



Neue Aspekte bei der Roboterkalibrierung

Gerhard Wübbena, Martin Schmitz,
Gerald Boettcher, Christa Schumann

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



- Einführung
- GNPCVDB
- Kalibrierung von GLONASS PCV
- Bestimmung von Carrier-to-Noise (CN0)
- Zusammenfassung und Folgerung



- Roboterkalibrierung
 - GPS Phasenzentrum und Variationen (PCV)
- hervorragendes Verfahren um weitere Parameter zu bestimmen
 - GLONASS PCV
 - Carrier-to-Noise (CN0) Pattern
 - Nahfeld Effekte auf Antennen
 - Trennung von Multipath in Nahfeld und Fernfeld Effekte
 - absoluter Multipath mit absolute Stationskalibrierung
- Roboterkalibrierung bestimmt
 - GPS + GLO L1 und L2 PCV
 - GPS + GLO S1 und S2 PCV





unterschiedliche Roboter

- Wiederholbarkeit der absoluten PCV
- drei GNPCV Roboter

Roboter	betrieben
Geo++	in Garbsen
ife	in Hannover
Berlin	in Garbsen (Verifikation)

- individuelle ASH700936D_M Antenne

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





Genauigkeit Antennenkalibrierung mit Roboter



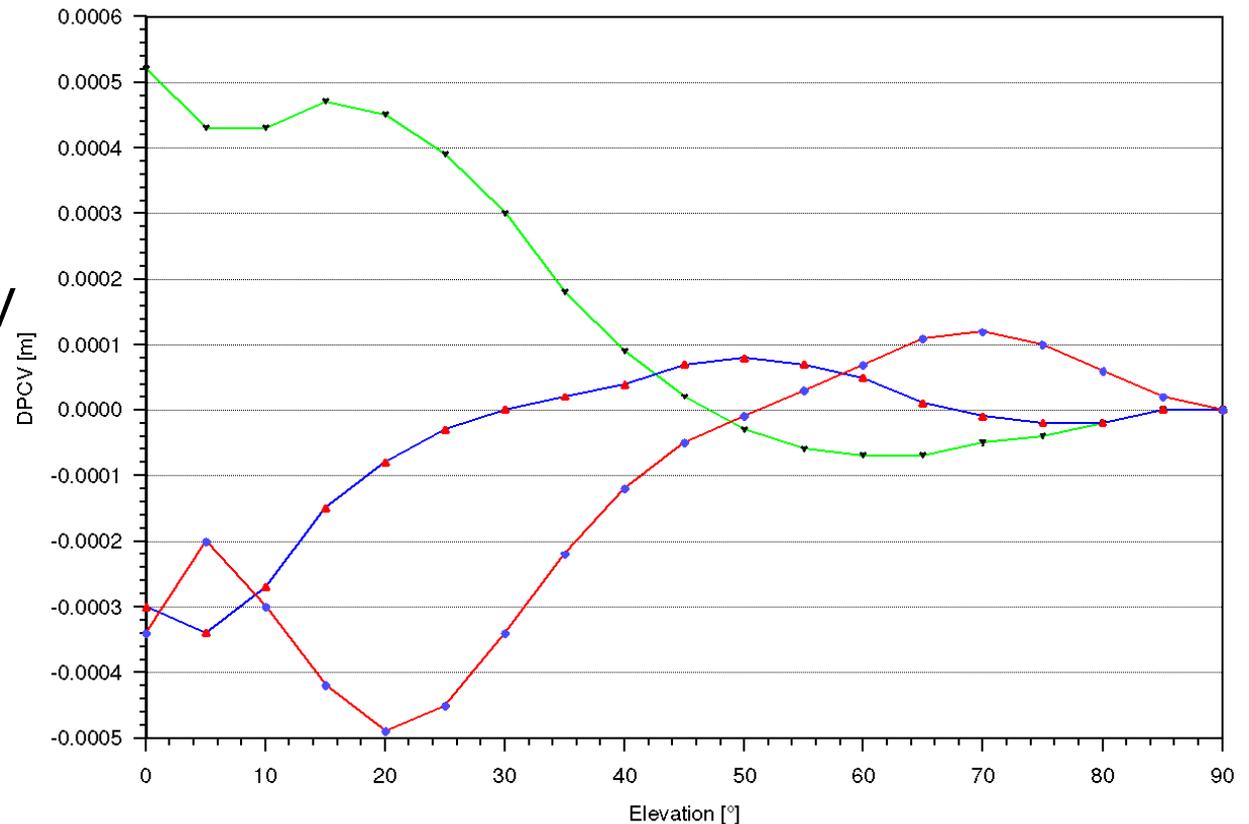
L1 dPCV

- individuelle ASH700936D_M Antenne
- drei unterschiedliche Roboter
- Größenordnung der PCV Differenzen

