

# Aus zwei mach eins: Kombination der Beobachtungen von GPS- Referenzstationspaaren

Lambert Wanninger

Werden auf einer GPS-Referenzstation Paare von Empfängern betrieben, sollten deren Beobachtungen zu einem Datensatz kombiniert werden. Dieser ist frei von groben Messfehlern, enthält weniger Cycle-Slips und besteht aus Beobachtungen höherer Genauigkeit.

## 1 Einleitung

Auf einigen der in Betrieb befindlichen GPS- (oder GPS/GLONASS-) Referenzstationen werden Paare von Empfangssystemen betrieben. Motivation dafür ist meistens, dass so die Verfügbarkeit der Referenzdaten erhöht werden kann, d. h. dass

bei einem Totalausfall der Hauptstation dem Nutzer als Ersatz die Daten der Nebenstation angeboten werden können. Auf anderen Stationen werden aus vielerlei Gründen mehrere Empfangssysteme betrieben: verschiedene Eigentümer, unterschiedliche Verwendungszwecke, Parallelbetrieb unterschiedlicher Empfangssysteme, etc.

Bisher wird das Potential, was im Parallelbetrieb mehrerer Empfangssysteme liegt, nur ansatzweise genutzt. Dem Nutzer von Referenzdaten bereitet es Probleme, bei einem zeitweiligen Ausfall einer Hauptstation die Daten der Nebenstation zu verwenden. Er muss dann mit anderer Stationsbezeichnung, anderen Koordinaten und anderen Antennenphasenzentren arbeiten, was erfahrungsgemäß ein großes Fehlerpotential darstellt. Sehr viel

nutzerfreundlicher wäre es, die Beobachtungsdatenströme von Haupt- und Nebenstation zu kombinieren und dem Nutzer nur diese kombinierten Daten zur Verfügung zu stellen.

Voraussetzung für eine solche Kombination ist der Bezug beider Beobachtungsdatenströme auf eine gemeinsame Position und Antenne. Dies gelingt durch Umrechnung der Beobachtungen der Nebenstation auf die Position und Antenne der Hauptstation. Die sich anschließende Kombination der Beobachtungsdaten kann dann nicht nur Totalausfälle der Hauptstation beseitigen, sondern auch einzelne fehlende Messungen ergänzen (Abb. 1). Zusätzlich ergeben sich immer dann, wenn Beobachtungen beider Stationen vorliegen, kombinierte Beobachtungsdaten höherer Qualität.

Die vorgestellten Ansätze und Ergebnisse können sowohl in Echtzeit, wie auch bei nachträglicher Verarbeitung der Beobachtungsdaten erzielt werden. Voraussetzung ist, dass die Beobachtungsdaten (und Satellitenephemeriden) kommunikationstechnisch zusammengeführt werden. Die dreidimensionalen Koordinaten der Basislinie zwischen den beiden Stationen sollten mit 1 Millimeter-Genauigkeit vorliegen. Sie können aus simultanen GPS-Messungen bestimmt werden. Korrekturen der Antennenphasenzentren sollten vorab durch Antennenkalibrierung bestimmt worden sein.

Wird in regionalen Referenzstationsnetzen, wie z. B. in den SAPOS-Netzen der deutschen Landesvermessungsämter, gearbeitet, so können Datenlücken einer Referenzstation innerhalb des Netzes verkraftet wer-

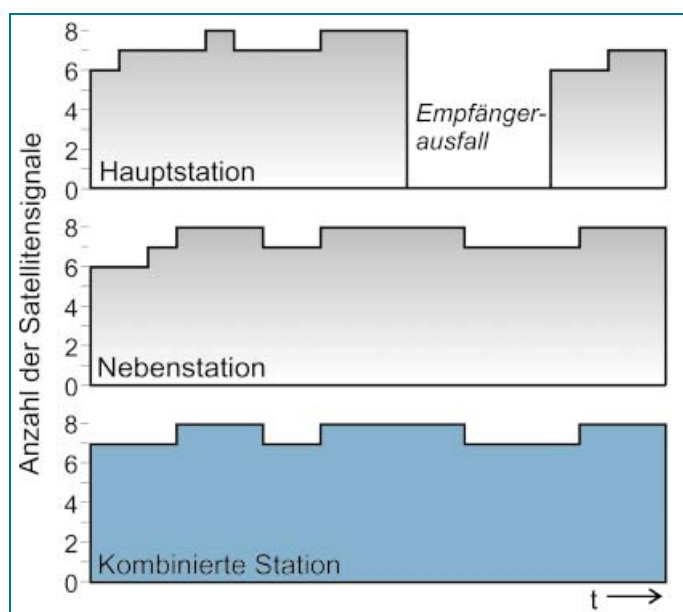


Abb. 1: Anzahl gemessener Satellitensignale eines Stationspaares und erhöhte Signalverfügbarkeit der kombinierten Station

