

GNSS Fehlerhaushalt

Mehrwegausbreitungen

Antennenphasenzentrumsvariationen

Kalibrierungen

Gerhard Wübbena

Geo++

Gesellschaft für satellitenstützte geodätische und
navigatorische Technologien mbH
Garbsen

Einführung

- GPS-RTK heute: Grenzen in Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
- PDGPS-Dienste wie SAPOS erfordern den Einsatz unterschiedlicher Gerätetypen sowie RTK über größere Entferungen (>10 km)

GNSS-Grundprinzip



$$\sigma_p = P D O P * \sigma_l$$

$n \geq 4$ Beobachtungen: $\{ P_{R_1} \ P_{R_2} \ P_{R_3} \ P_{R_4} \dots \}$

4 Unbekannte: $\{ X \ Y \ Z \ \Delta t \ }$

WGSS84

GNSS-Fehlerquellen

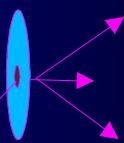
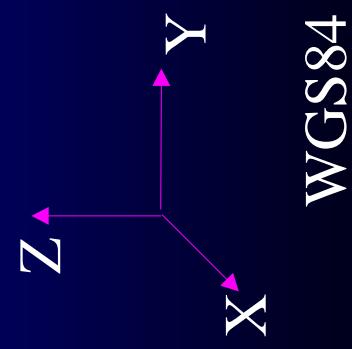
Wahre Bahn

Satellitenbahnenfehler

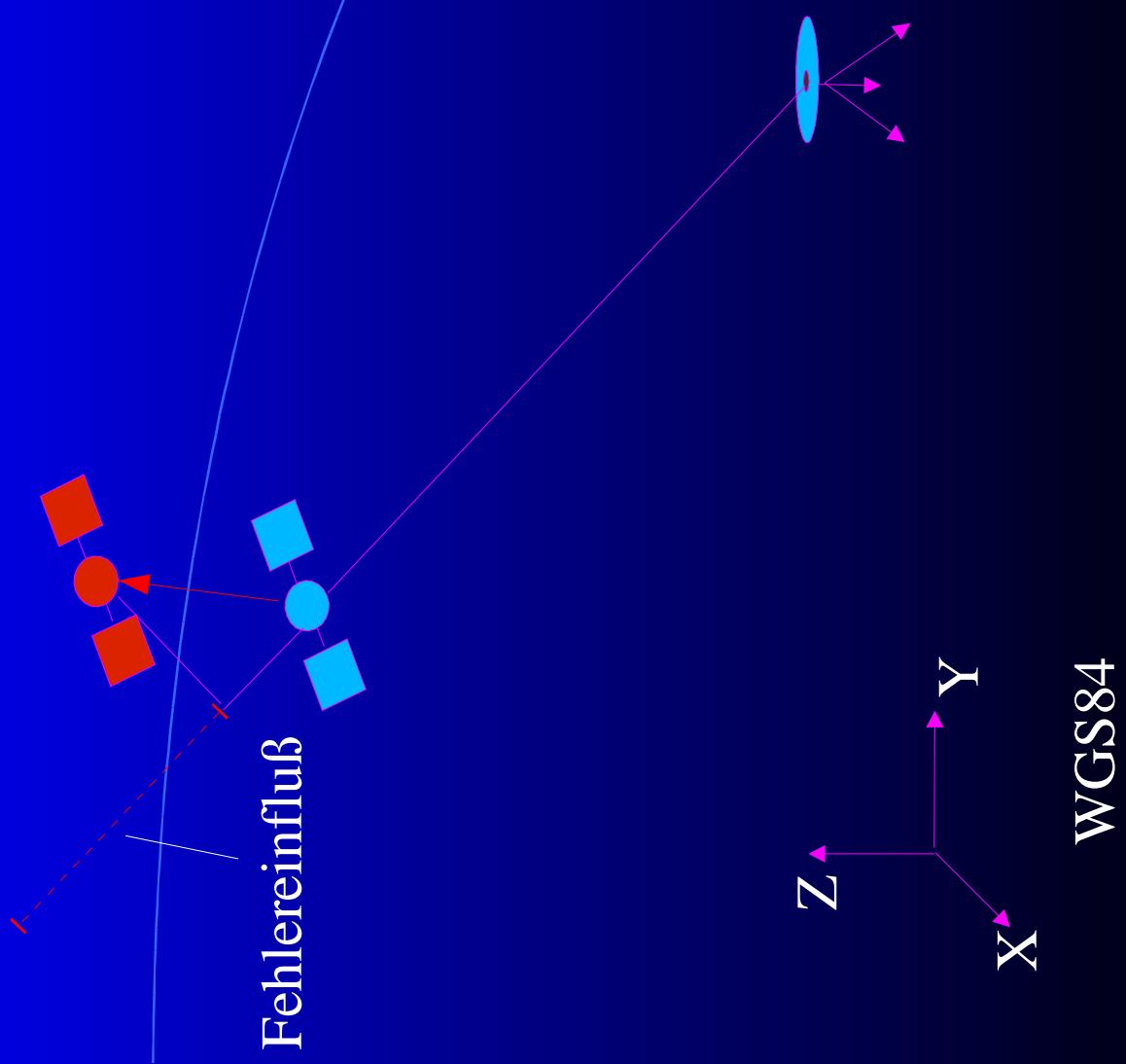
Broadcast Bahn

Fehlereinfluß

Satellitenbahnenfehler



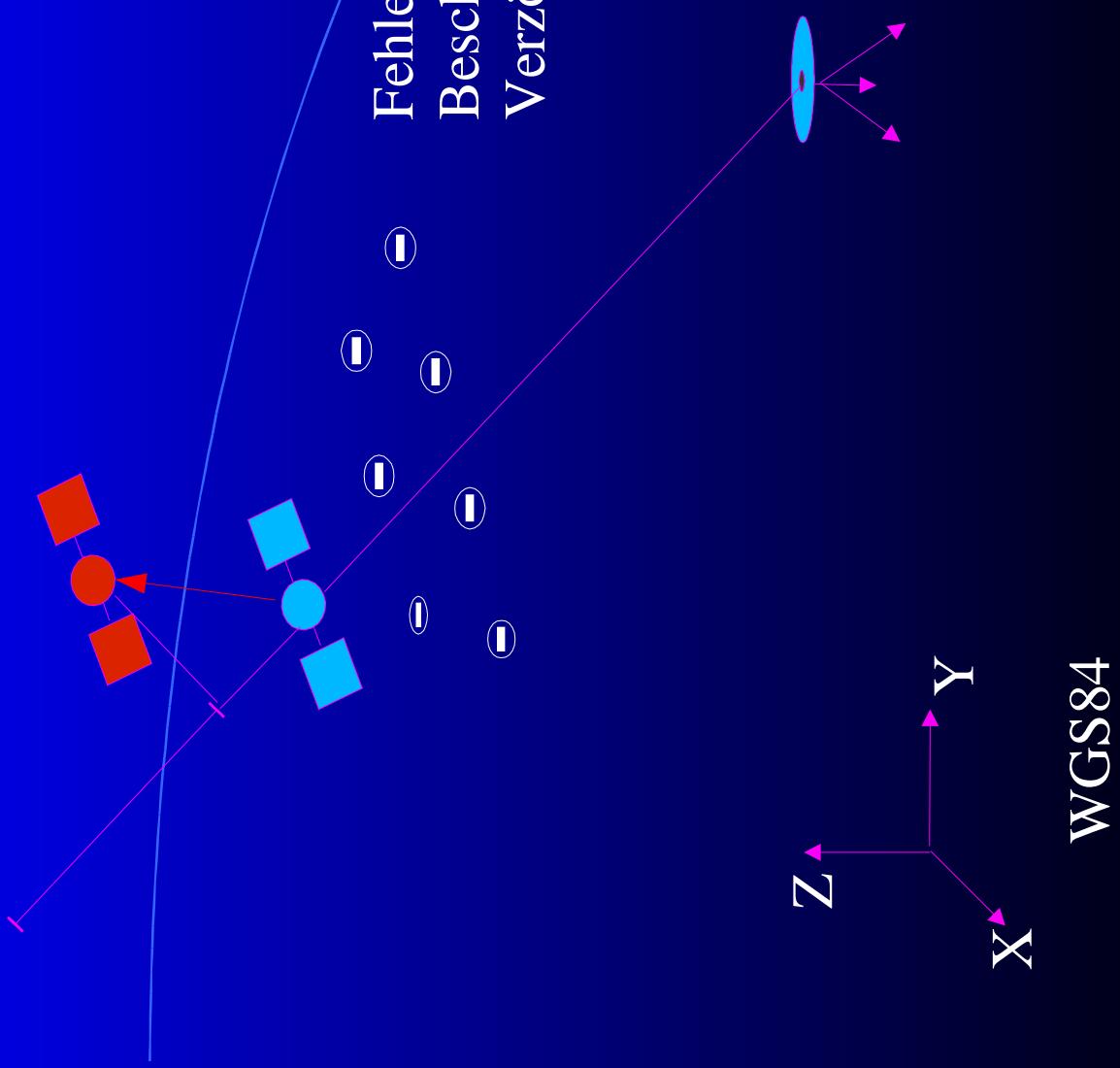
GNSS-Fehlerquellen



GNSS-Fehlerquellen

Ionosphäre

Fehlereinfluß (dispersiv):
Beschleunigung d. Trägerphasen
Verzögerung d. Codephasen

