

Weitere Aspekte zur Kalibrierung von GNSS-Systemen



Gerhard Wübbena
Martin Schmitz

Geo++
*Gesellschaft für satellitengestützte geodätische
und navigatorische Technologien mbH*

D-30827 Garbsen, Germany
<http://www.geopp.de>

Gliederung



- Einführung
- Absolute PCV
- Problem: PCV aus Differenzbeobachtungen
- „Phase–Wind–Up“ Effekt und Orientierungsbestimmung
- Carrier–to–Noise (CNO) und Orientierungsbestimmung
- Carrier–to–Noise (CNO) als Beobachtungsgröße
- Nutzung von Carrier–to–Noise (CNO)
- Standardisierung/Normierung
- Zusammenfassung

Einführung



- **Zielsetzung:**
- **Optimierung** der funktionalen und stochastischen **Modelle** für die GNSS-Beobachtungen
- Verbesserung der Koordinatenergebnisse bezüglich
 - **Genauigkeit**
 - **Erwartungstreue**
- Neue Anwendungen
 - **Orientierungsbestimmung** mit einer Antenne (PCV Korrektur) aus
 - Wind-Up Effekt
 - Carrier-to-Noise (CNO)
 - **Multipath-Modellierung** über CNO (funktional, stochastisch)

Absolute PCV

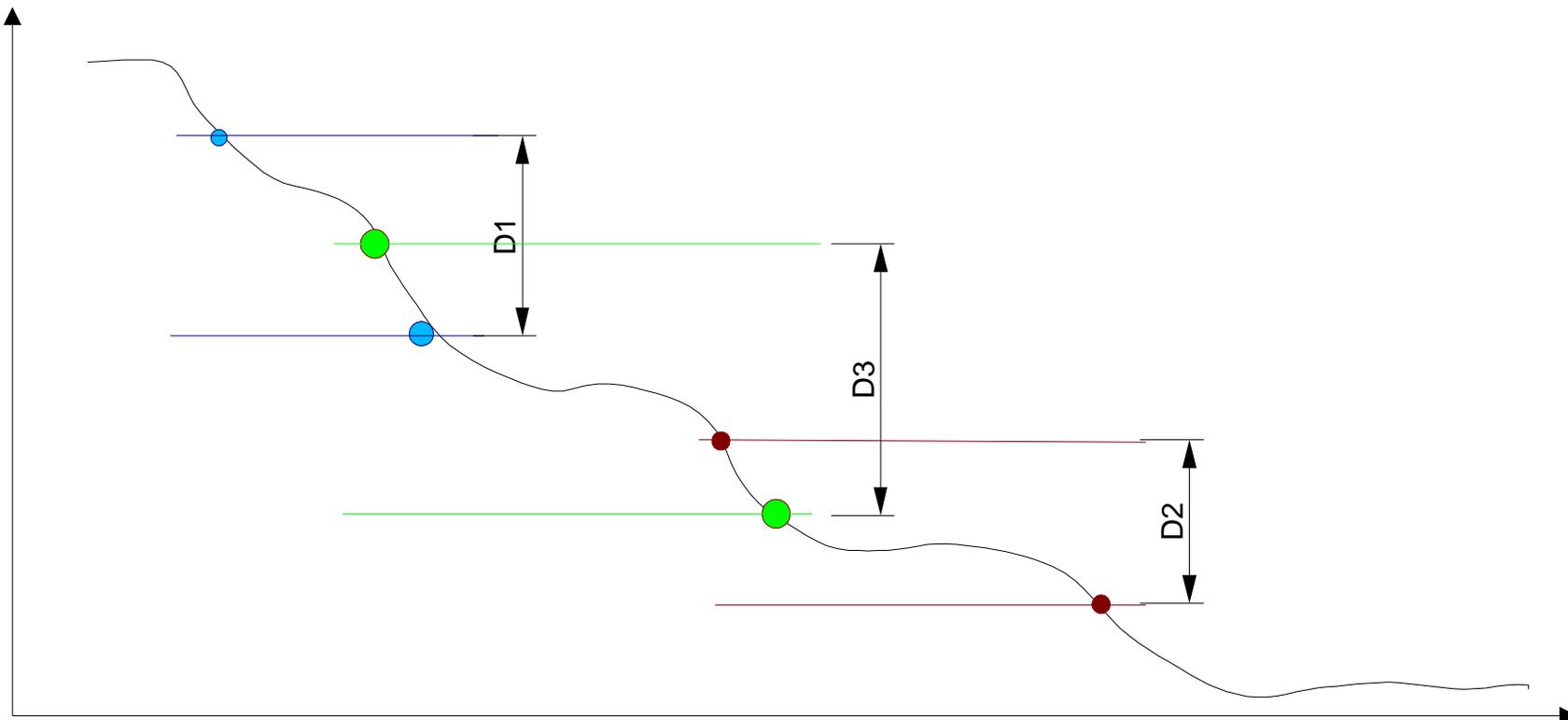
“Absolute” Phasenvariationen (PCV)



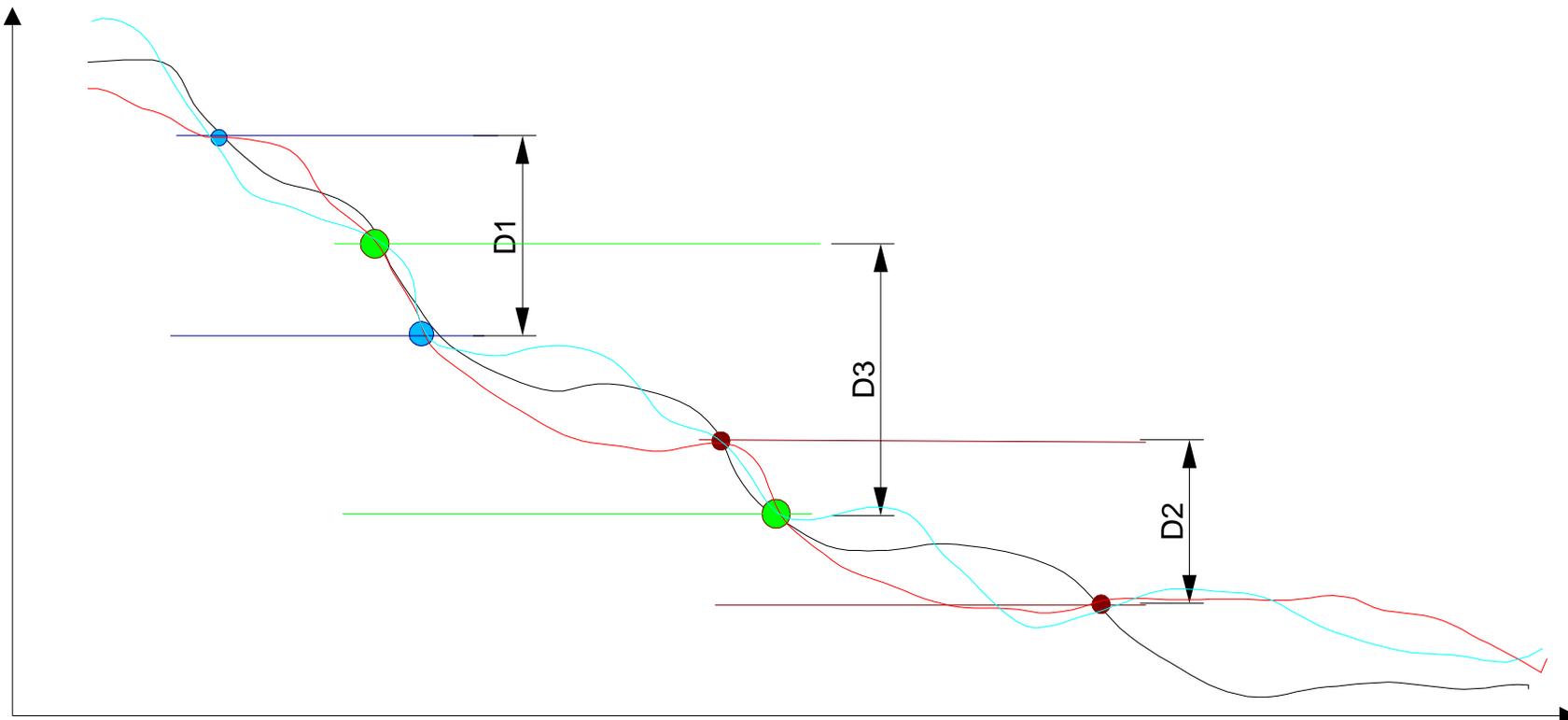
- absolute PCV meint bislang:
 - unabhängig von einer Referenzantenne
 - konstanter Anteil PCV von Empfänger–Uhrfehler/Empfänger–Laufzeitverzögerung nicht trennbar
- “absolute PCV” zukünftig:
 - Forderung nach definiertem konstanten absoluten Anteil für L1 und L2 PCV (Laufzeitverzögerung)
- => Auswirkung auf absolute Ionosphäre, Troposphäre, ...
- => Auswirkung auf präzise Zeitübertragung

