

Kalibrierung von Referenzstationen ?

Lambert Wanninger
Ingenieurbüro Wanninger, Dresden

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

Kalibrierung von Referenzstationen

Zwei stationsabhängige Fehlereinflüsse können auf Mess-Stationen und so auch auf Referenzstationen Probleme bereiten: Mehrwegeeeinflüsse und Signalbeugung. Antennenfehler sollen in diesem Zusammenhang nicht behandelt werden, da sie vorab durch Antennenkalibrierung erfasst und korrigiert werden können.

Mehrwegeeeinflüsse treten auf allen Referenzstationen in unterschiedlicher Stärke auf. Insbesondere bei Stationen auf (Flach-) Dächern können sie besonders stark ausfallen. Meistens sind keine reflektierenden Flächen oberhalb des Antennenhorizonts vorhanden, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die reflektierten Signale von Flächen unterhalb der Antenne stammen.

Signalbeugungen treten nur auf, wenn Sichthindernisse oberhalb des Antennenhorizonts existieren. Dies sollte auf Referenzstationen selten vorkommen. Signalbeugungseinflüsse können über die S/N-Beobachtungsgrößen erkannt und behandelt werden. Sie werden aber auch bei jeder Art von Referenzstationskalibrierung mit erfasst. Im weiteren wird zusammenfassend für beide Einflüsse vereinfachend der Begriff Mehrwegeeeinfluss verwandt.

Die Kalibrierung von Mehrwegeeeinflüssen ist ein möglicher Ansatz zur Verringerung dieser Fehlereinflüsse. Dieser und andere Ansätze werden im folgenden diskutiert.

Einflüsse der Stationsumgebung

Mehrwege

- mm...cm...
- frequenzabhängig
- mehr oder weniger überall
- auf Referenzstationen
Reflektoren unterhalb des
Antennenhorizonts
- Stationen auf Dächern oft
besonders betroffen

Signalbeugung

- bis dm-Größenordnung
 - frequenzunabhängig
 - nur im Zusammenhang mit
Signalabschattungen
 - auf Referenzstationen sehr
selten, sehr häufig auf anderen
Stationen
 - Detektierung, Beobachtungs-
gewichtung über S/N-Beob-
achtungsgröße
-

Verringerung Mehrwegeeinflüsse

1. Wahl des Antennenstandortes

Voraussetzung: Mehrwegedetektierung

- **verbesserte Empfängermesstechnik**
Code ja, Phase kaum
- **mehrwegeresistentere Antennen**
kaum Fortschritte

2. Mehrwegekalibrierung

nur auf Referenzstationen

3. Multiantennensysteme

Verringerung von Mehrwegeeffekten

Als mögliche Ansätze zur Verringerung von Mehrwegeeffekten kommen in Frage:

1. Wahl des Antennenstandortes: Hier existiert bei Referenzstationen noch ein großes Potential für Verbesserungen. Voraussetzung ist eine zuverlässige Phasenmehrwegedetektierung, wie sie in Referenzstationsnetzen auf der Basis der Phasenmessungen gelingt.

- verbesserte Empfänger- und Messtechnik: In den letzten Jahren gab es Fortschritte für Code-, aber nicht für Phasenmessungen. Deutliche Verbesserungen sind kaum zu erwarten.

- mehrwegeresistentere Antennen: Es wurden in den letzten Jahren fast keine Fortschritte erzielt. Deutliche Verbesserungen sind kaum zu erwarten.

2. Mehrwegekalibrierung: Sie gelingt entweder mit lokalen mehrwegerefreien Referenzmessungen (z.B. Referenzantenne in Bewegung oder gerichtete Parabolantenne) oder in Referenzstationsnetzen aus den Daten einer Gruppe von Referenzstationen. Mit lokalen Messungen sind höchste Genauigkeiten erzielbar, aber die zeitlich begrenzte Gültigkeit der Korrekturwerte (wie lange gültig?, wie erkennt man Veränderungen in der Stationsumgebung?) stellen ein Problem dar. Die durch Kalibrierung in Referenzstationsnetzen erzielbaren Genauigkeiten sind geringer (große Entfernungen zwischen den Stationen), aber die Korrekturmodelle sind immer aktuell und quasi kostenlos, da die notwendigen Messdaten sowieso vorliegen.

