

Qualitätssicherung bei Referenzstationen und in Referenzstationsnetzen

Wolfgang Augath, Thomas Blumenbach, Steffen Wildt
TU Dresden

0 Vorbemerkung

Das Wort „Qualität“ besitzt im Vermessungswesen schon immer einen hohen Stellenwert. Zu allen Erzeugnissen/Ergebnissen werden Genauigkeitsangaben ermittelt. Diese werden seit einigen Jahrzehnten ergänzt durch Zuverlässigkeitsparameter, eingebettet in ausgefeilte statistische Teststrategien. Gerade unter dem Aspekt heutiger Echtzeitanforderungen besteht das Problem der unvollständigen mathematischen Erfassung des gesamten Herstellungsprozesses geodätischer Produkte.

Hier setzt Qualitätsmanagement ein, welches alle Einflussgrößen eines Produktionsablaufes zu erfassen versucht. Vernünftigerweise wird dabei bei den Anforderungen des Kunden begonnen. Als Maßstab dient dessen Zufriedenheit [Klüger, 2001].

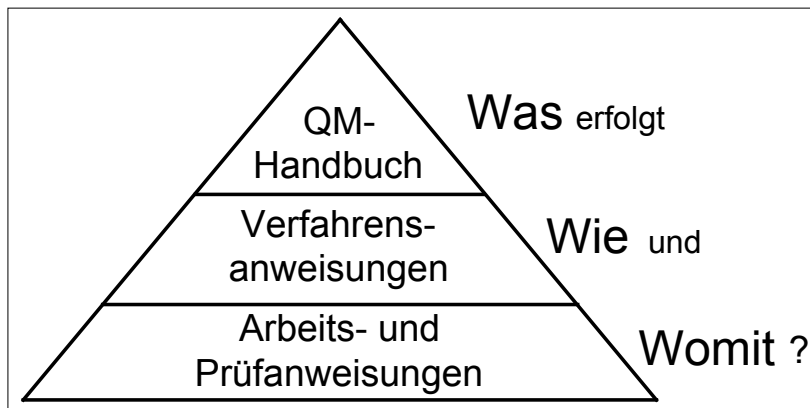


Abb. 1: Aufbau eines Quality-Management-Systems [AdV, 2000]

Die Ergebnisse des Qualitätsmanagements werden in einem Qualitätshandbuch zusammengefasst. Verfahrensanweisungen, vgl. Abb. 1, behandeln die zumeist vielschichtigen Teilbereiche auf dem Weg zum fertigen Produkt. Die in diesem Beitrag dargestellten Maßnahmen sind dabei im Segment "Arbeits- und Prüfanweisungen" anzusiedeln.

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über wichtige Einflussgrößen bei GPS-Referenzstationsnetzen, ergänzt durch praktische Ergebnisse, die im Rahmen von Forschungsprojekten am Geodätischen Institut auf eigene und auf Referenzstationen der deutschen Landesvermessungsbehörden übertragen worden sind [BMBF, 1996–2002].

1 Einführung

Aufgabe der Qualitätssicherung auf Referenzstationen ist die Gewinnung von Informationen zur Datenqualität für die Einschätzung künftig zu erwartender Datenzustände. Damit sollen neben den bekannten Parametern wie z.B. "Punktstabilität" und "Abschattung" zusätzliche Kriterien geschaffen werden, mit denen eine bessere Beurteilung der Datengüte möglich wird. Da die Informationen direkt aus Messdaten gewonnen werden, lassen sich deutlich zuverlässigere Aussagen bezüglich der zu erwartenden Datenqualität treffen. Höchste Genauigkeitsforderungen sind nur realisierbar, wenn eine permanente und durchgreifende Untersuchung der Messwerte stattfindet. Erst dann können etw. Korrekturen ermittelt und angebracht werden bzw. Warnungen bei Problemen auf der Referenzstation an den Administrator und/oder die Nutzer ergehen.

Die Qualitätssicherung untergliedert sich in zwei prinzipiell unterschiedliche Bereiche. Einige Informationen lassen sich direkt und in Echtzeit aus den Messdaten einer einzelnen Station gewinnen. Dazu zählen:

- Datenverfügbarkeit/-vollständigkeit
- Datenkontinuität (Erkennung von Phasenunterbrechungen)
- Mehrwegeausbreitung auf den Codebeobachtungen
- Ionosphärische Laufzeitkorrektur
- Troposphärische Laufzeitkorrektur aus radiometrischen Messungen

Für weitere Größen müssen die Daten der Referenzstationen zusammengefasst werden. Es erfolgt eine netzweise Auswertung, die in Echtzeit oder im *post processing* ablaufen kann. Dabei erhält man z.B. Aussagen zu folgenden Punkten:

- Stabilität der Referenzstation
- Mehrwegeausbreitung und Signalbeugung auf den Trägerphasen
- Refraktionsanomalien

Im Folgenden werden ausgewählte echtzeitfähige Algorithmen zur Bestimmung verschiedener Qualitätsparameter näher erläutert.

