

DER EINFLUSS VON SIGNALVERZÖGERUNG IN DEN SATELLITEN AUF PRECISE POINT POSITIONING (PPP) MIT GPS L1/L5 UND SEINE VERMINDERUNG

Einleitung

Seit 2010 werden GPS-Navigationssignale auf einem dritten Frequenzband ausgesendet. Das soll neue Möglichkeiten sowie eine höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit bieten. Allerdings stellten Montenbruck u. a. (2012) fest, dass einige GPS-Satelliten bei Signalen im L5-Frequenzband Signalverzögerung im Vergleich zu L1/L2 aufweisen, die Perioden von mehreren Stunden aufzeigen.

Bestimmung der kurzperiodischen Signalverzögerung im Satelliten

Bei Bildung einer geeigneten Linearkombination der Frequenzbänder L1, L2 und L5 (Gl. 1) verbleiben nach Mittelwertreduktion lediglich Resteffekte, wobei die kurzperiodischen Signalverzögerungen den größten Anteil haben.

$$DIF(L_1, L_2, L_5) = \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} - \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_5^2} \right) \cdot \Phi_1 - \left(\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) \cdot \Phi_2 + \left(\frac{f_5^2}{f_1^2 - f_5^2} \right) \cdot \Phi_5 \quad (1)$$

f Signalfrequenz [Hz]
 Φ Phasenmessung [m]

Um alle GPS-Satelliten kontinuierlich zu untersuchen, wurden Beobachtungsdaten von 13 global verteilten IGS-Stationen verwendet.

Abb. 1 zeigt beispielhaft die reduzierte Linearkombination eines GPS-Satelliten mit (links) und eines ohne kurzperiodischer Restverzögerung (rechts) am 01.01.2023. Der Effekt tritt nur bei den 12 GPS-Block-IIF-Satelliten auf, wozu der GPS-Satellit mit PRN 3 gehört.

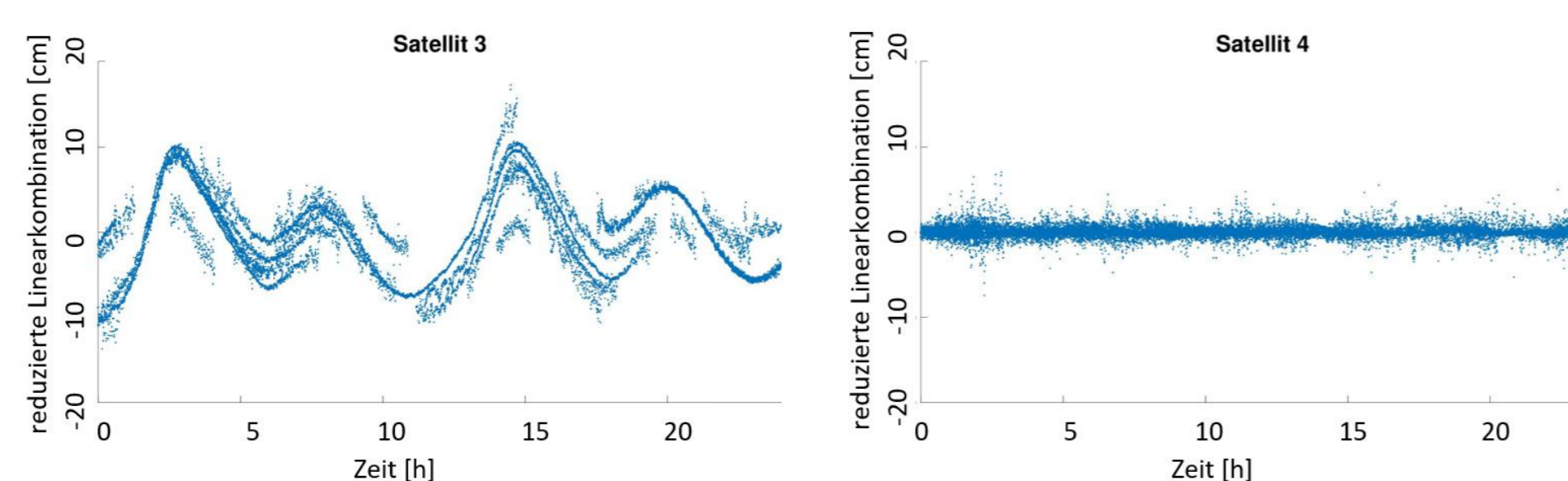


Abb. 1: Reduzierte Linearkombination [cm] der GPS-Satelliten mit PRN 3 und 4 am 01.01.2023

Da die Kurven der einzelnen Mehrdeutigkeitsblöcke gegeneinander verschoben sind, musste eine satellitenweise sequentielle Ausgleichung durchgeführt werden. Um den Einfluss des Messrauschens zu minimieren, wurden dabei die Beobachtungen elevationsabhängig gewichtet. Man erhielt epochenweise Parameter der kurzperiodischen Signalverzögerung, die man an die ursprüngliche L1/L2-Satellitenuhrkorrektur als Korrektur anbringen konnte.

