



Workshop Höhenmessung mit GNSS-Technologien und Verfahrenslösungen

Einflüsse auf die GNSS Höhenbestimmung - Grenzen und Chancen -

Martin Schmitz, Gerhard Wübbena

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



- Motivation, Status Genauigkeit
- Einflüsse auf GNSS Höhenbestimmung
- wesentlichen Einflüsse
 - Phasenzentrumsvariationen Empfangsantenne
 - Mehrwege/Multipath
 - Troposphäre
- Praktische Beispiele GNSS Höhenbestimmung



- flächendeckende GNSS Dienste stehen zur Verfügung
- Herausforderungen
 - optimale Ausschöpfung des GNSS Potentials
 - passpunktfreie Bestimmung von Gebrauchshöhen (wachsende Ausdünnung der amtlichen Festpunktfelder)
 - Integration der Bereiche Lage und Höhe
 - Steigerung der wirtschaftlichen Effizienz und Erfüllung moderner Nutzeranforderungen



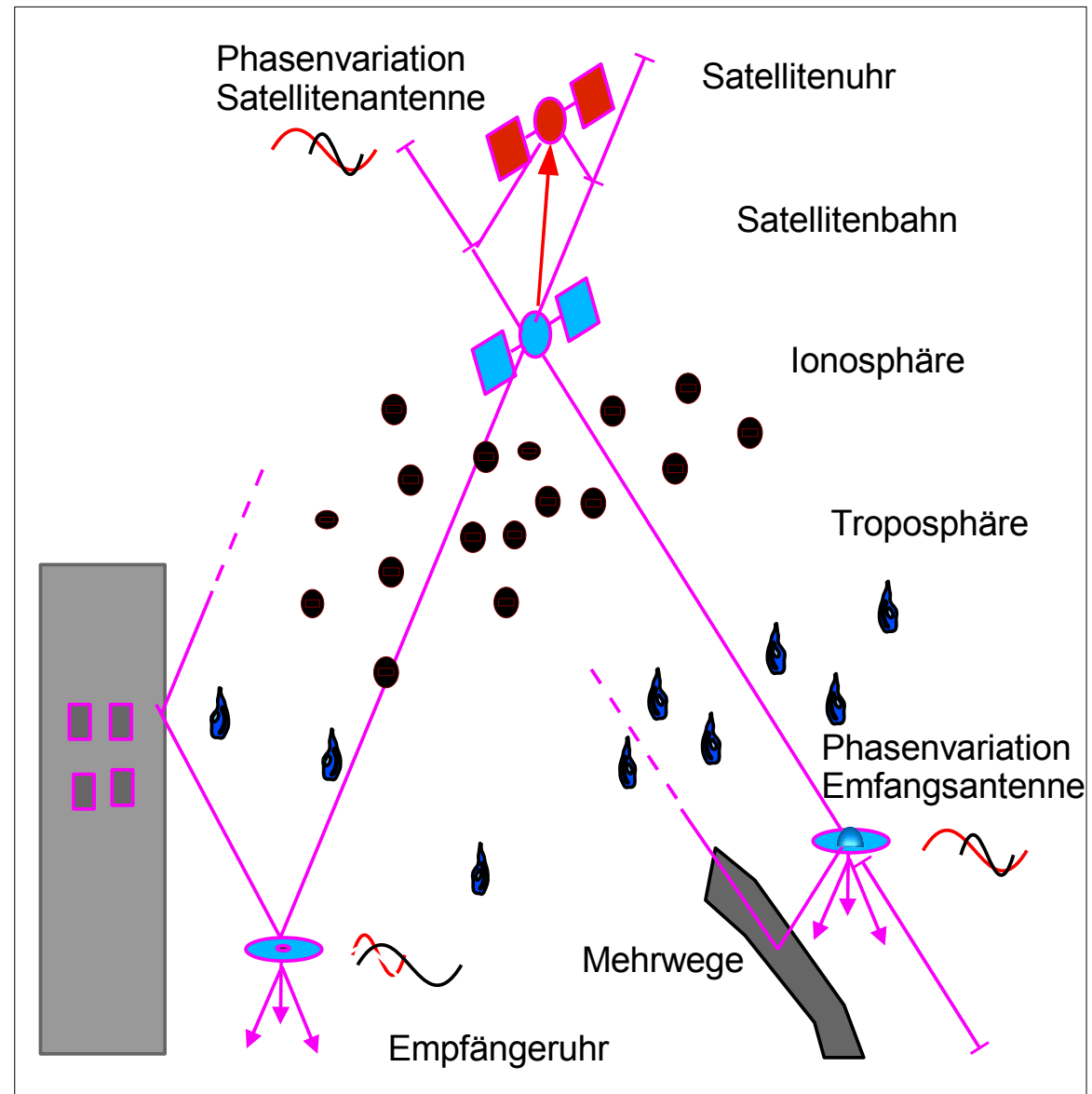
- Status
- allgemein erzielbare Genauigkeit/Standardabweichung
 - Echtzeit (Referenzstationsnetz) s_h 15 mm
(< 50 km)
 - Post-Prozessing (regionales Netz) $s_h < 5$ mm
(< 100 km)

Grenzen oder weitere Chancen?

Einflüsse auf GNSS Höhenbestimmung



- stationsabhängige Fehler
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Empfangsantenne
 - Mehrwege/Multipath
 - Nahfeld
 - Fernfeld
 - Punktstabilität
- entfernungsabhängige Fehler
 - Ionosphäre
 - Troposphäre
 - Satellitenbahn
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Satellitenantenne



