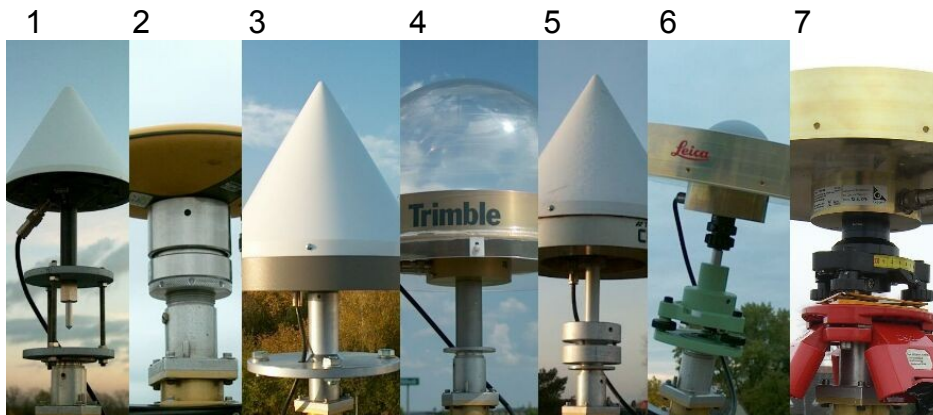
Analyse Nahfeld Mehrweg Einfluss

- Weitere Ergebnisse -

- Nahfeld Mehrweg Effekte verursachen
- **mm ... cm PCV Änderungen**



Beispiele von geodätischen und Rover-Antennen
dPCV L0 GPS mit und ohne Nahfeld Umgebung



1	TPSPG_A1+GP+M	CONE
2	TPSLEGANT2_E+TM	NONE
3	TPSCR3_GGD+OUB	CONE
4	TRM29659.00+PS	TZGD
5	TPSCR3_GGD+ADF	CONE
6	LEIAT504GG+DFB	NONE
7	LEIAT504GG+SFD	NONE

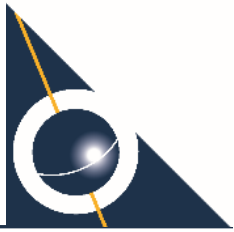


- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- **Was verursachen Millimeter?**
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