den, indem auf die Beobachtungsinformationen weiter entfernter Stationen zurückgegriffen wird. So wird innerhalb des Netzes eine hohe Korrekturdatenverfügbarkeit erreicht. Andererseits verschlechtert sich durch den Ausfall einer Station die Qualität der Korrekturmodelle und damit die Qualität der Positionierung innerhalb des Netzes. Beim (unwahrscheinlichen) Ausfall mehrerer Stationen wird keine präzise Korrekturmodellierung mehr möglich sein. Ob die in diesem Artikel behandelten Stationspaare innerhalb von Referenzstationsnetzen zur weiteren Erhöhung der Korrekturverfügbarkeit als notwendig betrachtet werden, hängt davon ab, in welches Verhältnis die zusätzlichen Kosten zum Gewinn an Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Beobachtungsdaten gesetzt werden.

## 2 Bezug auf eine Position und eine Antenne

Voraussetzung für die Kombination der Daten zweier Empfangssysteme ist der Bezug auf eine gemeinsame Position und Antenne. Hier soll der Fall betrachtet werden, dass die Daten der Nebenstation auf die Position und Antenne der Hauptstation umgerechnet werden. Genaugogut könnten beide Datenströme auf eine willkürlich festgelegte Position bezogen und Antennenphasenzentrumsfehler durch absolute Korrekturen beseitigt werden (Nullantenne).

Die Koordinaten der beteiligten Stationen müssen bekannt sein. Die absolute Lagerung ist dabei von untergeordneter Bedeutung. Es reicht die mit absoluter GPS-Positionierung

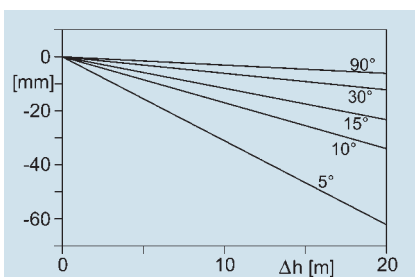


Abb. 2: Differenzen troposphärischer Laufzeitkorrekturen in Abhängigkeit der Höhendifferenz  $\Delta h$  bei ausgewählten Elevationswinkeln

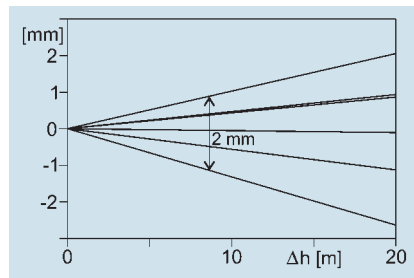


Abb. 3: Unterschiede troposphärischer Laufzeitkorrekturen in Abhängigkeit der Höhendifferenz  $\Delta h$  bei 5 Grad Elevation

erreichbare Meter-Genauigkeit aus. Wichtig dagegen ist die relative Genauigkeit, also die Genauigkeit des dreidimensionalen Basislinienvektors zwischen Haupt- und Nebenstation. Jeder hierbei verbleibende Fehler wirkt sich in gleicher Größenordnung auf die kombinierten Beobachtungen aus. Basislinienkoordinaten auf Millimeterniveau können aber leicht durch die Auswertung simultaner Satellitenbeobachtungen auf Haupt- und Nebenstation erzielt werden.

Korrekturen für Antennenphasenzentrumsfehler sollten vorab durch Kalibrierung bestimmt werden. Sie ermöglichen dann die Umrechnung von einer Antenne auf die andere. Sie werden in Abhängigkeit von Azimut und Elevation des eintreffenden Satellitensignals angewendet.

Bei einem Höhenunterschied  $\Delta h$  zwischen den beiden Stationen müssen Überlegungen zur eventuellen Korrektur von Differenzen troposphärischer Laufzeitfehler angestellt werden. Für Voruntersuchungen wurden Standardtroposphärenmodelle verwendet, wie sie bei der GPS-Datenauswertung eingesetzt werden. Wie Abb. 2 zeigt, übersteigen die troposphärischen Laufzeitdifferenzen schon ab wenigen Metern Höhendifferenz mm-Niveau. Sie sollten ab einem Höhenunterschied von einem Meter nicht mehr unberücksichtigt bleiben.

Leider wird bei der Auswertung der Satellitenbeobachtungen nicht nur mit einem, sondern mit ganz unterschiedlichen troposphärischen Standardmodellen gearbeitet, die zusätzlich noch mit unterschiedlichen meteorologischen Standardwerten ge-

speist werden. Abb. 3 zeigt die Differenzen für eine Elevation von 5 Grad, der Elevation, bei der die größten Unterschiede auftreten,

- zwischen drei gängigen Modellen (Saastamoinen, Modified Hopfield, Kombination aus Zenitkorrektur nach Saastamoinen und Niell-Mapping-Funktion) und
- zwei unterschiedlichen und so in Auswertesoftwarepaketen verwendeten meteorologischen Ausgangsdaten (Temperatur 288,15 bzw. 293,00 K; Luftdruck mit 1013,25 mbar und Luftfeuchtigkeit mit 50 % konstant gelassen).