2 Test auf Datenvollständigkeit

Mit Hilfe der Navigationsnachricht jedes einzelnen Satelliten kann seine Position in der Bahn für jeden gewünschten Zeitpunkt berechnet werden. Bei gegebener Stationskoordinate und Elevationsmaske lässt sich somit die Sichtbarkeit vorausberechnen.

Bedingt durch zumeist sachliche Zwänge seitens des Referenznetzbetreibers ist es in der Regel nicht möglich, die Antenne auf einem Standort mit absoluter Horizontfreiheit zu montieren. Hindernisse, die zum Teil über die eingestellte (meist sehr niedrige) Elevationsmaske reichen, stellen ein Problem dar.

2.1 Die tatsächliche Abschattungsmaske

Geht ein Satellit unter, wird dieser beim Erreichen der Elevationsmaske durch den Empfänger von der weiteren Messung ausgeschlossen. Versperrt ein Hindernis den freien Blick zum Satelliten schon früher, sorgen Beugungseffekte häufig dafür, dass die Signale weiterhin an der Antenne ankommen.

Im Zusammenhang mit der Vollständigkeitsanalyse von Referenzstationsdaten wurde bisher eine azimuthal gleichverteilte Elevationsmaske angenommen. Dabei kommt es zu Fällen, in denen Satelliten theoretisch empfangbar sein müssten, tatsächlich aber nicht gemessen wurden. Dabei ist zu unterscheiden in:

- Satellit ist plötzlich ausgefallen/abgeschaltet worden
- Satellitensignal erzeugt bei gegebener Antennen-Empfängerkombination ein zu geringes Signal-Rausch-Verhältnis (SNR), kann also nicht gemessen werden
- Hindernis im Signalweg

Alle drei Fälle würden zu einer Warnmeldung "Satellit X nicht gemessen" an den Administrator führen. Für die zwei ersten Fälle wäre das auch korrekt. Für den Fall, dass ein Hindernis die Ursache ist, würde eine falsche Warnmeldung erzeugt werden. Wird nun die tatsächliche Abschattungssituation in der Referenzstationssoftware berücksichtigt, kann der Betreiber genauere Aussagen über die Verfügbarkeit seines Korrekturdatendienstes treffen. Im Fall der Berücksichtigung der tatsächlichen Verhältnisse fällt die Aussage über die Datenvollständigkeit sogar etwas positiver aus. Der eigentliche Vorteil besteht aber in der Nutzung der Sichtbarkeitsinformationen im Zuge der automatisierten Unterdrückung von Signalbeugungseffekten, vgl. Abschnitt 5.2.

2.2 Visualisierung

Die folgenden Abbildungen zeigen eine graphische Darstellung der Datenvollständigkeit. Aus der Vollständigkeit der L1 bzw. L2 Messungen lässt sich implizit auch auf die Vollständigkeit der jeweiligen Codemessungen auf dieser Frequenz schließen. Ein Empfänger kann i.d.R. nur dann eine Trägerphase messen, wenn zuvor die Codeverfolgungsschleife auf das Signal "eingersetzt" ist. Im Umkehrschluss gilt: Wenn keine Phasenmessung vorliegt, kann eine Codemessung möglicherweise doch vorliegen. In diesem Fall muss aber von gestörten Messungen oder Problemen beim Einlaufverhalten nach einem Empfänger-Reset ausgegangen werden.

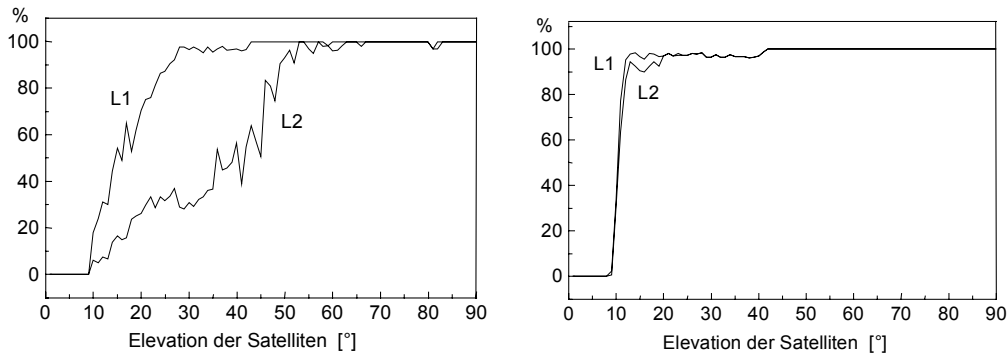


Abb. 2: Datenvollständigkeit zweier unterschiedlicher GPS-Empfängers am gleichen Standort, stark gestört (links), gering gestört (rechts) bei 10 °Elevationsmaske