Nachweis der Korrekturwirkung bei PPP

Die Parameter wurden mit Beobachtungsdaten der Stationen PTBB (Deutschland) und THTG (Französisch-Polynesien) evaluiert, welche nicht Teil der ursprünglichen Modellierung waren.

Zuerst wurden die Beobachtungsresiduen betrachtet. Abb. 2 zeigt diese für den 01.01.2023 auf der Station PTBB. Die Eliminierung der für die kurzperiodischen Signalverzögerung charakteristischen Bögen (oben) durch Anbringen der Korrektur ist deutlich zu erkennen (unten).

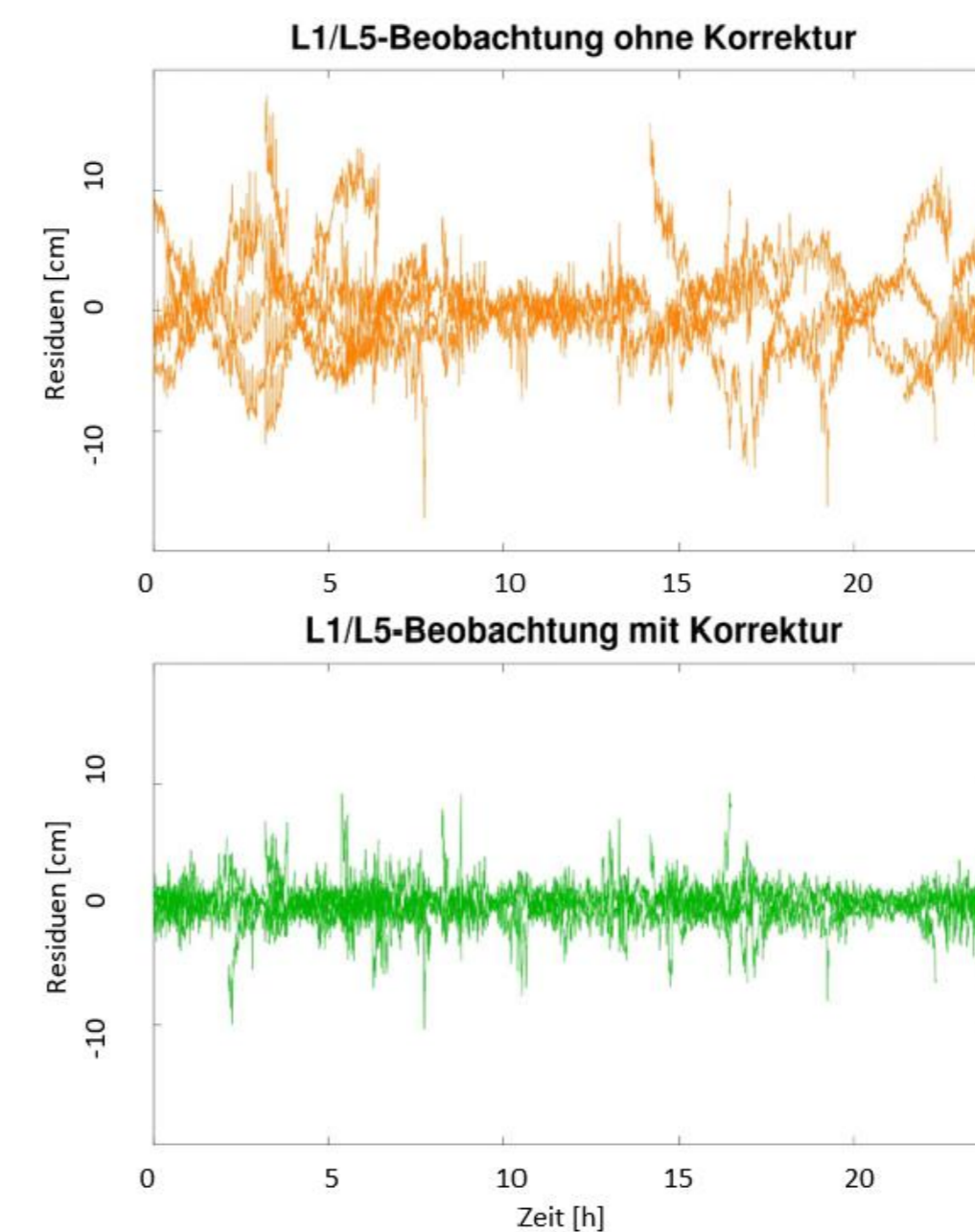


Abb. 2: Beobachtungsresiduen am 01.01.2023 von Station PTBB

Die Standardabweichungen der Beobachtungen (Abb. 3) geben ebenfalls ein Aufschluss über die Korrekturwirkung. Dafür wurden die Daten einer Woche (01.-07.01.2023) betrachtet. Als Vergleich sind die der L1/L2-Beobachtungen (gelb) dargestellt, für die die ursprünglichen Satellitenuhrkorrekturen bestimmt wurden.

