

Erzielbare GPS-Koordinatengenauigkeiten bei Verwendung von Antennenkorrekturen

Lambert Wanninger
Ingenieurbüro Wanninger, Neuwied

5. GPS-Antennenworkshop, Frankfurt/Main, 3. November 2003

Antennenkalibrierverfahren

Absolutes Feldverfahren

Drehen und Kippen

GEO++

IFE

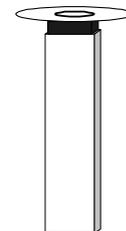


- aufwendigeres Verfahren
- absolute Korrekturen
- weitestgehende Mehrwegeeliminierung
- auch für niedrige Elevationen

Ingenieurbüro Wanninger

Relatives Feldverfahren

Drehen



LGN

TUDD

- einfacheres Verfahren
- absolute Korrekturen, wenn entsprechende Korrekturen für Referenzantenne vorliegen
- Mehrwegeeinfluss:
 - Eliminierung für Lageoffsets
 - Verringerung für PZV
 - unvermindert für Höhenoffset
- untere Elevationsgrenze 5 Grad

www.wasoft.de

Vergleiche von Korrektionssets

Betrachtung von verursachten Koordinatenfehlern

- Tagesmittel (=Bias) + Standardabweichung Einzelepochen
- Lage (Nord, Ost) + Höhe
- L1, iono.-freie Linearkombination
- für 3 geodätische (G) und 2 RTK (R) Antennen
- Auswertungen mit WaSoft

Vergleich 1 (2002)

Antennenkorrekturen im Vergleich untereinander
(siehe Antennenworkshop 2002 in Hannover)

Vergleich 2 (2003)

Auswirkungen der Antennenkorrekturen auf relative Positionierung im Vergleich zu Sollösungen; andere Fehlerquellen wirken auch

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich von Antennenkalibrierverfahren

In dem von den Landesvermessungen Niedersachsens und Brandenburgs initiierten Ringversuch zur Antennenkalibrierung werden zwei Kalibrierverfahren verglichen: das absolute Feldverfahren (Realisierungen durch **Geo++** und **IFE**), bei dem die zu kalibrierende Antenne mit Hilfe eines Roboterarms gedreht und gekippt wird, und zum anderen das relative Feldverfahren (Realisierungen **LGN** und **TUDD**), welches sehr viel einfacher durchzuführen ist, da auf die Kippung der Antenne verzichtet wird und die wenigen notwendigen Drehungen mit der Hand ausgeführt werden können. Das absolute Feldverfahren erzeugt absolute Korrekturen, die weitestgehend mehrwegefrei sind. Auch mit dem relativen Feldverfahren werden absolute Korrekturen erzeugt, wenn entsprechende Korrekturen für die Referenzantenne vorliegen. Mehrwegeeffekte werden praktisch vollständig für die Lageoffsets eliminiert. Sie wirken aber unvermindert auf den Höhenoffset. Restfehler verbleiben auch in den Phasenzentrumsvariationen (PZV).