L1 < 0.5 mm

Elevation Dependent Difference from Type Mean

ASH700936D_M#CR14348, L1 PCV



—●— B_2006-02-15 —■— G_2005-08-08 —▲— I_2006-01-14



Genauigkeit Antennenkalibrierung mit Roboter



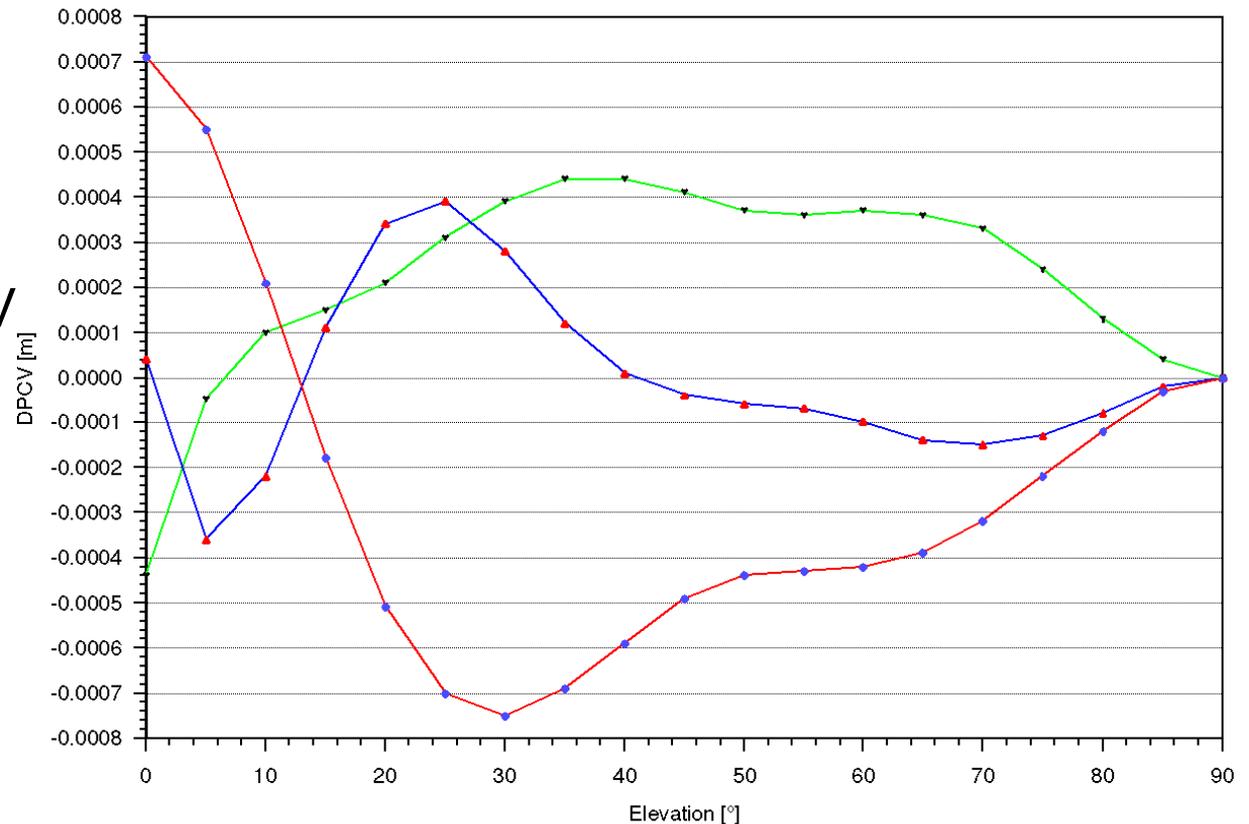
L2 dPCV

- individuelle ASH700936D_M Antenne
- drei unterschiedliche Roboter
- Größenordnung der PCV Differenzen

L2 < 1 mm

Elevation Dependent Difference from Type Mean

ASH700936D_M#CR14348, L2 PCV



—●— B_2006-02-15 —●— G_2005-08-08 —●— I_2006-01-14



Genauigkeit Antennenkalibrierung mit Roboter



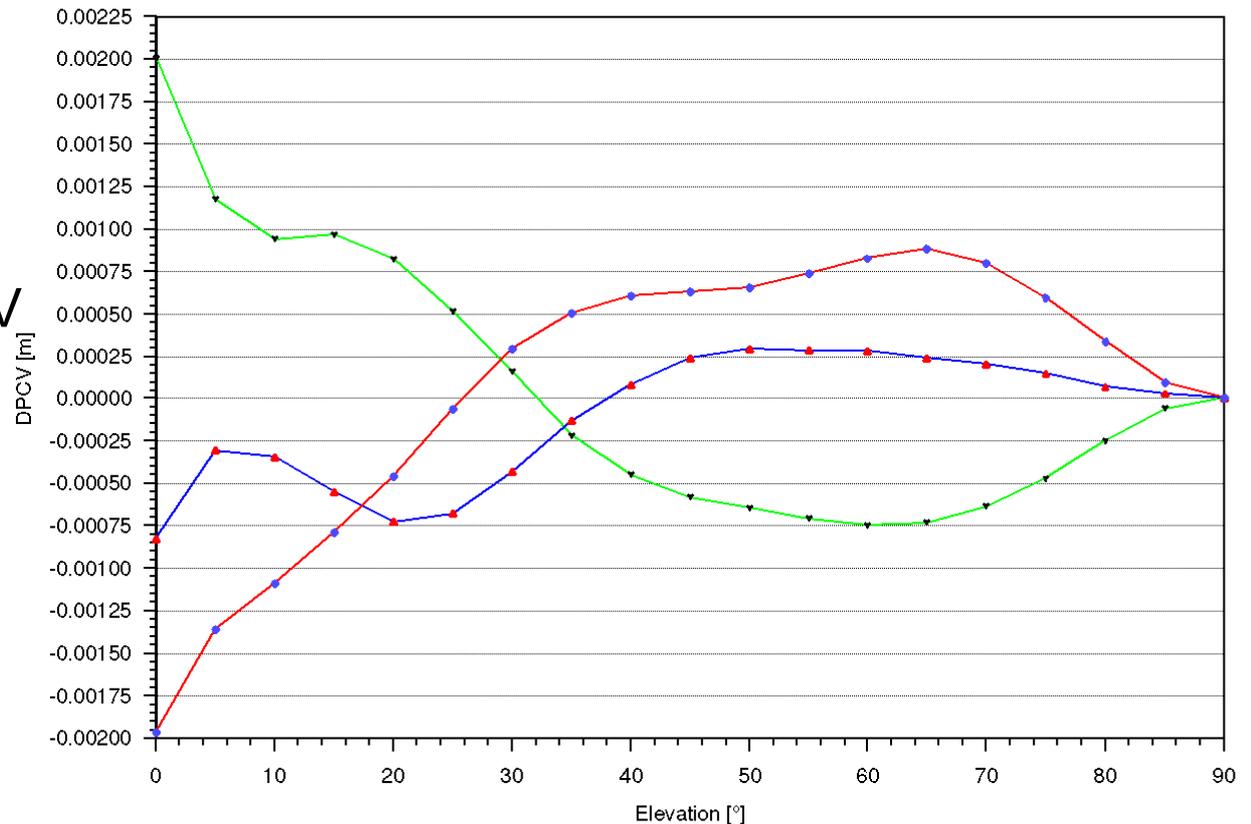
L0 dPCV

- individuelle ASH700936D_M Antenne
- drei unterschiedliche Roboter
- Größenordnung der PCV Differenzen

L0 < 1 mm
über 10 deg

Elevation Dependent Difference from Type Mean

ASH700936D_M#CR14348, L0 PCV



— B_2006-02-15 — G_2005-08-08 — I_2006-01-14



Absolute PCV Typmittel

- Typmittel berechnet aus durchgeführten Kalibrierungen mit Roboter
- strenge Ausgleichung mit vollständiger Varianz-Kovarianzmatrix der individuellen Kalibrierungen
- April 2006
 - ca. 125 unterschiedliche Antennentypen
 - 957 individuell kalibrierte Antennen
 - 3748 individuelle Kalibrierungen
- frei zugängliche Information zum PCV (Graphiken, ARP und Nord Definition, etc.)
- ausgewählte Antennen werden dem IGS bereitgestellt
- Lizenz für Nutzung der absoluten PCV (Zugang zu numerischen PCV Werten)
- <http://gnpcvdb.geopp.de/>

