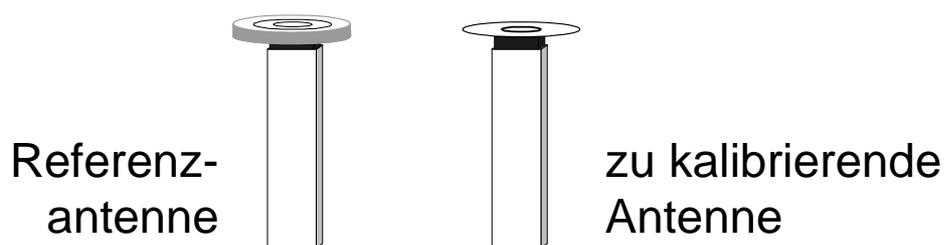


Qualitätskontrolle relativer Antennenkalibrierung

Lambert Wanninger
Ingenieurbüro Wanninger, Dresden

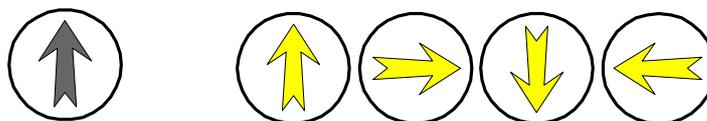
4. GPS-Antennenworkshop, Hannover, 21.Mai 2002

Relative Feldkalibrierung



absolute Korrekturwerte
in Auswertung einführen → absolute Korrekturwerte
als Kalibrierergebnis

Messverfahren:



Fehlerquellen

Mehrwegeeinflüsse

- auf Referenz- und zu kalibrierende Antenne

aber

- bei **Lagekomponenten** Elimination durch Antennendrehung
- bei **azi.-ele. Variationen** Verringerung durch PZV-Modellierungsansatz
- auf **Höhenkomponente** ungeminderte Auswirkung