Es ergibt sich, dass selbst bei 5 Grad Elevation die Differenzen zwischen den Korrekturmodellen erst ab einigen Metern Höhendifferenz das 1 Millimeterniveau übersteigen. Bis zu einem Höhenunterschied zwischen Haupt- und Nebenstation von etwa 10 m sind keine negativ wirkenden Unterschiede zwischen den Modellen zu erwarten.

Die Umrechnung einer Code- oder Phasenbeobachtung  $b_N$  von der Position/Antenne der Nebenstation N auf die Position /Antenne der Hauptstation H erfolgt dann in folgenden Schritten: Zuerst werden die Beobachtungen der Nebenstation um die bekannten geometrischen Informationsanteile (Raumstrecke  $R_N$  aus Stations- und Satellitenkoordinaten) gekürzt und Antennenkorrekturen  $A_N$  und troposphärische Korrekturen  $t_N$  angebracht. So entstehen die sogenannten Beobachtungskorrekturen  $k_N$  nach

$$k_N = b_N - R_N + A_N + t_N \quad (1)$$

Es ist zu beachten, dass hier im Gegensatz zur Definition von Beobachtungskorrekturen nach dem RTCM-Standard (RTCM 2001) Antennenkorrekturen und troposphärische Korrekturen angebracht werden. Anschließend werden die Beobachtungskorrekturen der Nebenstation N zu Beobachtungen für die Position/Antenne H vervollständigt:

$$\bar{b}_H = k_N + R_H - A_H - t_H \quad (2)$$

Die Antennenkorrekturen  $A_N$  und  $A_H$  fließen in Abhängigkeit des Einfallswinkels des Satellitensignals ein, die troposphärischen Korrekturen  $t_N$  und  $t_H$  sind im wesentlichen eine Funktion von Satellitenelevati-



on und Stationshöhe und werden mit Standardmodellansätzen berechnet. Aufgrund der Satellitenbewegung sind alle Größen in Gleichungen (1) und (2) zeitabhängig. Zur Vereinfachung der Darstellung wurden hier die Differenzen zwischen Signalaussende- und Signalempfangszeitpunkt unberücksichtigt gelassen.

### 3 Kombination der Daten

Sind die Beobachtungsdaten auf eine gemeinsame Position und Antenne bezogen, unterscheiden sie sich in Bezug auf Empfängeruhrfehler, Mehrwegeeinflüsse, Signalbeugungseinflüsse und Messrauschen. Für die Trägermischphasenbeobachtungen kommen die Phasemehrdeutigkeiten hinzu. Zur Beseitigung von Mehrdeutigkeitsdifferenzen müssen folgende Arbeitsschritte durchgeführt werden:

- Detektierung unerkannter Cycle-Slips,
- Bestimmung und Beseitigung von Cycle-Slips,
- Bestimmung und Beseitigung der Mehrdeutigkeitsdifferenzen zwischen den Stationen.

Alle drei Schritte können mit gängigen Algorithmen durchgeführt werden. Cycle-Slips auf einer Station können immer dann beseitigt werden, wenn die andere Station kontinuierliche Beobachtungen aufweist. Aufgrund der geringen Fehlereinflüsse gelingt die Mehrdeutigkeitslösung selbst für Einzelepochen fehlerfrei. Nur in seltenen Einzelfällen übersteigen die Restfehler eine Testgrenze von 0,3 Cyclen (= 5,7 cm für L1 und 7,3 cm für L2). Häufigster

Grund für größere Restfehler sind Signalbeugungseinflüsse, die mehr als 10 cm erreichen können. Sie treten aber nur auf, wenn Sichthindernisse über dem Antennenhorizont existieren. Signalbeugungsfehler werden im allgemeinen auf Referenzstationen durch geeignete Wahl des Antennenstandorts vermieden. Die Kombination der Daten erfolgt auf der Ebene von Beobachtungskorrekturen, vgl. Gl.(1). Liegen Beobachtungskorrekturen für nur eine der beiden Stationen vor, so gibt es keine Möglichkeit der Kombination und diese werden direkt übernommen. Liegen Korrekturen beider Stationen vor, wird zur korrekten Behandlung des Empfängeruhrfehlers ein Basissatellit gewählt, dessen Signal auf beiden Stationen empfangen wurde. Die Kombination erfolgt dann auf der Ebene von Differenzen zwischen zwei Satelliten, also mit  $\Delta k_H$  und  $\Delta k_N$ :

$$\Delta k_K = \frac{(w_H \cdot \Delta k_H + w_N \cdot \Delta k_N)}{(w_H + w_N)} \quad (3)$$

Gewichtungsfaktoren  $w_H$  und  $w_N$  für Haupt- und Nebenstation ermöglichen die Berücksichtigung von Genauigkeitsunterschieden zwischen beiden Empfangssystemen. Im einfachsten Fall werden identische Gewichte verwendet. Die resultierenden Differenzen von Beobachtungskorrekturen zwischen Satelliten  $\Delta k_K$  könnten direkt als Beobachtungskorrekturen  $k_K$  aufgefasst werden, wobei sie für den Basissatelliten den Wert null annehmen würden. Es ist aber sinnvoller, Unstetigkeiten des Empfängeruhrfehlers bei einem Basissatellitenwechsel aus Epochendif-

ferenzen zu bestimmen und zu beseitigen. In einem abschließenden Berechnungsschritt werden die Beobachtungskorrekturen  $k_K$  entsprechend Gleichung (2) zu Beobachtungen vervollständigt.