Die Beispiele in Abb. 2 zeigen eine gestörte sowie eine ungestörte Station. Signale aus niedrigen Elevationsbereichen haben längere Signalwege und damit verbunden geringere SNR. Sie sind deshalb anfälliger für Unterbrechungen. Treten Störungen auf, wirken diese i.d.R. verstärkt auf der zweiten Frequenz.

3 Datenkontinuität

Die Ursachen für Phasenunterbrechungen können unterschiedlicher Natur sein. Dazu zählen insbesondere Mehrwegeeffekte und andere Signalausbreitungsstörungen wie Interferenzen. Auch Abschattungen durch Bäume haben vielfach Signalunterbrechungen zur Folge.

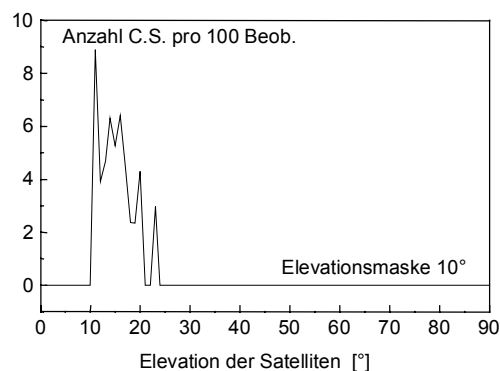


Abb. 3: Anzahl an Phasenunterbrechungen für eine stark gestörte Station (L2) mit Abschattungen durch Bäume im unteren Elevationsbereich

Eine Angabe der Häufigkeit des Auftretens von Phasenunterbrechungen (*cycle slips*) gelingt bereits mit den Daten einer einzelnen Station. Diese Informationen können ebenso wie die Untersuchungen zur Datenvollständigkeit elevationsabhängig für jedes Signal dargestellt und prozentual angegeben werden, vgl. Abb. 3. Sie sind aber in Abhängigkeit von den konkreten Abschattungsbedingungen zu diskutieren.

Wiedergegeben wird das Verhältnis der durch *code-carrier*-Vergleich über die Zeit gefundenen *cycle slips* zur Gesamtanzahl der Beobachtungen. Auch hier ist festzustellen, dass nur die tiefstehenden Satelliten signalstärkebedingt stärker betroffen sind.

Je nach Qualität der empfängerinternen Software können teilweise sehr viele (manchmal fast alle) *cycle slips* unerkannt geblieben sein. Große Vorsicht ist dann geboten, wenn Stationen mit unterschiedlichen Empfängern nur dahingehend verglichen werden, welche *cycle slips* empfängerseitig markiert wurden.

4 Mehrwegeausbreitung

Einen großen Anteil im GPS-Fehlerhaushalt liefert der Effekt der Mehrwegeausbreitung. Dabei erreichen Satellitensignale nicht nur auf direktem Wege die Empfangsantenne, sondern auch nach Reflexion an dafür geeigneten Flächen. Am Empfänger selbst ist dann nur ein Mischsignal zu empfangen, welches sich aus möglicherweise mehreren Überlagerungen mit dem direkten Signal zusammensetzt. Prinzipiell muss die Analyse von Mehrwegeausbreitungseffekten in die Bereiche Code- und Phasenmehrwegeausbreitung unterteilt werden.

4.1 Mehrwegeausbreitung auf dem Code

Codemehrwegeeffekte lassen sich recht einfach in Echtzeit auf einer Einzelstation bestimmen. Dabei wird der Umstand ausgenutzt, dass mit den Phasenmessungen Vergleichsmessgrößen vorliegen, deren Maximalfehler deutlich geringer als das Codemessrauschen sind. Dem Ansatz nach [UNAVCO, 1994] folgend, können die Codeeffekte MP bestimmt werden. Die MP-Werte werden eindeutig von den jeweiligen Codemehrwegeeffekten und dem Codemessrauschen dominiert.

