

MINIMALBEDINGUNGEN ZUR SCHÄTZUNG VON PRÄZISEN TROPOSPHÄRENPARAMETERN IN GNSS-AUSWERTUNGEN

Einleitung

Bei der satellitengestützten relativen Positionsbestimmung mit großen Höhenänderungen können die Einflüsse troposphärischer Refraktion häufig durch Standardmodelle nicht hinreichend genau bestimmt werden. Daher kann die Schätzung des Restfehlers durch einen zusätzlichen Parameter in der Auswertung sinnvoll sein. Dies schwächt jedoch das Ausgleichssystem und verstärkt insbesondere die Unsicherheiten der Höhenkoordinate. Das Erreichen hoher Genauigkeit erfordert so längere Beobachtungszeiten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Minimalbedingungen untersucht, welche notwendig sind, um den troposphärischen Restfehler in der GNSS-Auswertung als zusätzliche Unbekannte mitzuschätzen. Im Zuge dessen wurden zeitliche Korrelationen in das stochastische Modell der Ausgleichung eingeführt, um so eine realistischere Genauigkeitsschätzung zu ermöglichen. Zeitliche Korrelationen treten zwischen Beobachtungen eines Satelliten zu verschiedenen Zeitpunkten auf. Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten ρ_{ij} erfolgte auf Grundlage der Erkenntnisse von El-Rabbany (1994) mit der Exponentialfunktion

$$\rho_{ij} = e^{-|\tau_{ij}|/T},$$

wobei τ_{ij} den Zeitabstand zwischen zwei Messungen und T die Korrelationszeit bezeichnet. Abb. 1 zeigt diese Funktion für die Korrelationszeiten 100 s, 150 s, 200 s, 250 s und 300 s.

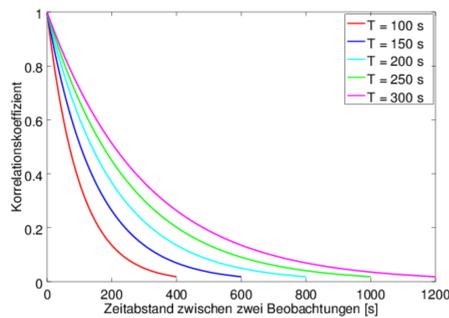
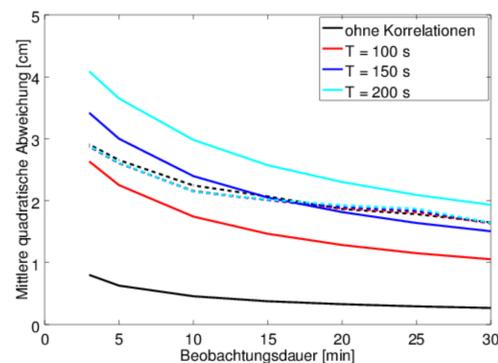


Abb. 1: Korrelationsfunktionen mit Korrelationszeit T

Zum Nachweis der Verbesserung des Modells erfolgten umfangreiche Testauswertungen. Es wurden residuenbasierte Basislinien-Auswertungen auf Grundlage von GNSS-Beobachtungen aus Referenzstationen des Satellitenpositionierungsdienstes SAPOS® unter Berücksichtigung von zeitlichen Korrelationen sowie unter Vernachlässigung dieser durchgeführt und ausgewertet. Der Epochenabstand betrug 15 s bzw. für einzelne Tests 1 s. Die Auswertungen erfolgten für Beobachtungszeiträume zwischen 3 und 30 min.



Korrelationszeit

Bei der Ermittlung der Korrelationszeiten von Messungen an unterschiedlichen Orten und Tagen zeigte sich, dass diese zwischen 100 und 300 s variieren. Aufgrund der starken Schwankungen erfolgte die Bestimmung nur auf 50 s genau. Abb. 2 zeigt die Korrelationszeiten für die einzelnen Messungen in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer. Die Ergebnisse an einem Ort innerhalb weniger Tage unterscheiden sich nur leicht. Es ist anzunehmen, dass dies durch nur langsam veränderliche Atmosphäreneigenschaften bedingt ist. Zwischen unterschiedlichen Orten sind jedoch größere Differenzen erkennbar. Für die weiteren Auswertungen wurde eine mittlere Korrelationszeit von 150 s festgelegt.

Epochenabstand 1 s

Beim Vergleich zwischen 1-s- und 15-s-Daten wurde festgestellt, dass die anfangs eingeführte Korrelationsfunktion im Bereich kleiner Zeitabstände (< 15 s) eher ungeeignet ist. Die erhaltenen Genauigkeitsschätzungen sind deutlich zu pessimistisch. Die Korrelationskoeffizienten wurden hier zu groß angesetzt. Eine Anpassung der Funktion im entsprechenden Bereich lieferte bessere Schätzungen.