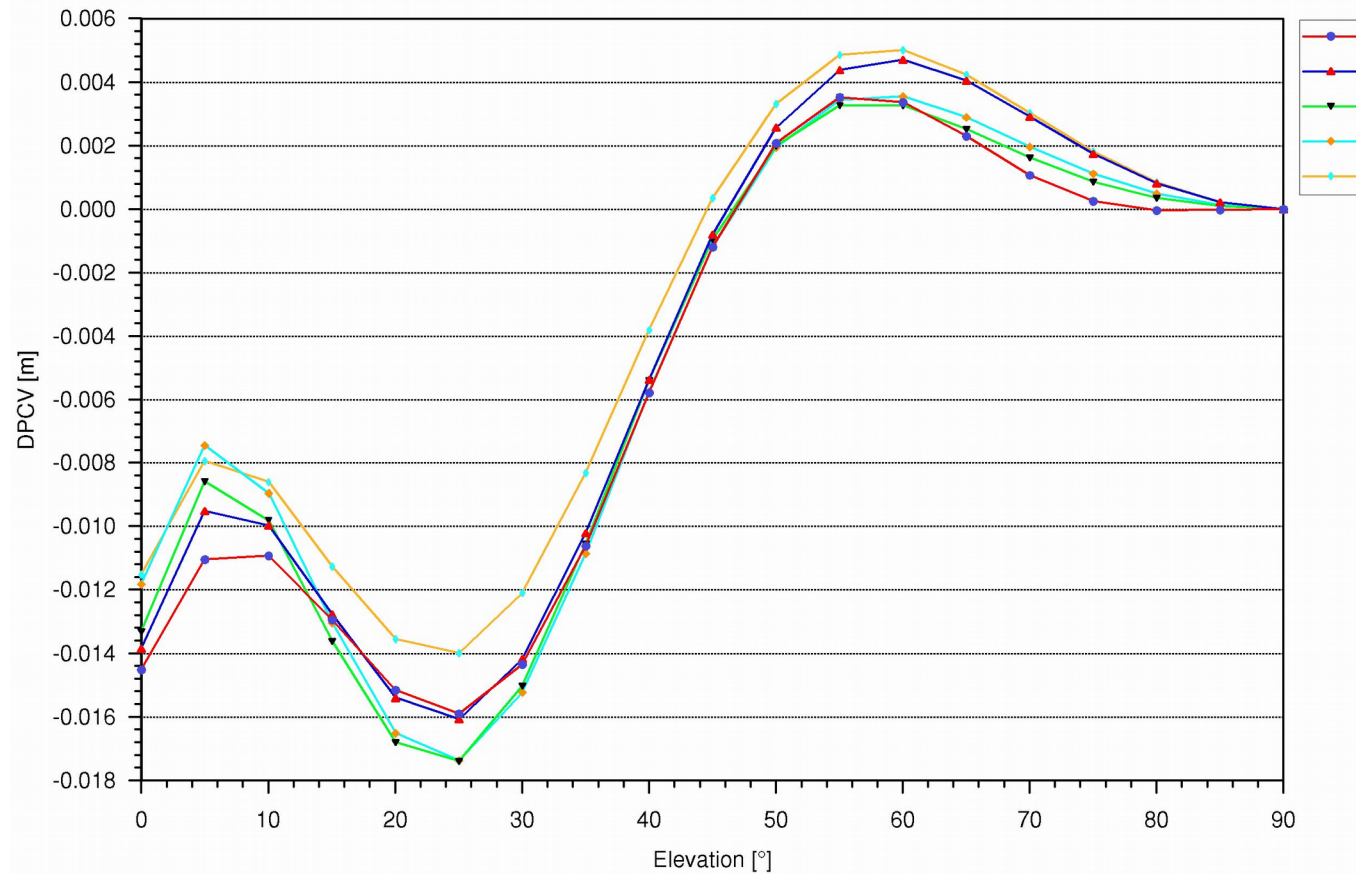


Was verursachen Millimeter?

- Beispiel aus RTK Vernetzung -



- GPS L0 dPCV
- **Differenz zur Kalibrierung ohne Nahfeld**
- Wiederholbarkeit 5 Antennen-Konstruktionen ca. 4 mm
 - Nahfeld-Effekt
 - individuelle PCV
- **PCV Differenzen**