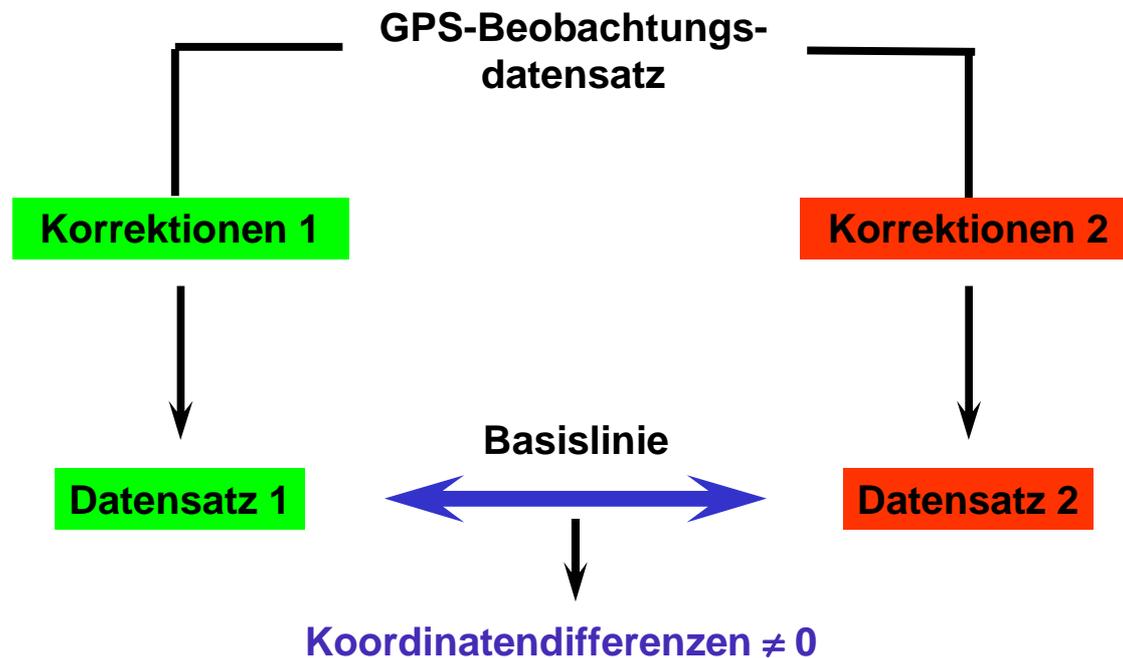
Zum Vergleich der Verfahren werden hier die Auswirkungen der Kalibrierfehler auf die Koordinaten betrachtet. Es erfolgt dabei eine Aufteilung in Fehler des Tagesmittels, die als Bias auf jedes Koordinatenergebnis wirken, und zusätzlich Einzelepochenfehler, die für kurzzeitige Beobachtungen noch hinzu kommen. Im folgenden werden nur Ergebnisse betrachtet, die mit der ionosphären-freien Linearkombination erzeugt wurden. Die L1-Fehler betragen ungefähr 30 % dieser Fehler. Die Antennen werden in zwei Gruppen betrachtet: geodätische (G) und RTK (R) Antennen.

Die Ergebnisse des ersten Vergleichs wurden schon auf dem Antennenworkshop 2002 in Hannover präsentiert und diskutiert. Da keine Sollwerte für die Antennenkorrekturen existieren, ist nur ein Vergleich untereinander möglich. Koordinatendifferenzen ergeben sich ausschließlich aufgrund von Unterschieden der Antennenkorrekturen.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 1: Auswerteverfahren



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 1: Ergebnisse

- siehe Präsentation Antennenworkshop 2002 in Hannover
- Koordinatenfehler bei iono.-freier Linearkombination, $L1 \approx 30\%$