### 4 Experiment 1

Für das erste Experiment wurden vier Trimble 4700-Empfänger auf vier benachbarten Messpfeilern für 24 Stunden betrieben. Kalibrierwerte lagen für die Antennen vor und wurden in den Berechnungen verwendet. Aus jeweils zwei Beobachtungsdatensätzen wurde eine kombinierte Station berechnet. Die maximalen Differenzen zwischen zusammengehörigen Codemessungen betragen bei einer Elevationsmaske von 5 Grad 4,2 m (C1) bzw. 5,2 m (C2). Keine Codemessung wurde als grob fehlerhaft betrachtet. Die Differenzen weniger Phasemessungen waren auf beiden Frequenzen mehr als 0,3 Zyklen vom ganzzahligen Wert entfernt und wurden als Ausreißer eliminiert. Die nähere Untersuchung ergab, dass Signalbeugungseinflüsse an einer Dachkante diese großen Messfehler verursacht hatten.

Als Datenqualitätsmerkmale wurden untersucht:

- Fehlende Beobachtungen: Anzahl fehlender Beobachtungen im Verhältnis zur Gesamtzahl der zu erwartenden Beobachtungen,
- Anzahl der Cycle-Slips,
- Genauigkeiten von Einzelbeobachtungen für Code- und Phasemessungen: bei den Codemes-

Tab. 1: Datenqualität von Einzel- und kombinierten Stationen des Experimentes 1 für eine Elevationsmaske von 10 Grad

	Elevationsmaske von 10 Grad							
	Fehlende Beob. %	Anzahl Cycle-Slips in 24 h		Standardabweichung einer Einzelbeobachtung				
		L1	L2	m		mm		
				C1	C2	L1	L2	L0
Einzelstation	2,1	59	60	0,32	0,43	2,4	2,9	4,7
Kombinierte Station	1,1	7	8	0,23	0,30	1,5	1,8	3,2
Verbesserung in %	48	88	87	28	30	37	38	22

sungen abgeleitet aus ihrer Differenz zu geeigneten Linearkombinationen der Phasenbeobachtungen, bei den Phasenbeobachtungen aus den kurzen Basislinien zwischen den originären Stationen bzw. zwischen den beiden kombinierten Stationen.

Die in Tab. 1 aufgelisteten Datenqualitätsmerkmale stellen Durchschnittswerte für die vier Einzelstationen bzw. zwei kombinierten Stationen dar. Es ist zu erkennen, dass es bei allen Kriterien deutliche Verbesserungen gab. Sie sind bei den Cycle-Slips besonders ausgeprägt. Diese konnten auf fast ein Zehntel ihrer ursprünglichen Anzahl reduziert werden. Die Anzahl fehlender Beobachtungen wurde halbiert. Sie wurden durch Sichthindernisse oberhalb der Antennenhorizonte verursacht. Da z. T. auf den unterschiedlichen Stationen die selben Signale abgeschattet worden waren, sind auch die Beobachtungen der kombinierten Stationen nicht ganz vollständig. Die in den Beobachtungen

vorhandenen stationsabhängigen Fehlereinflüsse wurden reduziert.

## 5 Experiment 2

Im zweiten Experiment wird untersucht, inwieweit die Kombination der Beobachtungsdaten von Referenzstationspaaren eine Verringerung der Mehrwegeeffekte (insbesondere Phasenmehrwegeeffekte) ermöglicht. Dafür standen Beobachtungsdaten der SAPOS-Referenzstationen des Landesvermessungsamtes Mecklenburg-Vorpommern zur Verfügung (LVerMA MV 2002). In einem ersten Bearbeitungsschritt wurden Phasenmehrwegeeffekte auf den Referenzstationen mit dem Programmsystem WaSoft/Multipath detektiert und lokalisiert.

Der verwendete Algorithmus sucht in allen Basislinien eines Stationsnetzes unter Verwendung der ionosphären-freien Linearkombination nach Beobachtungsteilstrücken mit großen Residuen und identifiziert,

welches Signal (von welchem Satelliten auf welcher Station) dafür verantwortlich ist. So entstehen stationsweise Mehrwegedarstellungen, die die Intensität der Phasenmehrwegeeffekte abschätzen lassen und insbesondere eine wertvolle Hilfe bei der Identifizierung der reflektierenden Flächen in der Antennenumgebung darstellen (WANNINGER und WILDT 1997, WANNINGER und MAY 2000).