PCV aus Differenzmessungen

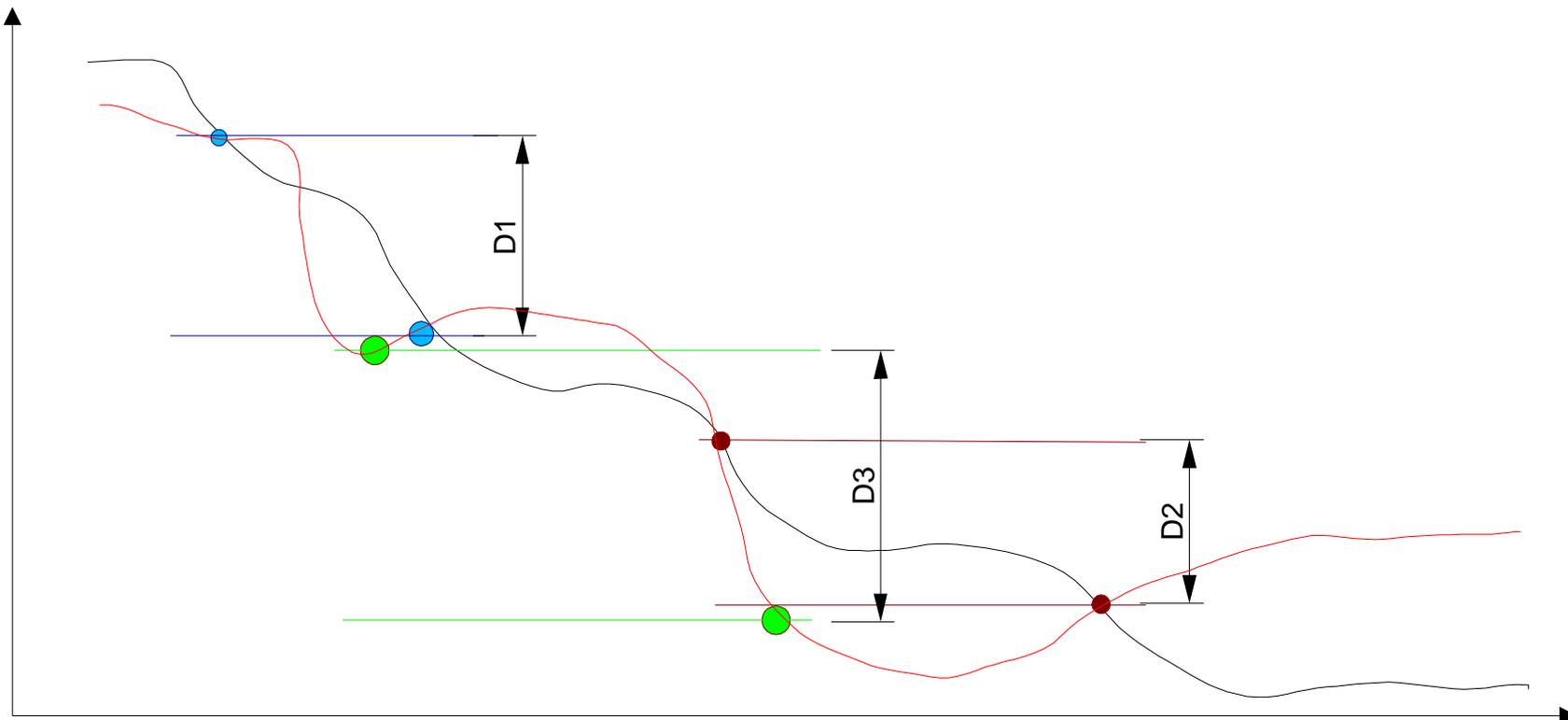
Problem der PCV-Bestimmung aus Differenzmessungen