im Vergleich zum Geo++-Korrektionsdatensatz

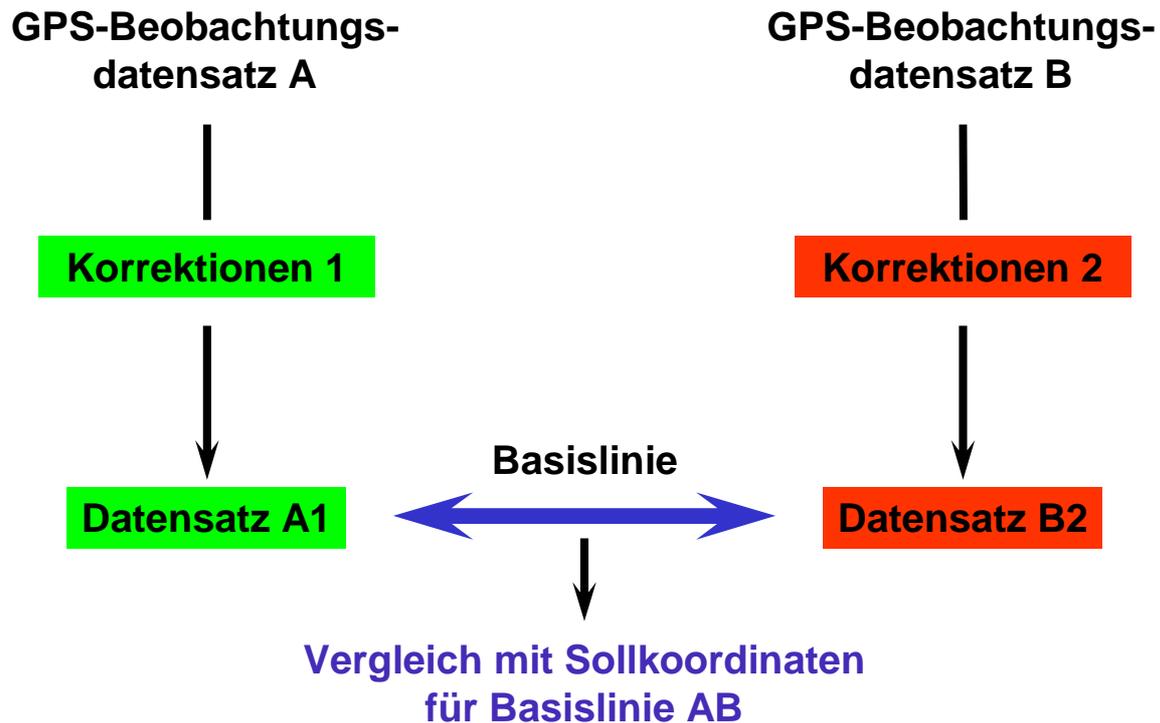
		Tagesmittel (=Bias) Lage / Höhe	Standardabweichung Einzelepochen Lage / Höhe
IFE	G	0,5 / ...2	0,6 / 1
	R	...2 / ...4	2 / 3
LGN/TUDD	G	0,5 / ...5	2 / 3
	R	...4 / ...7	3 / 4

[mm]

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 2: Auswerteverfahren



Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Einflüsse auf lokale Basislinien

Relative Fehler:

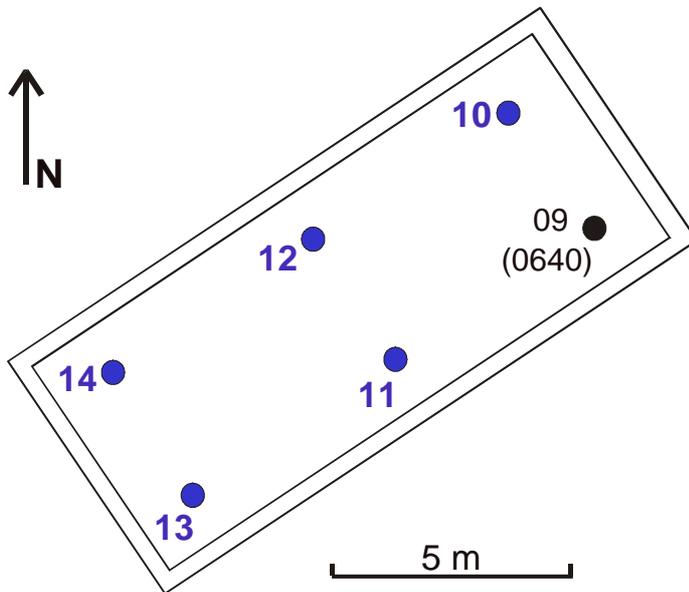
- **Antennenphasenzentren**
Restfehler der Korrektionsdatensätze
- **Mehrwegeeinflüsse**
kurzperiodisch: entfernte Reflektoren (>1 m)
langperiodisch: nahe Reflektoren
- **Signalrauschen**