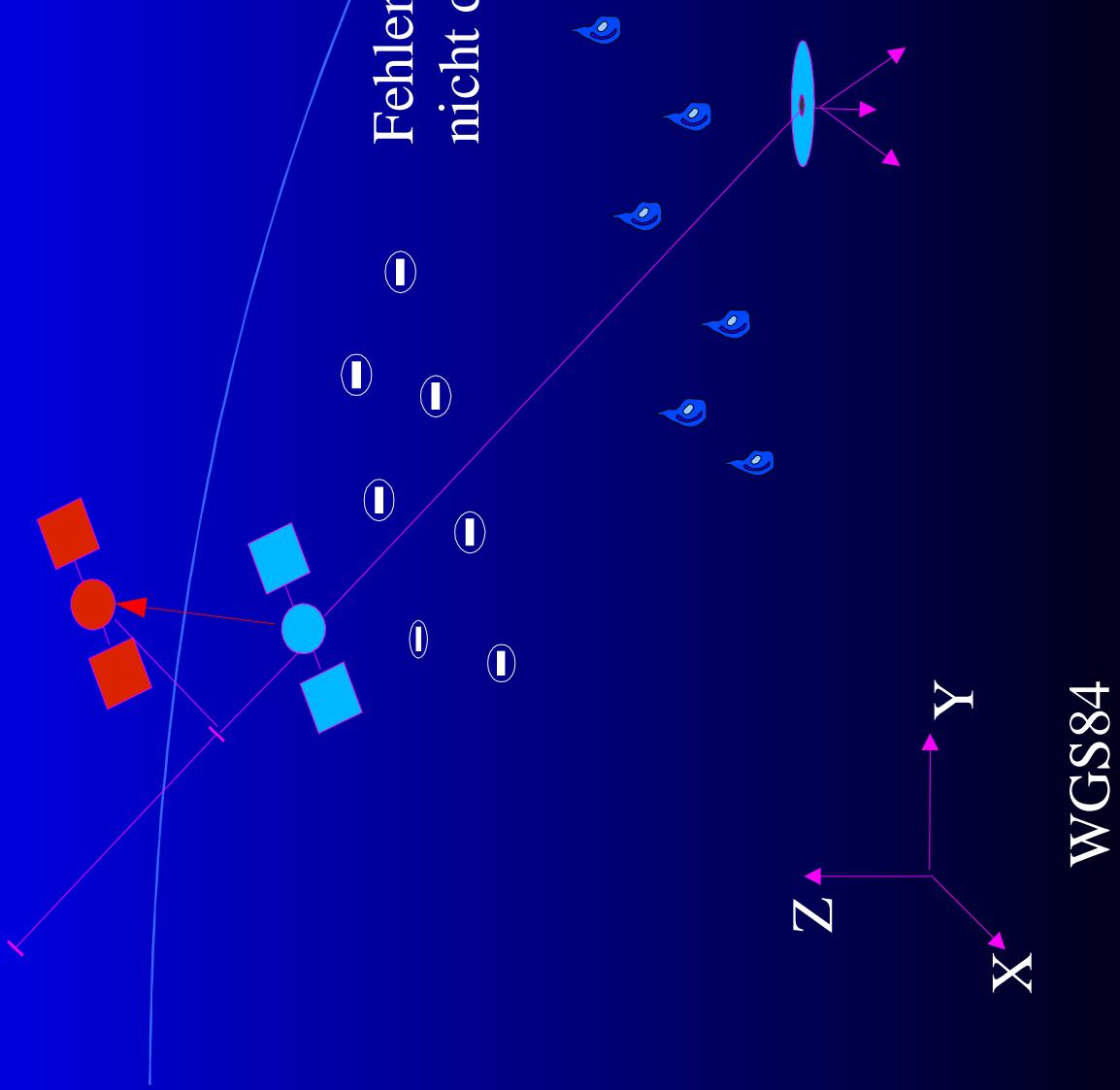


WGS84

GNSS-Fehlerquellen

Troposphäre

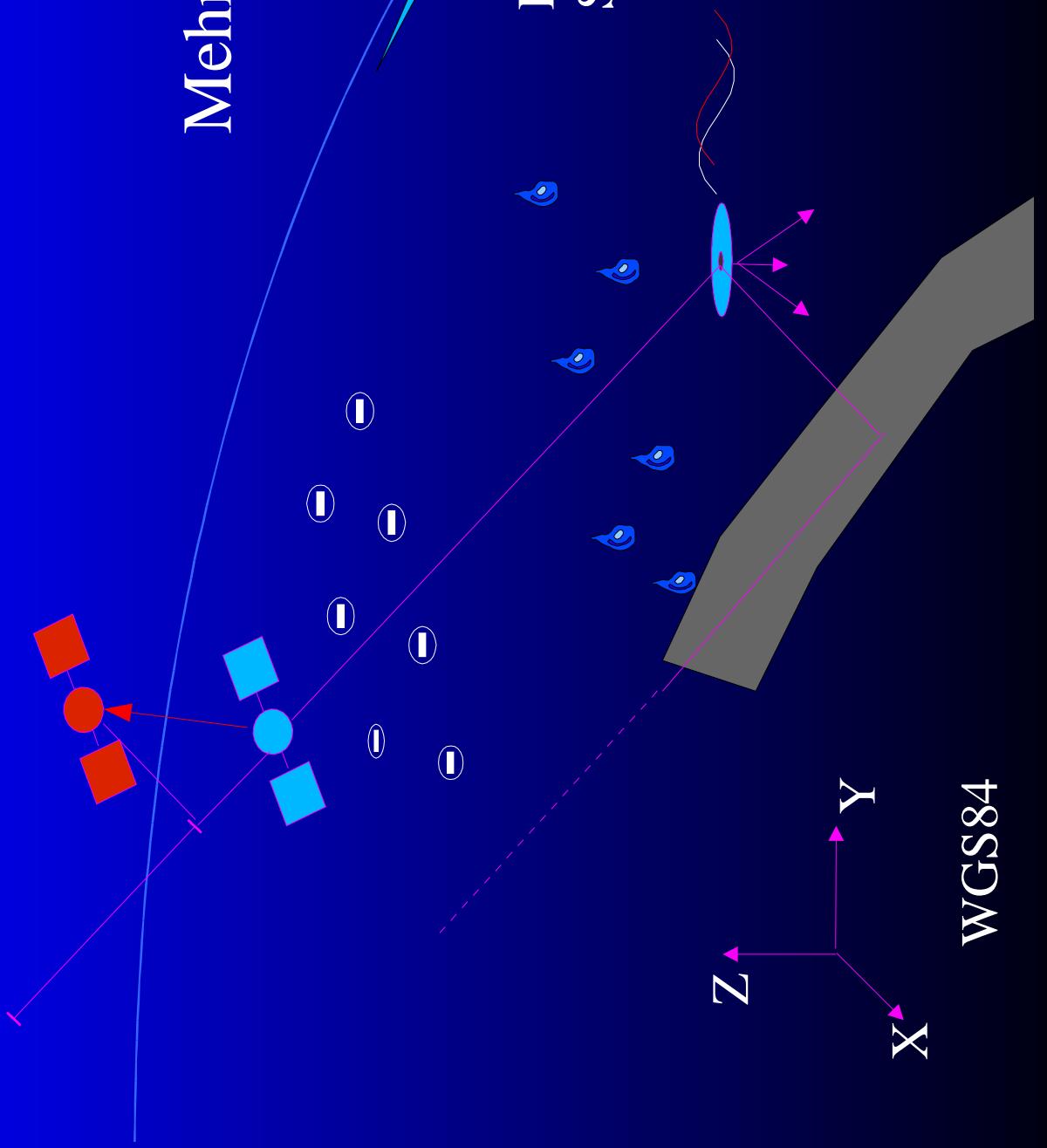
Fehlereinfluss:
nicht disperse Refraktion