Problem der PCV-Bestimmung aus Differenzmessungen



Problem der PCV-Bestimmung aus Differenzmessungen

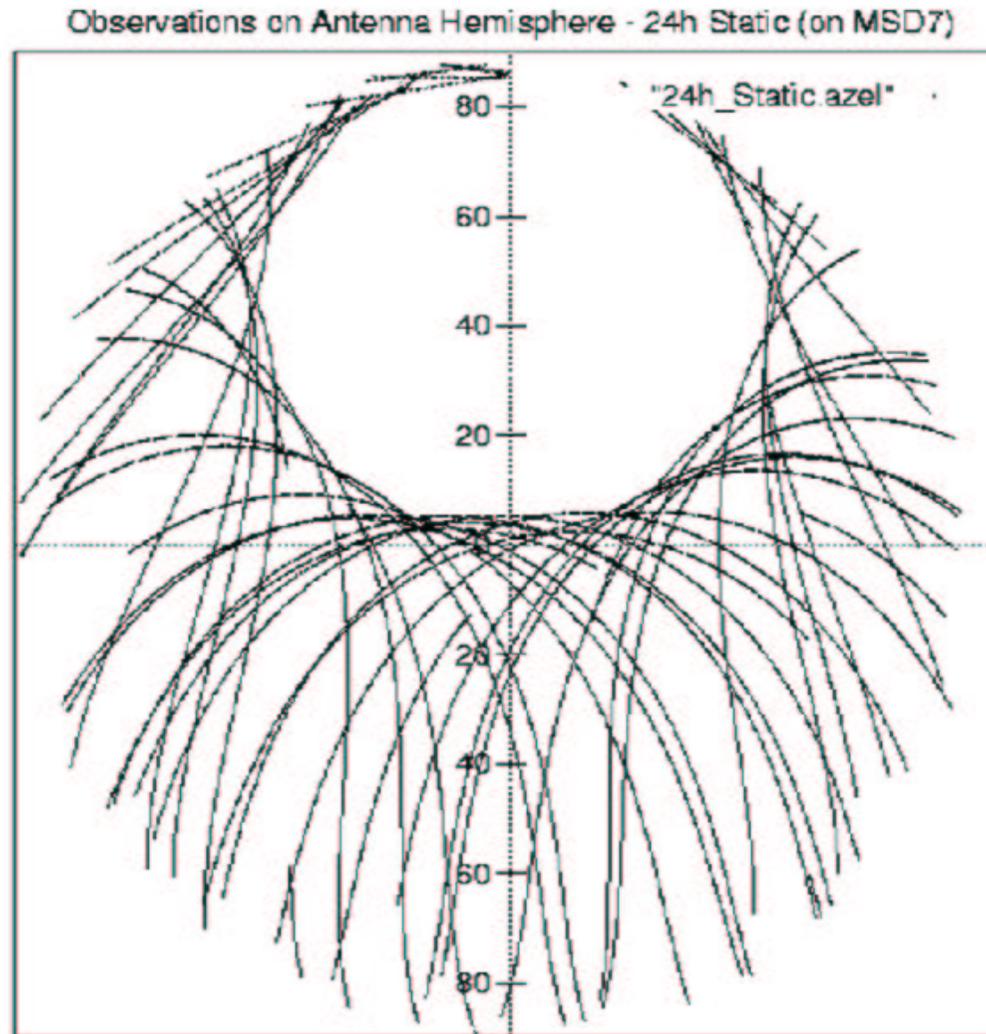


Problem der PCV-Bestimmung aus Differenzmessungen



- direkte Bestimmung der PCV nicht möglich bei Verwendung von Differenzverfahren
- Indirekte Bestimmung durch funktionalen Ansatz (Polynome)
 - hohe Auflösung erfordert hohe Dichte und Verknüpfung der (Differenz-) Messpunkte
 - Bestimmung elevationsabhängiger PCV i.d.R. O.K. (Problem MP)
 - Bestimmung azimut- und elevationsabhängiger PCV mit wenigen azimutalen Stellungen problematisch
- Fehleranteil ist abhängig von Ort und Zeit der Messung sowie Einfluss systematischer Fehler
 - Verifikation der Ergebnisse am gleichen Ort kann aufgrund der sich wiederholenden Satellitenkonstellation nicht erfolgen (Differenzen sind korrekt repräsentiert)
- Verbesserung durch Kopplung aller beteiligten Empfänger an ein Frequenznormal und undifferenzierte Auswertung

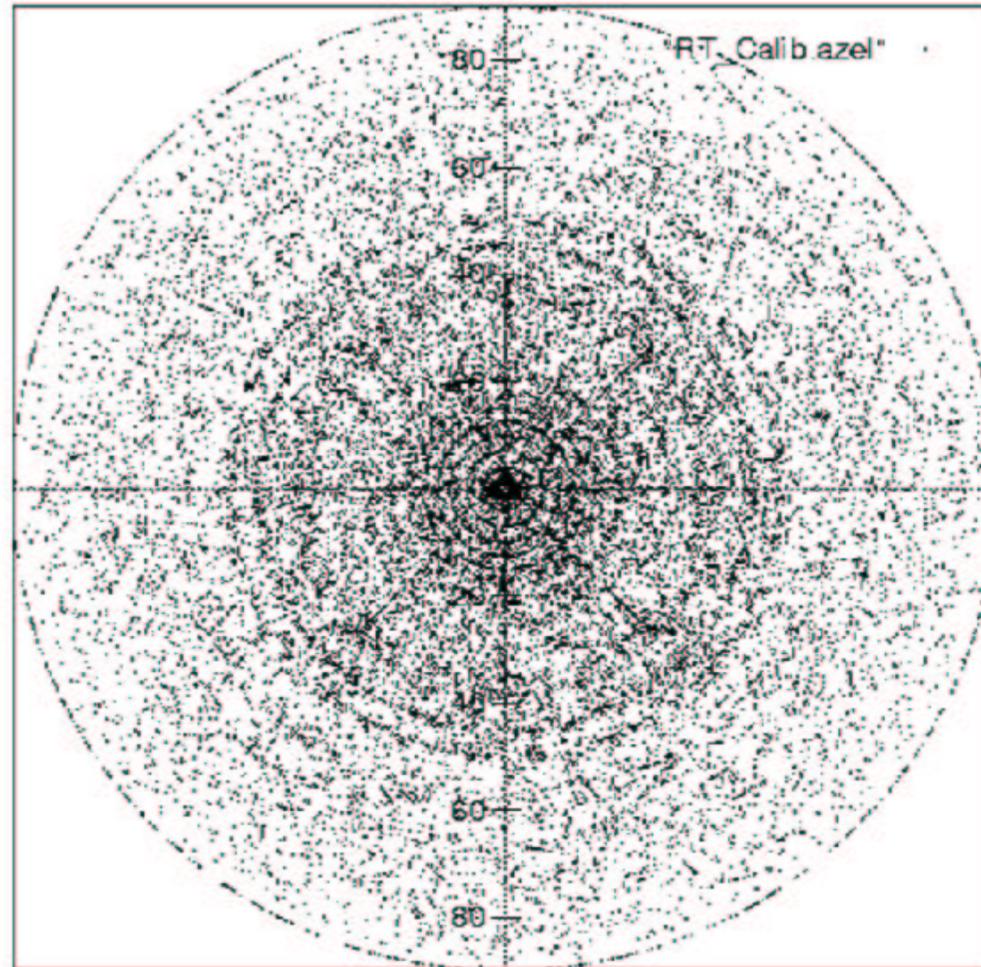
Antennenüberdeckung: 24 Stunden Skyplot



Antennenüberdeckung: Roboterkalibrierung



Observations on Antenna Hemisphere - RT Calibration (on MSD7)



Phase Wind-Up

Phase–Wind–Up (Wrap–Up) Effekt



- Antennenmodell: **Kreuz–Dipol**
- Phasenmessung abhängig von **relativer Orientierung der Achsen** der Sende– und Empfangsantenne
- **Drehung** der Empfangsantenne **um 360 °** um die Z–Achse **verändert die Phasenmessung um eine Wellenlänge** (für alle Satelliten gleich → Uhr)
- Kippungen der Antenne ergeben entsprechende (komplexere) Effekte
- Wind–Up Korrekturen sind Standard für Auswertung großräumiger Netze
- **Antennenparameter: Orientierung der Achsen im Antennengehäuse**
 - **Winkel zwischen Nordmarke und X–Achse** des Kreuzdipols (Alpha–0)
 - ggf. individuell für L1/L2