Die Phasenmessungen werden dabei um ihren Mittelwert über einen unterbrechungsfreien (ohne *cycle slips*) Zeitraum reduziert. Man erhält somit Codemehrwegefehler, die im Mittel etwa Null ergeben. Von Interesse sind nun vor allem die relativen Veränderungen des Codemehrwegeefflusses über die Zeit. Abb. 4 zeigt den sich ändernden Codemehrwegeeffluss über den gesamten Beobachtungszeitraum eines ausgewählten Satelliten. Die Beobachtungen stammen von einer Referenzstation auf einem Satteldach mit geringen Abschattungen.

Nur im horizontnahen Bereich treten verstärkt Einflüsse auf. In den oberen Elevationsbereichen ist der Satellit kaum von Mehrwegeeffekten betroffen. Hier zeigt sich nur noch das Codemessrauschen.

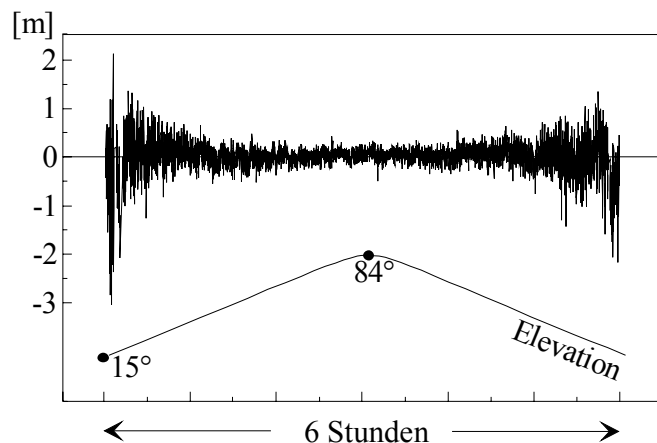


Abb. 4: Codemehrwegeeffekte eines Satelliten auf einer Referenzstation

Da einige Hersteller dazu übergehen, standardmäßig trägerphasengeglättete Codemessungen auszugeben, ist in diesen Fällen die Bestimmung der MP-Werte nicht mehr sinnvoll. Im Ergebnis erhielte man viel zu optimistische Aussagen. Trotzdem wären Codemehrwegeuntersuchungen für die Station möglich, wenn die Trägerphasenglättung in den Empfängereinstellungen deaktiviert werden kann. Die Referenzstationssoftware wäre dann in der Lage, erst die Mehrwegeuntersuchung und anschließend die Phasenglättung durchzuführen.

4.2 Mehrwegeausbreitung auf den Trägerphasen

Aus der Überlagerung des Umwegsignals mit dem direkten Signal resultiert eine Phasenverschiebung im Phasenregelkreis. Dieser Fehler tritt infolge der permanenten Änderung der Satelliten-Reflektor-Empfänger-Geometrie periodisch auf und kann mit geeigneten Mitteln erkannt werden. Dazu werden nach der endgültigen Koordinatenbestimmung Restfehler ermittelt und dargestellt.

Da die Bestimmung von Mehrwegeeffekten bisher rein visuell stattfand, wurde ein Algorithmus entwickelt, der eine automatisierte Detektierung und Analyse von Phasemehrwegeeffekten ermöglicht. Wichtige Leistungsparameter sind unter SAPOS-Verhältnissen [Wanninger u. Wildt, 1997]:

- Betrachtung des Einflusses der Mehrwegeausbreitung auf die Phasenmessung, da diese die entscheidende Messgröße für cm-Genauigkeit darstellt,
- Verwendung von Messdaten aus dem laufenden Betrieb,
- Eindeutige Erkennung gestörter Stationen und betroffener Signale,
- Zusätzliche Erfassung von Signalbeugungseinflüssen

Der Algorithmus arbeitet mit der ionosphärenfreien Linearkombination L0. Vorteil ist, dass die L0-Residuen nur den Anteil der Mehrwegeausbreitung enthalten und diesen sehr gut wieder spiegeln. Bei der Linearkombinationsbildung kommt es zu einer Verstärkung des Einflusses bis zum vierfachen Wert der Originalgrößen.

Die Identifikation läuft mehrstufig ab. Zunächst werden undifferenzierte Residuen berechnet. Es folgt die Doppeldifferenzbildung zwischen dem höchststehenden und den zu untersuchenden niedrigeren Satelliten aller Stationen. Um das Mehrdeutigkeitsproblem zu lösen und langperiodische Fehlereinflüsse zu reduzieren, wird ein Mittelwert abgezogen und für jeden Doppeldifferenz-Vektor eine Standardabweichung gebildet. Nur wenn ein Großteil der Standardabweichungen einen Grenzwert überschreitet (z.B. 15 mm), besteht der Verdacht auf Mehrwegeeinfluss. Die Vektoren werden nun in allen Kombinationen korreliert. Nur wenn ein Großteil der Korrelationskoeffizienten einen vorgegebenen Wert überschreitet (z.B. 0,8), erhärtet sich der Verdacht auf Mehrwegeausbreitung auf der untersuchten Station. Durch den Vergleich mehrerer Messtage lassen sich die Ergebnisse verifizieren.