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 2: Testdaten

5 Pfeiler auf Dach der LGN, Hannover



besetzt für jeweils 24+ h mit
5 verschiedenen Antennen:

G1
G2
G3
R1
R2

5 Sessions, jede Antennen
einmal auf jedem Pfeiler

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Neuer Vergleich: Auswirkungen der Antennenkorrekturen auf relative Positionierung

Dieser praxisnähere Vergleich wurde durch umfangreiche simultane Messungen mit den im Ringversuch kalibrierten Antennen ermöglicht. Da Sollkoordinaten für die Pfeiler auf dem LGN-Dach vorliegen, können hier nun absolute Koordinatenfehler bestimmt werden. Weiterhin wirken hier nun nicht nur Kalibrierrestfehler auf die Koordinaten, sondern auch insbesondere Mehrwegeinflüsse.

Verglichen werden hier Koordinatenfehler, die sich ergeben

- wenn ohne Antennenkorrekturen ausgewertet wird,
- wenn baugruppenspezifische Werte des NGS Verwendung finden, nur ele. PZV
(Quelle: <http://www.ngs.noaa.gov/Antcal/>),
- wenn die individuellen Kalibrierwerte des Ringversuchs eingesetzt werden: azi.-ele. PZV:
Geo++, IFE, LGN, TUDD,
- wenn die individuellen Kalibrierwerte des Ringversuchs auf ele. PZV reduziert werden:
Geo++-E, IFE-E, LGN-E, TUDD-E,
- wenn Korrekturendatensätze gemischt werden: Antenne A wird mit Korrekturwerten aus Kalibrierung 1 korrigiert, Antennen B mit Werten aus Kalibrierung 2.

Im folgenden wird eine Auswahl der umfangreichen Ergebnisse präsentiert.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

APZ-Korrektionsdatensätze

aus individuellen
Feldkalibrierungen

aus Feldkalibrierungen
für Baugruppen

absolut (Drehung und Kippung):
Geo++, IFE

NGS (nur ele. PZV)

relativ (Drehung):
LGN, TUDD

sonstige

desgleichen, aber nur ele. PZV:
Geo++-E, IFE-E, LGN-E, TUDD-E

keine Korrektur

und Mischungen von Datensätzen

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 2: Koordinatenfehler

		quadr. Mittel über Tagesmittel (=Bias) Lage / Höhe	Mittel über Stdabw. Einzelepochen Lage / Höhe
ohne Korrekturen	G	10,9 / 23,1	18,1 / 24,0
	R	1,5 / 18,7	17,4 / 21,7
NGS	G	7,3 / 3,7	16,3 / 20,2
	G-G3	2,6 / 2,0	16,9 / 20,9
	R	2,8 / 2,0	17,5 / 21,9

iono.-freie Linearkombination [mm]

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 2: Koordinatenfehler

		quadr. Mittel über Tagesmittel (=Bias) Lage / Höhe	Mittel über Stdabw. Einzelepochen Lage / Höhe
Geo++	G	1,7 / 2,8	16,1 / 19,6
IFE	G	1,5 / 3,2	16,0 / 19,5
LGN	G	1,6 / 2,2	16,0 / 19,5
TUDD	G	1,6 / 1,9	16,0 / 19,7
Geo++	R	1,8 / 6,2	17,6 / 22,0
IFE	R	2,0 / 3,0	17,4 / 21,8
LGN	R	2,9 / 5,7	17,5 / 21,9
TUDD	R	3,9 / 4,6	17,9 / 22,2

iono.-freie Linearkombination [mm]