Die Darstellungen der Abb. 4 zeigen die Ergebnisse der Phasenmehrwegeanalyse eines Teilnetzes von acht Stationen. Die mit A, B und C benannten Stationen weisen die größten Phasenmehrwegeeffekte auf. Die anderen fünf Stationen sind dagegen wenig belastet oder können sogar als fast mehrwegfrei eingestuft werden.

In einem weiteren Analyseschritt sollte untersucht werden, ob die drei Stationen A, B und C tatsächlich die stärksten stationsabhängigen Fehlereinflüsse aufweisen. Dafür wurden die Messfehler von Einzel-

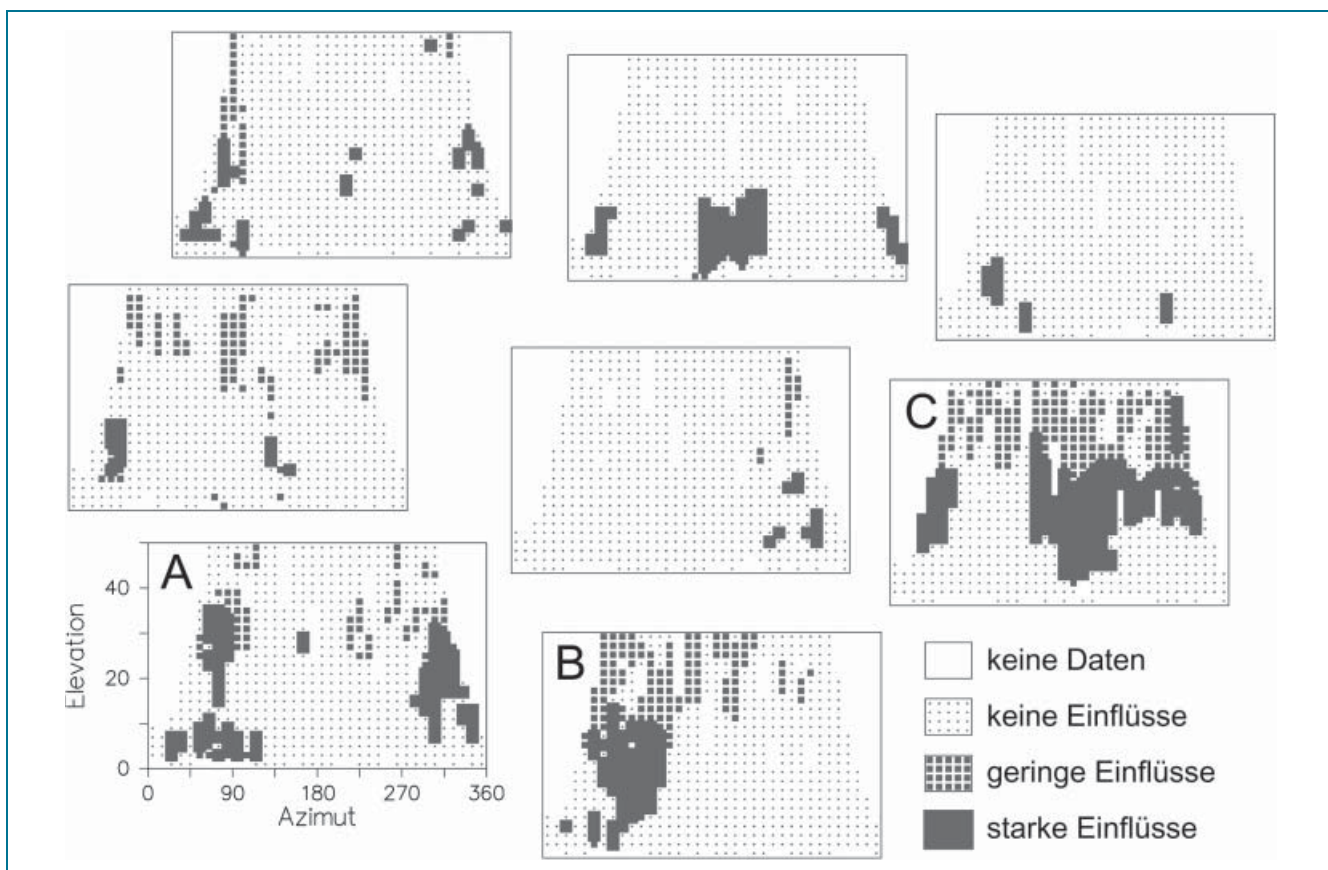


Abb. 4: Phasenmehrwegeeffekte in einem Subnetz von acht SAPOS-Referenzstationen

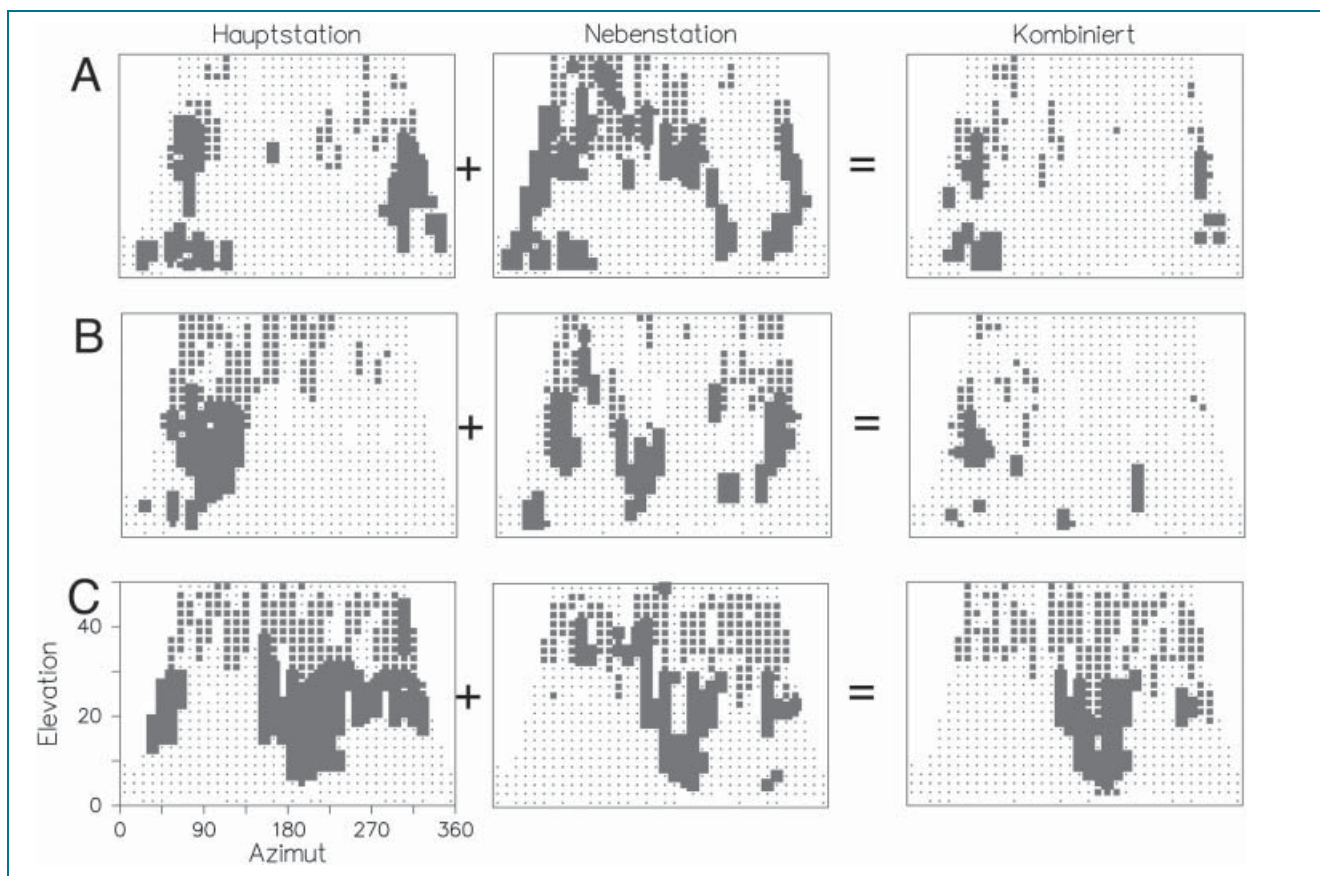


Abb. 5: Verringerung der Phasenmehrweegeinflüsse durch Kombination der Beobachtungen von Stationspaaren (Legende wie für Abb. 4)

beobachtungen basislinienweise mit dem Programmsystem WaSoft bestimmt. Zur Verringerung der entfernungsabhängig wirkenden Einflüsse wurden dazu die ionosphären-freie Linearkombination verwandt, präzise Ephemeriden eingeführt und troposphärische Parameter geschätzt. Die entfernungsabhängig wirkenden Restfehler werden somit fast vollständig beseitigt (vgl. Abb. 6). Es verbleiben im wesentlichen Fehler, die stationsabhängige Ursachen haben, also vornehmlich auf Phasenmehrweegeinflüsse zurückgehen. Bei der Bestimmung der Werte der Abb. 6 wurde eine elevationsabhängige Gewichtungsfunktion eingeführt. Alle Angaben beziehen sich auf eine Satellitenelevation von 40 Grad.