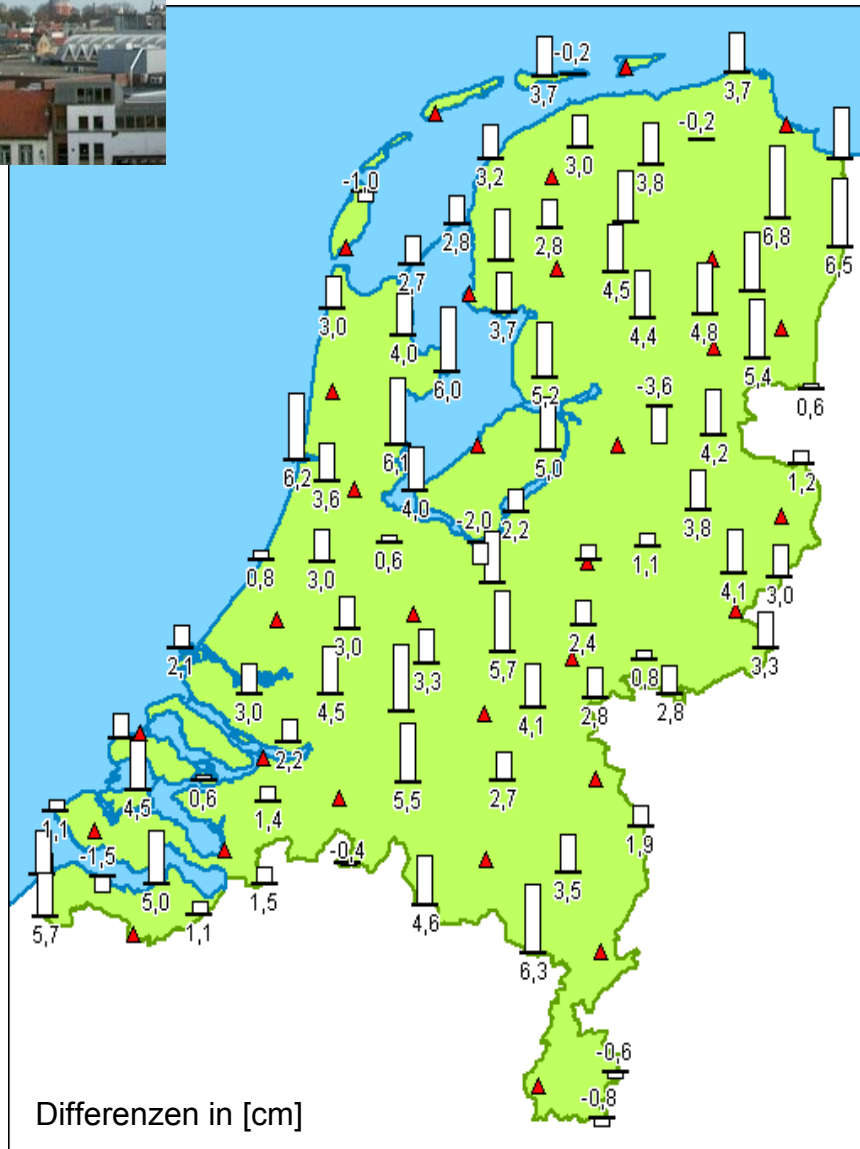
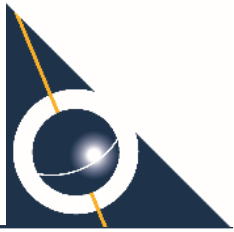
TPSPG_A1 NONE vs TPSPG_A1+M NONE

Maximum -18 mm 10-30°Elevation
Maximum +5 mm 40-70°Elevation

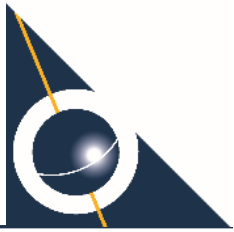


Was verursachen Millimeter?

- Beispiel aus RTK Vernetzung -

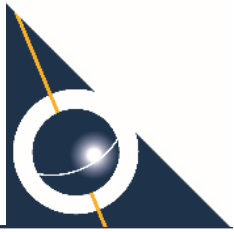


- Kadaster, The Netherlands
- NETPOS RTK Network (31 Stationen)
- 81 Kontrollpunkte des niederländisches Landesnetz
- **10 RTK Messungen** mit jeweils **10 Initialisierungen**
- **ohne Nahfeld PCV Korrektion**
 - zeit- und ortsabhängige Höhenfehler
 - mittlerer, systematischer Fehler:
31 mm (81Punkte)
- **mit Nahfeld PCV Korrektion**
 - frei von systematischer Fehlern
 - mittlerer Höhenfehler:
-2 mm (49 Punkte)



Was verursachen Millimeter?

- **nicht vollständig korrigierte PCV** der GNSS Antennen auf Referenzstationen verursachen Fehler beim Nutzer
- Erkenntnisse **generell übertragbar** auf GNSS Antennenwendungen
- **mm PCV können cm im Koordinatenraum verursachen**
- **Ursache** ist zeit- und ortsabhängige **Verstärkung** durch
 - Linearkombination (L0)
 - troposphärische Modellierung
 - Satellitenkonstellation
 - Elevationsmaske
- **Höhenkomponente** am stärksten betroffen
- aber potentielle Auswirkungen auf **Rover-Algorithmus**

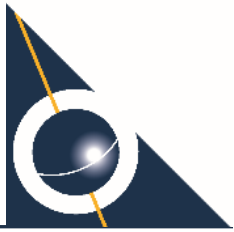


Was verursachen Millimeter?