3. Multiantennensysteme: Mehrwegeelimination durch Multiantennensysteme ist ein vielversprechender Ansatz dessen Einsatz nicht auf Referenzstationen beschränkt ist.

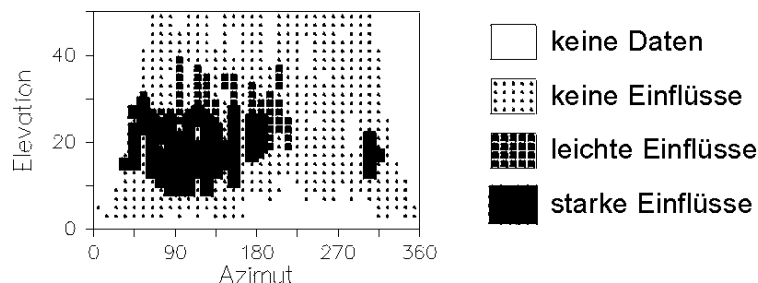
Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

1. Detektierung und Lokalisierung

– aus Phasendaten eines Referenzstationsnetzes:

min. 3 Stationen, iono.-freie Linearkombination,
Annahme: Signale hochstehender Satelliten mehrwegerefrei
(sehr wenige Ausnahmen)



– andere Verfahren:

Verwendung S/N-Beobachtungsgröße

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

2. Mehrwegekalibrierung

Lokale mehrwegefreie Referenzmessungen



(Böder, IfE, Hannover)

z.B.
Robotor
mit Antenne
in Bewegung



(HSCA, Cambridge Ma.)

z.B.
gerichtete
Parabol-
antenne

- nur für Referenzstationen
- gültig nur bei unveränderter Antennenumgebung

2. Mehrwegekalibrierung

aus den vorhandenen Messungen eines Ref.sta.netzes

Vorteile:

- keine zusätzlichen Messungen
- immer aktuell (Modell aus den Daten der jeweils letzten 7 Tagen)

Nachteile:

- nur für Referenzstationen
- Restfehler insb. durch Ionosphäre (bei L_1 , L_2)

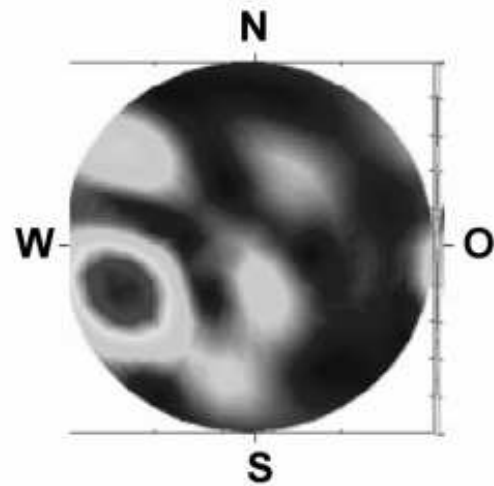
3. Multiantennensysteme



Antennenfeld:
digital gerichtete Antenne

(NAVSYS Corp., Colorado)

Signalstärke für
das Signal eines
Satelliten



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Beispiel 1

Typisches SAPOS-Subnetz mit fünf unbelasteten, zwei wenig belasteten und zwei stark gestörten Stationen (A und B).

Station A befindet sich in einer häufig vorzufindenden Dachsituation: montiert auf dem erhöhten Flachdach eines (Fahrstuhl)-Aufbaus. Mehrwegeeinflüsse aufgrund des oberen Daches (langperiodisch Fehler für Signale aus Westen) und des unteren Daches (kurzperiodische Fehler für Signale aus Osten).