Phase-Wind-Up (Wrap-Up) Effekt

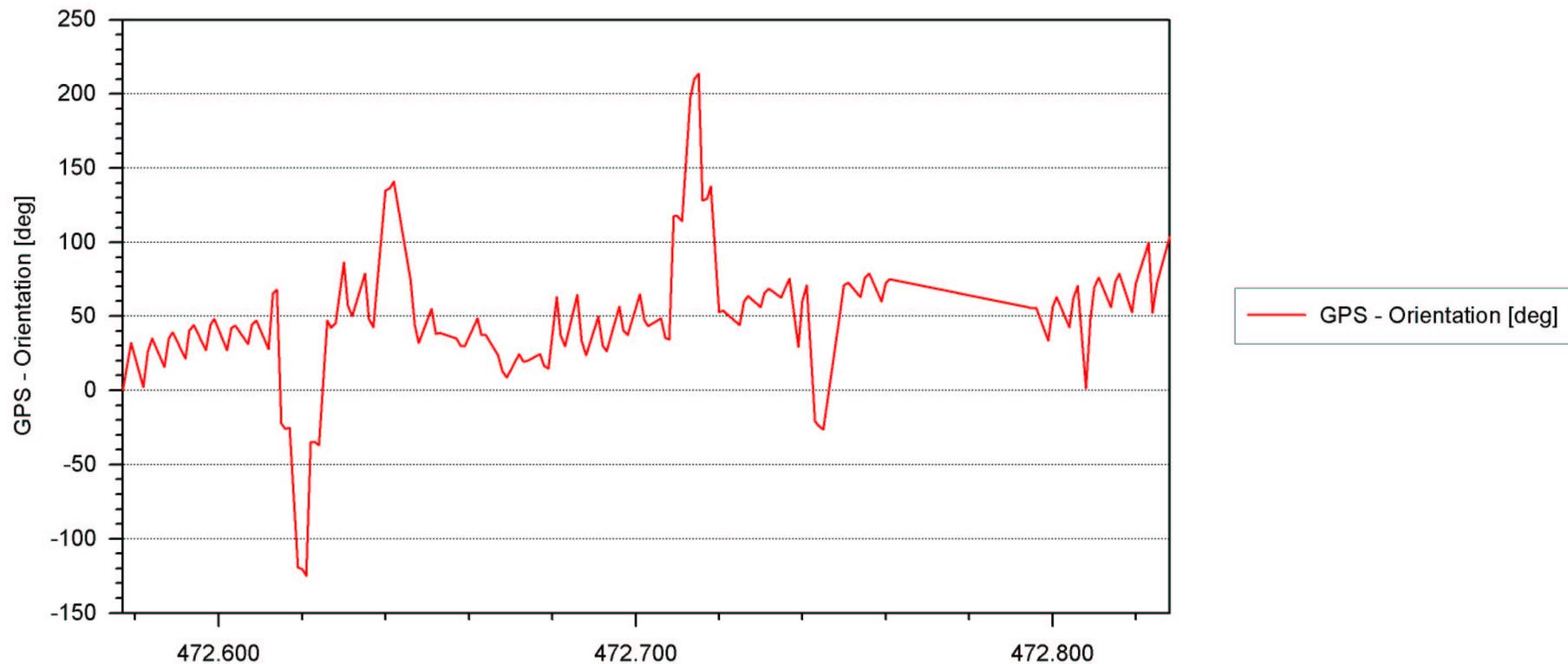


- Drehung der Empfangsantenne um 360° um die Z-Achse verändert die Phasenmessung um eine Wellenlänge
 - Effekt für alle Satelliten gleich ==> Veränderung des Uhrfehlers um 1 Wellenlänge
 - L1: 0.1903 m
 - L2: 0.2442 m
 - “Hardware-Delay”: L2–L1: 0.0540 m
 - ==> Die Laufzeitverzögerung zwischen L1 und L2 ist ein Maß für die Orientierung der Antenne
 - ==> Bestimmung der Antennenorientierung aus der L1–L2 Laufzeitverzögerung (Auswertung undifferenzierter Phasenmessungen)

Orientierungsbestimmung aus Wind-Up Effekt



Orientation from GPS Phase Measurements 03.03.2000



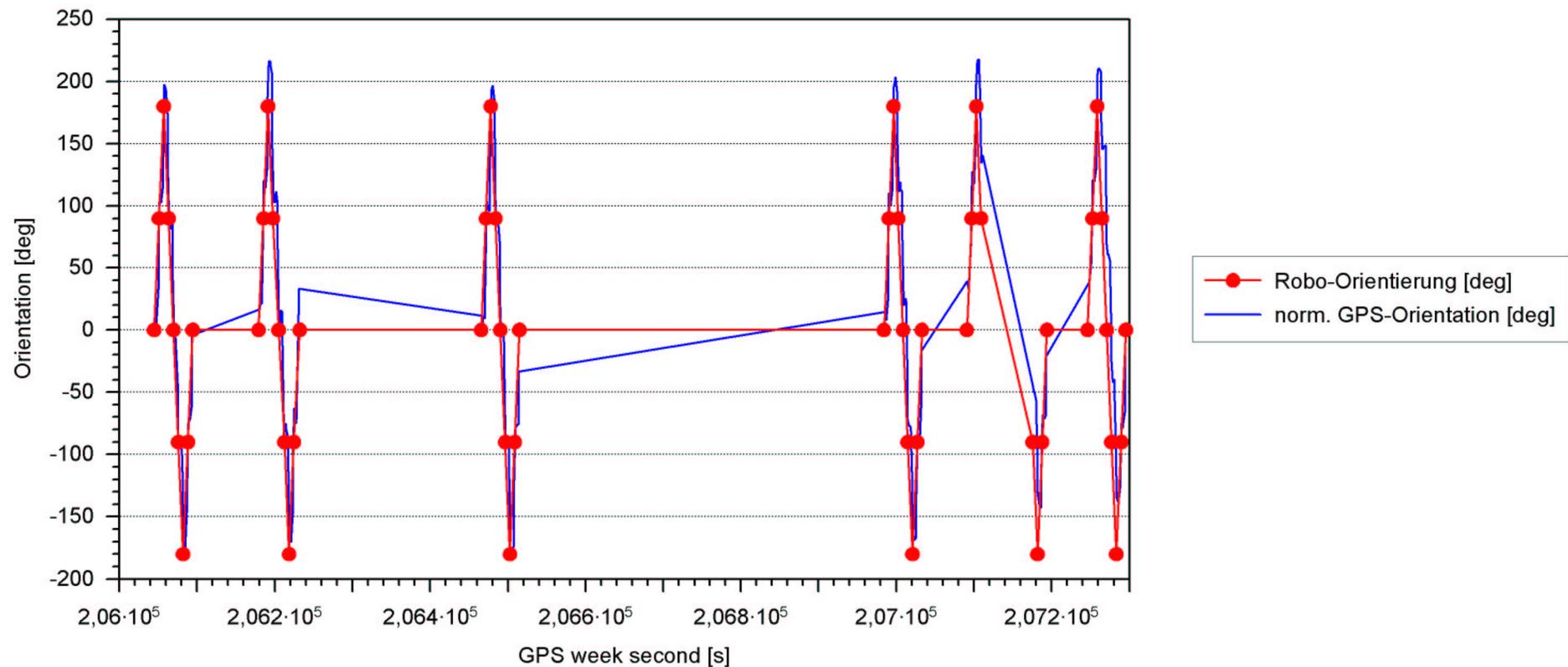
© Geo++ GmbH, 03.03.2000

Orientierungsbestimmung aus Wind-Up Effekt



Orientation from GPS Phase Measurements

Versuch 4-9, 14.08.2001



(c) Geo++ GmbH, 15.08.2001

Orientierungsbestimmung aus Wind-Up Effekt



- PCV Vollmodell (elevations- und azimutabhängig)
- wünschenswert: Orientierungsbestimmung aus GPS Messungen des Rovers
- Ausnutzung des GPS Wind-Up Effektes
- Genauigkeit: ca. $\pm 10^\circ$ (ausreichend ?)
- Probleme der absoluten Orientierungsbestimmung durch
 - ionosphärische Laufzeitdifferenzen zw. Referenz und Rover
 - Multipath
 - interne Laufzeiten im Empfänger (digitale Signalverarbeitung)
 - Antennenorientierungsparameter (Alpha 0)
 - Antennenparameter PCV: willkürliche Verfügung über konstanten Anteil
- Zur Zeit möglich: Bestimmung der Orientierungsänderung