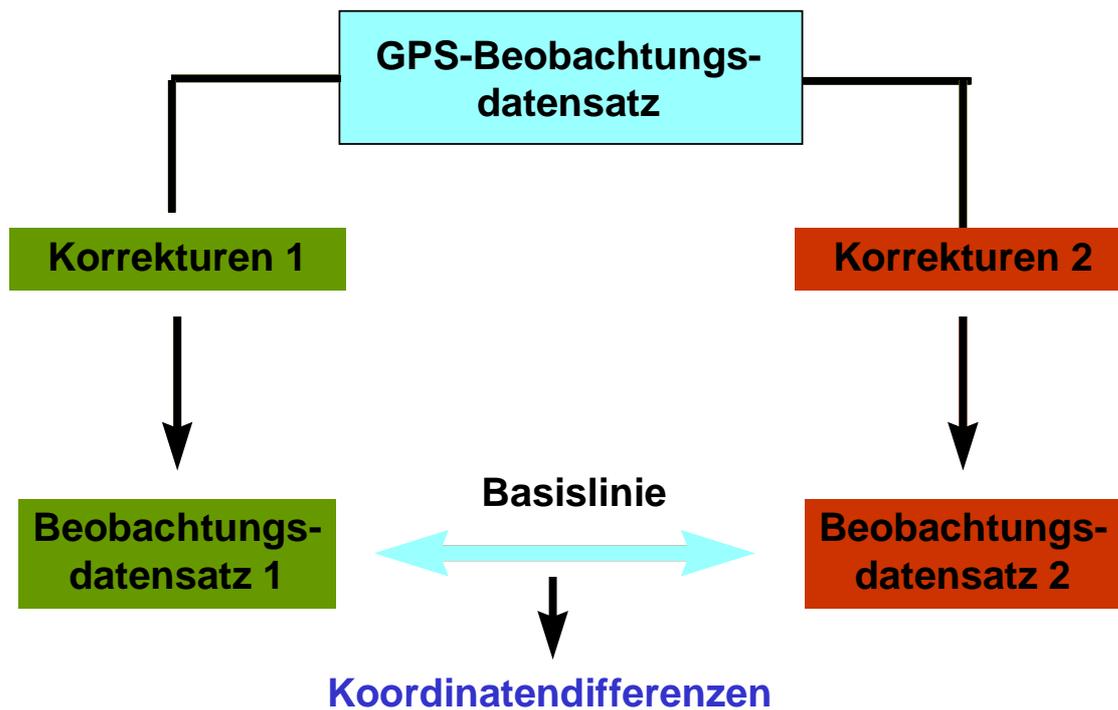
Messverfahren

Die relative Feldkalibrierung zur Erzeugung absoluter Korrekturwerte verwendet eine Referenzantenne, für die Korrekturwerte aus einer absoluten Kalibrierung vorliegen. Die Referenzantenne wird während der Kalibrierung nicht verändert, während aber die zu kalibrierende Antenne gedreht wird. Die Beobachtung in zwei Ausrichtungen (Nord und Süd) ermöglicht eine vollständige Erfassung der Phasenzentrumsvariationen (PZV). Sie dient auch der Verminderung der Mehrwegeeinflüsse. Bei vier Ausrichtungen liegt eine Doppelkalibrierung vor. Der dabei größere Messaufwand erhöht die Zuverlässigkeit der Ergebnisse und vermindert noch einmal die Mehrwegeeinflüsse.

Fehlerquellen

Die Hauptfehlerquelle besteht in den Mehrwegeeinflüssen auf Referenz- und zu kalibrierende Antenne. Durch die Antennendrehung werden aber die Mehrwegeeinflüsse auf die Lagekomponenten der Phasenzentrumsoffsets (PZO) eliminiert. Die Wahl des PZV-Modellierungsansatzes (Kugelflächenfunktionen von Grad 8 und Ordnung 5) führen zu einer Dämpfung der Mehrwegeeffekte auf die PZV. Nur für die Höhenkomponente gelingt die Mehrwegereduzierung kaum. Hier muss mit mehrwegebedingten Fehlern gerechnet werden.

Bestimmung von Koordinatendiff.



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich von Kalibrierergebnissen auf Koordinatenniveau

Da bei der Kalibrierung im absoluten Feldkalibrierverfahren (Geo++ und IfE) Mehrwegeinflüsse eliminiert werden, sind bei diesem Verfahren höhere Genauigkeiten zu erwarten als bei Kalibrierungen im relativen Feldverfahren. Als Ergebnis des Vergleichstests der Kalibrierverfahren wird somit im wesentlichen eine Qualitätsbeurteilung der relativen Verfahren möglich sein. Für die folgenden Vergleiche wurden die beiden Ergebnisse der absoluten Verfahren gemittelt und als "Sollwerte" für die Beurteilung der relativen Verfahren (LGN und TUDD) verwendet.

Der direkte Vergleich von PZO und PZV aus unterschiedlichen Kalibrierungen führt nur zu schwer interpretierbaren Ergebnissen. Unterschiede lassen sich besser herausarbeiten, wenn die Auswirkungen auf die Koordinaten betrachtet werden. Dafür wird ein GPS-Beobachtungsdatensatz dupliziert und zum einen mit Korrekturwerten der absoluten Kalibrierungen behandelt und zum anderen mit Korrekturwerten aus einer der relativen Kalibrierungen. Alle Koordinatenbeträge in der Basislinie zwischen beiden Datensätzen sind dann nur auf einen Einfluss zurückzuführen, nämlich auf Unterschiede in den Antennenkorrekturen.