Mehrwegekalibrierung im Referenzstationsnetz kann diese Fehlereinflüsse deutlich verringern, insbesondere für die ionosphären-freie Linearkombination und die Widelane. Fast keine Verbesserung gelingt aber in L1 und L2 aufgrund von

- a) geringer Mehrwegewirkung auf diese Signale
- b) verbleibenden ionosphärischen Restfehlern aufgrund der großen Stationsabstände.

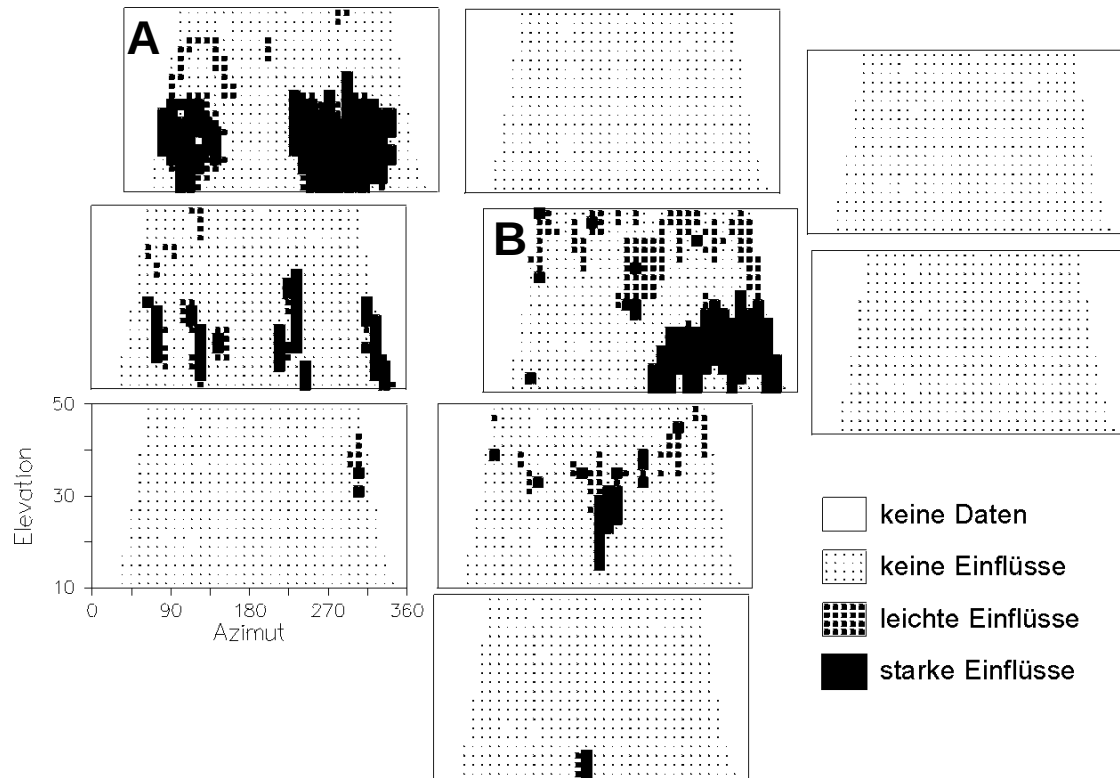
Kalibrierwerte sind ungültig, wenn Umgebungsbedingungen sich verändern, insbesondere bei Schnee.

Die Beobachtungsdaten der Station A können auch ohne Kalibrierung deutlich verbessert werden, wenn die Antenne um wenige Meter an die Südkante des Dachaufbaus verlegt würde. Das untere Dach hätte dann keinen Einfluss mehr. Das obere Dach befände sich dann im Norden der Antenne, also in einer Richtung aus der keine Satellitensignale eintreffen.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Beispiel 1