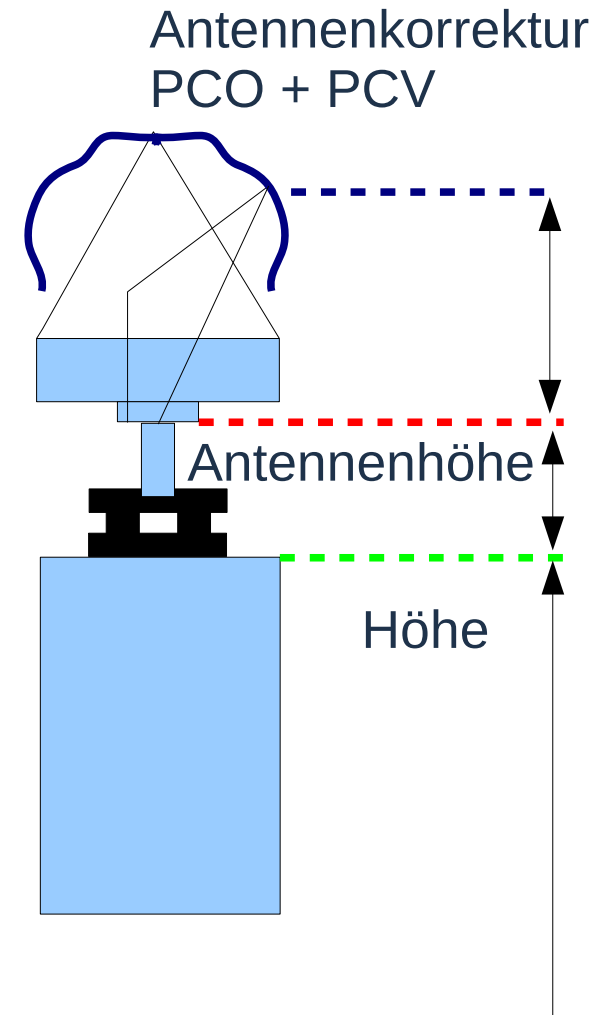
- Erfahrungen aus umfangreichen Antennenkalibrierungen und Untersuchungen
- feststellbar sind
 - **individuelle Charakteristik** der Antennen
 - **Nahfeld Multipath** Einfluss auf Antennen
- Empfehlung für GNSS Anwendungen
 - sorgfältige **Stationsauswahl**
 - sorgfältige **Aufbau** (Nahfeld und Fernfeld Mehrweg bedenken)
 - **Nordausrichtung** Antenne
 - **absolute PCV** Korrektur
- Empfehlung für präzise GNSS Anwendungen
 - **individuelle Kalibrierung** der Antenne

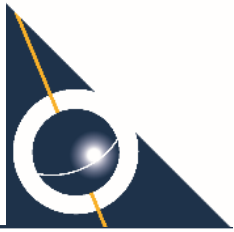


- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- **GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung**
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung



- **Bezugspunkte** eine GNSS Antenne
 - Antennenreferenzpunkt (**ARP**)
 - Nordreferenzpunkt (**NRP**)
- Höhenkomponente der Koordinate
 - bezieht sich auf **Höhenvermarkung**
- **Antennenhöhe**
 - von der Höhenvermarkung
 - zum Antennenreferenzpunkt (**ARP**)
- Ausrichtung des Nordreferenzpunktes (**NRP**) nach geographisch Nord
- Antennenkorrektur **PCO + PCV**
 - Offsets (mechanische/elektronische)
 - elevations- und azimuthabhängige Phasenvariationen (PCV)



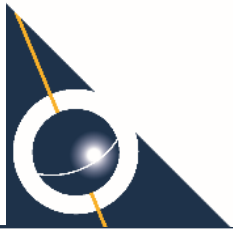


IGS rcvr_ant.tab Datei

- International GNSS Service (**IGS**)
- **rcvr_ant.tab** Datei
- Konvention für einheitliche **Benennung** von
 - **Empfänger**
 - **Antenne**
 - **Radome**
- strikte Anwendung im RINEX Header
- GPPNULLANTENNA ebenfalls definiert
- häufiges Aufdatieren
- siehe auch Geo++ gpp_rcvr_ant.tab