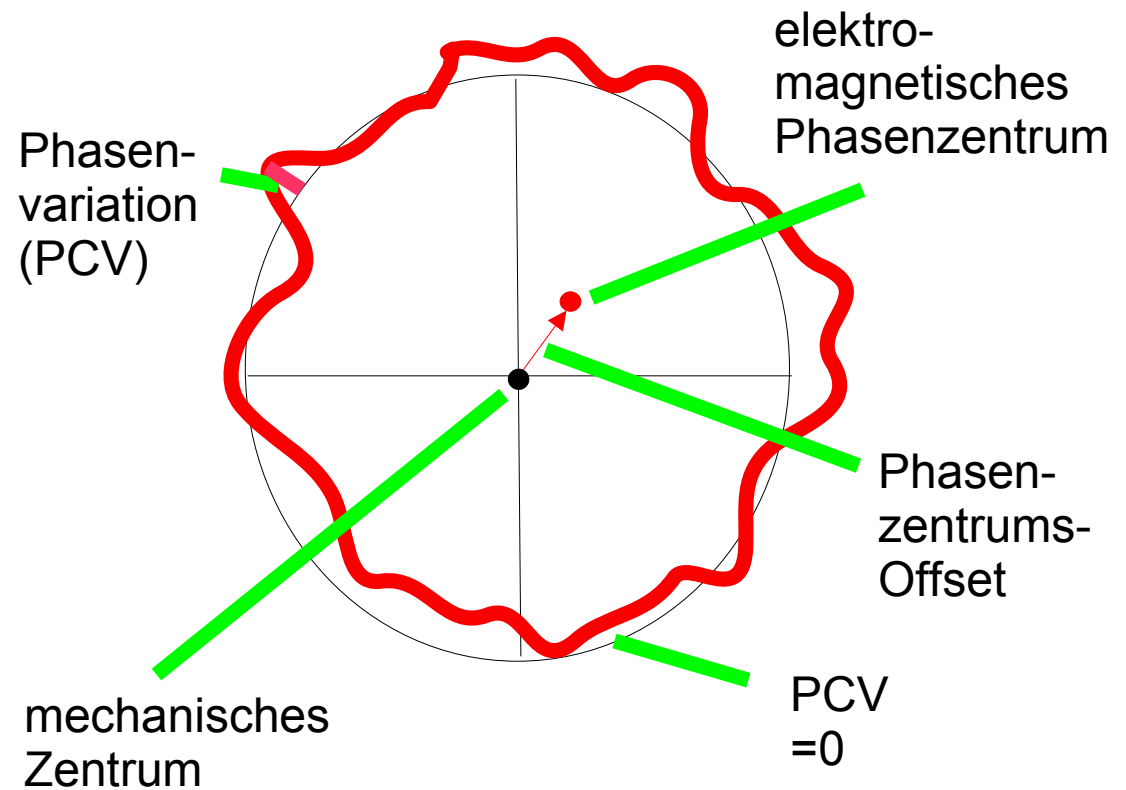
Wesentliche Einflüsse auf GNSS Höhenbestimmung



relative Größenordnung

- stationsabhängige Fehler
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Empfangsantenne mm bis cm
 - Mehrwege/Multipath
 - Nahfeld mm bis cm
 - Fernfeld mm bis cm
 - Stabilität ?
- entfernungsabhängige Fehler
 - Ionosphäre 0 bis 50 ppm
 - Troposphäre 0 bis 3ppm
 - Satellitenbahn 0.1 bis 2ppm
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Satellitenantenne 15 ppb

- stationsabhängige Fehler
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Empfangsantenne
 - Mehrwege/Multipath
 - Nahfeld
 - Fernfeld
 - Stabilität
- entfernungsabhängige Fehler
 - Ionosphäre
 - Troposphäre
 - Satellitenbahn
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Satellitenantenne

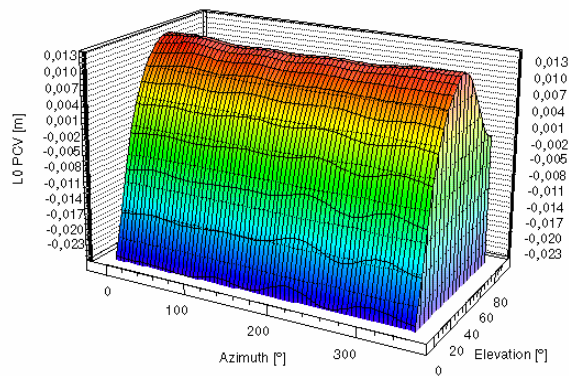


Antennen-Phasenzentrumsvariationen (PCV)