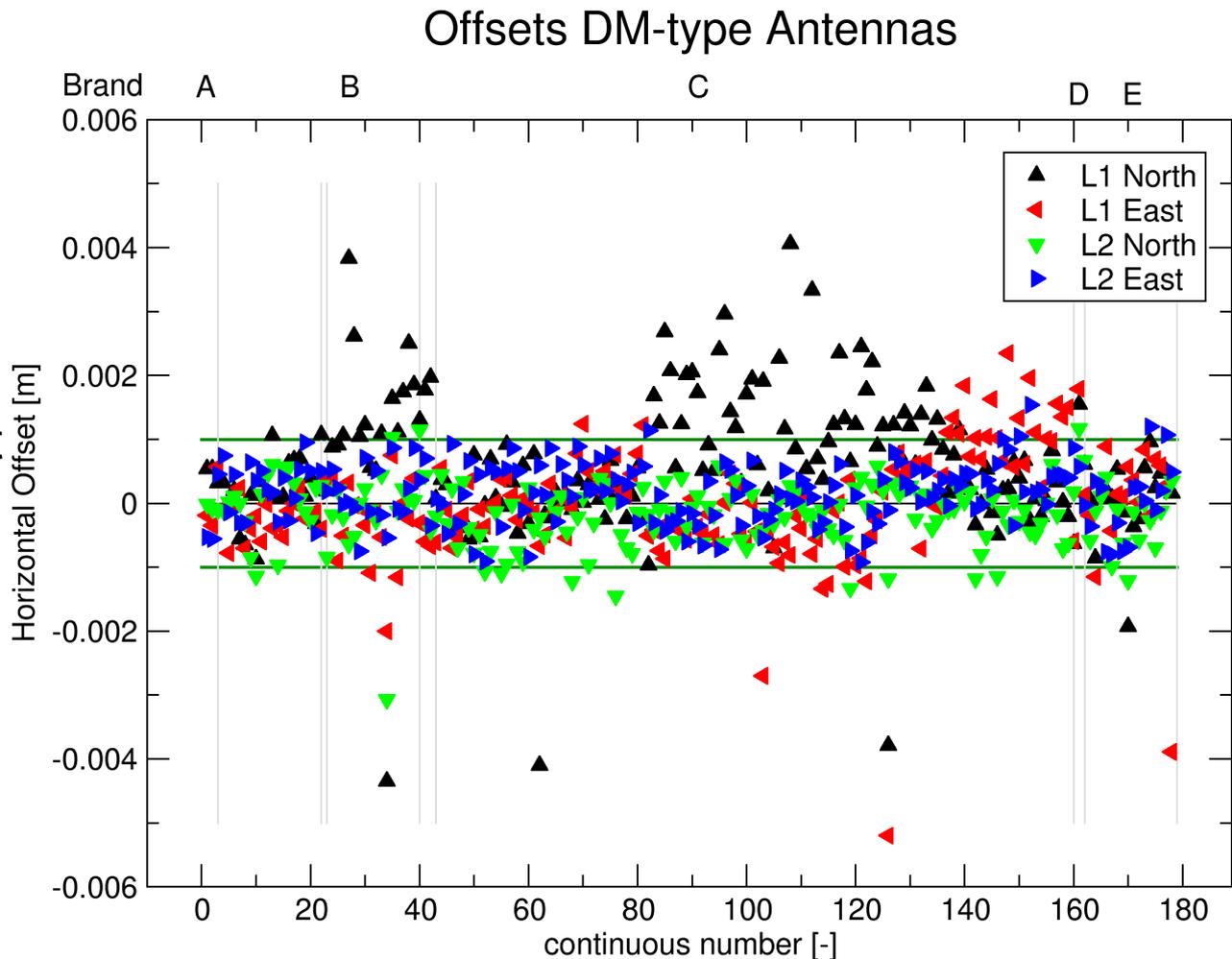


Offset Analyse DM-Typ Chokering Antennen



Horizontale Offsets

- 5 unterschiedliche Hersteller
- 8 DM-Typ Antennen
- mit und ohne Radom nicht unterschieden
- Offsets nicht geeignet um PCV zu beschreiben
- Offsets sind auch azimutale PCV
- Ausreißer
- signifikante Änderungen in Modellserie



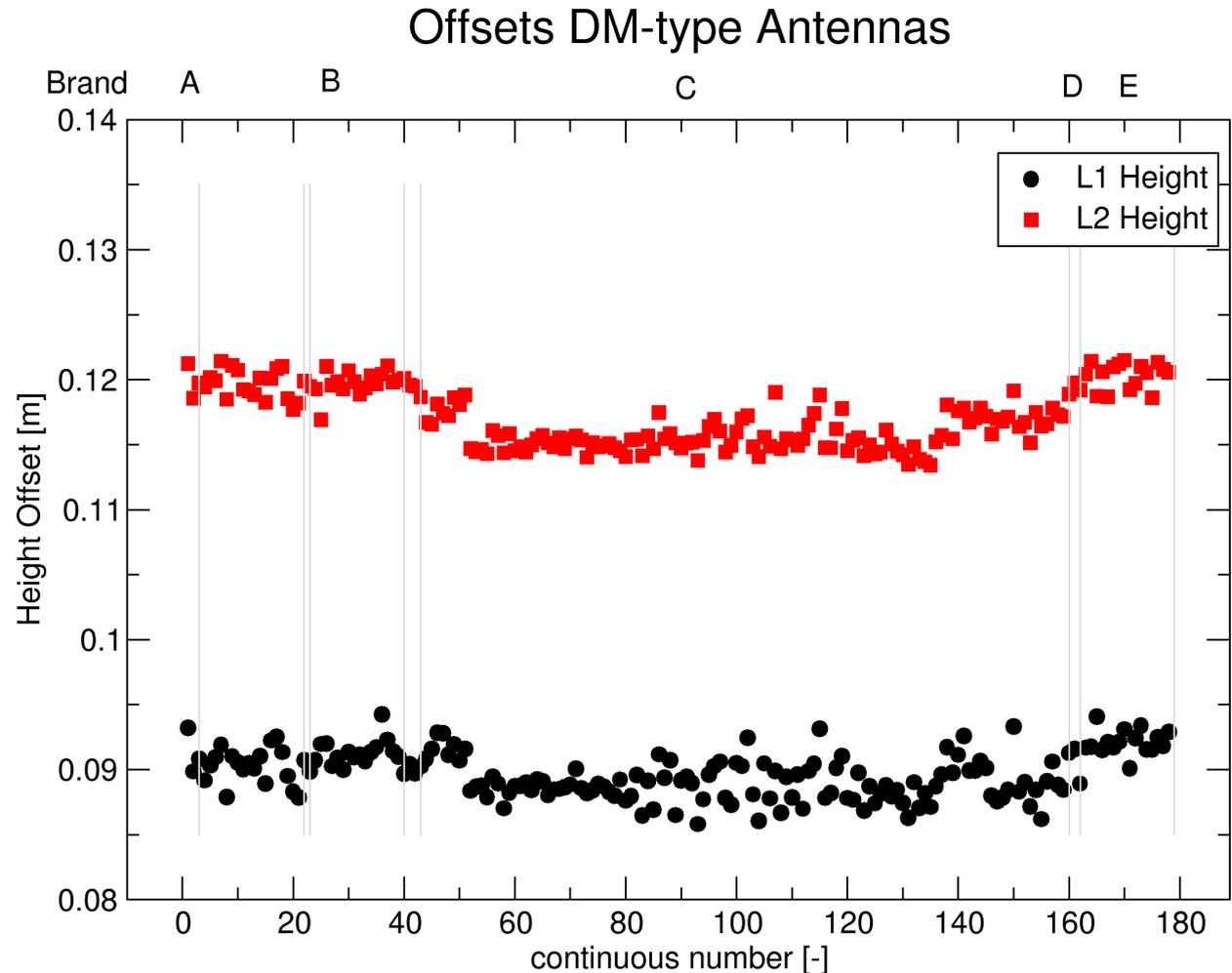


Offset Analyse DM-Typ Chokering Antennen



Höhen Offset

- Abmaße der Antennen weitestgehend identisch
- Höhen Offset ist schwächer als horizontaler Offsets
- Standardabweichung über alle Antennen ca. 2 mm
- unterschiedliches Niveau für unterschiedliche Modelltypen