Signal-to-Noise Carrier-to-Noise

GPS Meßgrößen



- Codemessungen (C/A-Code, P-Code)
- Phasenmessungen (L1,LQ,L2)
- Dopplermessungen (D1,DQ,D2)
- Signal-to-Noise (SNR, S/N) bzw. besser Carrier-to-Noise (CNO, C/No) (S1,S2)
 - bisher wenig verwendet
 - Problem der eindeutigen Definition
 - (RINEX 1-9)
 - Hersteller unterschiedliche Definitionen (AMN,...)
 - „absolute“ Meßgröße (nach Kalibrierung, kein Pseudo-CNO)
 - wichtig für MP Bestimmung / Modellierung
 - wichtig für stochastisches Beobachtungsmodell (QII)

Signal-to-Noise (S/N), Carrier-to-Noise (CNO)



- Signalstärke abhängig von:
 - Signalstärke am Satelliten
 - Abstrahlrichtung an der Satellitenantenne
 - Distanz zum Empfänger (Space Loss)
 - Atmosphäre (Elevation)
 - Mehrwegeausbreitung
 - Signalbeugung
 - Antennenempfangscharakteristik (Gain = f(Elevation, Azimut))
 - Antennenvorverstärker
 - Antennenkabel
 - Empfängerhardware (keine eindeutige Definition des CNO)
 - Empfängersoftware
 - Parametereinstellungen am Empfänger (Bandbreite der Tracking Loops)

Carrier-to-Noise (CNO) Anwendungen

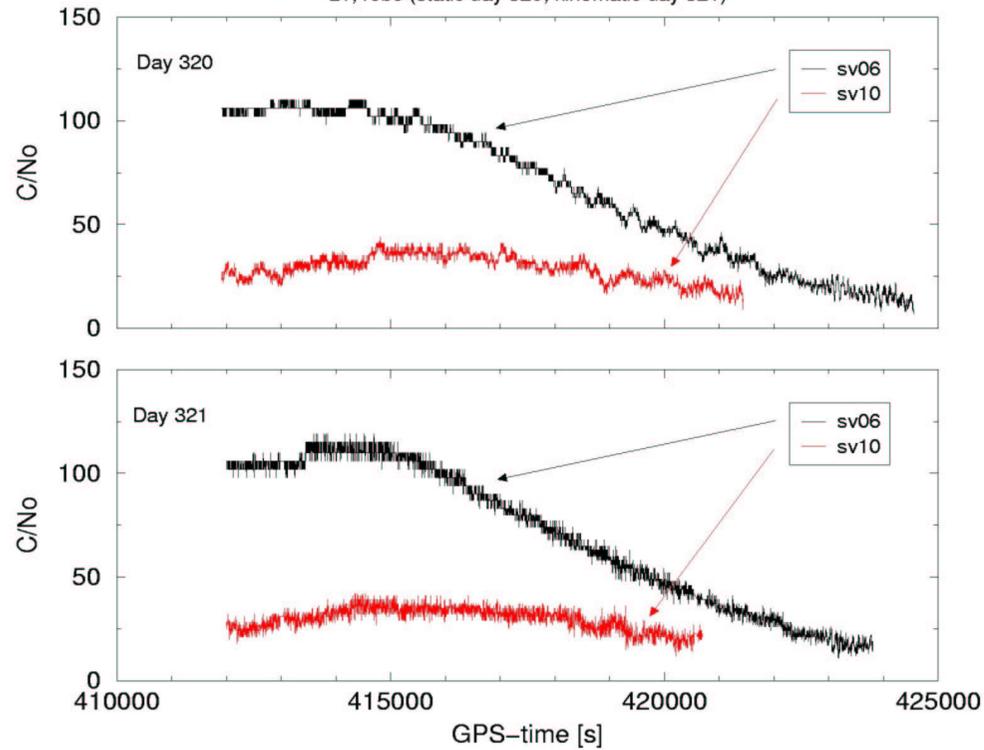


- Orientierungsbestimmung
 - Antennen mit starken Gradienten im Gain erlauben Bestimmung der Antennenorientierung aus CNO Messungen
 - Einsatz für verschiedene Satellitenmissionen getestet (ca. $\pm 10^\circ$)
- MP Modellierung funktional
 - Umwegsignale bewirken CNO-Änderungen
 - \implies CNO liefert Informationen über MP
- stochastisches Modell
 - MP und Beugungseffekte beeinflussen CNO
 - Phasenmeßrauschen als Funktion der CNO

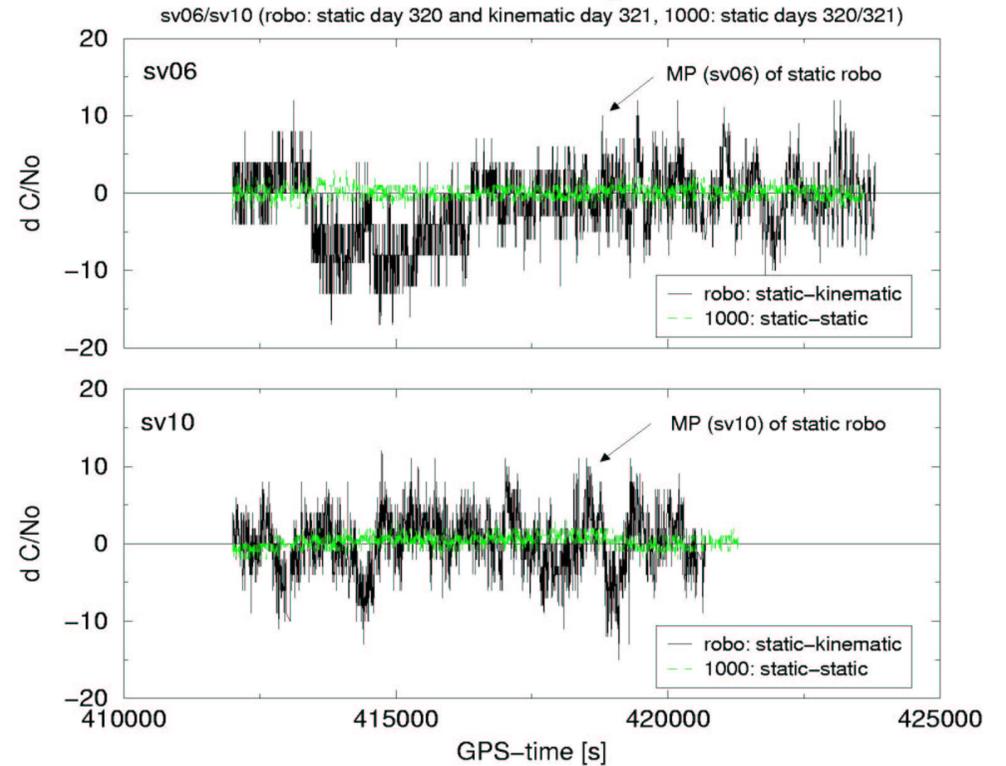
CNO DD Analyse



Example for MP-Reduction – Signal to Noise
L1, robo (static day 320, kinematic day 321)