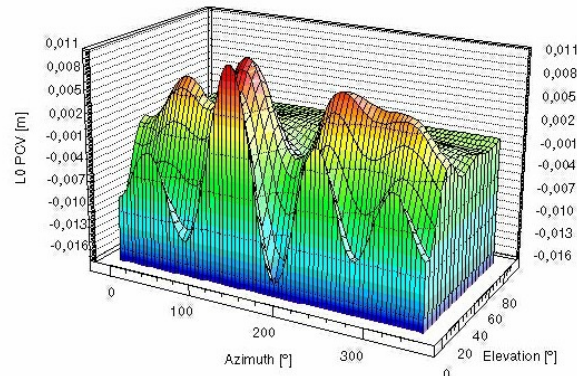


- Größenordnung PCV
- „zufällige“ Beispiele

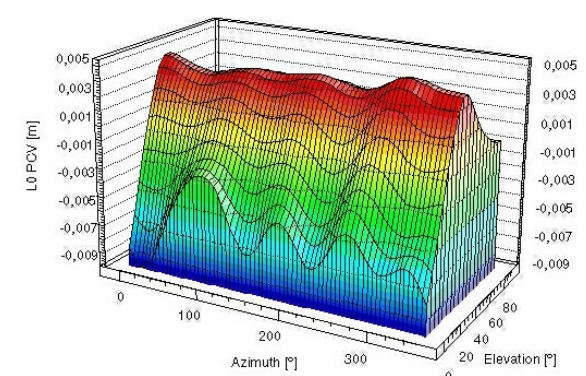
LEIAT504 LEIS
L0 PCV -23 bis 13mm



TPSPG_A1 NONE
L0 PCV -16 bis +11mm



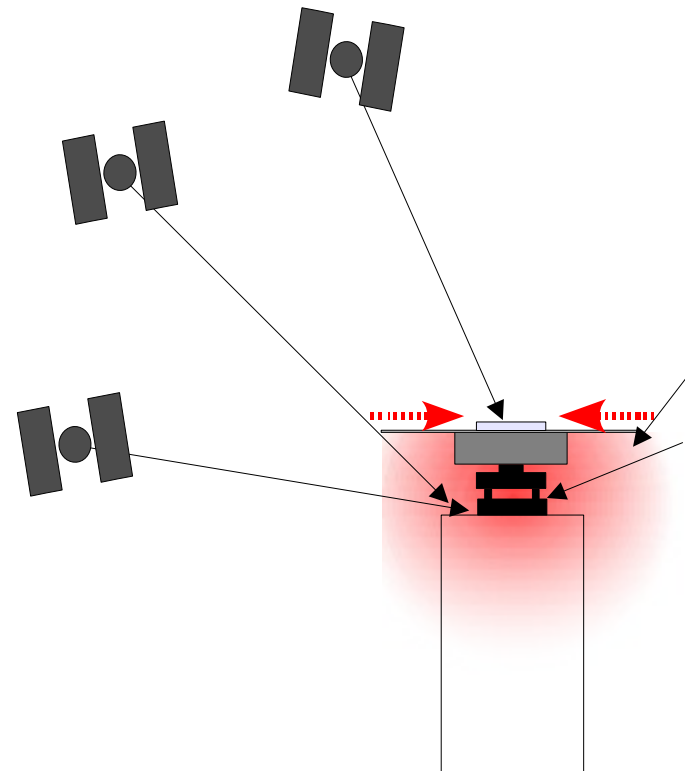
TRM41249.00 NONE
L0 PCV -9 bis +5 mm



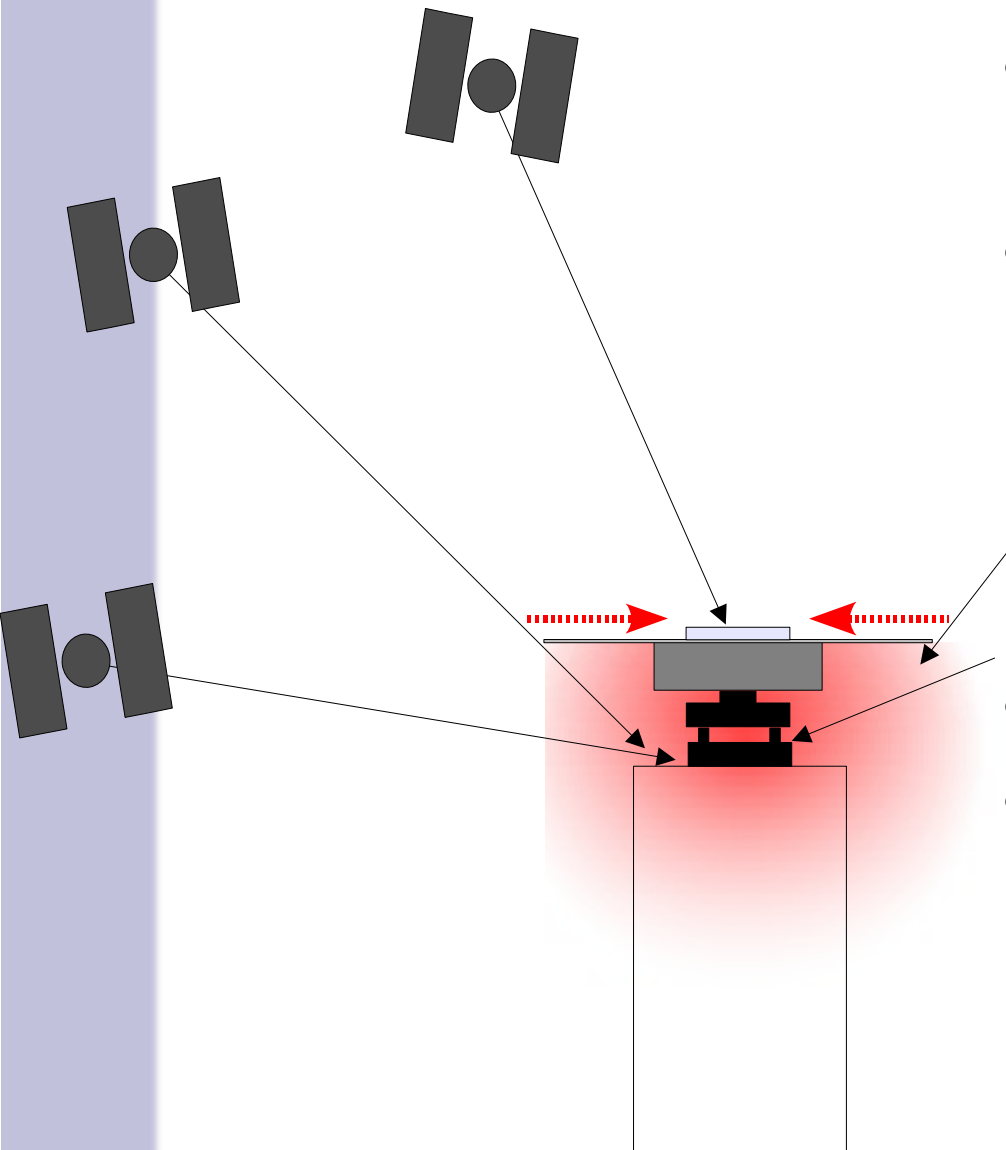


- Konsistenz Antennenkorrekturen notwendig
 - Verbesserung Mehrdeutigkeitslösung
 - Steigerung Genauigkeit
 - Verbesserung Höhenkomponente
- relative und absolute Korrekturen beachten
- Antennenhöhenmessung
 - Antennenreferenzpunkt (ARP)
 - Antennenhöhenmessung (mehrfach, anderer Maßstab)

- stationsabhängige Fehler
 - Phasenzentrumsvariation (PCV) Empfangsantenne
 - Mehrwege/Multipath
 - Nahfeld
 - Fernfeld
 - Stabilität
- entfernungsabhängige Fehler
 - Ionosphäre
 - Troposphäre
 - Satellitenbahn
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Satellitenantenne