GNSS-Fehlerquellen

Mehrwegeausbreitungen

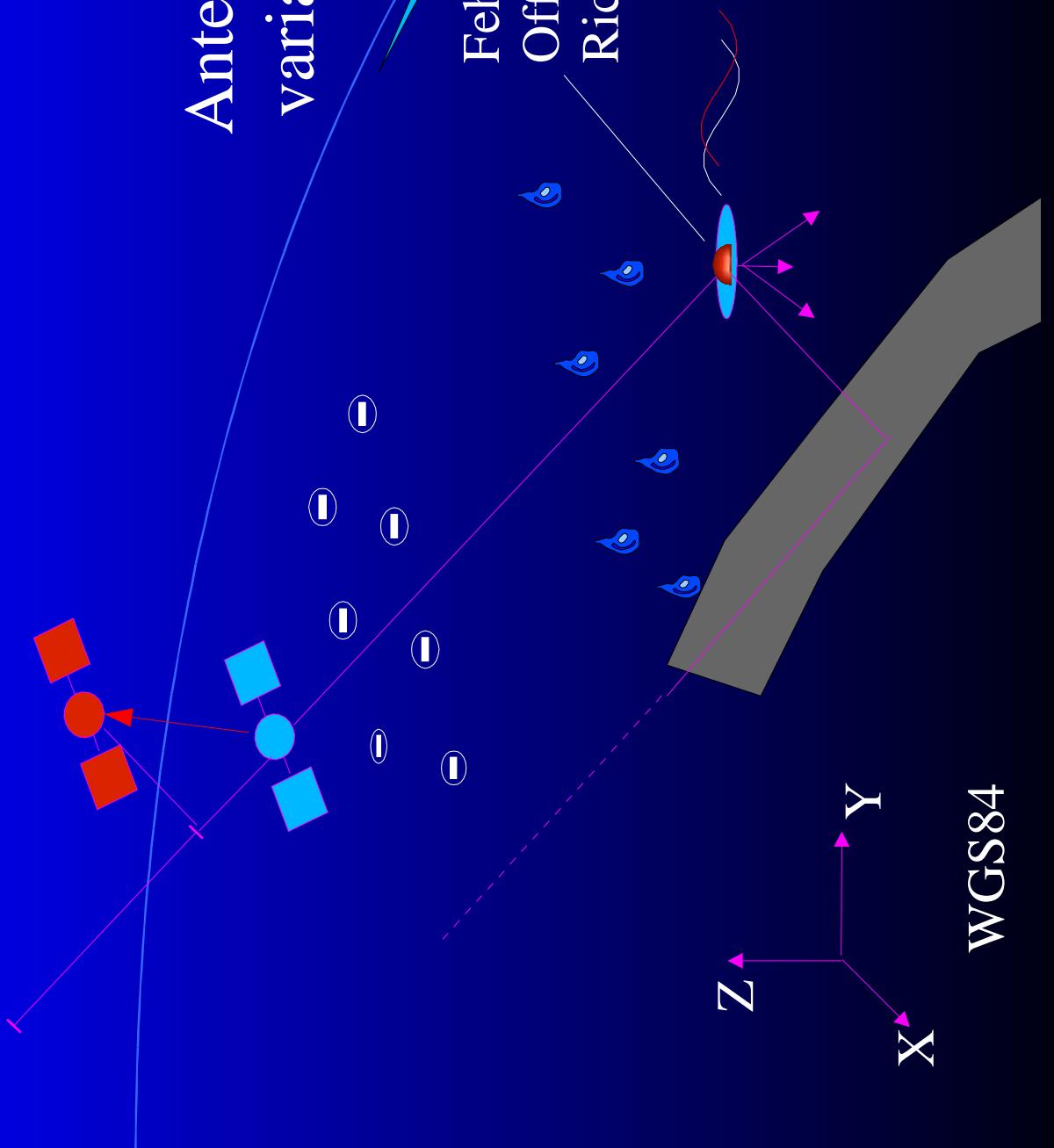
Fehlereinfluß:
Signalinterferenzen



GNSS-Fehlerquellen

Antennenphasenzentrumsvariationen

Fehlerinfluß:
Offsets,
Richtungsabhängige Variationen



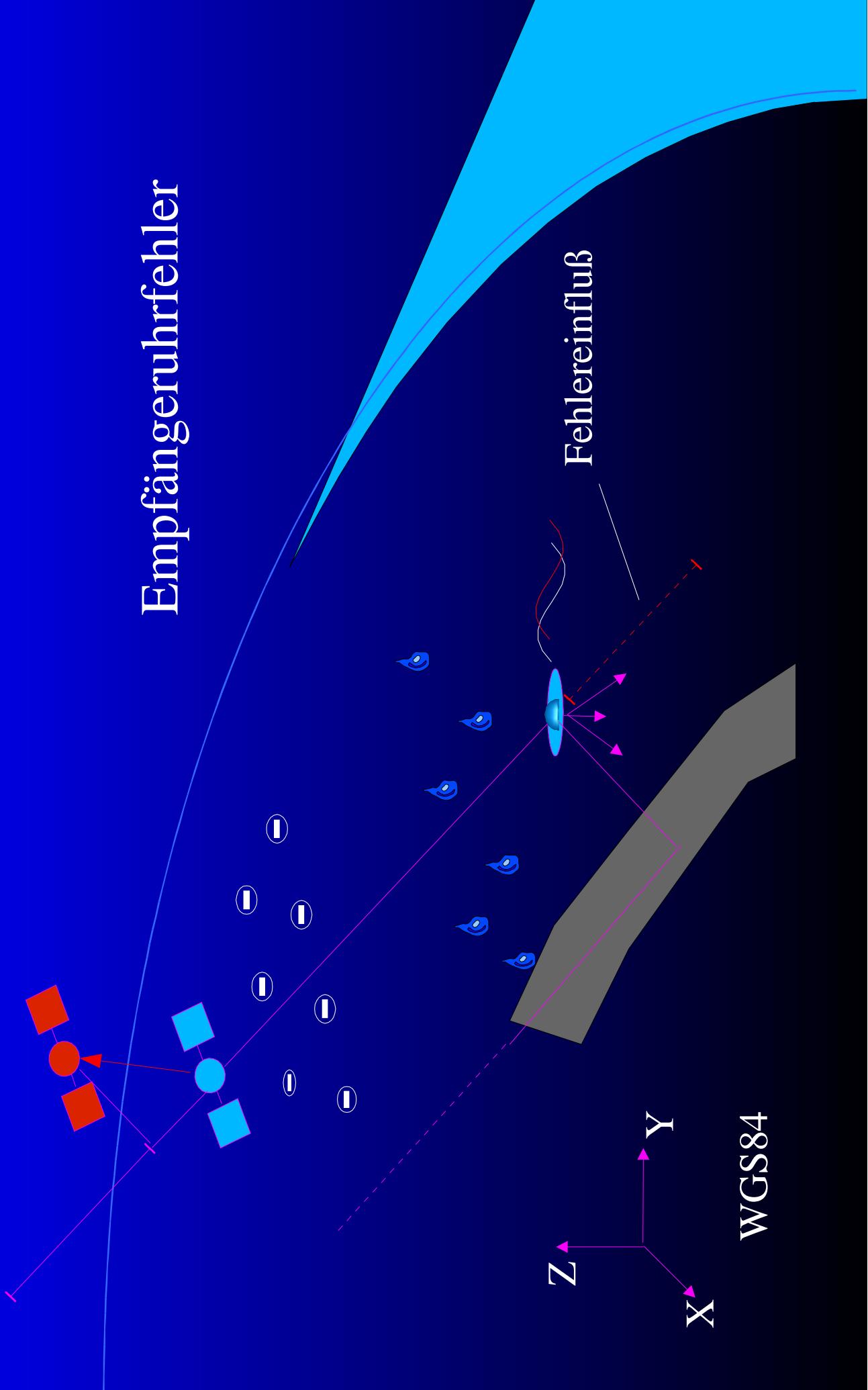
WGS84

GNSS-Fehlerquellen

Empfängeruhrfehler

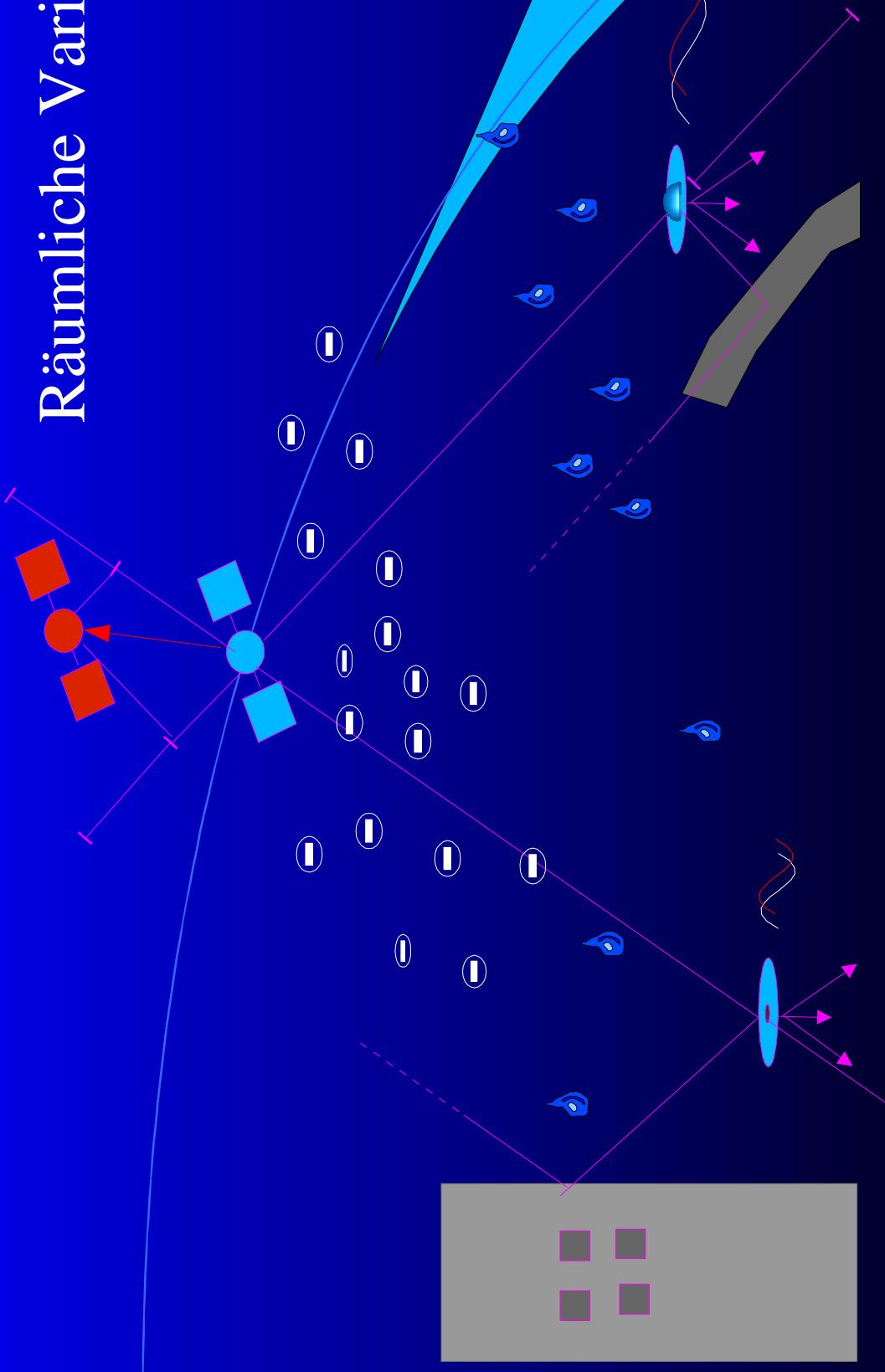
Fehlereinfluß

WGS84
X
Y
Z



GNSS-Fehlerquellen

Räumliche Variationen



Fehlerquellen Größenordnung

Fehlerquelle	Absoluter Einfluß	Relativer Einfluß
Satellitenbahn	5..50m	0.2...2 ppm
Satellitenuhr	5...100m	0.0 ppm
Ionosphäre	0.5... >100 m	1...50 ppm
Troposphäre	0.01...0.5 m	Bis 3 ppm
Multipath Code	m	m
Multipath Phase	mm...cm	mm...cm
Antenne	mm	mm...cm

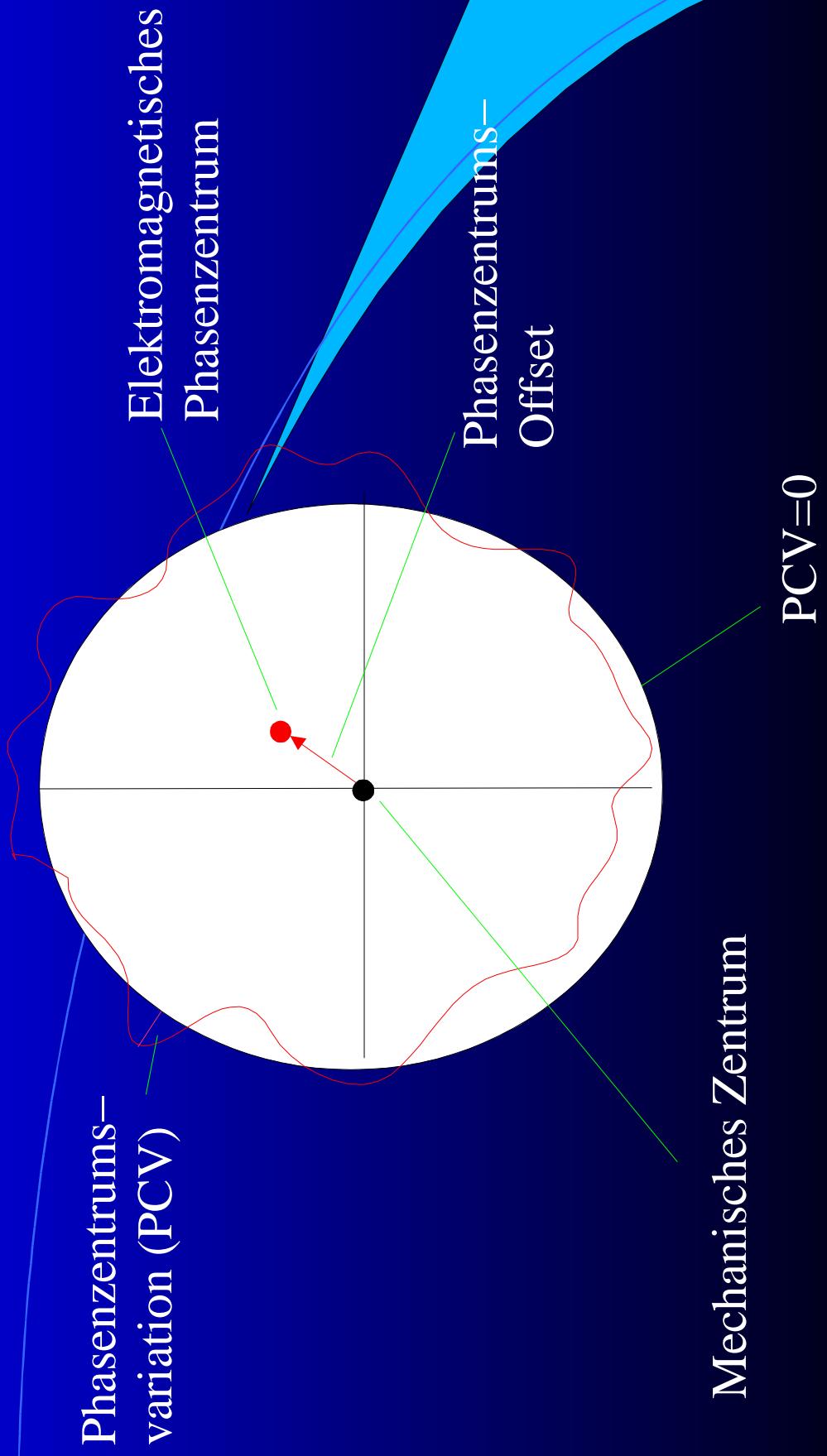
Erfassung durch Vernetzung bzw. Vermeidung