Day Time Differences of Signal to Noise



Standardisierung/Normierung



- Effektive Nutzung der CNO Messungen setzt eine Normierung voraus
 - Bestimmung der geräteabhängigen Einflüsse
 - Antennen: „Gain Pattern“
 - Kabeleinfluß (in Echtzeit ermitteln)
 - Empfängereinfluß
 - Erstellung einer Mapping–Funktion von gemessenen CNO–Werten des Empfängers auf eine Standard CNO–Darstellung
 - Hardwareversion, Firmwareversion, Parametereinstellungen ?
 - Mapping–Funktion für den atmosphärischen Einfluss (inkl. Space Loss)
 - Kalibrierung der Satelliten aus globalen Meßdaten

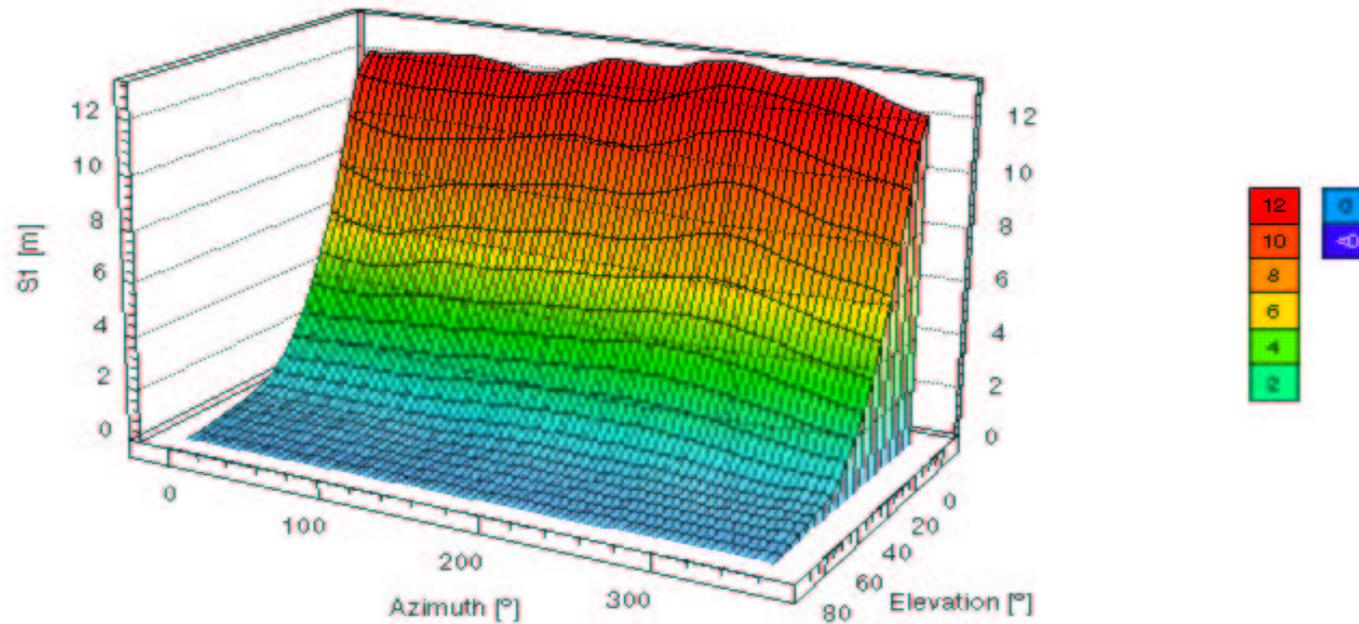
Antennen „Gain“-Kalibrierung

Antennen: elevations/azimutabhängiger CNO-Abfall