Mehrwege: Wirkungsweise des Nahfeldes



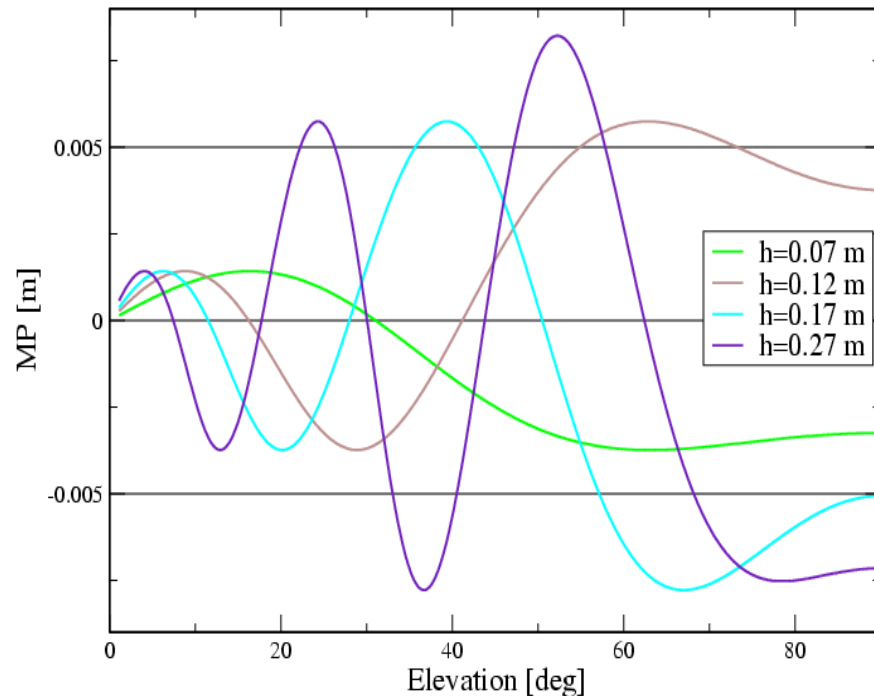
- Antennennahfeld
 - Pfeiler, Stativ, Dreifuß, Adaption, etc.
- Wirkung auf Signal
 - Diffraktion/Beugung
 - Reflexion
 - Imaging
 - elektro-magnetische Koppelung
- konstante Geometrie Antenne/Nahfeld
- Mehrwege im Nahfeld
 - systematischer Effekt
 - keine Mittelung über Zeit

Mehrwege: Theoretischer Einfluss



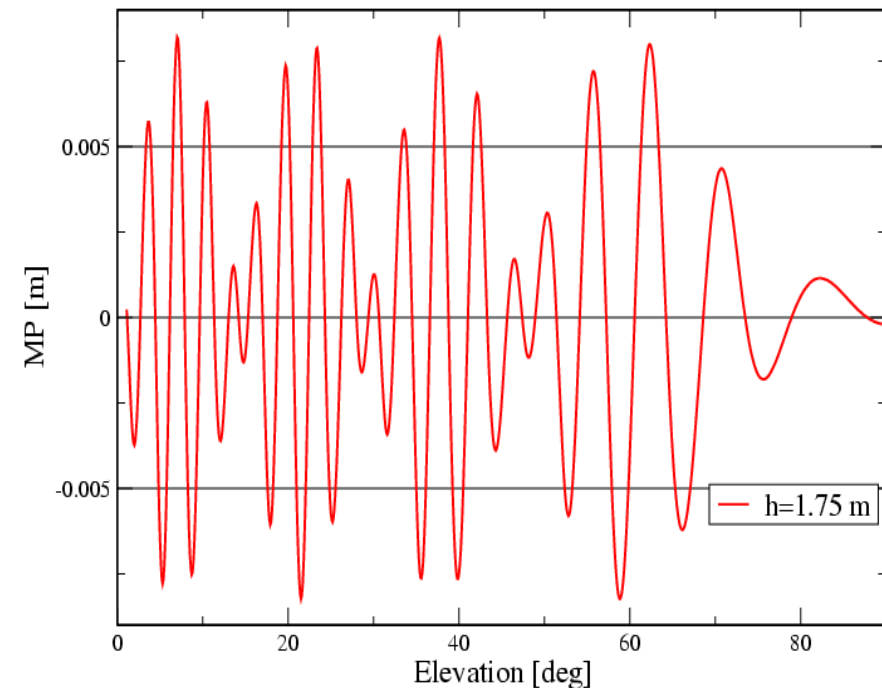
Modellannahme: horizontaler Reflektor

- Pfeileraufstellung



- niedrige Frequenzen
- Effekt in hohen Elevationen
- Einfluss systematisch und elevationsabhängig

- Stativaufstellung



- hohe Frequenzen
- „vergleichbar“ über Elevationen
- Einfluss „geringer“ und tlw. Mittelung über Zeit

Mehrwege: Trennung Nahfeld/Fernfeld



- Allgemeine Philosophie: Trennung der Fehlerkomponenten
- Strategie: Trennung Nahfeld- und Fernfeld-Multipath stationsabhängige Fehler ds
 - $dS = PCV + MP_{\text{Nahfeld}} + MP_{\text{Fernfeld}}$
- Vorteile:
 - unterschiedliche Behandlung der MP-Anteile
 - unterschiedlich beeinflusst durch Umgebungsbedingungen
 - Nahfeld-Multipath
 - absolut bestimmbar als Korrektur
 - systematischer Effekt
 - Fernfeld-Multipath
 - Gewichtungsansätze (Signal-to-Noise)
 - Mittelung über Zeit