Erfassung durch Kalibrierung bzw. Vermeidung

Antennenphasenzentren

- Antennenphasenzentrum:
- Elektromagnetisches Phasenzentrum
 - Punkt der Antenne, für den die Quadratsumme (Summe der Beträge) der Phasenzentrumsvariationen (PCV) zum Minimum wird
- Mechanisches Zentrum
 - Punkt der Antenne, der durch die Zentriereinrichtung (5/8" Bohrung) und einen markierten Höhenbezug definiert ist.
- Phasenzentrums-Offset
 - Differenz zwischen mechanischem und elektromagnetischem Phasenzentrum (L1, L2, GPS, GLONASS unterschiedlich)
- Phasenzentrumsvariationen (PCV)
 - durch nicht punktförmiges Antennenverhalten
 - hervorgerufene Phasenfehler in Abhängigkeit von der Einfallssichtung des Satellitensignals

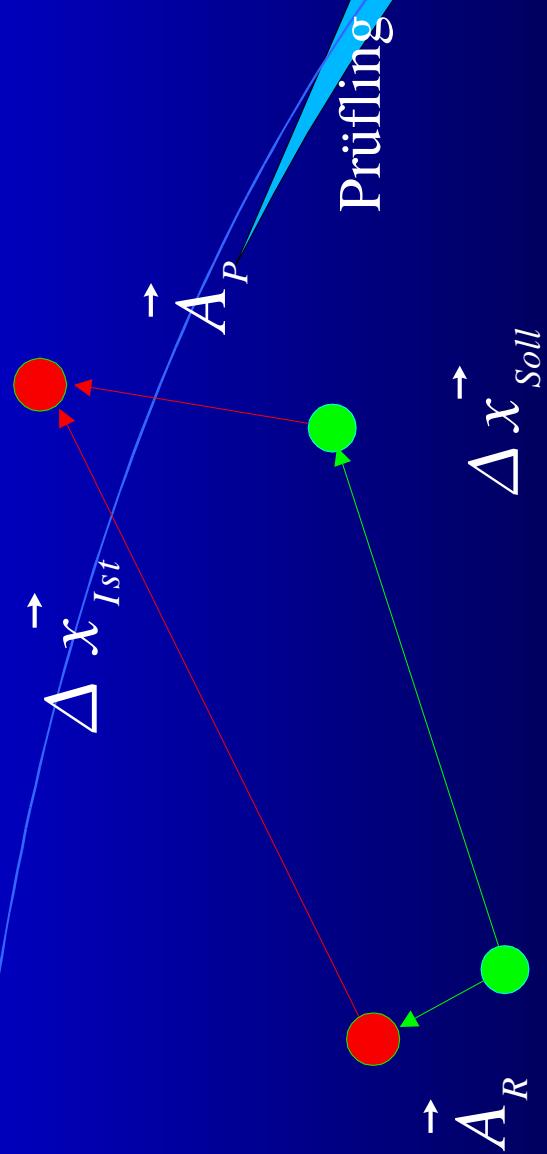
Antennenphasenzentren



Antennen-Kalibrierungsverfahren

- Offset- und PCV-Bestimmung
 - relativ
 - auf Eichstrecken
 - durch Antennentausch (Antenna-Swap)
 - absolut
 - in Eichkammern (Anechoing Chamber)
 - durch Antennenrotation

Offsetbestimmung auf Eichbasis

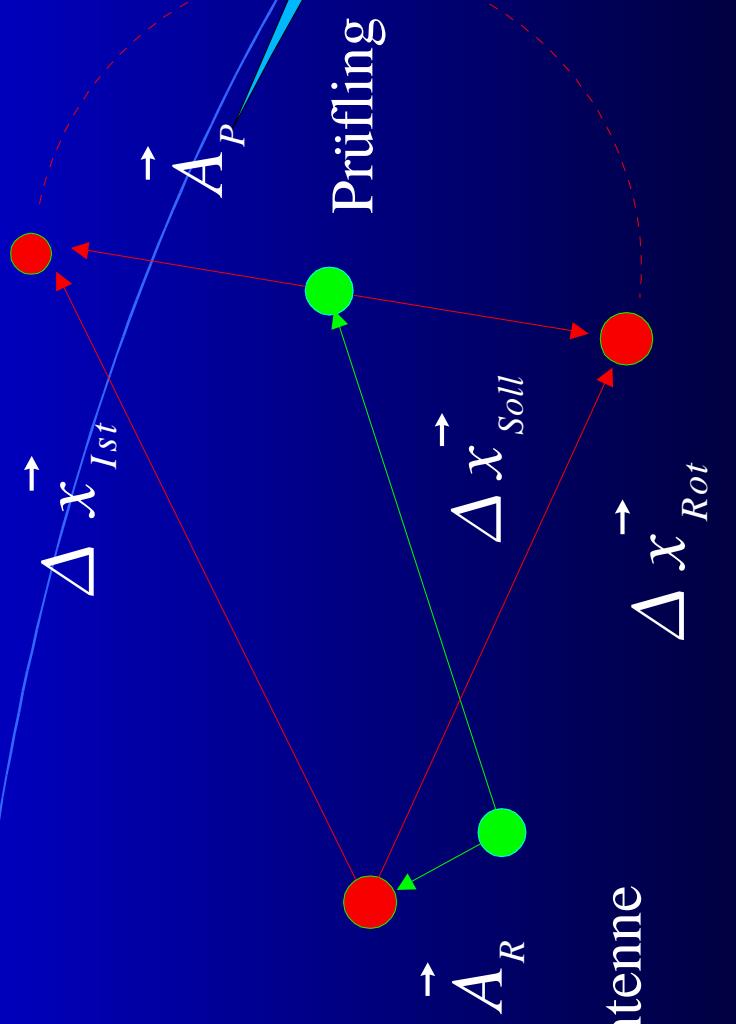


Referenzantenne

Relativer 3D-Offset:

$$\vec{A}_P - \vec{A}_R = \vec{\Delta x}_{Ist} - \vec{\Delta x}_{Soll}$$

Offsetbestimmung durch Antennenrotation



Referenzantenne

Prüfling

Δx_{Soll}

Δx_{Soll}

\vec{A}_R

Δx_{Rot}

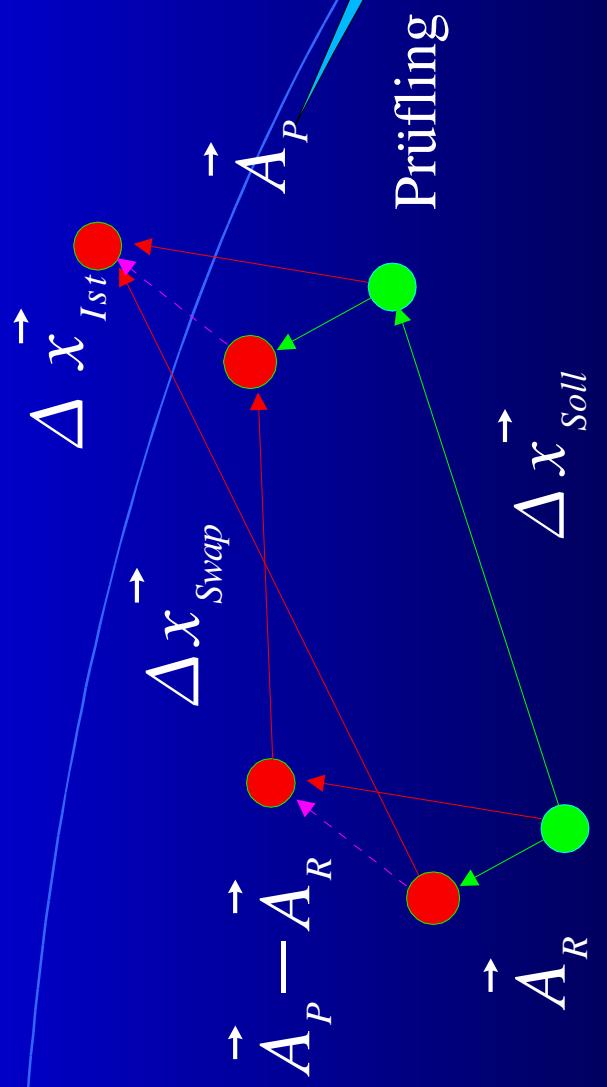
Δx_{Rot}

Δx_{Rot}

Absoluter (horizontaler) 2D-Offset:

$$2 * \vec{A}_P = \vec{\Delta x}_{Ist} - \vec{\Delta x}_{Rot}$$

Offsetbestimmung durch Antennentausch



Referenzantenne

Relativer 3D Offset:

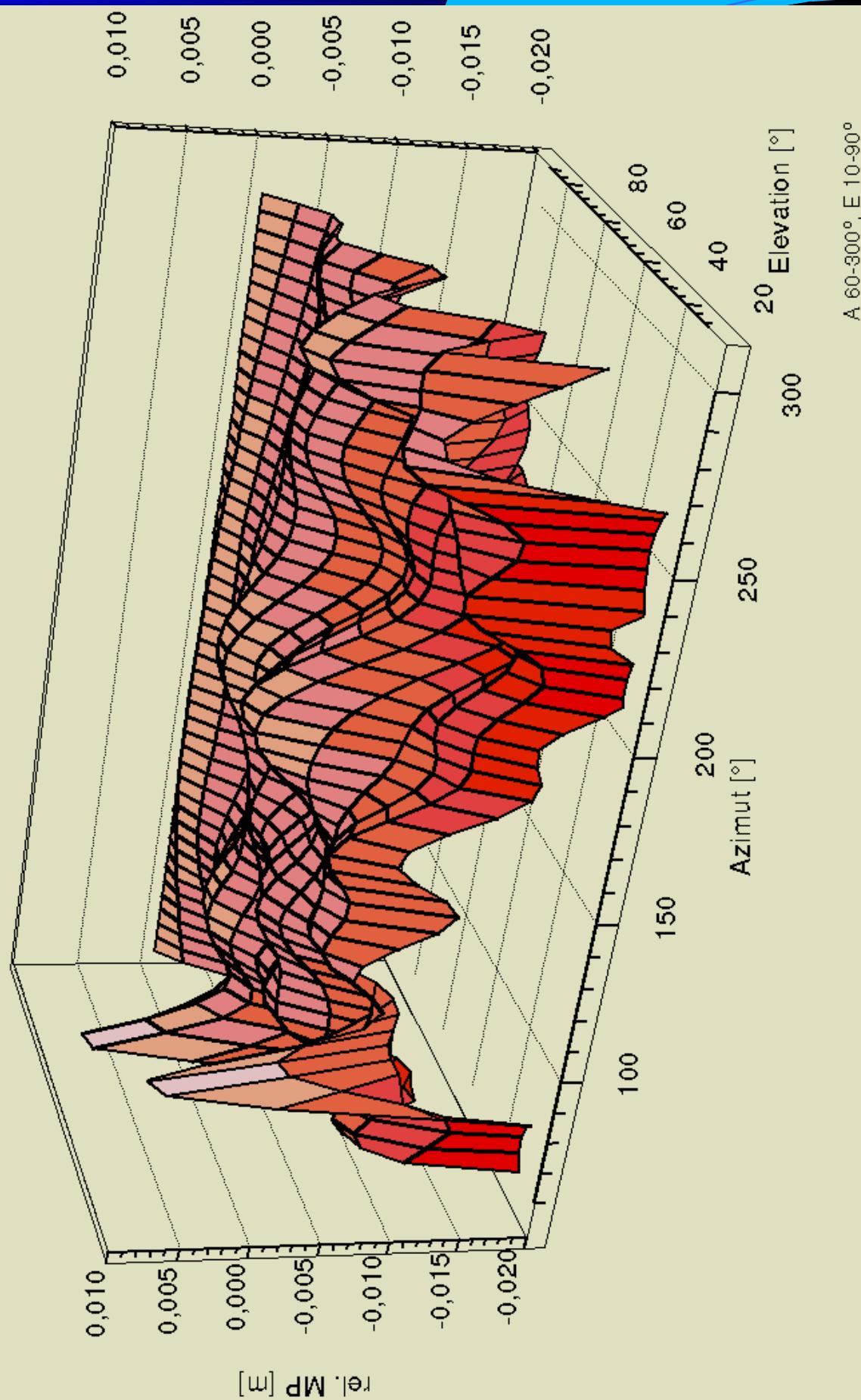
$$2 * (\vec{A}_P - \vec{A}_R) = \vec{A}_{Ist} - \vec{A}_{Soll}$$