Es wird angenommen, dass die dominanten Mehrwegeperioden weniger als 30 Minuten betragen und dass nur wenige Stationen stark durch Mehrwegeausbreitung betroffen sind. Nur wenn es im Referenzstationsnetz mindestens zwei gering beeinflusste Stationen gibt, gelingt eine qualitativ gute Bestimmung der Effekte auf den anderen Stationen.

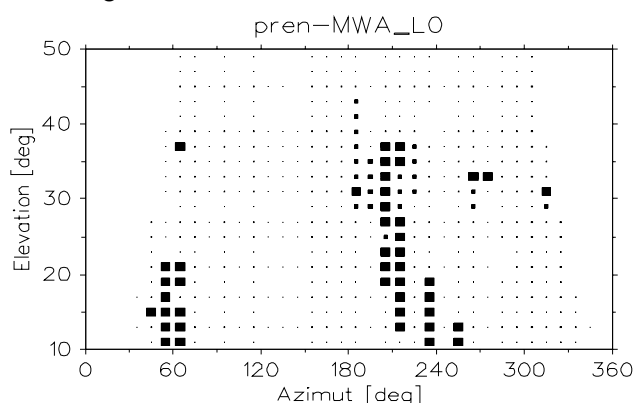


Abb. 5: Phasemehrwegeeffekte auf einer Referenzstation

Abb. 5 zeigt die Mehrwegeausbreitungssituation auf einer Referenzstation. Ein kleiner Punkt in der Grafik steht hierbei für eine Standardabweichung kleiner als 5 mm und damit für das Vorhandensein von Messdaten in diesem Cluster. Die mittlere Punktgröße zeigt Fehler zwischen 5 mm und 15 mm Standardabweichung. Für die großen Punkte gilt ein Einfluss größer 15 mm.

Der Algorithmus wurde an über 200 Stationen getestet und erbrachte eine gute Wiederholbarkeit der Einflüsse. Damit ist gesichert, dass es sich tatsächlich um Mehrwegeausbreitung

handelt. Ein Referenznetzbetreiber wird in der Zukunft in der Lage, Warnungen in Echtzeit an Nutzer auszusprechen oder Korrekturen an die Messdaten anzubringen. Letzteres ist [Wanninger und May, 2000] mit Daten des Referenzstationsnetzes von Sachsen-Anhalt auf L0-Basis im *post processing* bereits gelungen.

5 Signalbeugung (Diffraktion) auf den Trägerphasen

Beugungseinflüsse weisen ebenfalls eine satellitenortabhängige Wiederholbarkeit auf. Sie können jedoch aufgrund des fehlenden direkten Signalanteils deutlich größere Fehler verursachen. Da sich Beugungseffekte durch eine Verlängerung der Beobachtungszeit nicht herausmitteln, stellen sie einen wichtigen Fehlereinfluss bei präzisen Anwendungen dar. Aufgrund der Forderung nach kürzeren Messzeiten kommt diesen Fragen ein immer höheres Gewicht zu.

5.1 Auswirkungen von Signalbeugung bei GPS

Als Beispiel sind in Abb. 6 die Residuen auf einer sehr kurzen Basislinie angegeben. Eine Antenne war dabei einem Sichthindernis ausgesetzt, sodass der zu untersuchende Satellit 02 durch Beugungseffekte beeinflusst wurde.