Kalibrierung von Nahfeld-Multipath



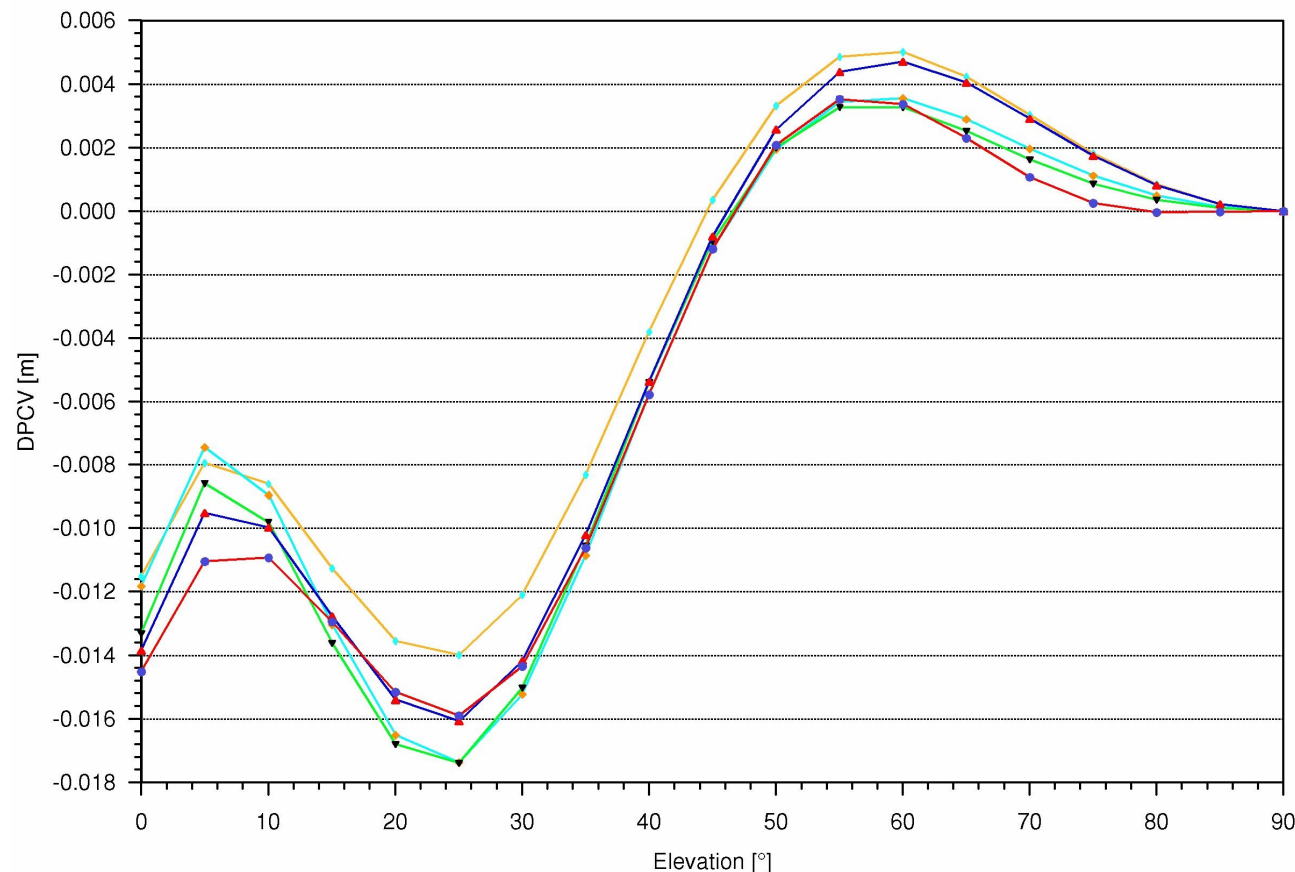
- präzise Roboterkalibrierung
 - Standardabweichung 0.2 bis 0.4 mm
 - Wiederholbarkeit 1 mm (außer Horizontnähe)
- repräsentative Nahfeldumgebung (Rekonstruktion)
- konstante geometrische Beziehung trotz Bewegung der Antenne
- Kalibrierung liefert PCV + MP_{Nahfeld}
- trennbar durch Differenz Antenne mit Nahfeldumgebung und regulärer Kalibrierung
oder
PCV Korrektur während Kalibrierung



Beispiel: Nahfeld-Kalibrierung



- TPSPG_A1 GNSS Antenne
- 10 cm Prism Spacer sowie spezielle Konstruktion mit zwei Grundplatten ca. $\varnothing$ 14 cm
- L0 PCV Differenzen zur regulären Kalibrierung
 - 10-30° Elevation
Maximum -18 mm
 - 40-70° Elevation
Maximum +5mm
- Wiederholbarkeit fünf Antennenkonstruktionen ca. 4 mm
- auch individuelle Anteile der Antennen enthalten



Beispiel: Nahfeld-Kalibrierung

- ASH700936D_M Chokering GPS Antenne

- Zeiss Dreifuß mit ca. $\varnothing$ 16 cm Stativkopfteller und Beinhalterungen

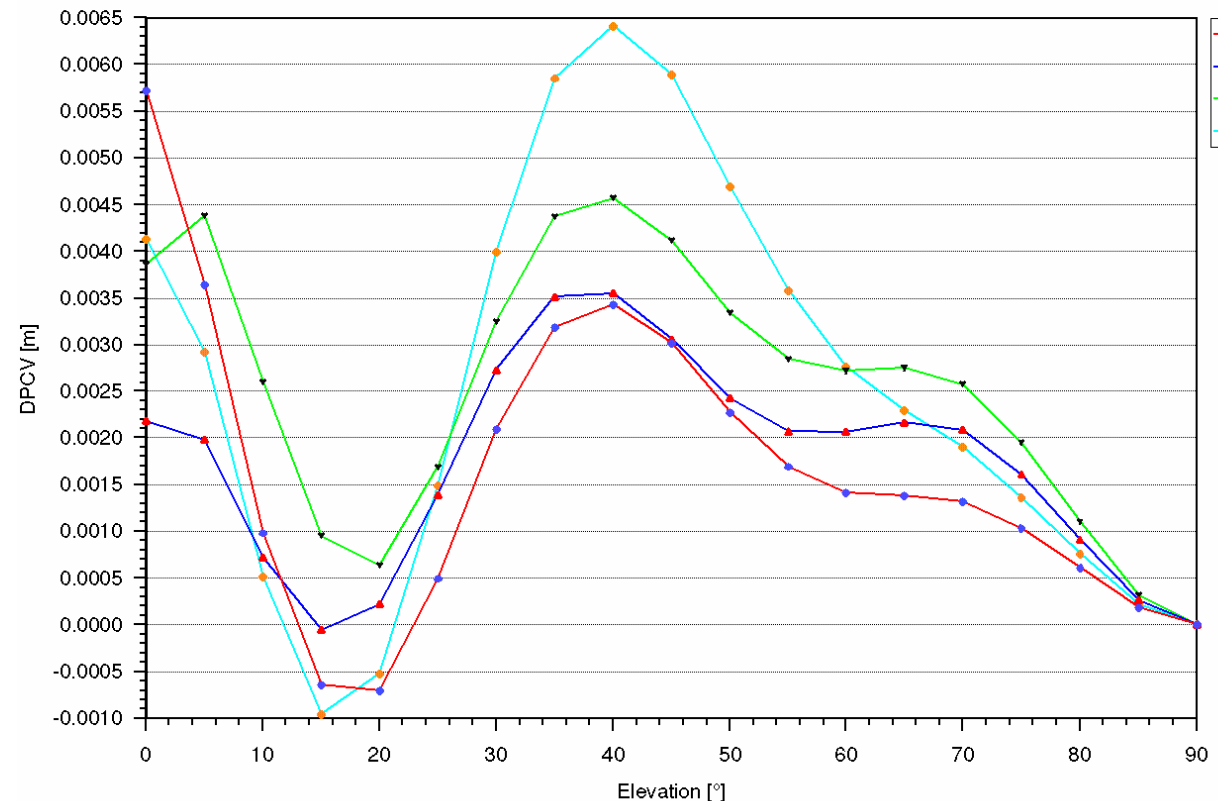
- 1 2 gleicher Setup
3 Stativbeine verändert
4 wie 3 Antenne mit Radome