TRM22020.00+GP

SN: 0220033345



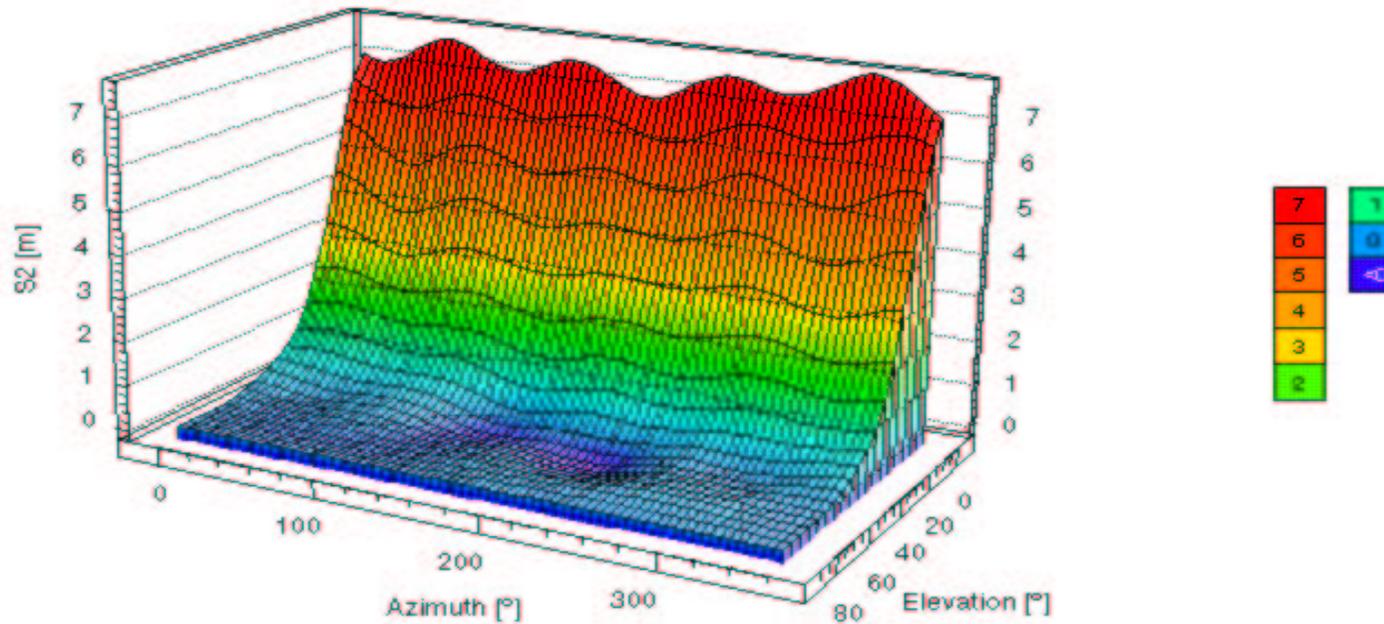
(C) Geo++ GmbH, 21.05.2002

Antennen: elevations/azimutabhängiger CNO-Abfall



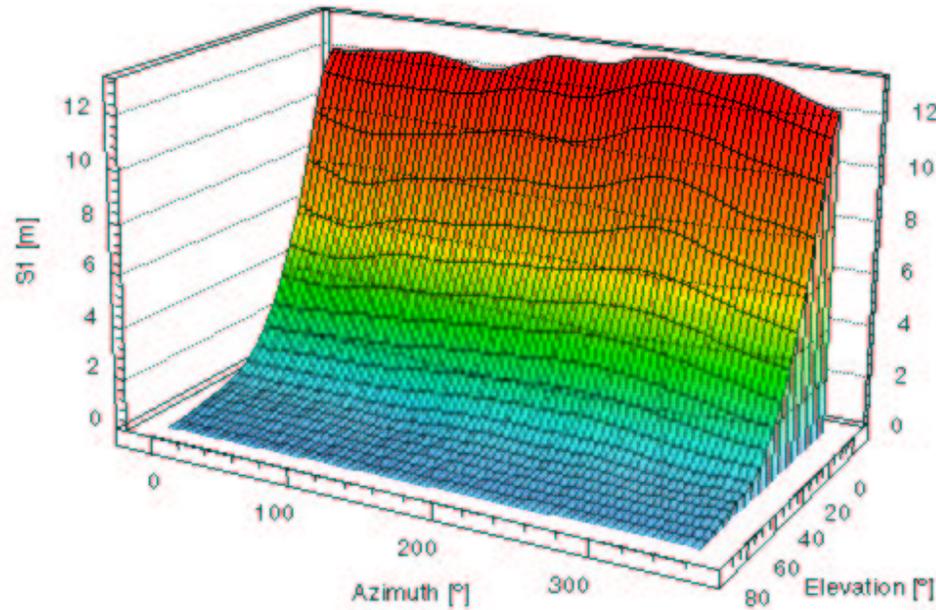
TRM22020.00+GP

SN: 0220033345

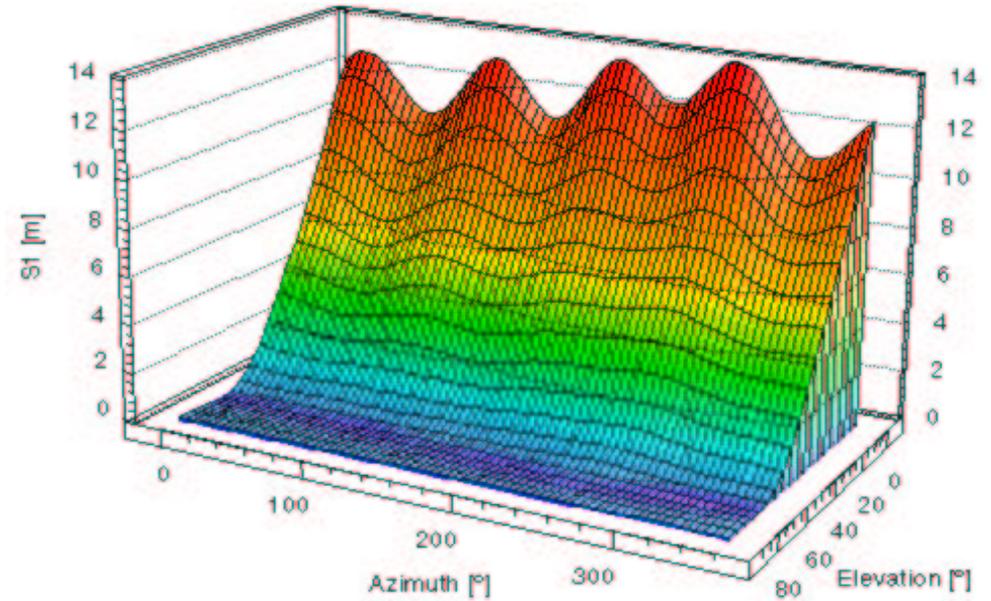


(C) Geo++ GmbH, 21.05.2002

CNO Abfall mit/ohne Grundplatte



TRM22020.00+GP L1-CNO



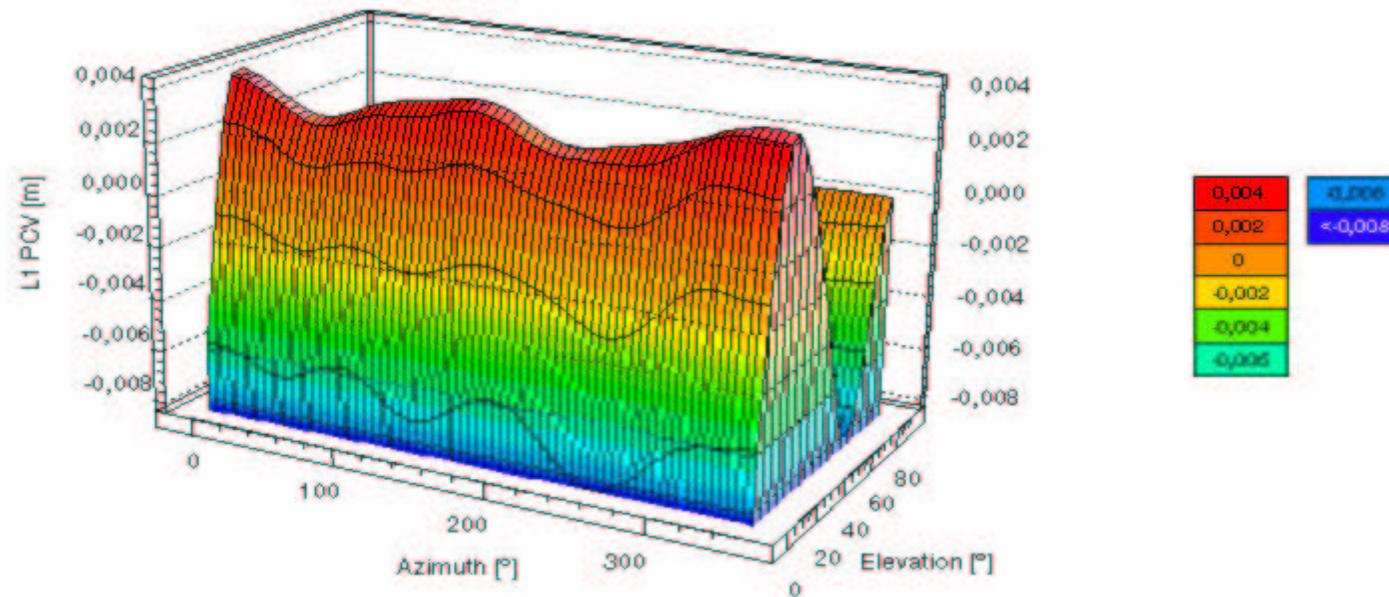
TRM22020.00-GP L1-CNO

PCV mit Grundplatte



TRM22020.00+GP

Antenna Type PCV L1: 8 Antennas, 49 Calibrations



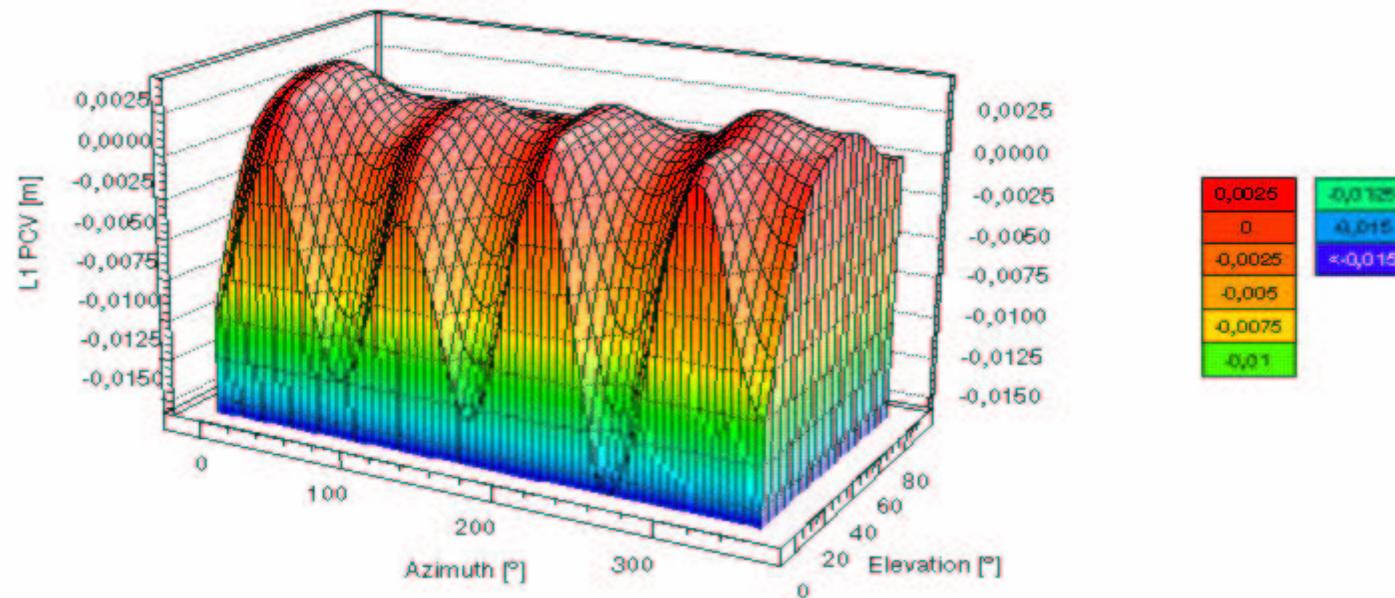
(c) Geo++/GeoService, 15.01.2002

PCV ohne Grundplatte



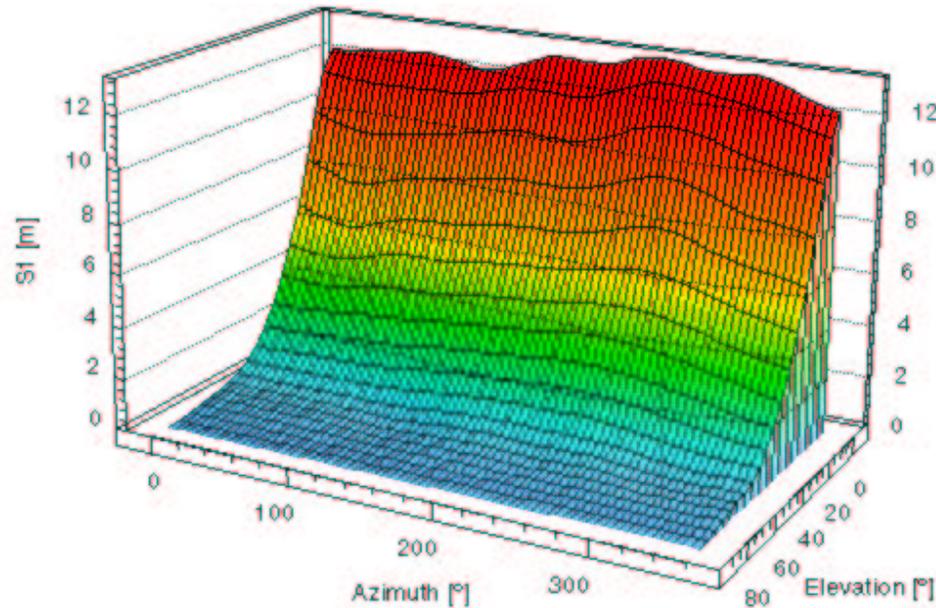