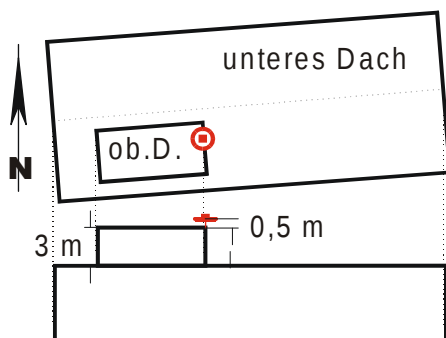


Ingenieurbüro Wanninger

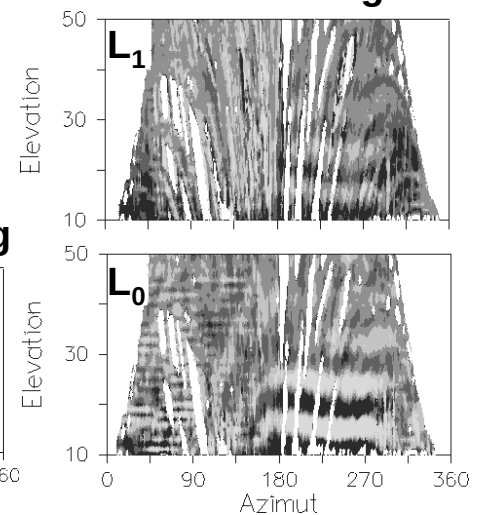
www.wasoft.de

Mehrwegekalibrierung Station A

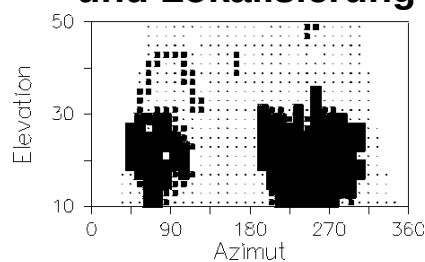
Antennenumgebung



Kalibrierung



Detektierung und Lokalisierung

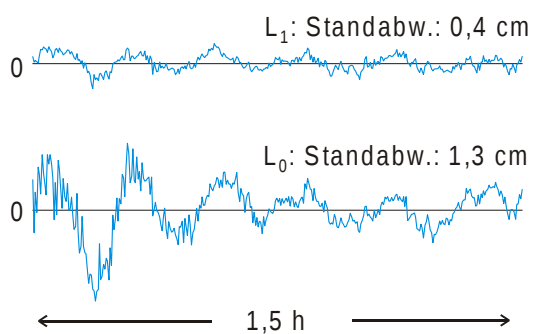


Ingenieurbüro Wanninger

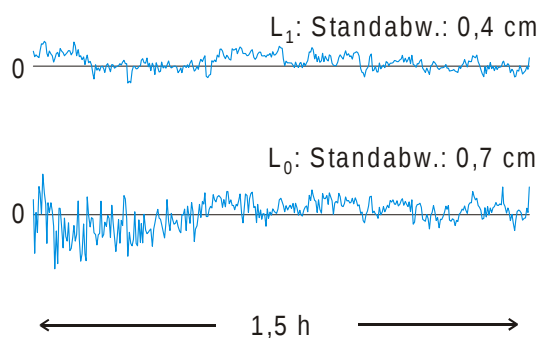
www.wasoft.de

Verbesserungen

Original- beobachtungen



Beobachtungen nach Korrektur



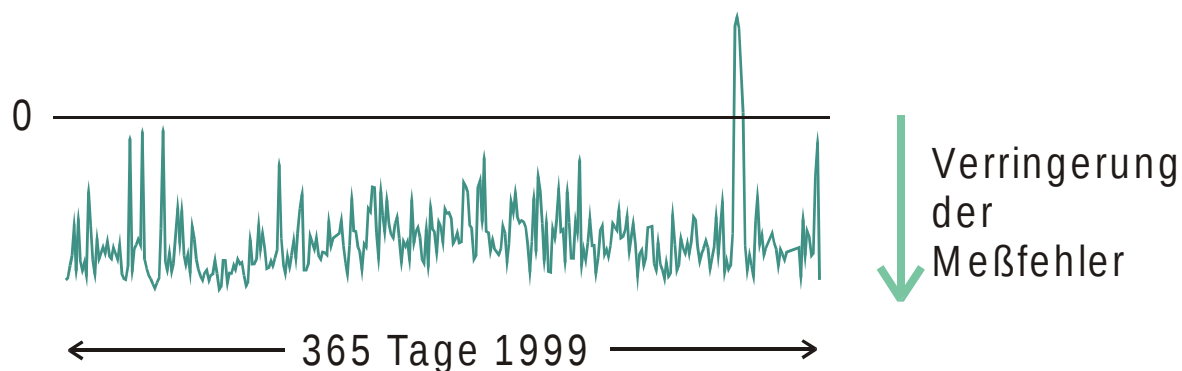
Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Verbesserungen