Probleme der Offsetbestimmung

- 3D-Offsets nur relativ
 →bekannte Referenzantenne erforderlich
- Mehrwegeeffekte nicht eliminiert
 →Kalibrierung ortsabhängig
- Phasenzentrumsvariationen (PCV) nicht berücksichtigt
 →Kalibrierungsergebnis abhängig von Elevationsmaske

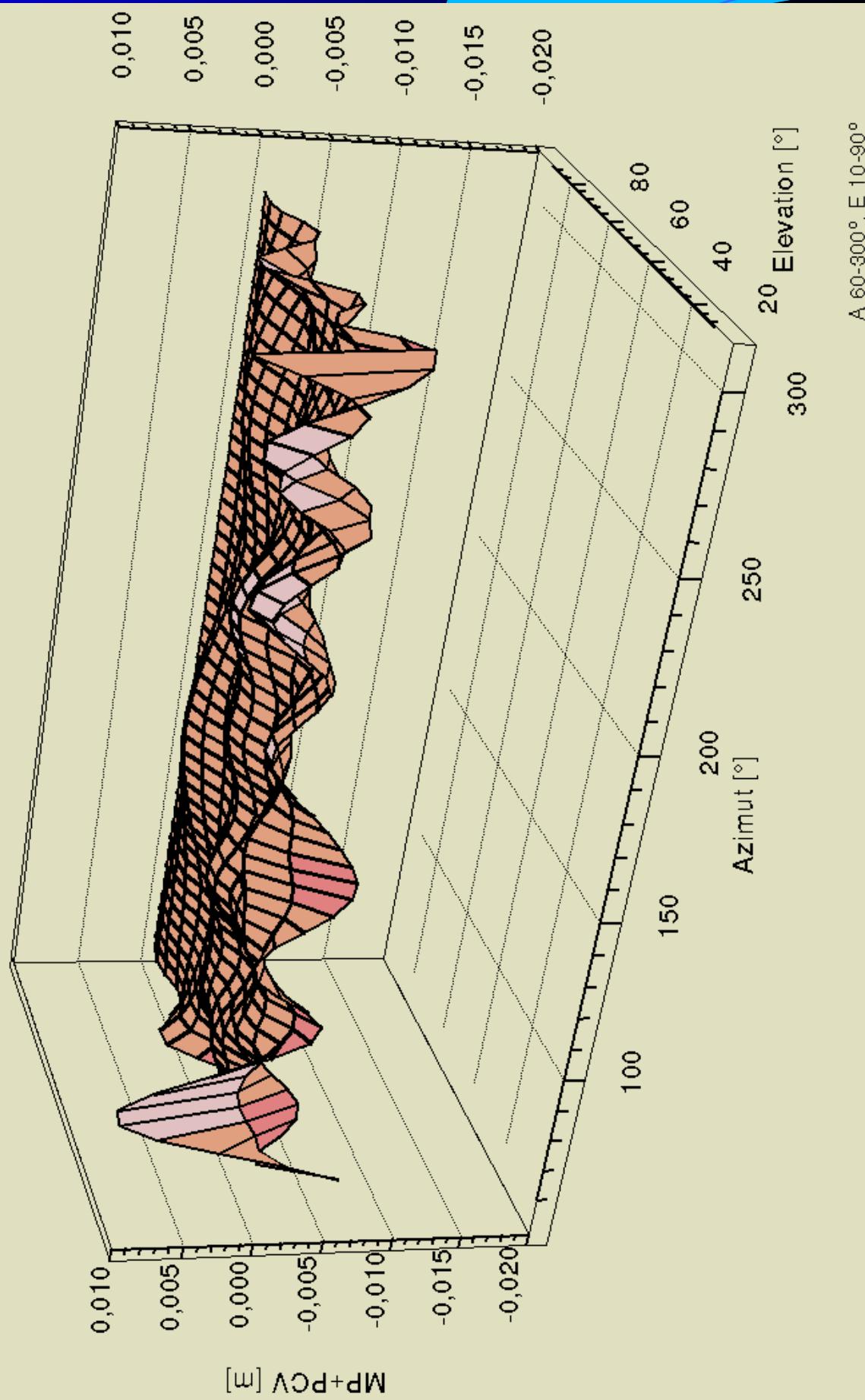
Einfluß Relativer Multipath

L1 Geo++-L1-Antenne



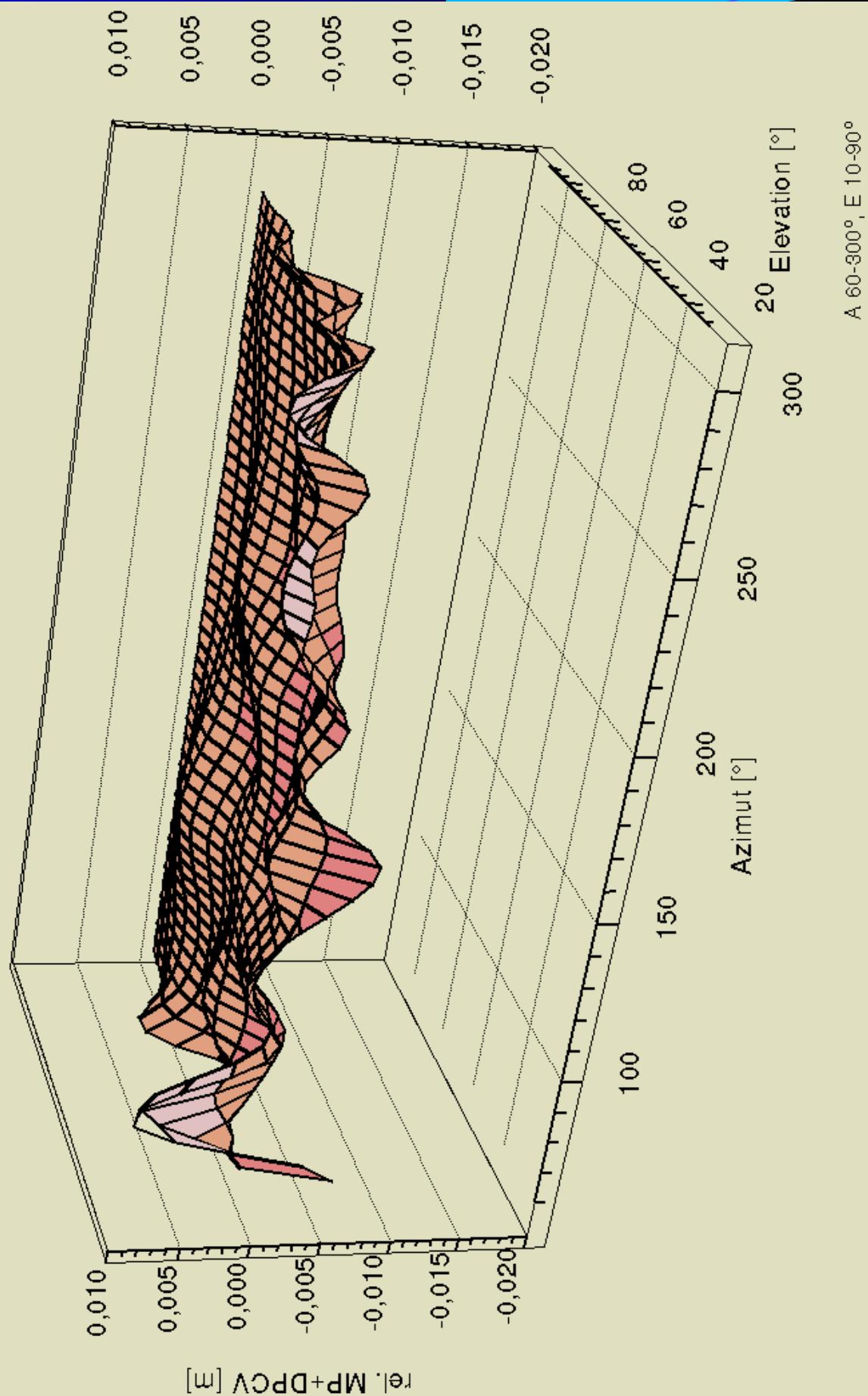
Einfluß Multipath & PCV

L1 Ashtech Choke Ring



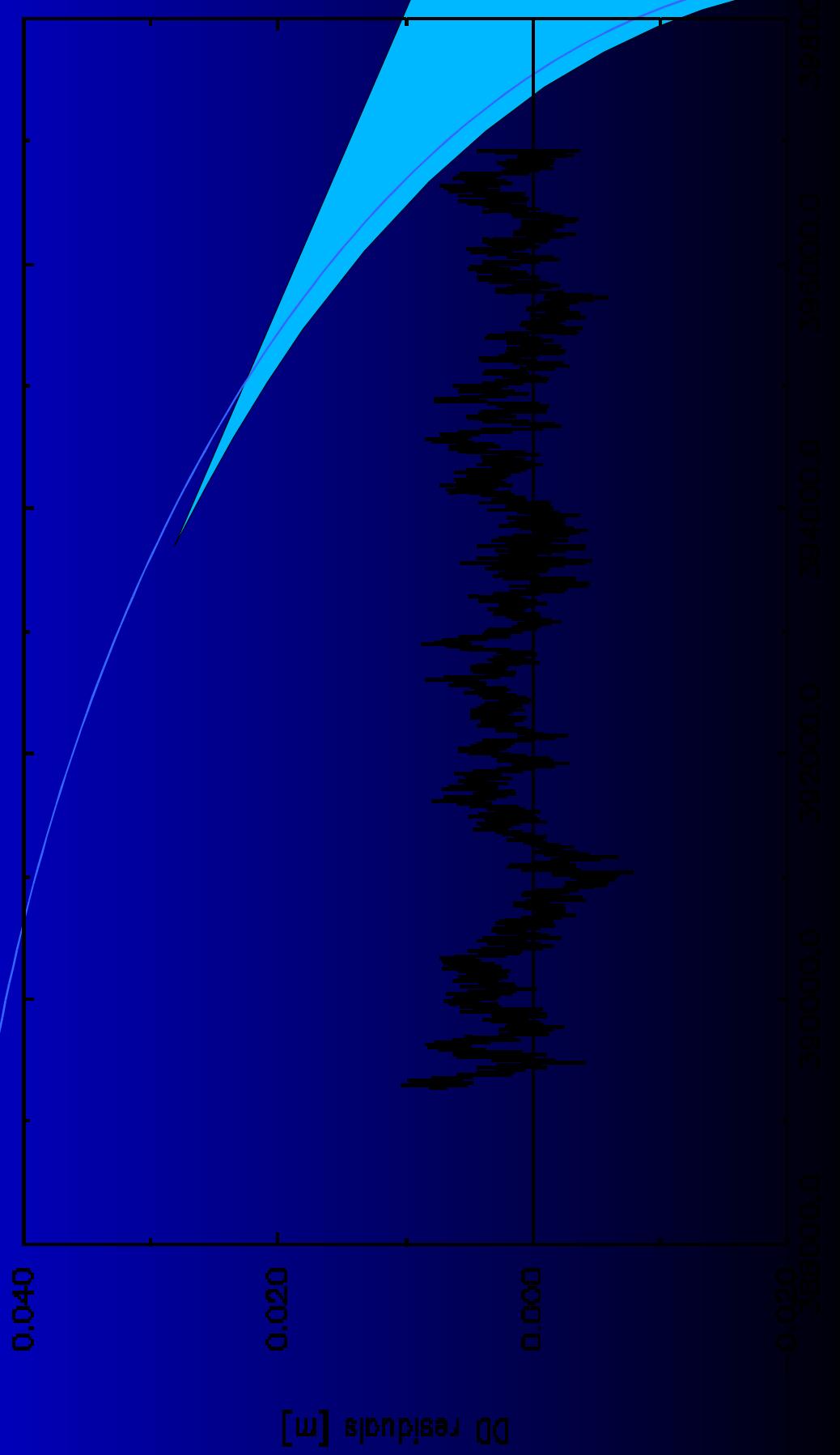
Einfluß Relativer Multipath & DPCV

L1 Trimble Choke Ring



Doppelte Differenzen mit MP: L1

039 DD L1 msd6/msd7 07/09 + MP

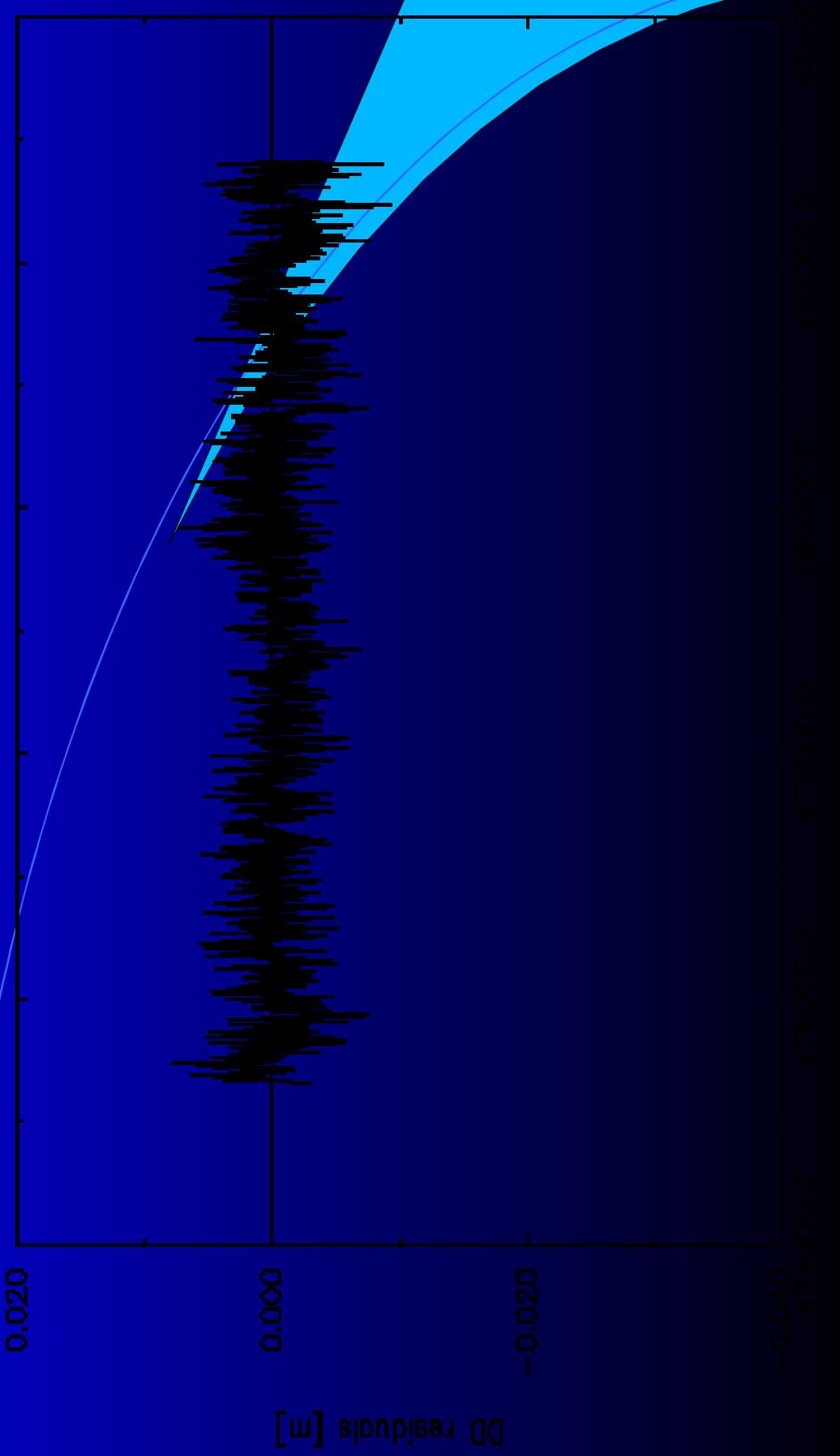


Multipath Elimination

- Satellitenkonstellation (GPS) wiederholt sich nach 24 h siderischer Zeit (24 h – 3 min 56 s)