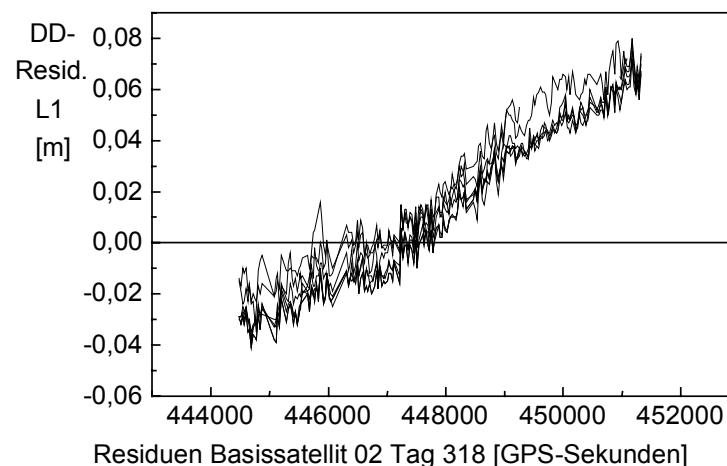


Abb. 6: Beugungseffekte durch Signalabschattungen

Deshalb sind alle doppelten Differenzen zu diesem Satellit ebenfalls von diesen Störungen betroffen. Abhängig von der Empfangsqualität des Empfängers wird das schwache und durch den Umweg verfälschte Signal weiterverarbeitet. Nach einer gewissen Zeit ist das SNR so stark abgesunken, dass der Empfänger die Messung zum Satelliten einstellt. Gelangen Messwerte aus diesem Bereich in die weitere Prozessierung, ist von systematischen Verfälschungen der Position auszugehen. Der Messfehler auf den Originalsignalen kann dabei einige dm erreichen [Wanninger u.a., 2000]:

Bei einer scheinbaren Satellitenbewegung von ca. $0.007^\circ/s$ im niedrigen Elevationsbereich benötigt ein Satellit im Durchschnitt 2.5 Minuten, um ein Hindernis von 1° zu überstreichen (vgl. Abb. 7). In dieser Zeit erhält der Nutzer verfälschte Korrekturdaten. Die eingesetzten, zumeist sehr guten geodätischen Empfänger messen auch bei ungünstigem SNR. Das ist für diesen Fall eher ein Nachteil. Der Empfänger wäre zwar in der Lage, das tatsächliche SNR einem elevationsabhängigen theoretischen Grenzwert gegenüberzustellen. Die Ableitung einer Entscheidung, ab welcher Unterschreitung des Grenzwertes der Satellit eliminiert werden soll, ist jedoch sehr schwierig. Grund dafür ist, dass das SNR nicht schlagartig sinkt, wenn ein Hindernis in den Signalweg gelangt. Außerdem ist die Signalabschwächung stark von der Gestalt und den Oberflächeneigenschaften des Hindernisses abhängig [Allnutt, 1989].

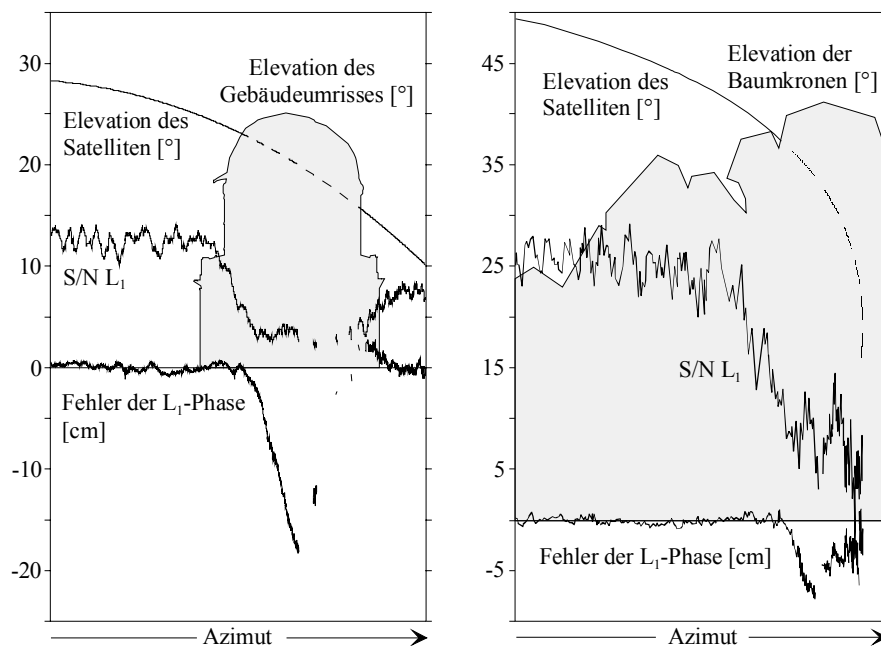


Abb. 7: Beugungseffekte an einem Gebäude (links) und an einer Baumgruppe (rechts)

Für den allgemeinen Fall kann ein Algorithmus nach der Delta-Sigma Methode [Brunner u.a., 1999] angesetzt werden. Eine Referenzstation ist ein Spezialfall im Sinne von Sollkoordinaten und bekannter (konstanter) Abschattungssituation. Eine geometrische Methode zur Elimination von Satelliten, die von Beugungseffekten betroffen sind, kann hier die Trennung zwischen guten und schlechten Signalen gezielter verwirklichen.