Standardabweichung Einzelbeobachtung L_0 :

durchschnittliche Verbesserung aller Beobachtungen über
ein Jahr: **13,4 %**



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

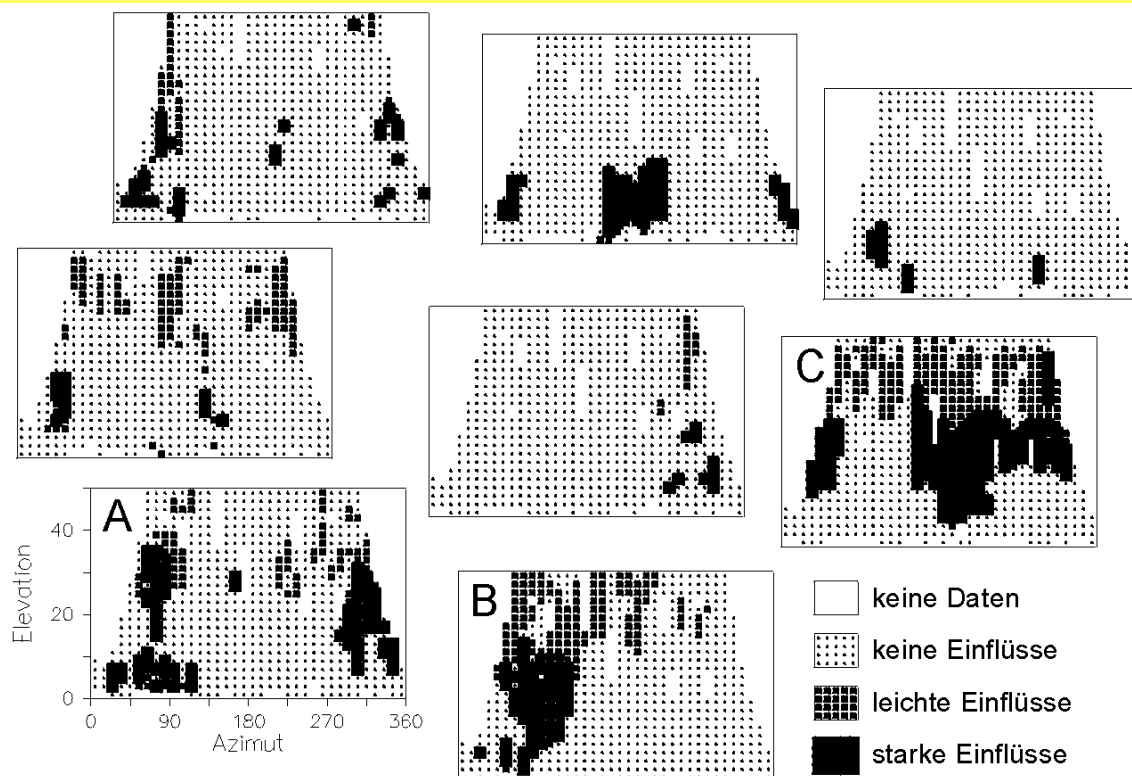
Beispiel 2

SAPOS-Subnetz aus acht Stationen: zwei Stationen fast unbelastet, drei Stationen wenig belastet und drei Stationen (A, B und C) stark gestört.