- Multipath wiederholt sich in derselben Umgebung bei gleicher Satellitenposition (Elevation, Azimut)
 - ⇒ Differenzen der Phasenresiduen zwischen 2 Epochen mit 24 h siderischer Zeitdifferenz sind „Multipathfrei“

Tagessdiff. d. Doppelten Differenzen

D40 DD L1 msd6 / msd7 07/09 - MP

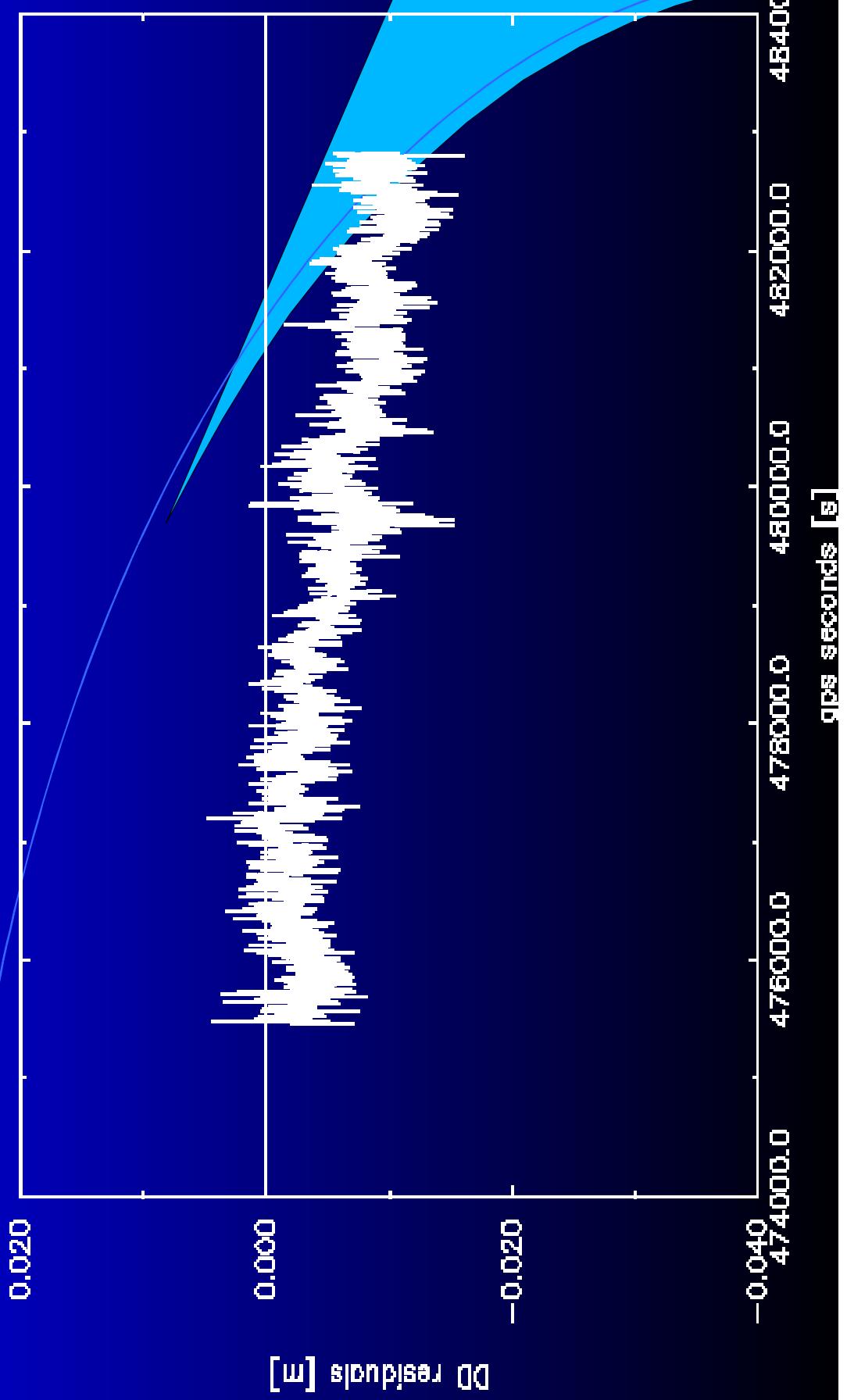


Siderische Differenz

- Siderische Doppelte Differenzen zweier GPS-Meßgrößen auf kurzer Basis sind frei von
 - Satellitenbahn- und -uhrfehlern
 - ionosphärischen und troposphärischen Einflüssen
 - Mehrwegeeffekten
 - Antennenphasenzentrumsvariationen
 - Standpunktkoordinaten
- Siderische Doppelte Differenzen zeigen »weißes Rauschen«
- Rotation einer Antenne an einem Tag liefert das PCV-Signal dieser Antenne