5.2 Geometrische Methode zur Verminderung von Signalbeugungseffekten

Für den Teilbereich Signaldiffraktion wurde ein Ansatz verwirklicht, der es ermöglicht, bestimmte Satellitensignale von der Weiterverarbeitung auszuschließen. Die im Zuge der Prozessierung anfallenden Informationen zur Sichtbarkeit von Satelliten werden benutzt, um solche Epochen zu erkennen, in denen sich einzelne Satelliten hinter Totalabschattungen befinden. Dazu ist für die Referenzstation eine Einmessung der Horizontlinie oberhalb der gewünschten Elevationsmaske erforderlich. So werden Objekte erfasst, die als mögliche Beugungskanten in Frage kommen. Dabei wird durch zusätzliche Informationen zwischen einzelnen Abschattungsarten, z.B. Mauerwerk, Belaubung, Berge am Horizont usw. differenziert.

Der Algorithmus erkennt nun die Daten vom Empfänger, die theoretisch keinen direkten Weg durch die Atmosphäre genommen haben können. Solche Messungen werden abhängig von den Zusatzinformationen des Übergangsbereiches aus der Epoche eliminiert.

6 Refraktionsanomalien (Ionosphäre und Troposphäre)

Im Rahmen der Qualitätssicherung erweist sich die Ionosphäre als Einflussgröße mit komplexen Eigenschaften [Wanninger, 2002]. Durch die systemseitig bereitgestellten beiden Frequenzen L1 und L2 sind die Auswirkungen sowohl auf der Station direkt, als auch in regionalen Referenzstationsnetzen aus eigenen Messgrößen ermittelbar. Echtzeitanprüche können hierbei leicht erfüllt werden.

Bei der troposphärischen Refraktion besteht dieser einfache Weg leider nicht. Die hohe Korrelation der meteorologischen Parameter im Entfernungsbereich des SAPOS-Netzes lässt i.A. eine problemlose DGPS-Modellierung ohne eigene Messwerte zu. In Abb. 8 ist eine nicht häufig anzutreffende Situation dargestellt, bei der durch den Durchzug einer Wetterfront deutlich unterschiedliche Gradienten für die troposphärische Zenitkorrektur bestehen. Hier sollte eine Warnung an die Nutzer ausgesprochen werden. Die dazu nötigen Parameter können in Multistationsausgleichungen mitgeschätzt werden

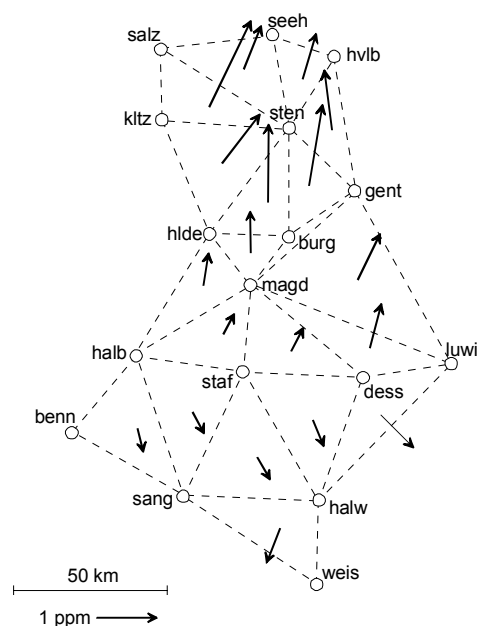


Abb. 8: Gradienten der troposphärischen Zenitkorrektur in mehreren Netzschleifen

Aktuelle Troposphärenparameter lassen sich mit Hilfe von Wasserdampfradiometern und meteorologischen Sensoren auch direkt messen. Abb. 9 gibt einen mehrmonatigen Vergleich zwischen der gemessenen und der im Rahmen der GPS-Auswertung geschätzten Laufzeitverzögerungen wieder. Solche Vergleiche wurden in der Vergangenheit durchgeführt um abzuschätzen, ob sich die Radiometermessungen lohnen.