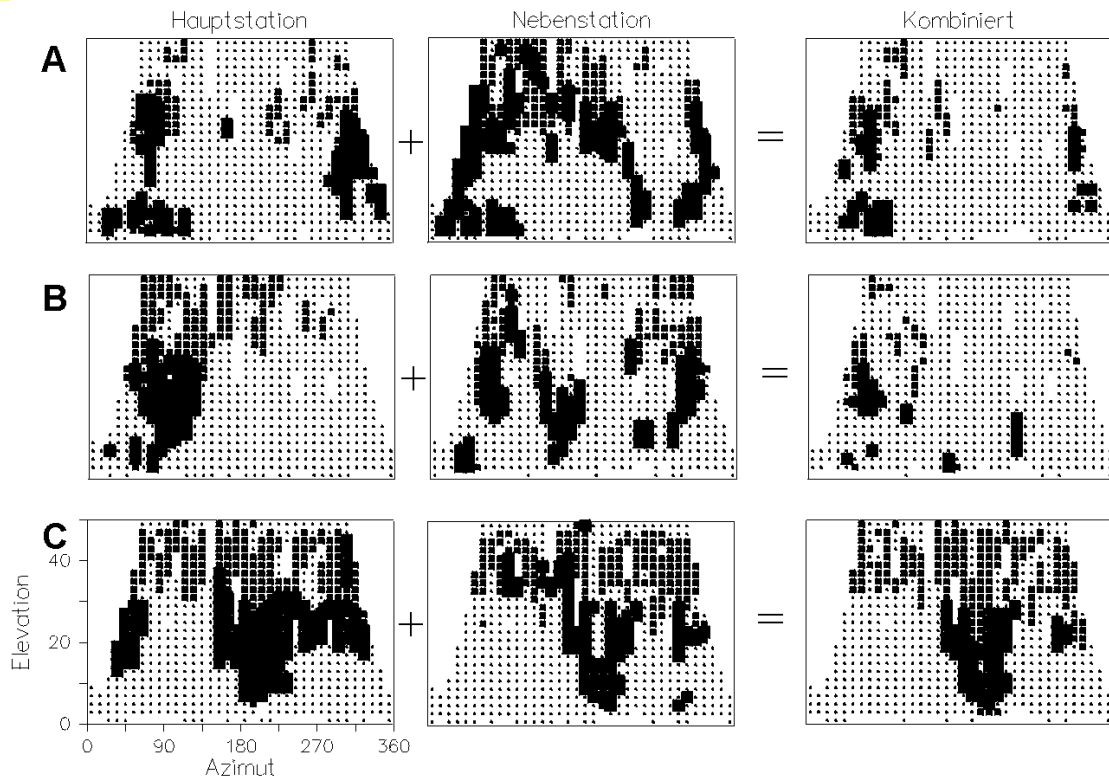
Hier liegen neben den Beobachtungen der Hauptstationen auch Beobachtungen von Nebenstationen vor, die sich auf den selben Dächern befinden. Die Nebenstationen sind teilweise stärker mehrwegebeeinflusst als die Hauptstationen (A), teilweise weniger (C). Teilweise sind die Mehrwegeeinflüsse auf Haupt- und Nebenstationen unabhängig voneinander (A und B) oder sie sind z.T. hoch korreliert aufgrund identischer Geometrie zum Signalreflektor hin (C).

Durch Kombination der Beobachtung von Haupt- und Nebenstation (der primitivsten Form eines Multiantennensystems) gelingt die deutliche Verringerung der Mehrwegeeinflüsse. Aus stark gestörter Haupt- und Nebenstation wird durch Kombination der Beobachtungsdaten eine wenig belastete kombinierte Station. Selbst bei Station C ergibt sich eine deutliche Verbesserung der Beobachtungsdaten. Es verbleiben hier aber Restfehler durch den Signalreflektor, der auf die Signale der Haupt- und Nebenstation identisch wirkt.