Tagesdiff. mit rotierter Antenne

040 DD L1 rmssd6 / rmssd7 07/08 - MP + PCV



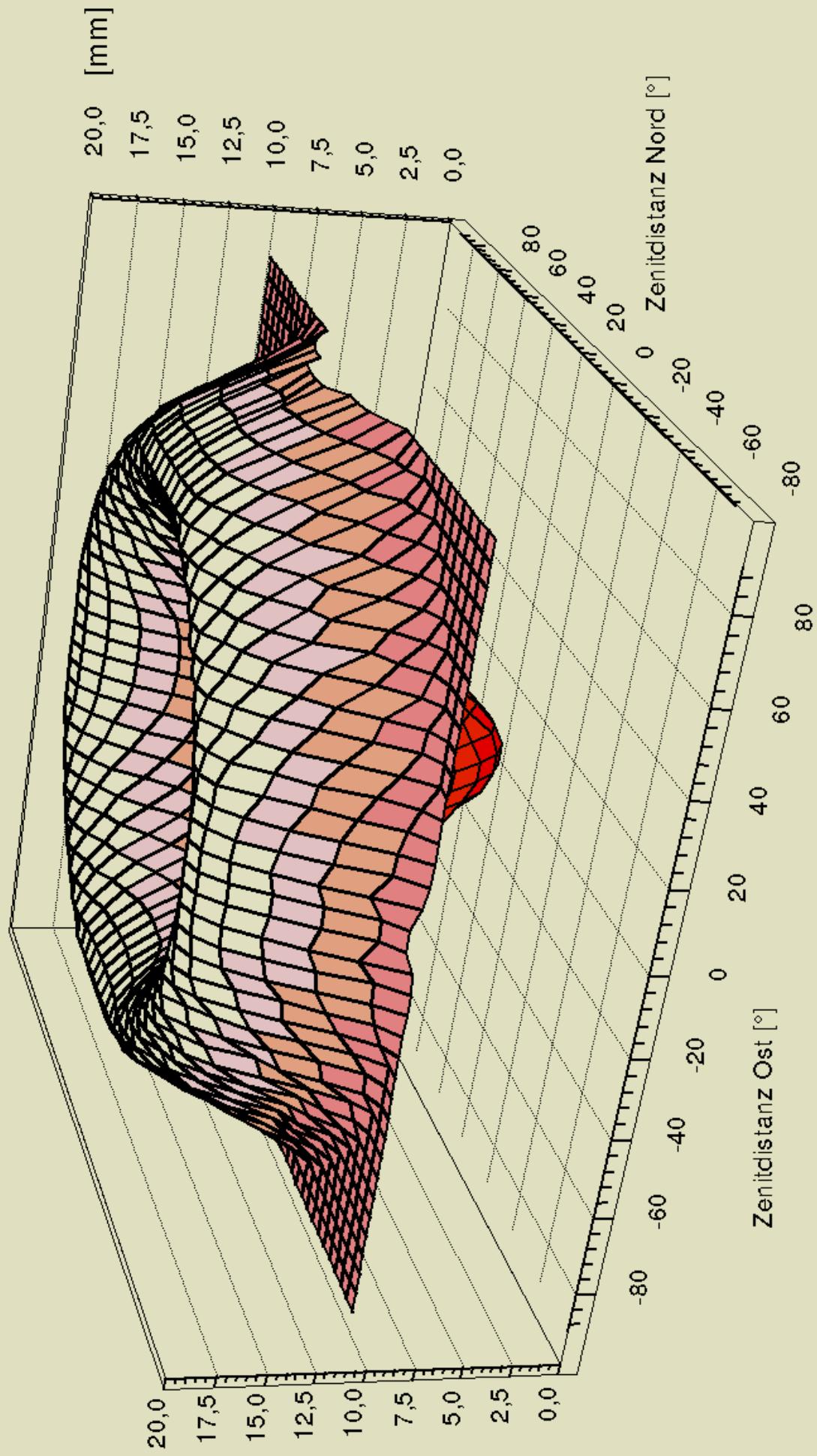
Absolute Feldkalibrierung von GPS-Antennen

- Beobachtung an aufeinanderfolgenden Tagen
- Rotation der zu untersuchenden Antenne nach bestimmtem Scenario an 1 Tag
- Bildung der siderischen Differenzen
- Schätzung der PCV
→ Geot++®-GEONAP: Kugelfunktionsmodell
- Problem: Rotation und Antennenkipfung um mechanisches Zentrum erforderlich
→ spezieller Unterbau