LEICA Receivers IGS Codes-20 columns XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	Description
LEICA SR530 LEICA GX1210	12 channel L1/L2 receiver (RTK option) 12 channel L1 receiver
LEICA Antennae IGS Codes-15 columns XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX DOME	Description
LEIAT503 LEIAT504 LEIAX1202	Micropulse antenna with chokerings, L1/L2 (identical to LEICA AT303) L1/L2 Dorne Margolin antenna with chokerings (designed after DORNE MARGOLIN T) External geodetic antenna L1/L2, SmartTrack with series 1200 receivers
Previously valid	New Codes
LEICA AT503 DORNE MARGOLIN LEICA	LEIAT503 LEIAT504
LEICA Antenna Domes IGS Codes-cols.17-20 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX DOME	Description
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX LEIC XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX LEIS	Dome for LEICA AT303 and AT503, conical shape Dome for DORNE MARGOLIN LEICA, spherical shape
GPPNULLANTENNA	Geo++ ideal isotropic, absolute antenna: see http://www.geopp.com/gnpcvdb/AOA_DM_T/

ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/rcvr_ant.tab
http://gnpcvdb.geopp.com/gpp_rcvr_ant.tab



IGS antenna.gra Datei

- International GNSS Service (**IGS**)
- **antenna.gra** Datei
- Angabe
 - Antennenreferenzpunkt (**ARP**)
 - Nordreferenzpunkt (**NRP**)
 - Dimensionen

GNSS Antenna aus der IGS
rcvr_ant.tab

- häufiges Aufdatieren

ARP abbreviations

=====

BAM: bottom of antenna mount
BCR: bottom of chokering
BDG: bottom of dome ground plane
BGP: bottom of ground plane
BPA: bottom of preamplifier
TCR: top of chokering
TDG: top of dome ground plane
TGP: top of ground plane
TOP: top of pole
TPA: top of preamplifier

NRP abbreviations

=====

Major features

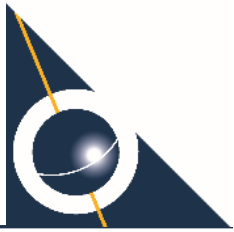
MMI: man-machine interface
NOM: north orientation mark (placed on antenna by manufacturer)
RXC: receiver connector (connect antenna to external receiver)
UNK: unknown

Secondary features

BAT: battery compartment door release
BTD: bottom of tear drop shape (wide end)
CMP: mounted compass
DIS: display/digital readout (DIS is a specific type of MMI)
DRY: cap or cover for drying agent
PCS: PC card slot
TMT: tape measure tab or notch for slant height pole