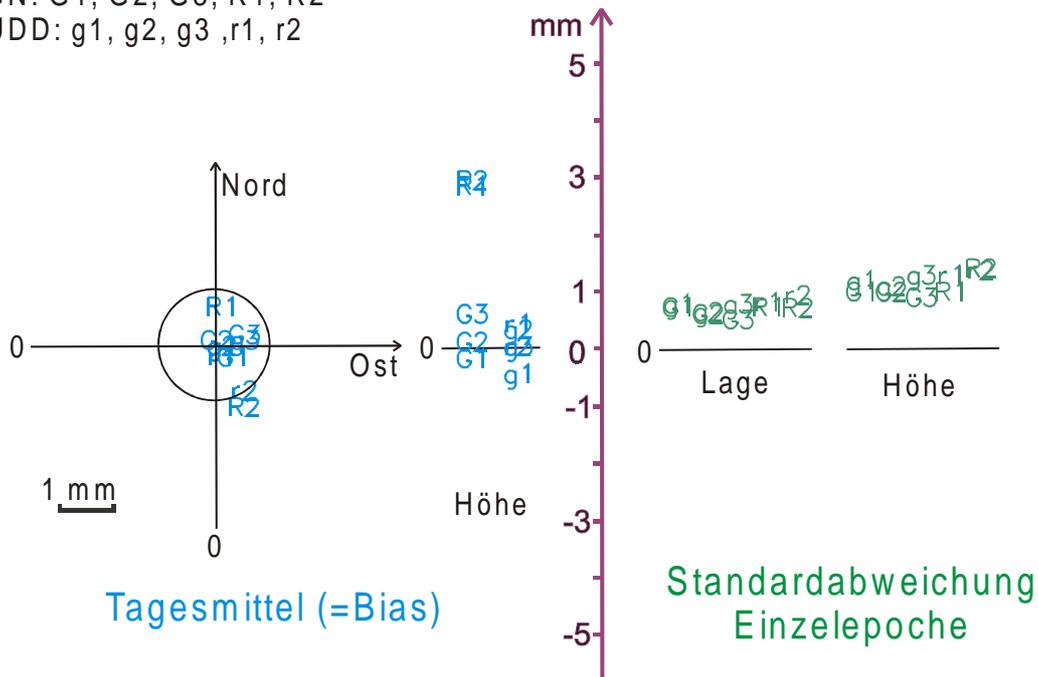
Die folgenden Grafiken zeigen Koordinatenfehler als 24 Stunden-Mittel, also als Bias-Werte für die drei Koordinatenrichtungen. Für kurzzeitige Beobachtungen kommen noch Variationen hinzu, die als Standardabweichungen in Lage und Höhe dargestellt werden.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Koordinatendifferenzen L1