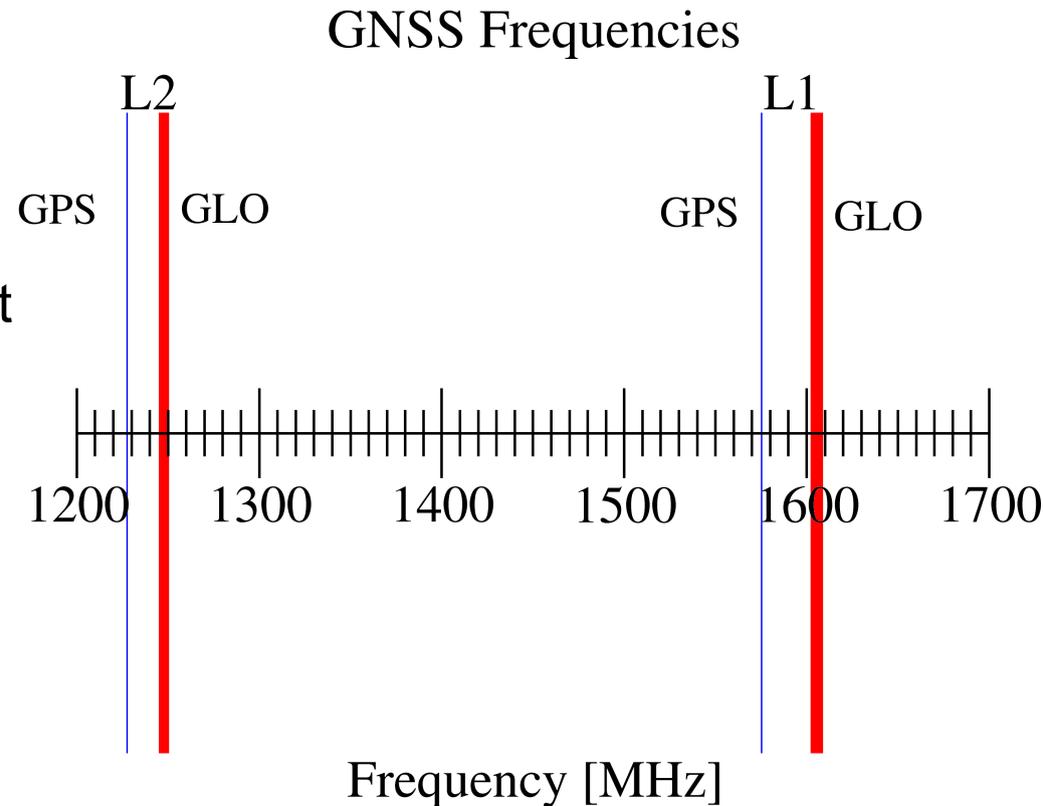


Kalibrierung von GLONASS PCV



Gegenwärtiger Status

- Unterschiede zu GPS
 - unterschiedliche Frequenzen
 - Mischung der Frequenzen fließt in Antennenkalibrierung ein
 - für lange Zeit bestand keine ausreichende Konstellation
- GPS PCV auch für GLO PCV angewendet
- GPS PCV repräsentativ? / GLONASS Kalibrierung notwendig?
- frequenz abhängige Kalibrierung für GLONASS möglich? / notwendig für GLONASS?





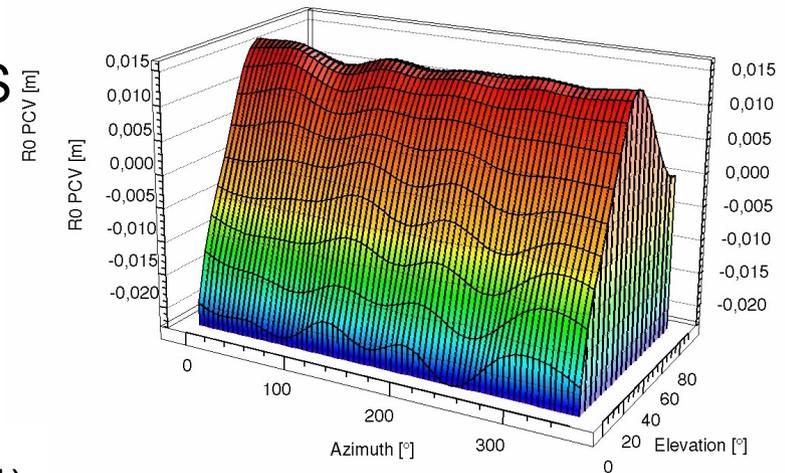
Kalibrierung von GLONASS PCV



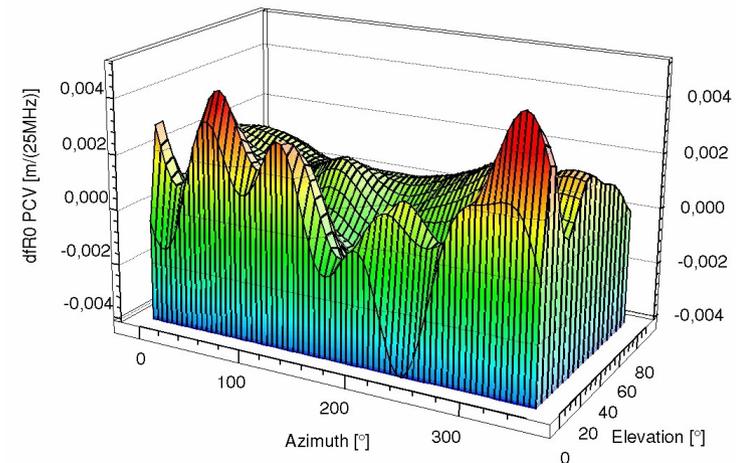
Absolute PCV Roboterkalibrierung

- Bestimmung GLO L1/L2 (analog zu GPS)
 - Mischung der beobachteten GLONASS Frequenzen (konstellationsabhängig)
- frequenzabhängige GLONASS PCV
 - Annahme: Linearität der PCV-Änderungen für GPS/GLO, GLO/GLO Frequenzen (entsprechend Schupler, Clark, GPS World, 2001)
 - Referenzsignal GPS L1 und L2
 - Bestimmung von Delta PCV per 25.0 MHz
 - leicht handhabbare Skalierung basierend auf ungefährender mittlerer Differenz zwischen GPS und GLO Frequenzen
(Mittel beide Freq. ($k = -7 \dots 6$) ~ 22 MHz
Mittel beide Freq. ($k = -7 \dots 12$) ~ 24 MHz)