Die geringsten Messfehler der Einzelbeobachtungen treten in den Basislinien zwischen den fünf wenig belasteten Stationen auf (um 4 mm bei 50 km Stationsentfernung, vgl. Abb. 4). Sie wachsen an in Basislinien zwischen je einer wenig und

einer stark belasteten Station (um 5 mm) und erreichen die größten Werte in den Basislinien zwischen zwei belasteten Stationen (um 6 mm). Die Zahlenwerte belegen, dass die drei Stationen, die in der Mehrwegeanalyse als stark belastet eingeordnet wurden, tatsächlich die größten stationsabhängigen Fehlerinflüsse innerhalb der Gruppe von acht Stationen aufweisen.

Im Folgenden soll versucht werden, die Phasenmehrweegeinflüsse der drei stark belasteten Stationen durch Kombination der Beobachtungsdaten mit denen von auf den selben Dächern existierenden Nebenstationen zu verringern. Die Abstände zwischen den Haupt- und Nebenstationen betragen 6 bis 28 m, die Höhenunterschiede wenige Zentimeter bis 2 m. Die Analyse der Nebenstationen ergab, dass auch diese stark mehrwegebeeinflusst sind (Abb. 5). Bei der Station A ist die Mehrwegebelastung auf der Nebenstation stärker ausgeprägt als auf der Hauptstation, bei der Station C ist es umge-

kehrt. Die unterschiedlichen Mehrwegebelastungen auf Haupt- und Nebenstationen wurden durch Gewichtung der Ausgangsbeobachtungen berücksichtigt. Signale aus stark belasteten Einfallswinkeln wurden dabei niedriger gewichtet als Signale aus wenig belasteten Azimut-Elevations-Regionen.

Die Mehrwegebelastung der kombinierten Stationen konnte so bei den Stationen A und B deutlich verringert werden (Abb. 5). Bei der Station C gelang dies aber nur teilweise. Zwar wurden die Mehrwegefehler im Nordosten und Nordwesten vermindert, aber im Azimutbereich Süd- bis Südwest, für den bei Haupt- und Nebenstation Störungen zu erkennen sind, gelang keine Verbesserung. Eine Detailanalyse der Beobachtungsdaten ergab, dass in diesem Bereich identische Fehlereinflüsse aufweisen, d. h. dass die Geometrien zwischen Satellit, Reflektor und jeweiliger Antenne sehr ähnlich sind. Bessere Ergebnisse wären bei

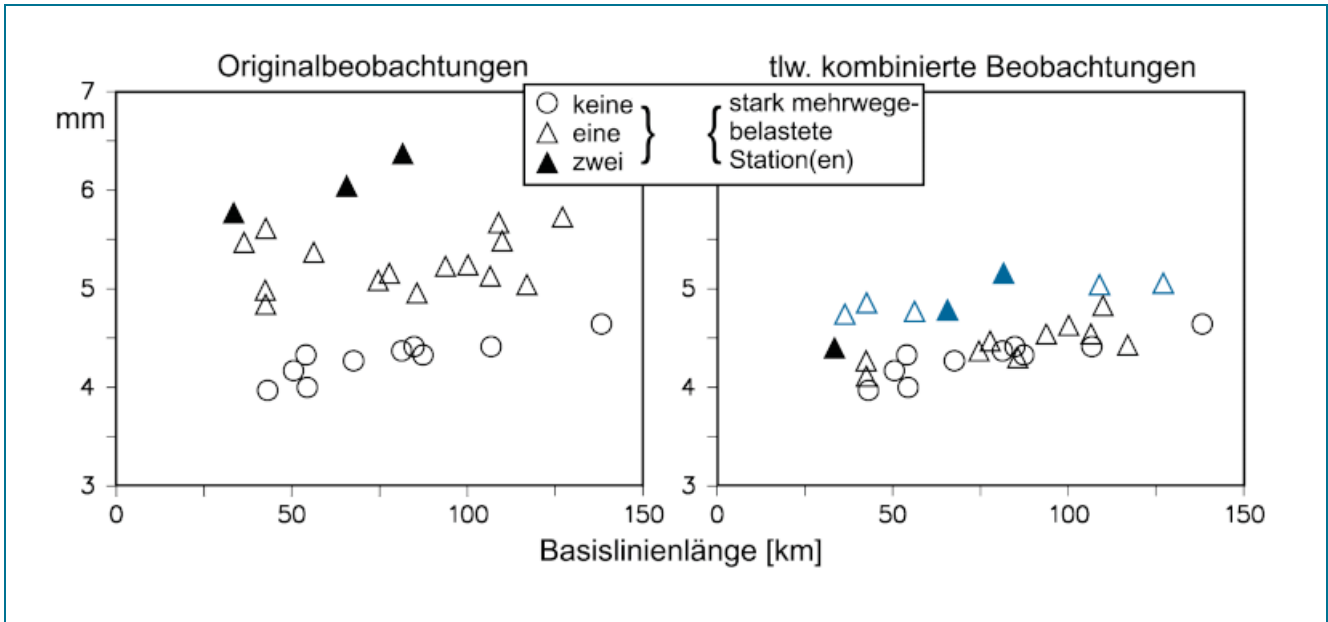


Abb. 6: Standardabweichungen der ionosphären-freien (L0) Phasenbeobachtungen in allen Basislinien zwischen Stationen des Experimentes 2: links Hauptstationen, rechts unter Verwendung der kombinierten Station A, B, C (in blau)

dieser Kombination erzielbar, wenn die Position einer der beiden Stationen in der Höhe oder der Lage verändert werden würde.