LGN: G1, G2, G3, R1, R2
 TUDD: g1, g2, g3, r1, r2

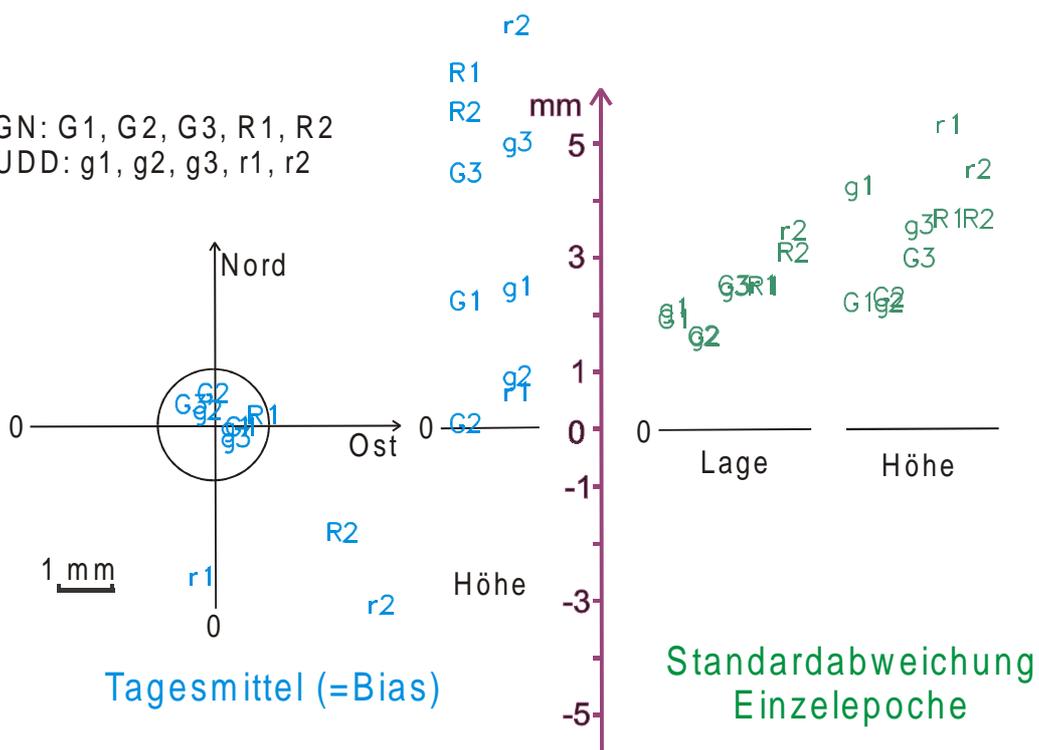


Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Koordinatendifferenzen L0

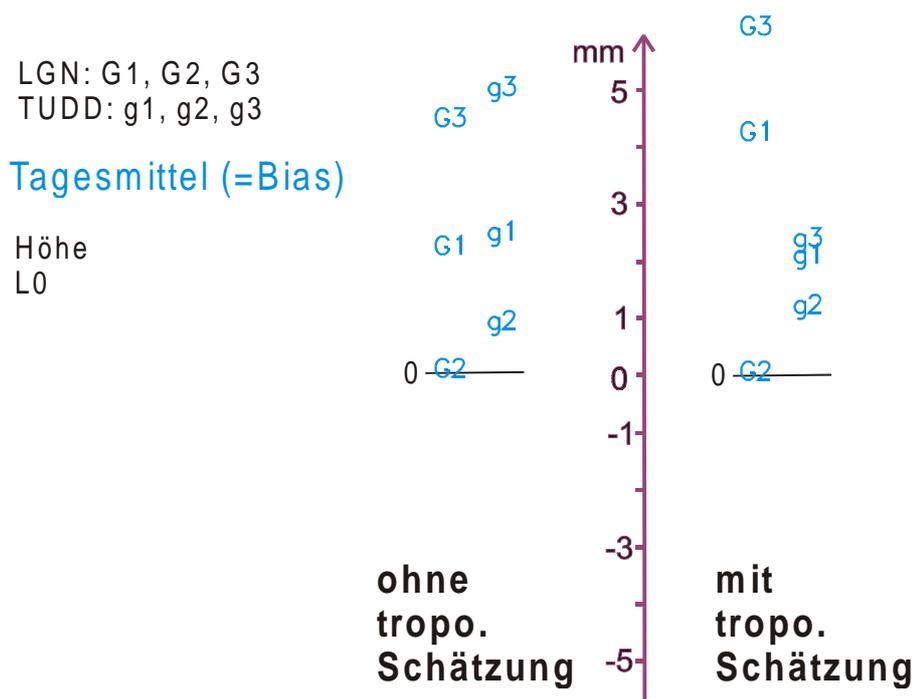
LGN: G1, G2, G3, R1, R2
 TUDD: g1, g2, g3, r1, r2



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Koord.diff. mit/ohne tropo.



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich der relativen mit den absoluten Kalibrierergebnissen

Drei Arten von Koordinatenlösungen sollen betrachtet werden: eine L1-Lösung für kurze Basislinien und Positionierungen in regionalen Referenzstationsnetzen, eine ionosphären-freie L0-Lösung für lange Basislinien und eine L0-Lösung mit Troposphären-Schätzung für Langzeitbeobachtungen auf langen Basislinien.

L1-Resultate: Alle Biaswerte der geodätischen Antennen liegen unter 1 mm. Für die RTK-Antennen fallen sie bei den LGN-Kalibrierungen größer aus. In der Höhenkomponente erreichen sie dort 3 mm. Zusätzliche Variationen für kurzzeitige Messungen liegen unter 1 mm in der Lage und bei 1 mm in der Höhe. Bei den RTK-Antennen fallen sie etwas größer aus als bei den geodätischen Antennen.