ASH700936D_M SNOW
GLO L0 PCV: Mixed GLO Calibration



ASH700936D_M SNOW
GLO L0 Delta PCV





Kalibrierung von GLONASS PCV

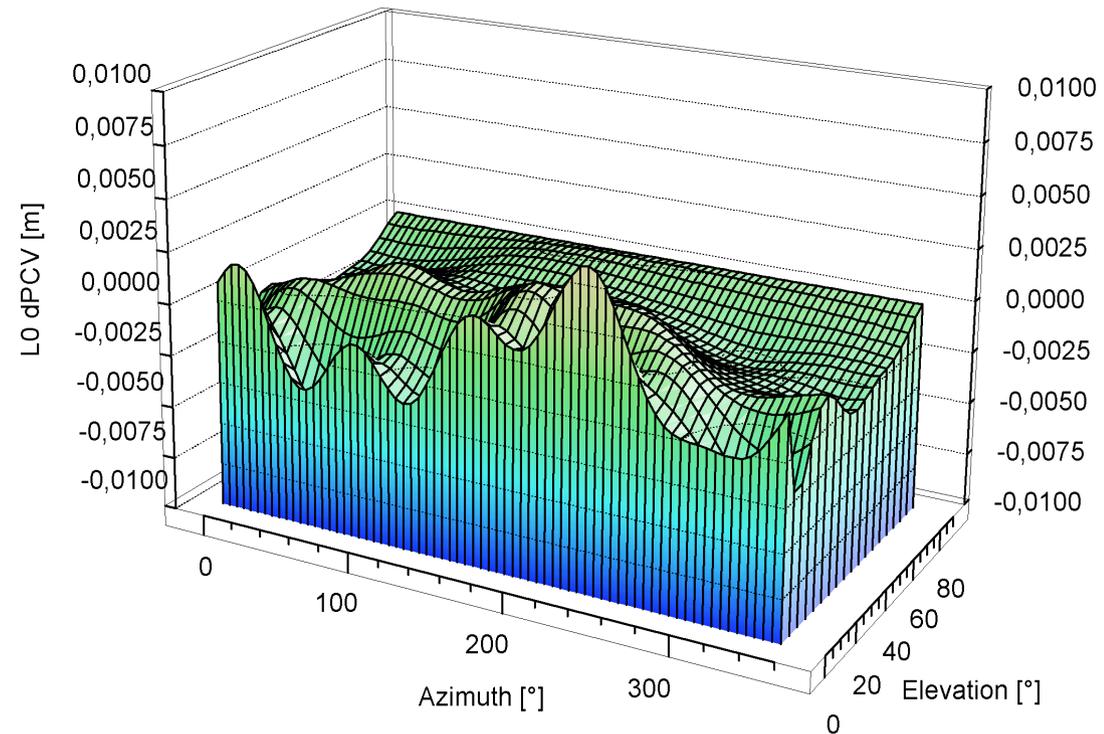


PCV Differenzen zwischen GPS und GLONASS

- gegenwärtige Situation
GPS PCV == GLO PCV
- k=4 mittlerer “frequency channel” für verwendete GLONASS Konstellation
- ASH700936D_M Antenne
- simultane Kalibrierung
- mittlere Differenz GPS und GLO L0 PCV
- Größenordnung PCV Differenzen

L0 Mittel 2 mm
Maximum über 5 mm

ASH700936D_M SNOW
Difference_GPS/GLO_(k=4)





Kalibrierung von GLONASS PCV

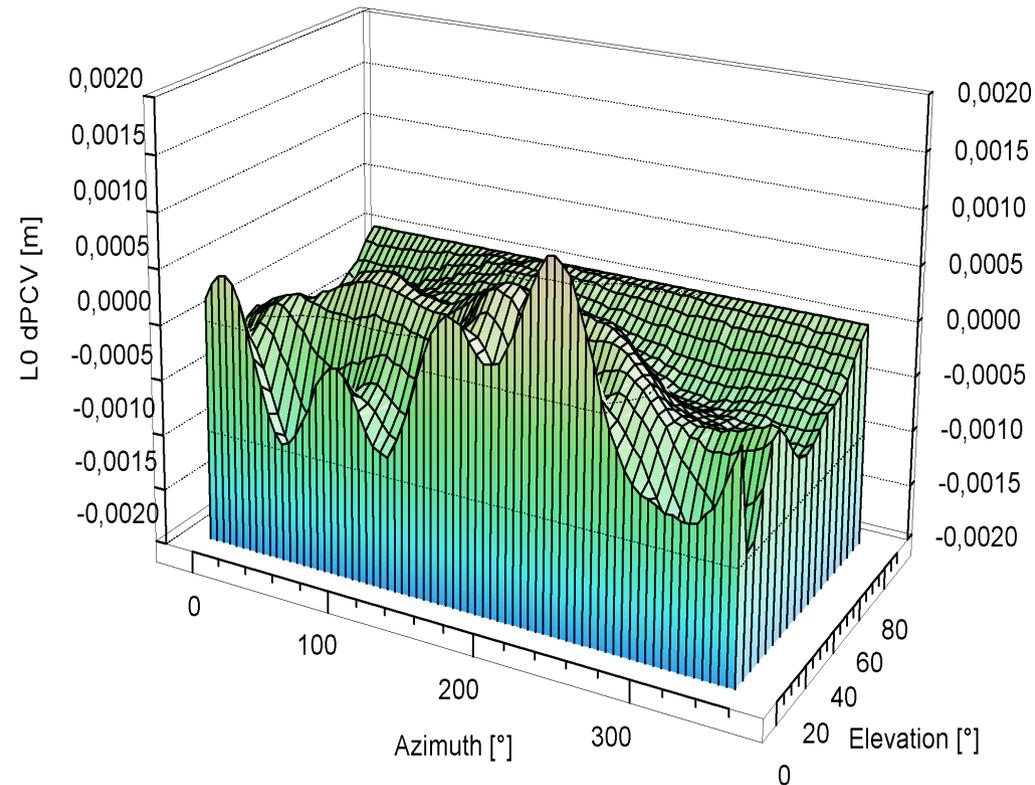


Differenz zwischen GLONASS Frequenzen

- GLONASS Frequenzen nach 2005
“frequency channels”
 $k = -7 \dots +6$
- größte Frequenzdifferenz gewählt
- ASH700936D_M Antenne
- Größenordnung PCV Differenzen

L0 Mittel	> 1 mm
Maximum	1.5 mm

ASH700936D_M SNOW Difference_GLO_(k=-7)/GLO_(k=6)