Durchschnittliche Qualitätsmerkmale der Einzel- und kombinierten Stationen A, B und C wurden in Tab. 2 zusammengefasst. Sie entspricht in ihrem Aufbau der Tab. 1, nur dass hier keine aussagekräftigen Genauigkeitsangaben für die Phasenbeobachtungen L1 und L2 gemacht werden konnten, da nur Beobachtungen langer Basislinien (33–82 km) vorlagen. Für die Phasenmessungen liegen also nur Ergebnisse der ionosphären-freien Linear-kombination L0 vor.

Da keine Signalabschattungen über 10 Grad Elevation auftraten, ist die Anzahl fehlender Beobachtungen

gering. Sie konnte aber durch die Kombination von Haupt- und Nebenstationen weiter vermindert werden. Die Anzahl der Cycle-Slips ging deutlich zurück. Die Genauigkeit der Einzelbeobachtungen nahm zu. Die Genauigkeitssteigerung der Phasenbeobachtungen ist auch in Abb. 6 deutlich zu erkennen. Hier wurden für den rechten Teil der Abbildung die Beobachtungen der Hauptstationen A, B und C durch die entsprechenden Beobachtungen der kombinierten Stationen ersetzt. Nun liegen die Genauigkeiten fast aller Einzelmessungen im Bereich 4,0 bis 4,5 mm. Nur für die Basislinien, an denen die Station C beteiligt ist (blaue Symbole), fallen die Genauigkeiten etwas schlechter aus. Hier wären aber bessere Ergebnisse

bei der Kombination zu erwarten, wenn die Position der Haupt- oder der Nebenstation in Höhe oder Lage etwas verändert werden würde.

## 6 Schlussfolgerungen

Wird mehr als ein GPS- (oder GPS/GLONASS-) Empfangssystem auf einer Referenzstation betrieben, ist es sinnvoll, die Beobachtungsdaten zu denen einer kombinierten Station zu vereinigen. So können nicht nur Datenlücken aufgrund des Ausfalls einer der beiden Stationen gefüllt werden, sondern es ergeben sich auch resultierende Beobachtungen höherer Qualität mit deutlich weniger Cycle-Slips und verringerten Mehrwegeeinflüssen. Weiterhin

Tab. 2: Datenqualität von Einzel- und kombinierten Stationen A, B und C des Experimentes 2 für eine Elevationsmaske von 10 Grad

	Fehlende Beob. %	Anzahl Cycle-Slips in 24 h		Standardabweichung einer Einzelbeobachtung		
		L1	L2	m		mm
				C1	C2	L0
Einzelstation	0,36	20	38	0,54	0,81	6,0
Kombinierte Station	0,27	6	8	0,43	0,65	4,8
Verbesserung in %	25	70	79	20	20	20



wird die Nutzung der Referenzdaten vereinfacht, da sie sich dann immer auf die selbe Position und Antenne beziehen unabhängig davon, ob sie von der kombinierten Station stammen oder bei Ausfall einer der Stationen nur von der Haupt- oder nur von der Nebenstation.

## Dank

Die Beobachtungsdaten wurden vom Geodätischen Institut der TU Dresden und dem Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern zur Verfügung gestellt.

## 7 Literatur

- [1] LVerMA MV: <http://www.lverma-mv.de/SAPOS.htm>, 2002
- [2] RTCM: RTCM Recommended Standard for Differential GNSS Service, Version 2.3, Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee No. 104, Alexandria Va., USA, 2001
- [3] WANNINGER, L. / WILDT, S.: Identifikation von Mehrwegeinflüssen in GPS-Referenzstationsbeobachtungen, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN), 1997, 104: 12–15
- [4] WANNINGER, L. / MAY, M.: Carrier Phase Multipath Calibration of GPS Reference Stations, Proc. of ION GPS 2000, 132–144

Dr.-Ing. habil. LAMBERT WANNINGER  
Ingenieurbüro Wanninger  
[www.wasoft.de](http://www.wasoft.de)  
Melsbacher Str. 2, 56567 Neuwied

## Zusammenfassung

**Werden auf GPS-Referenzstationen Paare von Empfangssystemen betrieben, sollten deren Beobachtungen zu einem Datensatz kombiniert werden. Der kombinierte Datensatz ist vollständiger, frei von groben Messfehlern, enthält weniger Cycle-Slips und besteht aus Beobachtungen höherer Genauigkeit. Für die Nutzer ist es weiterhin von Vorteil, dass sich die kombinierten Beobachtungen immer auf die selbe (wählbare) Position und Antenne beziehen unabhängig davon, welche Originalmessdaten vorliegen.**