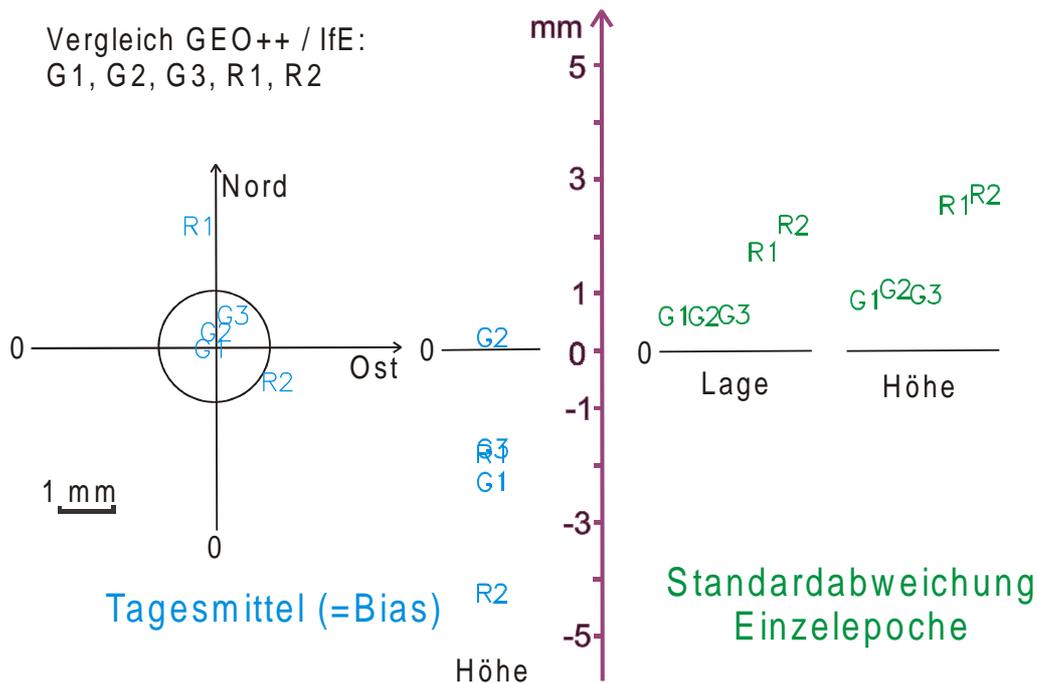
L0-Resultate: Die Lage-Biaswerte der geodätischen Antennen liegen deutlich unter 1 mm. Für die RTK-Antennen fallen sie mit bis zu 3 mm größer aus, wobei hier als Ursache eher "Antennenschwächen" als Mehrwegeeffekte in Frage kommen. Die Höhenbiaswerte erreichen 0 bis 5 mm für die geodätischen Antennen und erreichen für die RTK-Antennen bis zu 7 mm. Die zusätzlichen Variationen liegen im Bereich 2 bis 3 mm für die geodätischen Antennen. Für die RTK-Antennen sind sie etwas größer.

L0+tropo.-Resultate: Hier macht es nur Sinn, die Höhenkomponente der Tagesmittelwerte für L0 zu betrachten. Die Biaswerte liegen in derselben Größenordnung, ob man Troposphärenfaktoren schätzt oder nicht. Für die LGN vergrößern sich die Biaswerte z.T. ein wenig, für die TUDD werden sie z.T. kleiner. Es verbleibt hier also kein elevationsabhängiger Restfehler, der negativ auf die Troposphärenschätzung wirkt oder zusätzliche Höhenfehler erzeugt.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Koor.differenzen Geo++/IfE L0



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich der beiden absoluten Korrekturdatensätze

Zur besseren Einschätzung der durchgeführten Vergleiche zwischen relativen und absoluten Kalibrierergebnissen wurden zusätzlich die beiden Korrekturdatensätze aus Robotor-Messungen (Geo++ und IfE) auf Koordinatenebene verglichen. Dargestellt sind die Ergebnisse für die ionosphären-freie Linearkombination L0.

Auch hier liegen die Lage-Biasdifferenzen der geodätischen Antennen deutlich unter 1 mm. Für die RTK-Antennen fallen sie mit bis zu 2,2 mm größer aus. Die Höhenbiasdifferenzen erreichen bis zu 2,5 mm für die geodätischen Antennen und bis zu 4,4 mm für die RTK-Antennen. Die zusätzlichen Variationen liegen um 1 mm für die geodätischen Antennen. Für die RTK-Antennen sind sie um einen Faktor von 2 bis 3 größer.

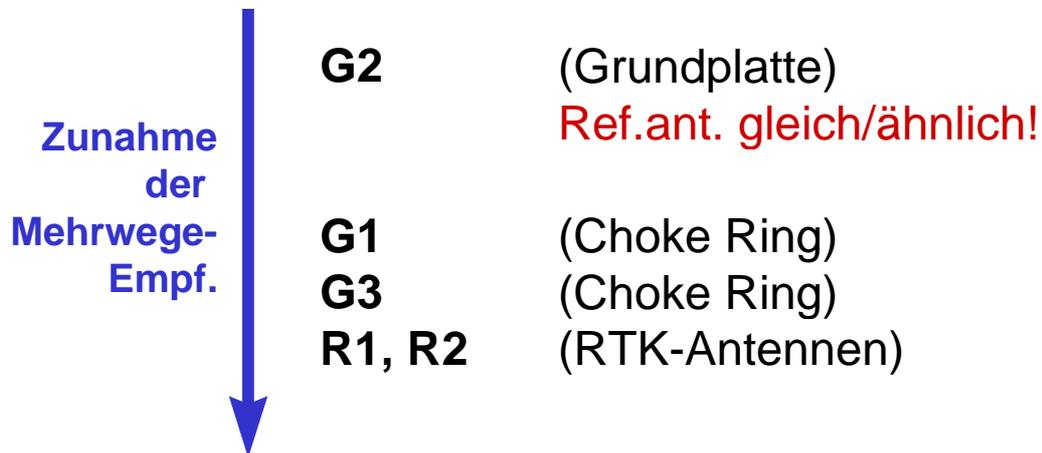
Auch bei den Absolutverfahren ergeben sich also größere Differenzen bei der Höhenkomponente als bei den Lagekomponenten und größere Differenzen für die RTK-Antennen im Vergleich zu den geodätischen Antennen. Auch hier verbleiben Höhenbiases auf dem Niveau weniger Millimeter.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Mehrwegeempfh. der Antennen