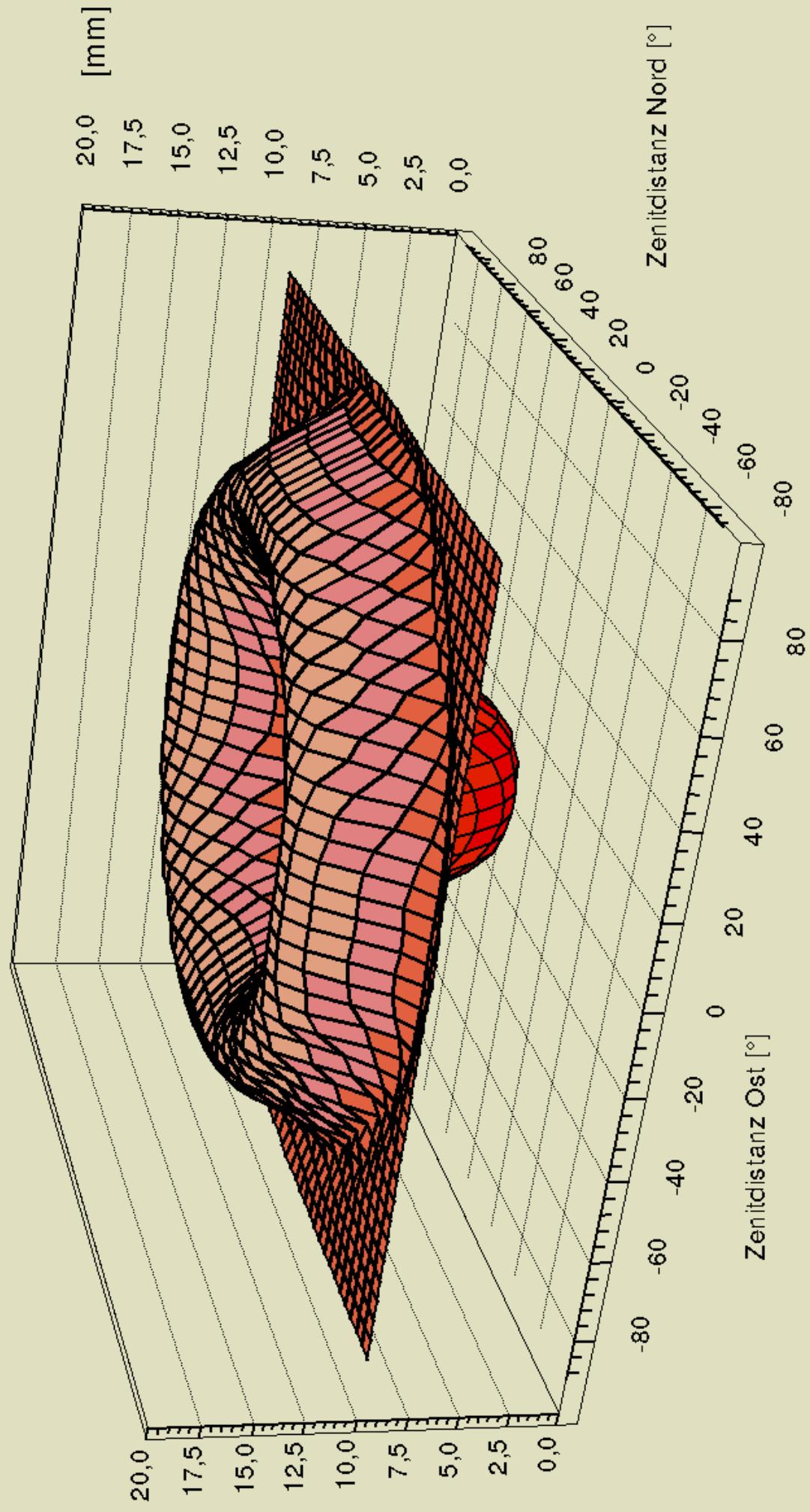
Trimble Choke Ring

L1, Modell 8,1, reduziert um Offsets



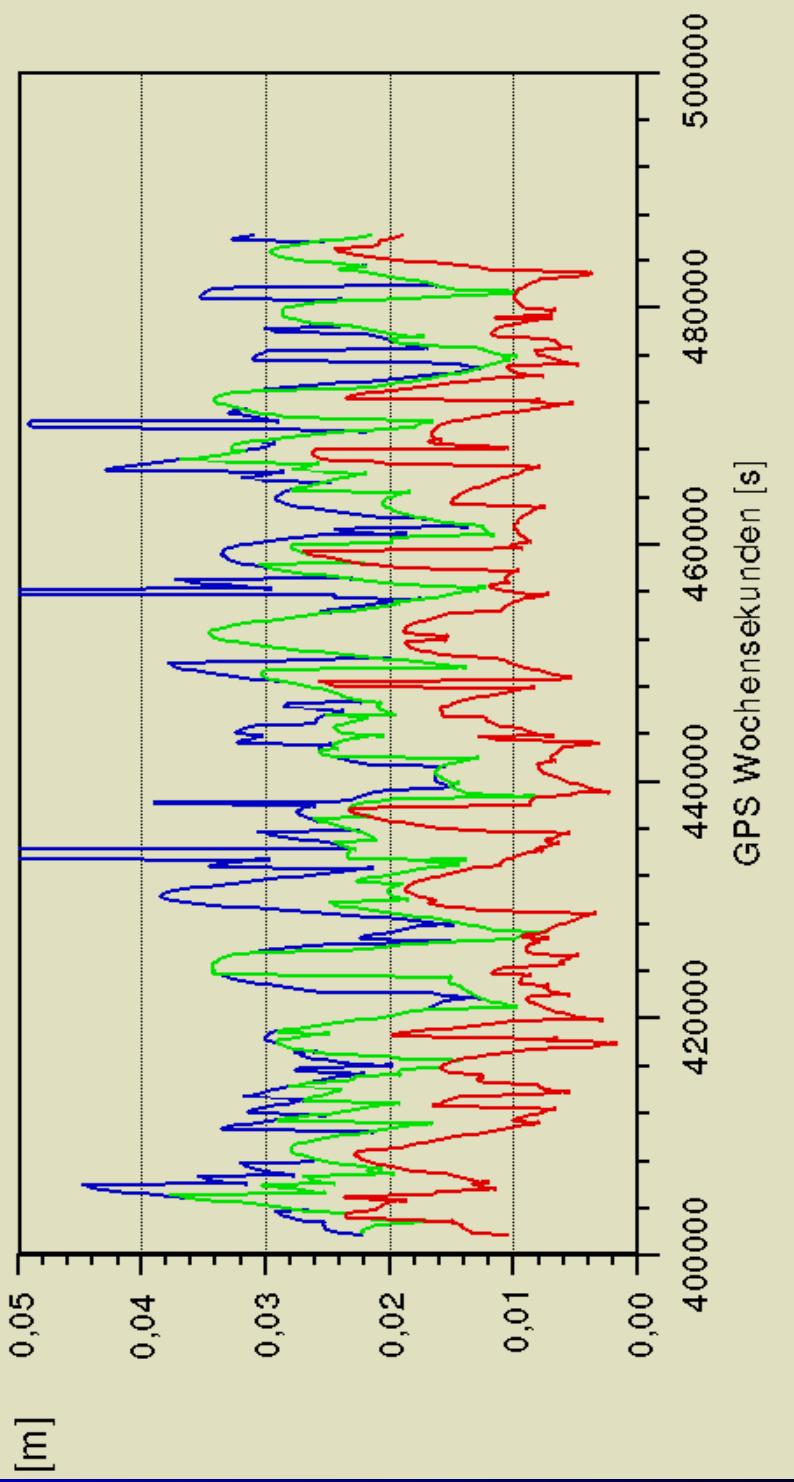
Ashtech Choke Ring

L1, Modell 8,1, reduziert um Offsets



Einfluß PCV-Korrekturen

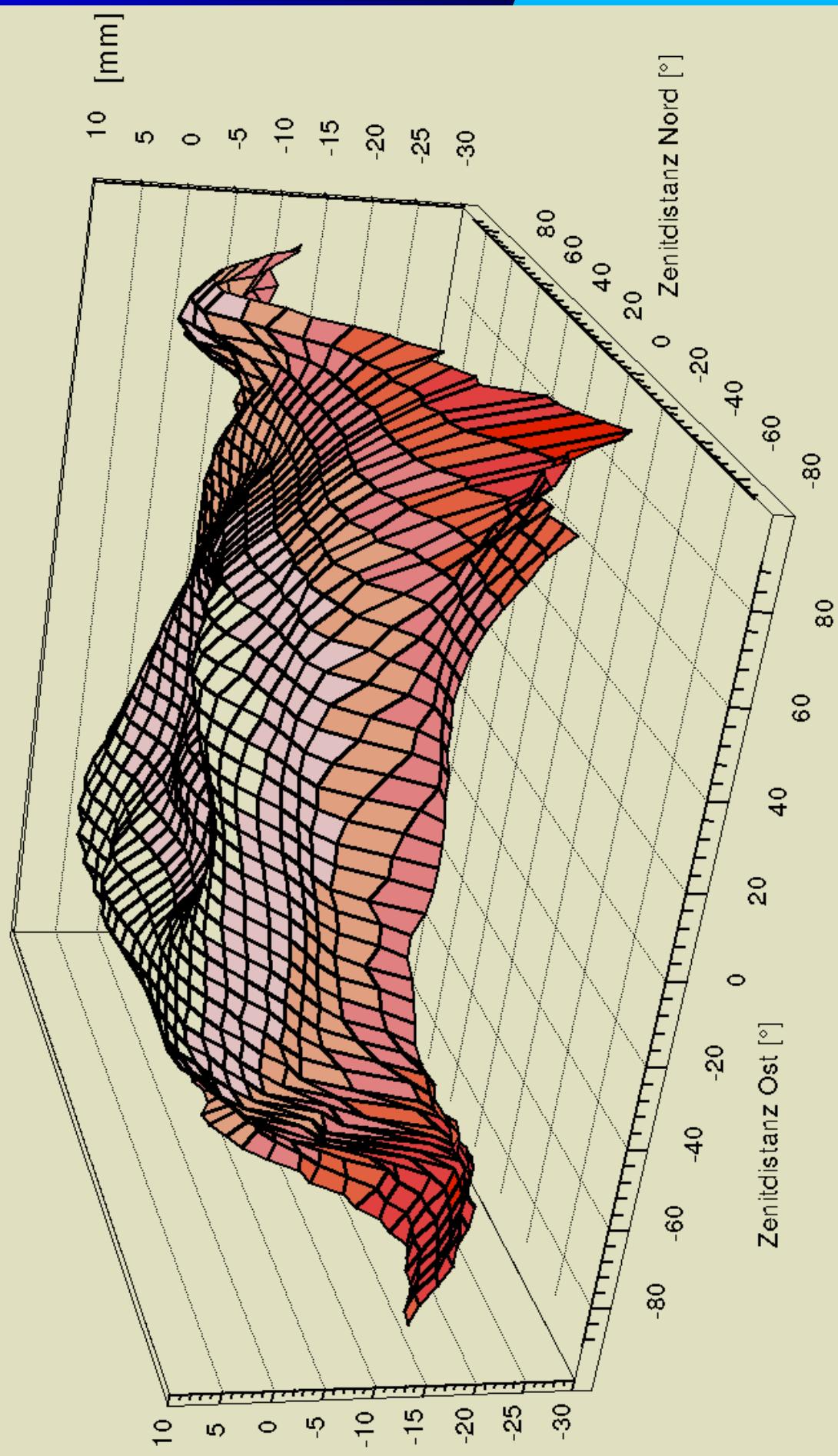
L1, 3D-Position



Trimble Choke Ring

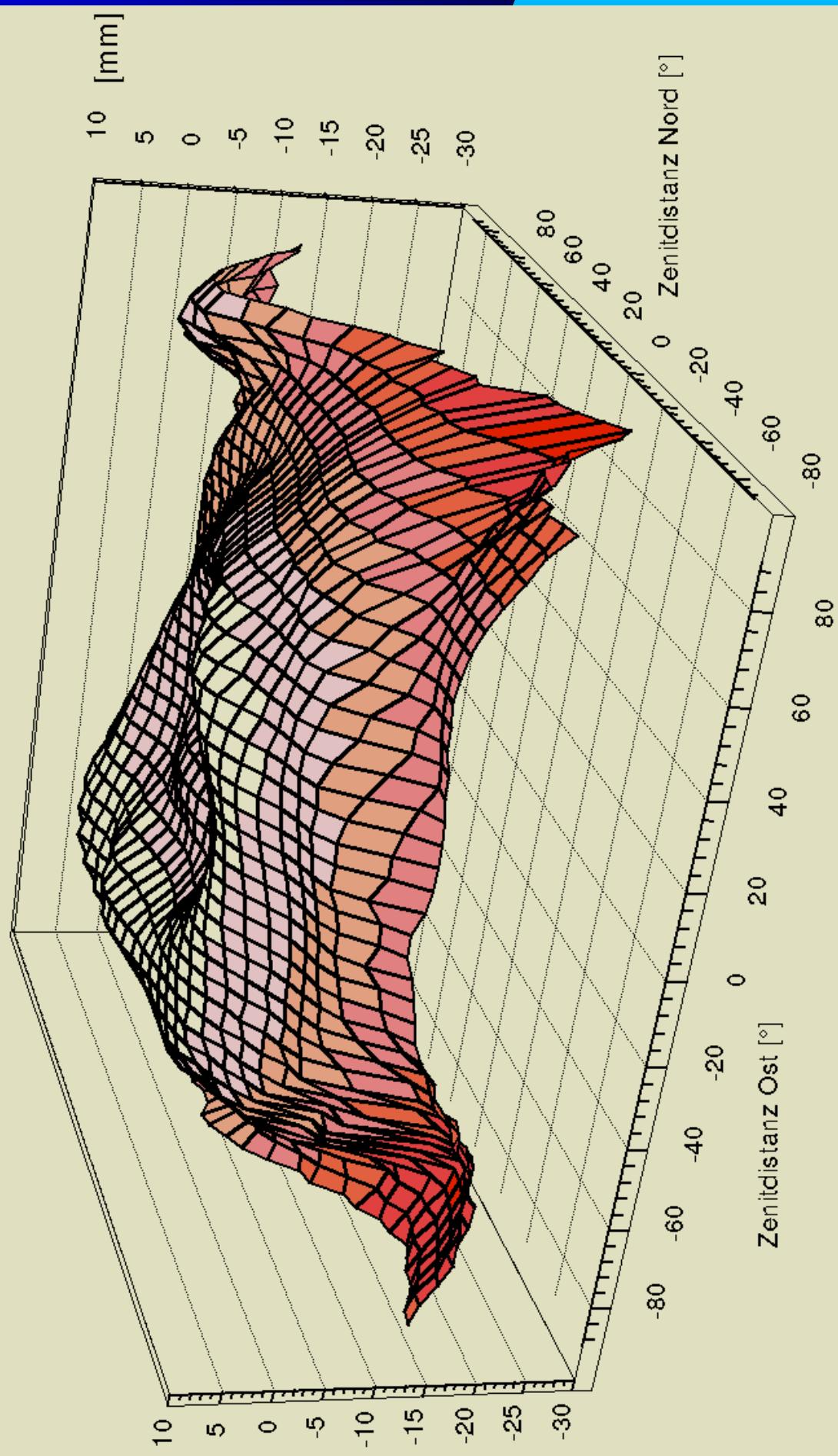
Ashtech Geodetic II

L1, Modell 10,5



Ashtech Geodetic II

L1, Modell 10,5



Zusammenfassung

- Entfernung abhängige Fehleranteile lassen sich reduzieren durch
 - Entfernungsbegrenzung
 - Problem der zunehmenden Sonnenaktivität (11-Jahres-Zyklus) mit entsprechend starker und variiender Ionisierung der Ionosphäre
 - Begrenzung auf wenige km
 - Multistations- und Vernetzungslösungen (z.T. im **SAPoS** realisiert)

Zusammenfassung

- Ortsabhängige Mehrwegeausbreitungen und Antennenphasenzentren bilden einen bedeutenden Genauigkeitsbegrenzenden Faktor
 - absolute PCV erreichen cm-Beträge
 - Die Verwendung unterschiedlicher Antennentypen bewirkt RTK-Positionierfehler im Bereich mehrerer cm
- Antennen gleichen Typs weisen PCV-Differenzen in der Größenordnung mehrerer mm auf

Zusammenfassung

- Antennenkalibrierungsverfahren stehen operationell zur Verfügung
- Offsetkalibrierungen sind i.d.R. nicht ausreichend
- absolute Feldkalibrierungen unter Elimination von Multipath sind bei Verwendung geeigneter Unterbauten sowie Auswertesoftware (siderische Differenzen) möglich

Zusammenfassung

- Antennenkalibrierungen sind verstrtkt notwendig (Dienste wie SAPOS)
- die Mglichkeit der Multipathkalibrierung von Referenzstationen wird z.Zt. verstrtkt analysiert
→ Problem der vernderten Reflexionseigenschaften durch Feuchtigkeitsnderungen
- GNSS-RTK-Verfahren sind auf dem Weg von Zentimetern zu Millimetern !