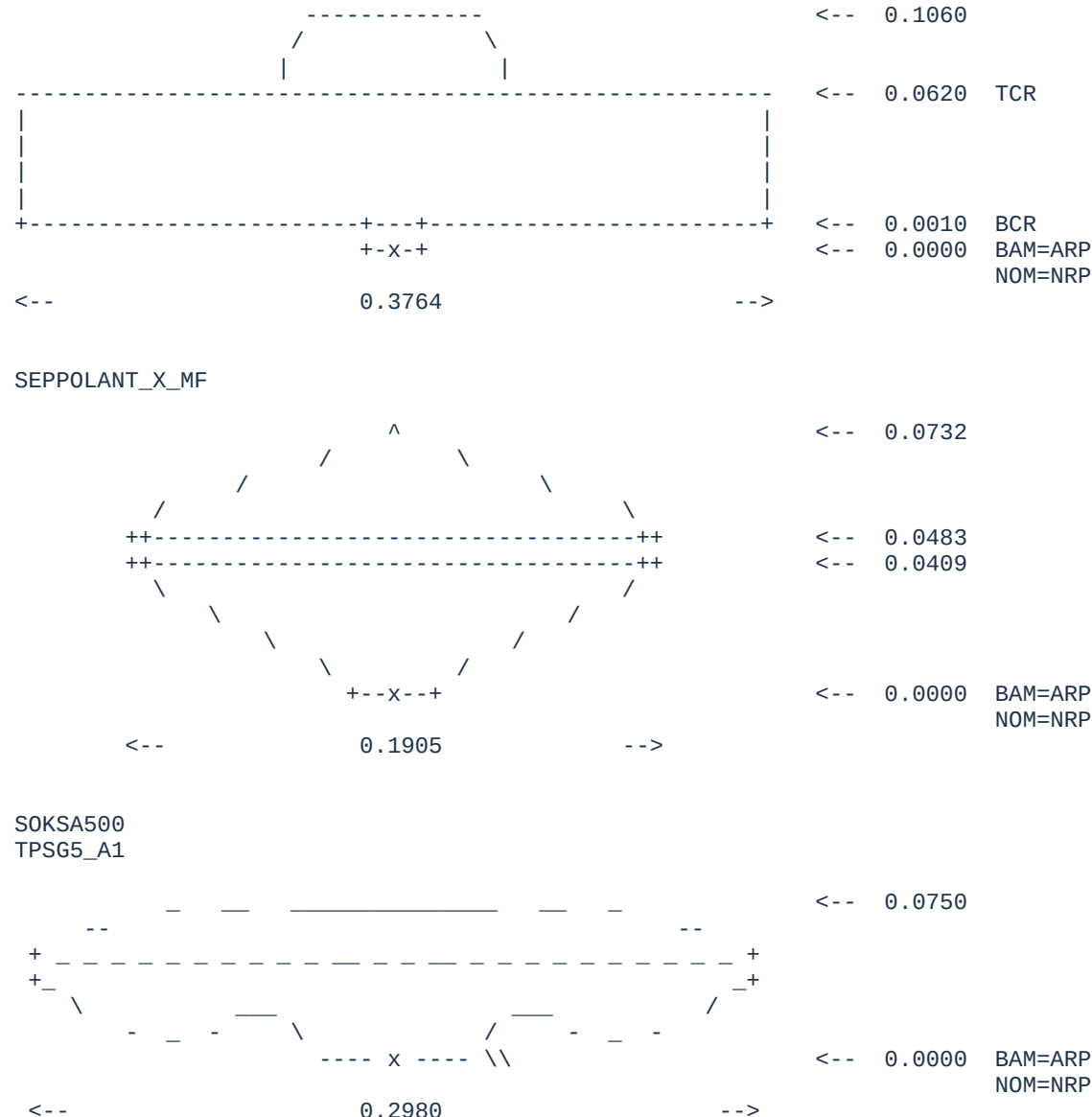
Connectors

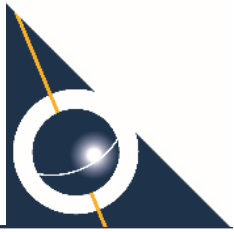
CAC: nonspecific cable connector (only allowed for legacy calib
CTC: external controller connector
DAC: data cable connector (for data collectors besides external
PWC: power port; external power connector
RTC: RTK connector; UHF connector for RTK broadcasting antenna
RXC: receiver connector (connect antenna to external receiver)



IGS antenna.gra Datei

- International GNSS Service (**IGS**)
- **antenna.gra** Datei
- Angabe
 - Antennenreferenzpunkt (**ARP**)
 - Nordreferenzpunkt (**NRP**)
 - Dimensionen
- alle GNSS Antenna aus IGS rcvr_ant.tab
- häufiges Aufdatieren





IGS igs14.atx Antennenkorrekturmodell

- International GNSS Service (**IGS**)
- ANTEX Datei mit PCV Typkalibrierungen
- IGS PCV Model **igs14.atx**
- Stand Februar 2017
 - Satellitenantennen (16)
 - Empfangsantennen (312)