Abgeleitet aus dem Vergleich: relative / absolute
Antennenkalibrierung



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Mehrwegeempfindlichkeit unterschiedlicher Antennentypen

Die Biaswerte der Höhenkomponenten lassen eine Rangfolge der Mehrwegeempfindlichkeit der unterschiedlichen Antennentypen erkennen. Es ergeben sich Unterschiede bei den geodätischen Antennen und es zeigt sich deutlich, dass die RTK-Antennen besonders mehrwegeempfindlich sind.

Bei der Interpretation muss aber auch beachtet werden, dass die Referenzantenne der LGN eine G2-Antenne und die der TUDD zumindest G2-ähnlich ist. Es ist zu vermuten, dass dadurch Mehrwegeanteile bei der G2-Kalibrierung identisch wirken und in der Basislinie zwischen Referenzantenne und zu kalibrierender Antenne herausfallen.

Andererseits kommt man auch bei dem Vergleich der Ergebnisse der beiden Robotormessungen untereinander zu einer entsprechenden Rangfolge der Antennenqualitäten. Es stellt sich somit die Frage, ob auch bei den Absolutverfahren Mehrwegereste in den Kalibrierwerten verbleiben oder ob die Ursache der Qualitätsunterschiede vielleicht doch nicht auf die Mehrwegeempfindlichkeit zurückzuführen ist.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Schlussfolgerungen

- Mehrwegeeliminierung für Lagekomponenten, aber mehrwegebedingte Restfehler in Höhenkomponente
- Qualität relativer Antennenkalibrierung z.T. abhängig von
 - Mehrwegeverhältnissen am Kalibrierort,
 - Mehrwegeempfindlichkeit der verwendeten Antennen
- die Qualität jedes Kalibriernetzes sollte durch entsprechende Vergleichstests überprüft werden

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Schlussfolgerungen

Relative Antennenkalibrierung erzeugt mehrwegfreie Kalibrierresultate für die Lagekomponenten (Bias < 1mm für geodätische Antennen in L1 und selbst in der ionosphären-freien Linear-kombination L0). Es verbleiben aber z.T. mehrwegebedingte Restfehler in der Höhenkomponente. Für die geodätischen Antennen liegen die Höhenfehler unter 1 mm in L1 und erreichen in L0 bis zu wenige mm. Auch der Vergleich der Ergebnisse der beiden Absolutverfahren untereinander läßt Differenzen in L0 bis zu wenigen mm erkennen.

Die Qualität der Kalibrierresultate ist also z.T. abhängig von den Mehrweegeinflüssen am Kalibrierort und der Mehrwegeempfindlichkeit der verwendeten Antennen. Da aber mit entsprechenden Mehrwegerestfehlern auch im Felde an allen Mess-Standorten gerechnet werden muss, wirken sich diese Kalibrierfehler kaum auf die Höhengenaugkeit aus.

Alle Standorte für relative Antennenkalibrierungen sollten mit entsprechenden Vergleichen auf ihre Qualität hin überprüft werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn auf die Höhenkomponente besonderen Wert gelegt wird. An mehrwegearmen Standorten sind noch bessere Ergebnisse zu erwarten als bei der LGN und der TUDD, da beide Standorte recht stark mehrwegelastet sind.

Weiterführende Literatur:

Wanninger, L. (2002): Möglichkeiten und Grenzen der relativen GPS-Antennenkalibrierung. *ZfV*, 127:51-58.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de