- L0 PCV Differenzen zur regulären Kalibrierung

- 10-30° Elevation
Maximum -1 mm
- 40-70° Elevation
Maximum +6.5 mm



ASH700936+STDFNF, L0 PCV





- stationsabhängige Fehler
 - Phasenzentrumsvariationen (PCV) Empfangsantenne
 - Mehrwege
 - Nahfeld
 - Fernfeld
 - Stabilität
- entfernungsabhängige Fehler
 - Ionosphäre
 - Troposphäre
 - Satellitenbahn
 - Phasenzentrumsvariation (PCV) Satellitenantenne

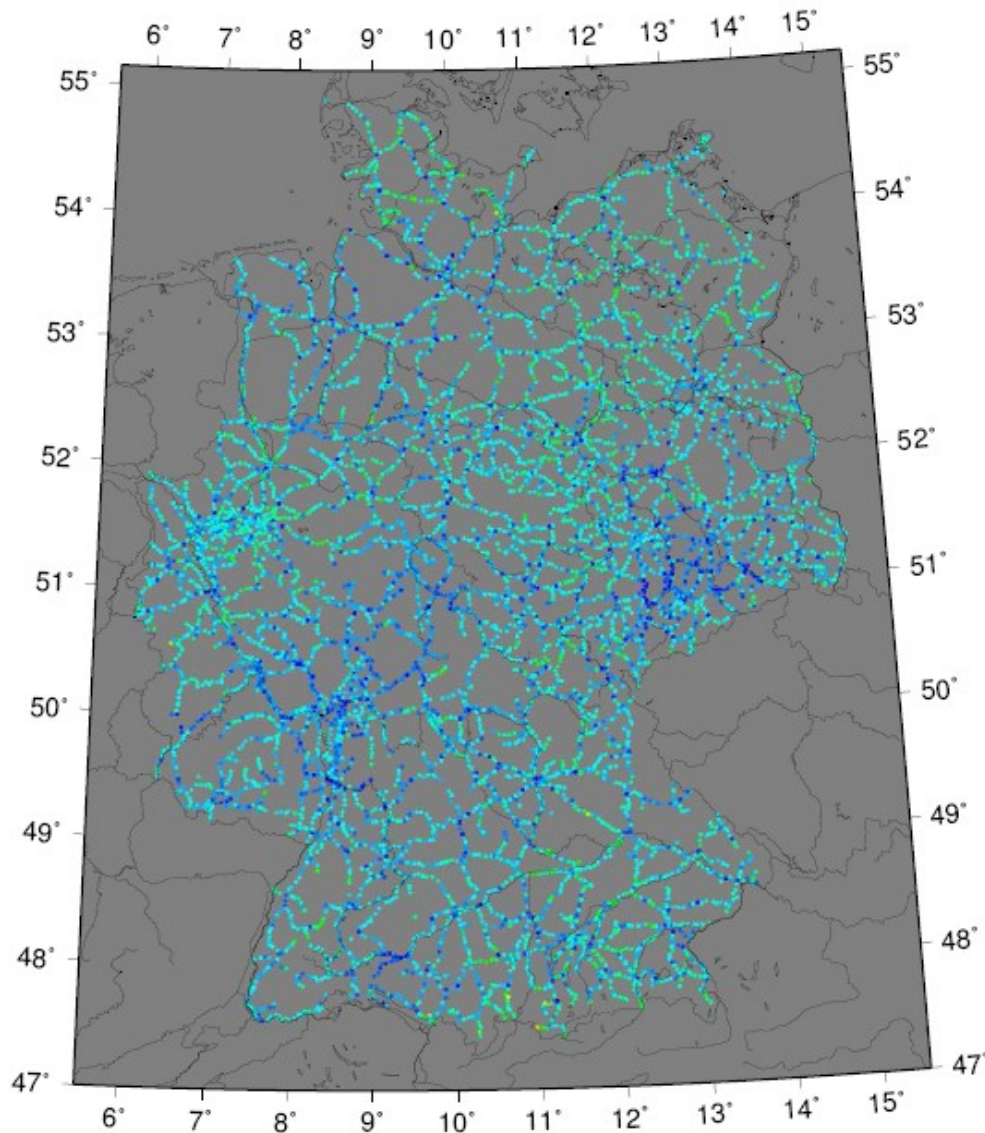


- Standardansätze
- aber auch verfeinerte Modellansätze
 - Troposphärenmodell (z.B. Hopfield/Black, Saastamoinen, Niell, ...)
 - Abbildungsfunktion im Troposphärenmodell
 - Schätzung der Abbildungsfunktion
 - troposphärischer Maßstabsfaktor
 - getrennt für Trocken- und Feuchtanteil der Troposphäre
 - zeitlich und räumlich korrelierte Troposphäre
 - horizontaler Gradient für Troposphäre
 - global oder stationsbezogen
 - elevations- und azimutabhängige Troposphärenmodelle
 - stochastische Modellierung

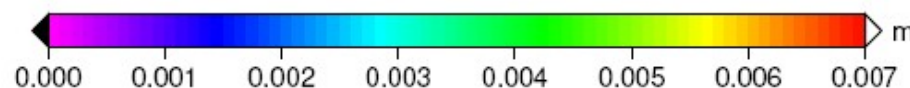


- erzielbare Genauigkeit Höhenbestimmung
- Einfluss Nahfeld-Multipath
- Forschung und Entwicklung