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 2: Koordinatenfehler

Vergleich azi.-ele. PZV mit ele. PZV

		quadr. Mittel über Tagesmittel (=Bias) Lage / Höhe	Mittel über Stdabw. Einzelepochen Lage / Höhe
Geo++	G	1,7 / 2,8	16,1 / 19,6
Geo++-E	G	3,4 / 3,4	16,3 / 19,9
LGN	G	1,6 / 2,2	16,0 / 19,5
LGN-E	G	3,5 / 2,8	16,2 / 19,9
Geo++-E	G-G3	3,3 / 1,7	16,9 / 20,7
LGN-E	G-G3	4,4 / 3,9	16,8 / 20,6
NGS	G-G3	2,6 / 2,0	16,9 / 20,9

iono.-freie Linearkombination [mm]

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Ergebnisse des neuen Vergleichs

Ohne Korrekturen ergeben sich insbesondere Höhenoffsets in der Größenordnung von wenigen cm. Sie werden durch konstruktionsbedingte Unterschiede zwischen den Antennentypen, die unterschiedliche Abstände zwischen Antennenreferenzpunkt (ARP) und mittlerem Phasenzentrum aufweisen, verursacht.

Die baugruppen-spezifischen Korrekturen des NGS verringern die Koordinatenfehler deutlich für vier der fünf Antennen. Die fünfte Antenne (G3) weist dagegen so große individuelle Lageoffsets auf, dass hier baugruppen-spezifische Korrekturen nicht verwendet werden sollten.

Beim Übergang auf individuelle Korrekturen ergibt sich eine deutliche Fehlerverringering für die Antenne G3. Für alle anderen geodätischen Antennen ist nur ein geringer Genauigkeitsgewinn erkennbar. Die Höhenoffsets aus relativen Kalibrierungen sind geringer als die aus absoluten Kalibrierungen. Es ist zu vermuten, dass ein Anteil der langperiodischen Mehrwegeeinflüsse, der in den Antennenkorrekturen aus relativen Feldverfahren als Fehler vorhanden ist, hier als Mehrwegekorrekturen wirkt. Für die RTK-Antennen schneiden die individuellen Kalibrierungen z.T. sogar schlechter ab als die NGS-Werte. Eine Entscheidung welche individuelle Kalibrierung die besten Ergebnisse liefert ist nicht möglich, da sich die Ergebnisse insgesamt wenig unterscheiden (G) bzw. sich sehr heterogene Resultate ergeben (R).

Schlussfolgerung: Die Kalibrierrestfehler spielen im Vergleich zu den wirkenden Mehrwegeinflüssen eine untergeordnete Rolle.

Insbesondere bei den Lageoffsets schneiden die azi.-ele. PZV deutlich besser ab als die ele. PZV. Eine Mischung unterschiedlicher Korrekturendatensätze, z.B. die im SAPOS-Netz häufig anzutreffende Kombination Geo++ zu TUDD, führt nur zu geringen Genauigkeitsverschlechterungen.

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Vergleich 2: Koordinatenfehler

Mischung von Korrekturendatensätzen

		quadr. Mittel über Tagesmittel (=Bias) Lage / Höhe	Mittel über Stdabw. Einzelepochen Lage / Höhe
Geo++	G	1,7 / 2,8	16,1 / 19,6
TUDD	G	1,6 / 1,9	16,0 / 19,7
Geo++/TUDD	G	1,9 / 3,7	16,6 / 20,4
Geo++	R	1,8 / 6,2	17,6 / 22,0
TUDD	R	3,9 / 4,6	17,9 / 22,2
Geo++/TUDD	R	4,4 / 6,5	18,1 / 22,4

iono.-freie Linearkombination [mm]

Ingenieurbüro Wanninger

www.wasoft.de

Schlussfolgerungen

Anwendung der Korrekturen auf bekannte Basislinien

- Antennenkorrekturen für präzise Anwendungen unverzichtbar
- geringe Genauigkeitsdifferenzen zwischen den Kalibrierverfahren, da andere Fehlereinflüsse dominant
- für einige Antennen: gute Ergebnisse mit baugruppen-spezifischen Korrekturen

- azi.-ele. PZV besser als ele. PZV
- leichte Genauigkeitsverluste bei Mischung von Korrekturensätzen