Kalibrierung von GLONASS PCV

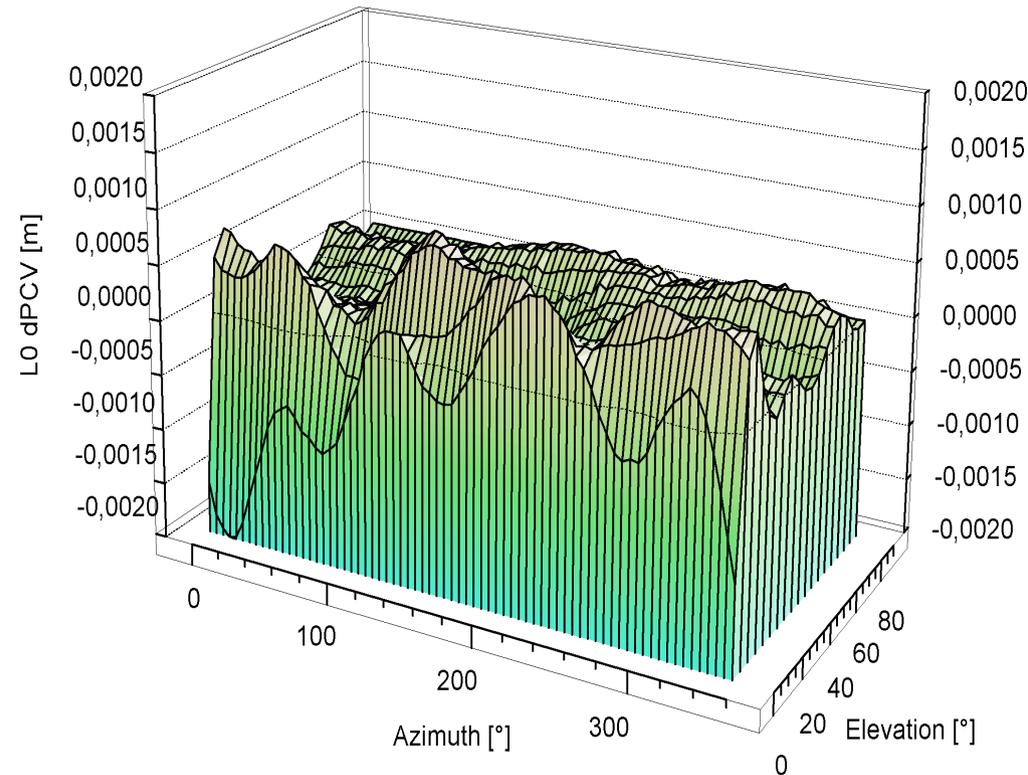


Differenz zwischen gemischter und frequenzabhängiger Kalibrierung

- konstellationsabhängig Mischung der GLONASS Frequenzen
- $k=4$ mittlere “frequency channel” für aktuelle GLONASS Konstellation
- ASH700936D_M Antenne
- simultane Kalibrierung
- Größenordnung PCV Differenzen

L0 Mittel <1 mm
Maximum 2 mm

ASH700936D_M SNOW
Difference_GLO_(mix)/GLO_(k=4)





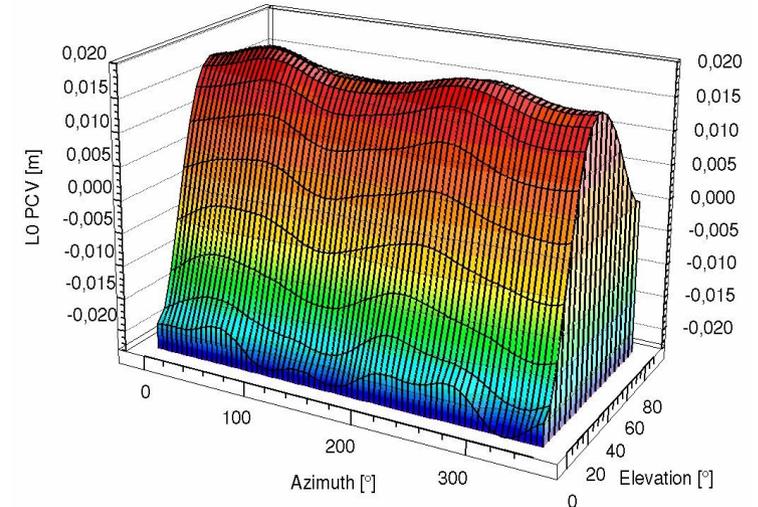
Kalibrierung von GLONASS PCV



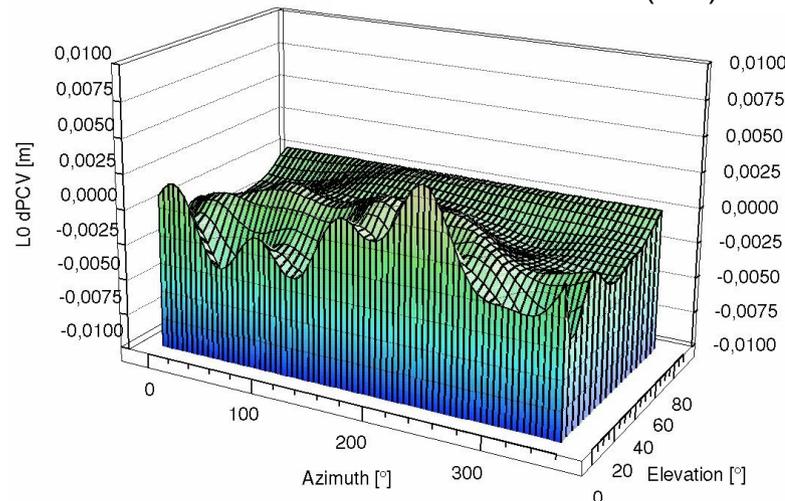
TPSCR3_GGD CONE

- ähnliches PCV Muster wie ASH700936D_M chokering Antenne
- unterschiedliche Konstellation während der Kalibrierung
- hohe Korrelation in L0 PCV Differenzen GPS/GLO (k=4)
- bestätigt unabhängig Signifikanz und Größenordnung der PCV Differenzen zwischen GPS und GLO

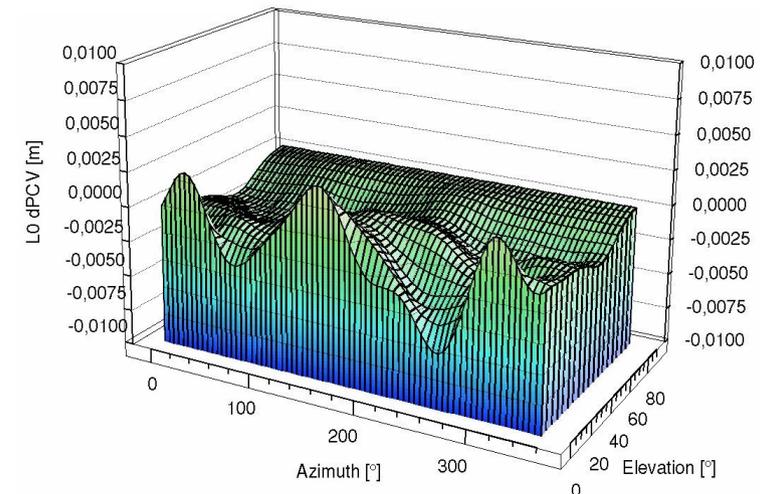
TPSCR3_GGD CONE
GPS L0 PCV



ASH700936D_M
L0 dPCV GPS/GLO (k=4)



TPSCR3_GGD CONE
L0 dPCV GPS/GLO (k=4)



Bestimmung von Carrier-to-Noise Pattern



CN0 Roboterkalibrierung

- Modellierung durch Kugelfunktionsentwicklung (Grad und Ordnung wie für PCV) und Ordnung wie für PCV)
- CN0 für Zenit zu null gesetzt, so das CN0 Abfallkurve vorliegt
- absolute Information wird ebenfalls gespeichert und ist verfügbar
- Beispiel