Beispiel 2



Kombination von Stationspaaren



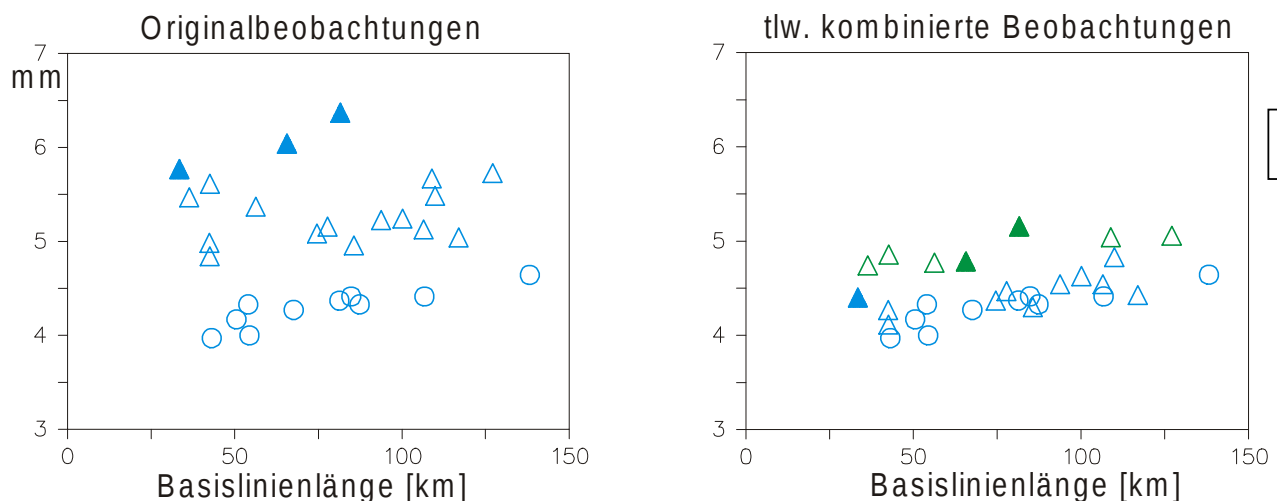
Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Verringerung der Messfehler

Standardabweichung Einzelbeobachtung

28 Basislinien zwischen 8 Stationen,
iono.-frei L_0 , tropo. Schätzung, präzise Ephemeriden



C

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

○ keine
△ eine
▲ zwei

mehrwege-
belastete
Stationen

Schlussfolgerungen

Verringerung des Mehrwegeeinflusses auf Referenzstationen

1. sorgfältige Wahl des Antennenstandortes
(Mehrwegedetektierung)
2. Mehrwegekalibrierung
3. Multiantennensysteme

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Schlussfolgerungen

Das größte Potential zur Verringerung von Mehrwegeeinflüssen auf die Beobachtungsdaten von Referenzstationen liegt in der sorgfältigen Wahl des Antennenstandortes. Oft kann schon eine Verlagerung der Antenne um wenige Meter an eine andere Dachkante die Datenqualität beträchtlich erhöhen. Voraussetzung zur Beurteilung des Mehrwegeeinflusses ist die Mehrwegedetektierung und -lokalisierung aus den Phasenbeobachtungsdaten eines Referenzstationsnetzes.

Verbleiben Mehrwegerestfehler, so können sie durch Referenzstationskalibrierung erfasst werden. Zwei Verfahren mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen werden diskutiert:

- a) Kalibrierung mit lokalen, mehrwegefreien Referenzmessungen
- b) Kalibrierung im Referenzstationsnetz.

Beide Verfahren sind auf den Einsatz bei Referenzstationen beschränkt.

Ein anderer vielversprechender Ansatz basiert auf Multiantennensystemen. Der Einsatz solcher Systeme ist nicht auf Referenzstationen beschränkt.

Weiterführende Literatur:

- Wanninger, L., Wildt, S. (1997): Identifikation von Mehrwegeeinflüssen in GPS-Referenzstationsbeobachtungen, AVN **104**:12-15.
- Wanninger, L., May, M. (2000): Carrier Phase Multipath Calibration of GPS Reference Stations, Proc. of ION GPS 2000, 132-144.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de