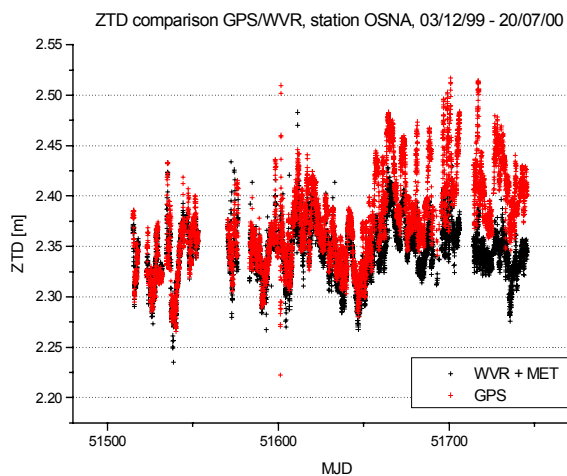


Abb. 9: Bestimmung des troposphärischen Laufzeitfehlers in Zenitrichtung (rot: Radiometer + Wetterdaten, schwarz: GPS)

Im Sinne der Qualitätssicherung ist dies aus unterschiedlichen Gründen zu empfehlen. Zum Einen kann hiermit die Schätzung der Troposphärenparameter kontrolliert werden. Zum Anderen werden eventuelle Verfälschungen aufgedeckt, die durch die hohe mathematische Korrelation von Höhe und troposphärischer Laufzeitverzögerung bedingt sind. Besonders problematisch ist dieser Umstand auf Stationen mit größeren Mehrwegeeffekten. Höhenkomponente und Troposphärenparameter werden auf nicht vorhersehbare Art und Weise beeinflusst. Dies ist nur durch unabhängige Messverfahren zu separieren.

7 Ausblick

Bisher wurde die Qualitätssicherung auf Referenzstationen und -netzen im Rahmen von Validierungen bei der Einrichtung der Station durchgeführt. Auf diese Weise sind durch das Geodätische Institut der TU Dresden über 200 z.T. auch turnusmäßig wiederholte Stations-

validierungen durchgeführt worden. Für den Echtzeitbetrieb eines Referenzstationsnetzes ist es aus den genannten Gründen wünschenswert, alle Qualitätsparameter und Korrekturwerte kontinuierlich zu generieren und zu überwachen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts MULTINAV entstand eine Software für den Referenzstationsbetrieb. Schwerpunkte hierbei liegen auf einem automatisierten Datenfluss sowie im Bereich der Echtzeitprozessierung von GPS- und GLONASS-Daten aus Referenzstationsnetzen. Die zum Teil schon älteren Ansätze zur Qualitätsüberprüfung wurden aufgegriffen, erweitert und konsequent in Richtung Echtzeitfähigkeit modifiziert. Mit Blick auf GALILEO konnten bereits jetzt Erfahrungen im Umgang mit verschiedenen Satellitensystemen und deren Integration gewonnen werden.

Literatur:

AdV (2000): *Qualitätshandbuch SAPOS (Entwurf)*, 2000, unveröffentlicht.

Allnutt, J.E. (1989): *Satellite-to-ground radiowave propagation*, Peter Peregrinus Ltd., London, 1989.

BMBF (1996-2002): *Projektanträge HPPS, CESAR, NNSAT, MULTINAV*, siehe <http://www.gi.geo.tu-dresden.de>.

Brunner, F.K., H. Hartinger, L. Troyer (1999): *GPS signal diffraction modelling: the stochastic SIGMA- Δ model*, Journal of Geodesy, Heft 73, S.259-267, Springer-Verlag, 1999.

Klüger, M. (2001): *Grundlagen des Qualitätsmanagements*. Seminarunterlagen zur BWB-Veranstaltung "Einführung in das Qualitätsmanagement", Dresden, 7.12.2001, unveröffentlicht.

UNAVCO (1994): *QC Version 3 Users Guide*, University Navstar Consortium (UNAVCO), P.O.Box 3000, Boulder, CO 80307-3000, USA, 1994.

Wanninger, L. (2002): *Die Bedeutung der Ionosphäre für Referenzstationsnetze*, In diesem Heft.

Wanninger, L., M. May (2000): *Carrier Phase Multipath Calibration of GPS Reference Stations*. Proc. of ION GPS-2000, Salt Lake City, UT, 2000.

Wanninger, L., S. Wildt (1997): *Identifikation von Mehrwegeeffekten in GPS-Referenzstationsbeobachtungen*, In: Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN), S. 12-15, Heft 1/1997.

Wanninger, L., V. Frevert, S. Wildt (2000): *Der Einfluss der Signalbeugung auf die präzise Positionierung mit GPS*, In: Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV), S. 8-16, 125. Jahrgang, 2000.

Wiedemann, A. (2002): *Erstellung eines Mehrwegekorrekturmodells*, Diplomarbeit, Geodätisches Institut TU Dresden, 2002, (unveröffentlicht).

Anschrift der Verfasser:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Augath
Dipl.-Ing. Th. Blumenbach
Dipl.-Ing. S. Wildt

Geodätisches Institut
TU Dresden
Mommsenstr. 13
01062 Dresden

email: wolfgang.augath@mailbox.tu-dresden.de