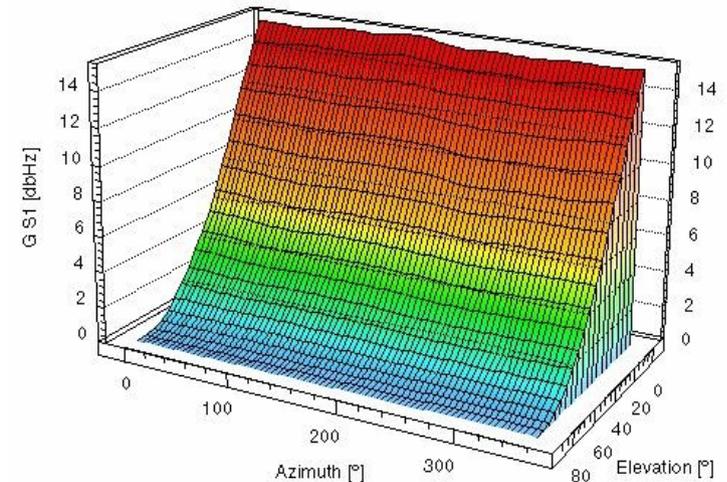
individuelle ASH700936D_M SNOW

Empfängertyp L1 CN0 Abfall

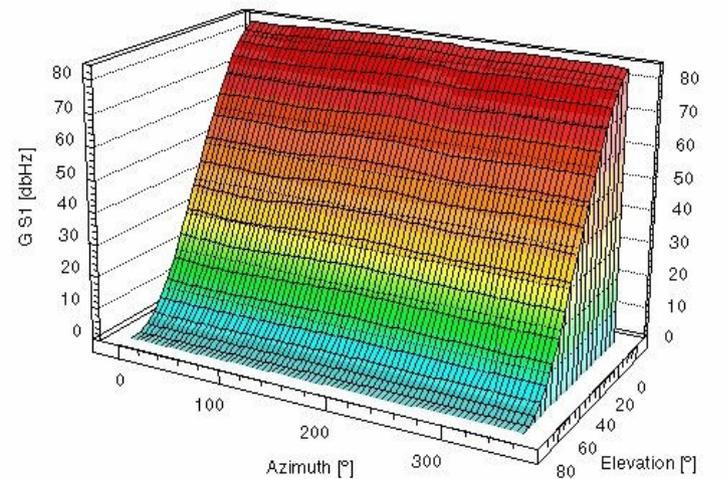
JPS Legacy 14 dBHz

ASHTECH Z-XII3 80 Einheiten

ASH700936D_M SNOW
GPS S1 mit JPS LEGACY



ASH700936D_M SNOW
GPS S1 mit ASHTECH Z-XII3





Wie werden CN0 Abfallkurven verwendet?

- effektive Verwendung der CN0 Beobachtungen verlangt Standardisierung
 - Bestimmung von Effekten des Empfangssystems
 - Antennen „gain pattern“
 - Kabeldämpfung
 - Empfängerabhängigkeiten (Hardware und Firmware Version, Parametereinstellungen)
 - Abbildungsfunktion, die dBHz CN0 Beobachtungen liefert
 - Abbildungsfunktion, die vergleichbare CN0 Beobachtungen zwischen Empfängern liefert
 - Abbildungsfunktion für atmosphärische Effekte (inklusive “space loss”)
 - Kalibrierung der Satelliten aus globalen Beobachtungen

Bestimmung von Carrier-to-Noise Pattern



angewendete CN0 Standardisierungsprozesse

- auf ursprüngliche CN0 Beobachtung werden mehrere Konvertierungen und Korrekturen angewendet

<i>Effekt auf CN0</i>	<i>Abk.</i>	<i>Korrektur</i>
Satellit	Sat	ICD GPS "received power function"
Atmosphäre	Atm	ICD GPS "received power function"
Antenne	Ant	Roboterkalibrierung
Kabel/Stecker	Cab	relative CN0 (CN0 Abfallkurve)
Empfänger	Rec	Standardisierung (Abbildungsfunktion bezogen auf ASHTECH Z-X)

- standardisiertes CN0 =
 $CN0 - ((Sat + Atm) + Cab + Ant + Rec) = MP + Diff + \varepsilon$
- Multipath und Diffraction bleiben erhalten
- anwendbar für CN0 basierende Gewichtung von GNSS Beobachtungen

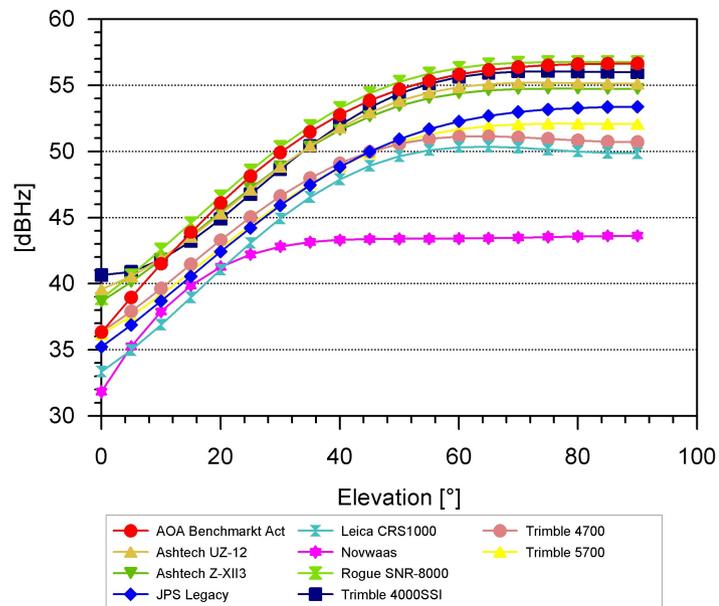
Bestimmung von Carrier-to-Noise Pattern



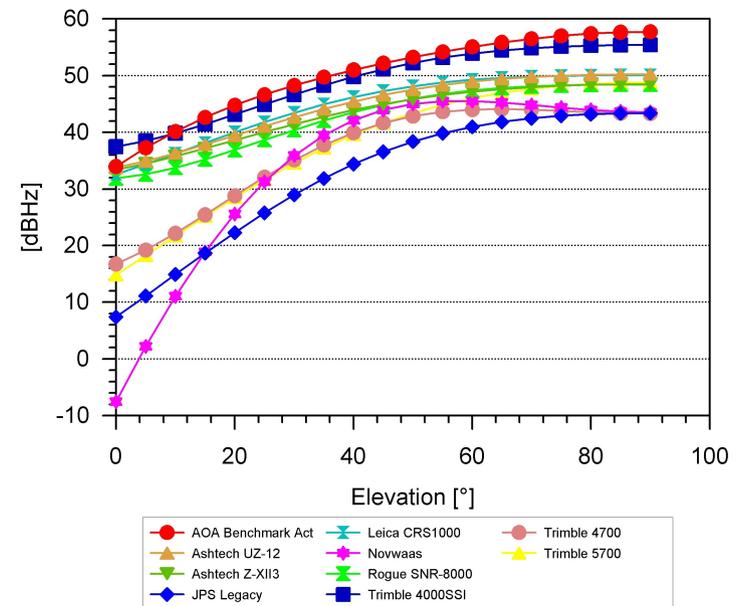
CN0 Differenzen zwischen Empfängern

- Konvertierung von Signal-to-Noise Einheiten in dBHz
- signifikante Differenz in Form der Funktionen
- Kabel und Empfängereinfluß verursachen parallele Verschiebung der Funktionen