Beispiel: DB_REF Netz: GPS Höhenbestimmung



GMT 2004 Dec 22 13:11:59



StabwHoehe

Messungen 11/2001 bis 08/2004

~7500 neue Stationen

~21000 Beobachtung auf
Neupunkten

~8100 Sessionen

18200 Datensätze von
SAPOS-Stationen
und C-Netzpunkten

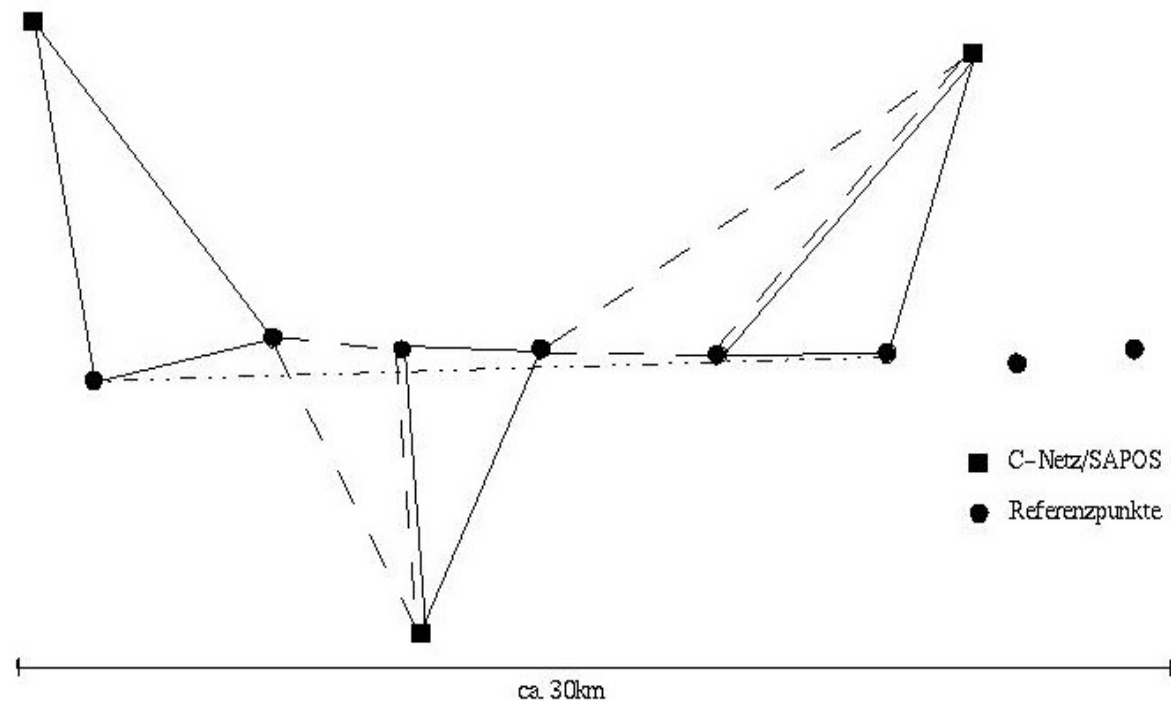
erzielte Genauigkeit

Standardabweichung der Höhe
im Mittel 3 mm (1-sigma)

Beispiel: DB_REF Netz: Messanordnung



- Messung aller direkten Nachbarschaften und übergreifenden Verbindungen ca. 20-30 km

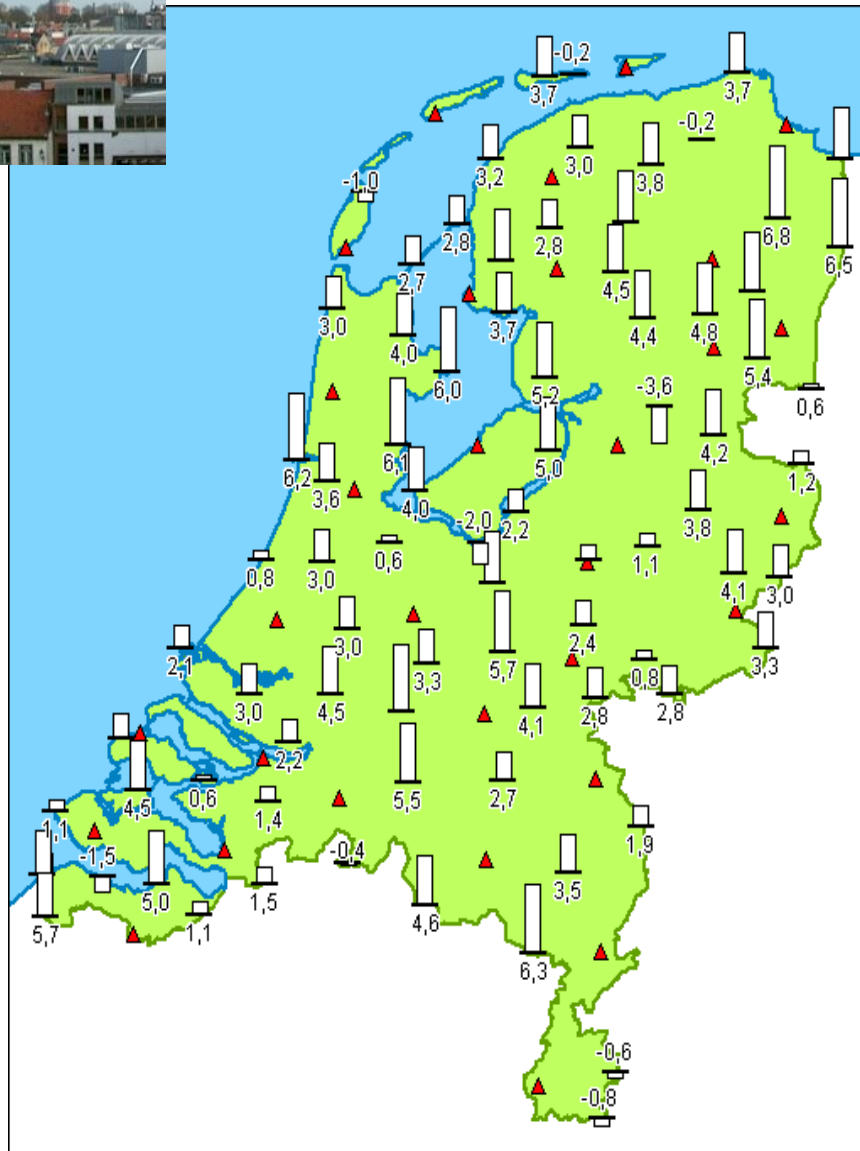




- minimaler Durchmesser
Antennengrundplatte 28 cm
- individuell, absolut, kalibrierte
Antennen
- mindestens zweimal 30 min
 - Datenrate 10 s,
Elevationsmaske 5 deg
 - mindestens 6 Satelliten
simultan über 30 min
 - Kontrolle der Beobachtungen
Cycle Slips <1% über 10 deg
- Antennenhöhenmessung vor/nach
Messung mit zwei Maßstäben
- minimale Anzahl/Entfernung zu
Referenzstationen
(1/< 25 km, 2/< 28 km, 3/< 32 km)
- Geo++ GEONAP/GnHPPS NXO
 - simultane L1&L2 Auswertung
mit Ionosphärenschtätzung
 - zeitlich und räumliche
Troposphärenschtätzung
 - präzise Ephemeriden
 - vollständige Varianz-
Kovarianzmatrix