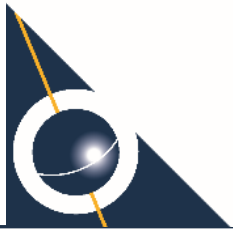
- **68% (217) absolute PCV Korrekturen ROBOT/COPIED ROBOT**

Kalibrierstelle (Anzahl): Geo++ (201), IfE Univ. Hannover (8), Geoscience Australia (5), SenStadt Berlin (2), NGS (1)

- 23% (95) relative Feldkalibrierungen bzw. konvertierte Kalibrierungen (14) aus älteren Quellen

Kalibrierstelle (Anzahl): NGS (81) bzw. TUM (14)

weitere Details siehe Schmid, R., R. Dach, X. Collilieux, A. Jäggi, M. Schmitz, F. Dilssner (2015). Absolute IGS Antenna Phase Center Model igs08.atx: Status and Potential Improvements. Journal of Geodesy, Springer, 10.1007/s00190-015-0876-3



Konzept der NULLANTENNA

- GNSS Daten (z. B. **RINEX**) oder Echtzeit-Datenstrom (z. B. **RTCM**)
 - absolute **GNSS Antennenkorrektur** kann **angebracht** sein
 - Nutzer braucht nicht alle individuellen ANTEX Korrekturen kennen
 - Antenne wird als **NULLANTENNA** angegeben
- NULLANTENNA
 - im International GNSS Service (**IGS**)
GPPNULLANTENNA NONE

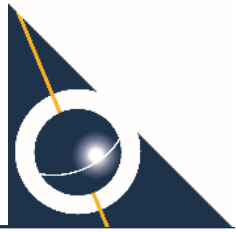
GPPNULLANTENNA	Geo++ ideal isotropic, absolute antenna:	
	see http://www.geopp.com/gnpcvdb/AOA_DM_T/	

- in der AdV (nicht standardisiert)
ADVNULLANTENNA NONE
- Hinweis: konsistente Korrektur notwendig,
d.h. bei hohen Genauigkeitsanforderungen
Kontrolle der angebrachten Antennenkorrektur **sinnvoll**



- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- **Zusammenfassung**
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

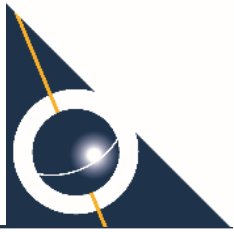
Generelle Klassifizierung von GNSS Antennen



	Geodätisch	Rover	Handheld
Frequenzband	multipel	einfach/multipel	einfach, L1z
Strahlungs-eigenschaften	stark optimiert	kontrolliert	unkontrolliert
Phasenverhalten	charakteristisch und kompensiert in 3D	moderat, nicht kompensiert	nicht vertrauenswürdig
Multipath Unterdrückung	exzellent	gut	keine
Dimensionen	groß	mittel	klein/sehr klein
Gewicht	schwer	tragbar	fast nichts
Kosten	hoch	medium	sehr gering

(nach Chen, X. et al. (2012). Antennas for Global Navigation Satellite Systems. John Wiley & Sons.)

Potentielle Effekte auf Antennen-Empfangeigenschaft



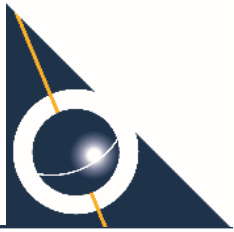
- Abschätzung nach Antennenklasse
- was ist ein geeignetes und leicht fassbares Kriterium für Antennenklasse?

	Geodätisch	Rover	Handheld
PCV	0 ... 20 mm	0 ... 10 mm	0 ... ?
Nahfeld MP	0 ... 20 mm	0 ... 20 mm	0 ... 20 mm
Fernfeld MP			
Verstärkung in L0	~ Faktor 3	~ Faktor 3	~ Faktor 3
Verstärkung Tropo	Faktor 0 ... 10	Faktor 0 ... 10	Faktor 0 ... 10 ... ?
Regen	0 ... 2 mm	0 ... ? mm	0 ... ? mm
Schnee	gering ... extrem	gering ... extrem	gering ... extrem