Mittlere Werte ausgewählter Empfänger
L1 CN0



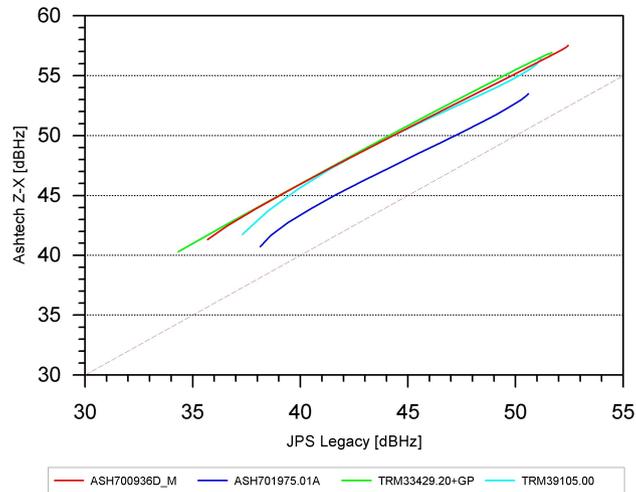
Mittlere Werte ausgewählter Empfänger
L2 CN0



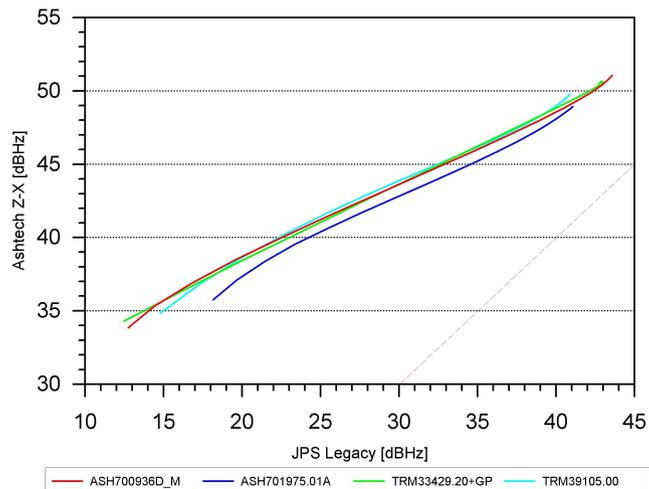
Bestimmung von Carrier-to-Noise Pattern



L1 Funktion vs Ashtech Z-X



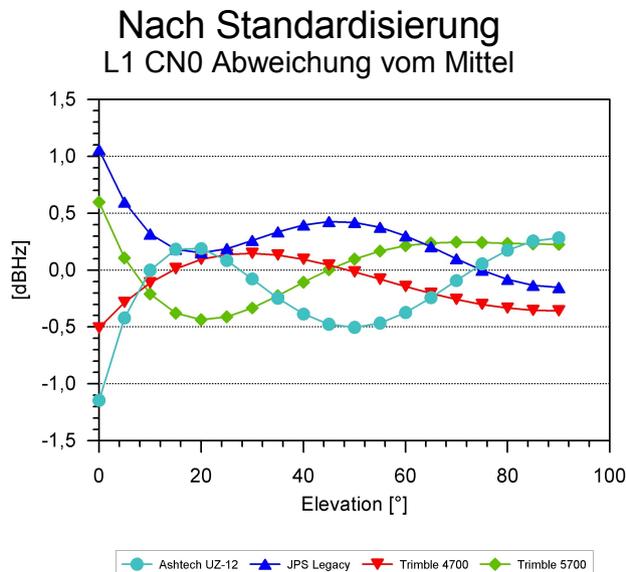
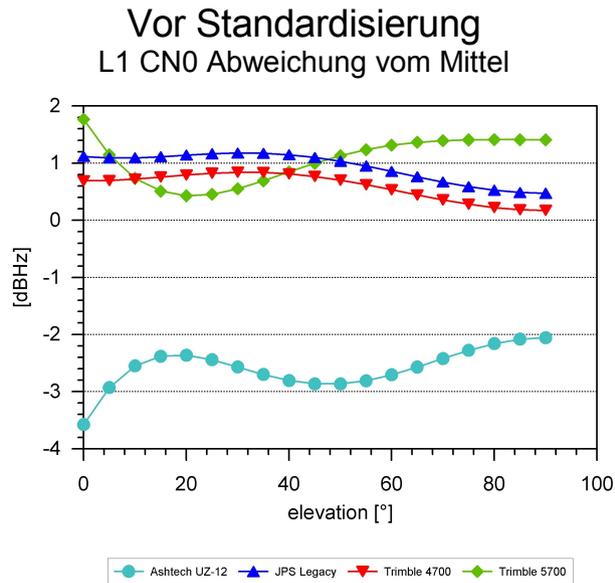
L2 Funktion vs Ashtech Z-X



Abbildungsfunktion

- Standardisierung nutzt Ashtech Z-Xtreme als Referenz
 - aktuelle Empfängertechnologie während der Analyse (2004)
 - nutzt Z-tracking für L2
- 24 h Daten beobachtet mit identischen Antennen und unterschiedlichen Empfängern
- Beispiel JPS Legacy mit unterschiedlichen Antennen
- Polynom Grad 3 als Abbildungsfunktion auf ASHTECH Z-X
- Ziel der Abbildungsfunktion ist die Umrechnung auf Hilfslinie (Steigung 1)

Bestimmung von Carrier-to-Noise Modellen



CN0 Standardisierung

- IGS Stationen mit selbem Empfängertyp
- Einfluß Antenne, Satellit und Atmosphäre korrigiert
- Multipath Mittelung durch Anzahl der Stationen
- Abweichung der mittleren Werte für mehrere Empfänger
- Größenordnung der CN0 Differenzen zwischen Empfängern

L1 CN0 +/- 0.5 dbHz (über 5 deg Elevation)

- Anwendung der Standardisierung bringt Verbesserung des absoluten Niveau



- Roboterkalibrierung: operationelles Verfahren seit 2000: liefert
 - GPS L1 und L2 PCV
 - GLO L1 und L2 PCV, frequenzabhängige Delta PCV L1 und L2
 - GPS & GLO S1 S2 Abfallkurven
- GNPCVDB Datenbank in der Zukunft mit GNSS PCV
- Feldkalibrierung von GLONASS PCV möglich
 - Unterschiede zu GPS PCV
 - GLO PCV sollten frequenzabhängig bestimmt und angewendet werden
- CN0 Abfallkurven verfügbar
 - Standardisierung der CN0 ist umsetzbar
- IGS ANTEX (Antenna Exchange format) Erweiterung ist vorgeschlagen