Beispiel: Einfluss Nahfeld-Multipath



- Kadaster Niederlande
- NETPOS RTK Vernetzung (31 Stationen)
- 81 Kontrollpunkte des Niederländischen Netzes
- 10 RTK Messungen mit jeweils 10 Initialisierungen
- ohne Nahfeld-Korrektur
 - zeitlich und räumliche Höhenfehler
 - systematischer Höhenfehler im Mittel 31 mm (81 Punkte)
- mit Nahfeld-Korrektur
 - frei von systematischen Fehler im Mittel -2 mm (49 Punkte)

Beispiel: Projekt Steinhude



- laufendes Projekt GNSS Höhenbestimmung LGN, IfE, Geo++
- Profil von 5 Stationen entlang des Mittellandkanal (2005/2006)
- 48 Stunden GPS-Messungen
- Nahfeld-Kalibrierung der Antennen
- Präzisionsnivellement
- lokale Schwerefeldbestimmung durch TZK2-D-Messungen
- Nahfeld-Kalibrierung der Referenzstationen



Beispiel: Projekt Steinhude



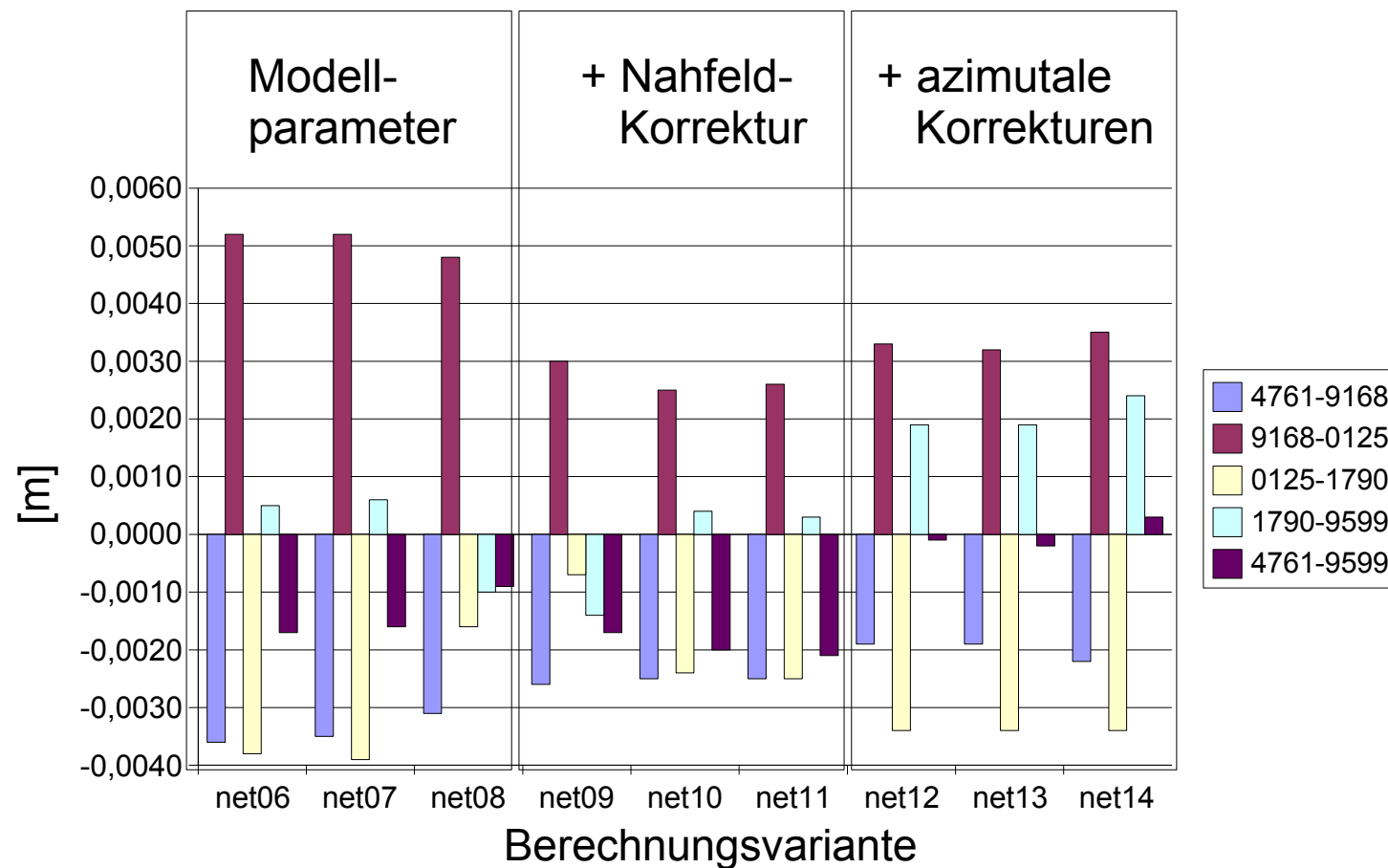
- 6 Referenzstationen
- ca. 7 km langes GPS Profil
- 5 GPS Stationen mit ca. 1-2 km Abständen und ca. 48 h Daten
- Auswertung mit Geo++
GNSMART/GNNET
 - unterschiedliche PCV Korrektur
 - unterschiedliche Troposphärenmodelle
 - simultane L1&L2 Auswertung mit Ionosphärenschätzung
 - präzise Ephemeriden
 - vollständige Varianz-Kovarianzmatrix



Beispiel: Projekt Steinhude Höhendifferenzen



- GPS (GCG05) vs Niv Höhendifferenzen (vorläufiger Stand 05/2005)
- Variationen in Troposphärenmodellierung/PCV Korrektur



Einflüsse auf die GNSS Höhenbestimmung

- Grenzen und Chancen -



- Grenzen noch nicht erreicht
- Chancen für Genauigkeitssteigerung