=> beispielsweise der **Antennendurchmesser**

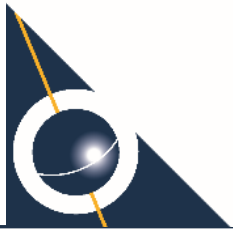


- GNSS Anwendungen benötigen **absolute PCV** Korrekturen, insbesondere bei
 - **gemischte Antennentypen**
 - RTK-Vernetzungen
 - präzise Ingenieur-Aufgaben
 - globale und wissenschaftliche GNSS Anwendungen
- **Roboter-basierte absolute GNSS Antennenkalibrierung**
- Methode zur fortgeschrittene Analyse von Fragen zu Antennen
 - **Nahfeld Einfluss** auf Antennen
 - Fernfeld Mehrwege-Effekte
- State-of-the-Art GNSS Antennkalibrierungsverfahren, **Standard im IGS** (International GNSS Service)
- **individuelle Antennenkorrekturen** für hohe Genauigkeitsanforderungen



- Wesentliche Stationsabhängige GNSS Fehler
- Mehrwegeeffekte (Multipath)
- Antennen Phasenzentrum und Variationen (PCV)
 - Eigenschaften, Größenordnung, Austauschformat
- Absolute Roboter-Basierte GNSS Antennenkalibrierung
 - Motivation, Ziele, Entwicklung, Methode
 - Wiederholbarkeit, GLONASS PCV, Ergebnisse
- Erkenntnisse aus Analysen von
 - Serien von GNSS Antennen Kalibrierungen
 - Radom/Revision von Antennen
 - Nahfeld Mehrweg Einfluss
- Was verursachen Millimeter PCV?
- GNSS Antenne/Antennenhöhe/Nordausrichtung
- Zusammenfassung
- Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung

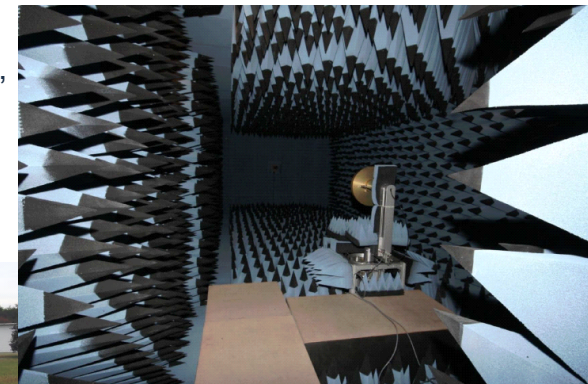
Anstehende Aufgaben im Bereich GNSS Antennenkalibrierung



- **allgemein**
 - GDV Kalibrierung
 - CN0 Pattern
 - Stationskalibrierung
- **Geo++ GNPCV Roboter System**
 - weitere Frequenzen (GPS L5, Galileo)
 - GNSS Kalibrierungen mit wenigen Satelliten
- **international**
 - Erweiterungen ANTEX
 - Vergleich absolute Kalibrierverfahren (z.Z. Kammer Bonn, Feldverfahren Geo++)



Absolute Antennenkalibrierung, GNPCV system and Kuka robot, Geoscience Australia



Antennenkalibrierung in Kammer, Universität Bonn*



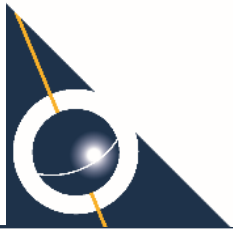
Absolute Antennenkalibrierung NGS*

* NGS National Geodetic Survey, USA

* aus: Bilich, A., M. Schmitz B. Görres, P. Zeimetz, G. Mader, G. Wübbena (2012).

Three-Method Absolute Antenna Calibration Comparison.

IGS Workshop 2012, University of Warmia and Mazury (UWM), July 23-27, 2012, Olsztyn, Poland.



GPS Block II/IIA Satellitenantenne auf Roboter

- kooperatives Projekt NGS, Boeing und Geo++ in 2008
- GPS Block II/IIA Antenne (14.4 kg, Ø 1.34 m)