Einfluss durch die Berücksichtigung zeitlicher Korrelationen

Es konnte bei allen Auswertungen eine Verbesserung der Genauigkeitsschätzung durch die Einführung zeitlicher Korrelationen ($T = 150$ s) festgestellt werden. Kriterium war dabei die Differenz zwischen der geschätzten Höhengenaugkeit und der Abweichung der geschätzten Höhe vom Sollwert. Diese betrug unter Berücksichtigung zeitlicher Korrelationen weniger als 1 cm und unter Vernachlässigung dieser zwischen 1 und 3 cm.

Die Auswirkung der Einführung von zeitlichen Korrelationen auf die Koordinatenergebnisse ist sehr gering. Dennoch war bei sechs von acht Messungen eine minimale Verbesserung der Genauigkeit zu erkennen. Im Mittel lag diese für die Höhenkoordinate bei etwa 0,1 cm.

Abb. 3 zeigt die Ergebnisse der Höhenkoordinate an drei verschiedenen Stationen. Die Genauigkeitsschätzung in der Auswertung erfolgte dabei unter Annahme verschiedener Korrelationszeiten sowie unter Vernachlässigung der Korrelationen.

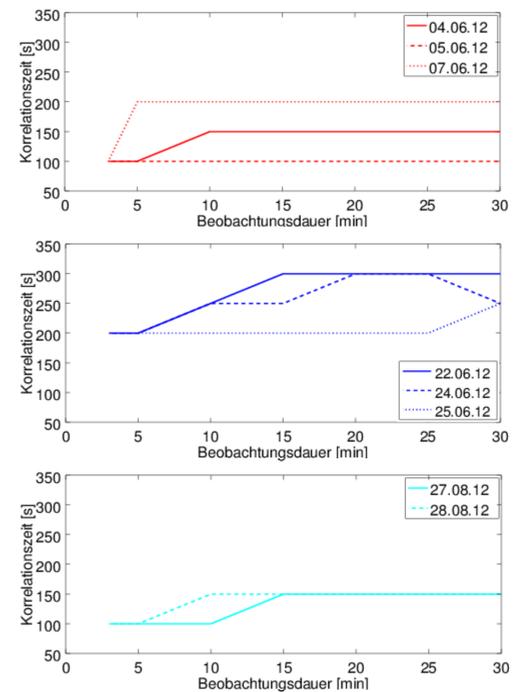
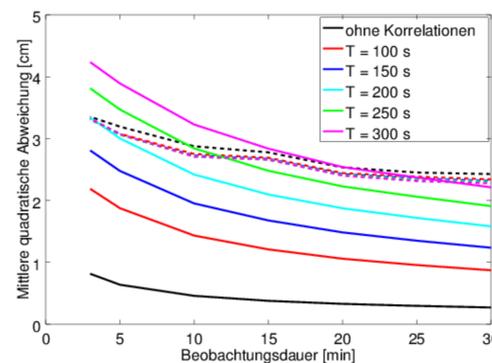


Abb. 2: Ermittelte Korrelationszeiten T
oben: Hoyerswerda, mittig: Chemnitz, unten: Wertach

Fazit

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Einführung zeitlicher Korrelationen in das stochastische Modell einer GNSS-Auswertung zu einer realistischeren Schätzung der Koordinatengenaugkeit führt.

Die eingeführte Exponentialfunktion zur Berechnung der Korrelationskoeffizienten ist für Beobachtungen mit Epochenabständen von mehr als 15 s sehr gut geeignet. Für kleinere Zeitdifferenzen ist jedoch eine Anpassung dieser Funktion notwendig.

Die Verwendung einer mittleren Korrelationszeit von 150 s bringt bereits eine Verbesserung gegenüber einer Auswertung ohne Berücksichtigung von Korrelationen. Mit einem an die vorliegenden Bedingungen angepassten Wert könnten vermutlich weitere Verbesserungen erreicht werden.

Durch die Berücksichtigung der Korrelationen ist eine realistischere Genauigkeitsschätzung möglich. Damit lassen sich die Minimalbedingungen einer GNSS-Beobachtung, also die mindestens benötigte Beobachtungszeit, für eine bestimmte geforderte Genauigkeit bestimmen.

Abb. 3: Geschätzte Standardabweichung der Höhe (durchgängige Linie) und Abweichung der geschätzten Höhe vom Sollwert (gestrichelte Linie)
links: Hoyerswerda (04.06.12), mittig: Chemnitz (22.06.12), rechts: Wertach (27.08.12)