TRM22020.00-GP

Antenna Type PCV L1: 4 Antennas, 30 Calibrations

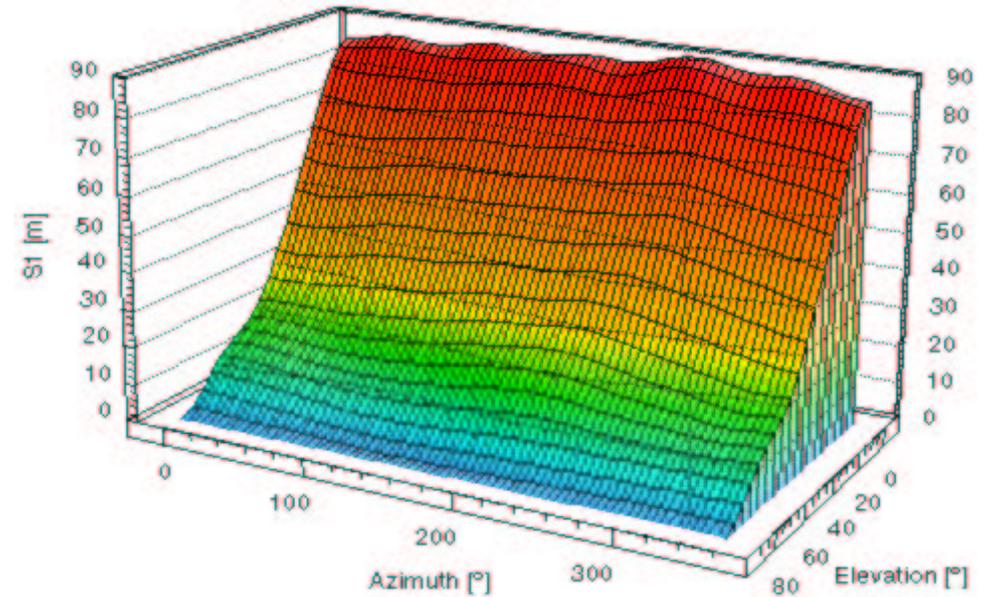


(c) Geo++/GeoService, 03.12.2001

CNO Abfall: unterschiedliche Empfänger



TRM22020.00+GP L1-CNO
mit Leica SR530



TRM22020.00+GP L1-CNO
mit Ashtech Z12

Zusammenfassung



- Klarstellung/Erweiterung der Definition absoluter PCV erforderlich
- Zusätzlicher Kalibrierungsparameter: Orientierung der Antennenachsen im Antennengehäuse
- Phase Wind-Up nutzbar für Orientierungsbestimmung
- CNO Nutzung erfordert Kalibrierung von
 - „Antennen-Gain“
 - Empfänger Mapping-Funktion
- Nutzung von CNO für MP Erkennung und Modellierung (funktional, stochastisch)