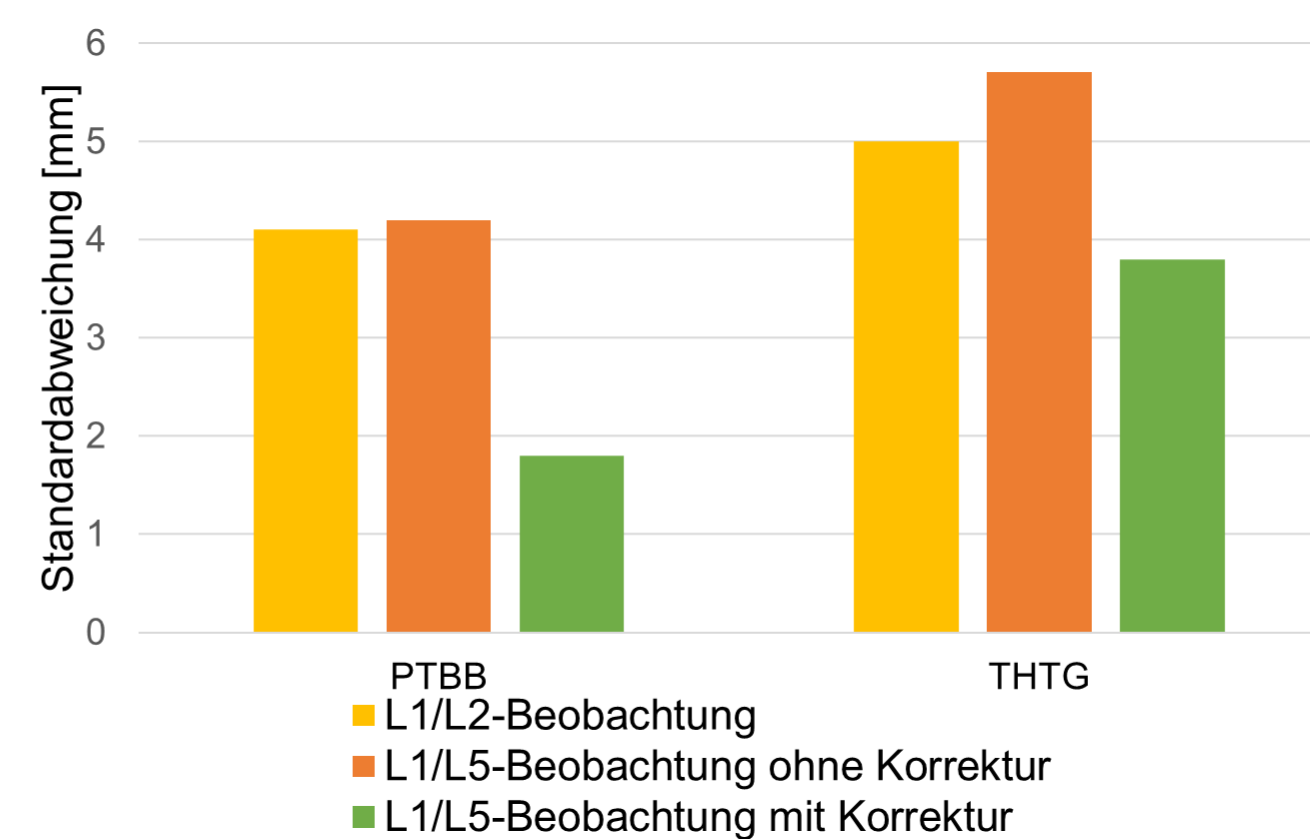


Abb. 3: Standardabweichung der Beobachtungen vom 01.-07.01.2023

Um die Veränderung auf Koordinatenebene zu untersuchen, wurden PPP-Positionslösungen für verschiedenen Beobachtungszeiten, mit und ohne Korrektur der kurzperiodischen Signalverzögerung, bestimmt. Diese wurden jeweils für den Hoch-, Rechts- und Höhenwert mit den Sollkoordinaten verglichen und daraus der Root Mean Square (RMS) Werte berechnet.

Auf der Station PTBB (Abb. 4) zeigt die Korrektur ab 30 Minuten eine Wirkung. Bei 4 Stunden verbessert sich der RMS-Wert um 32,3 %.

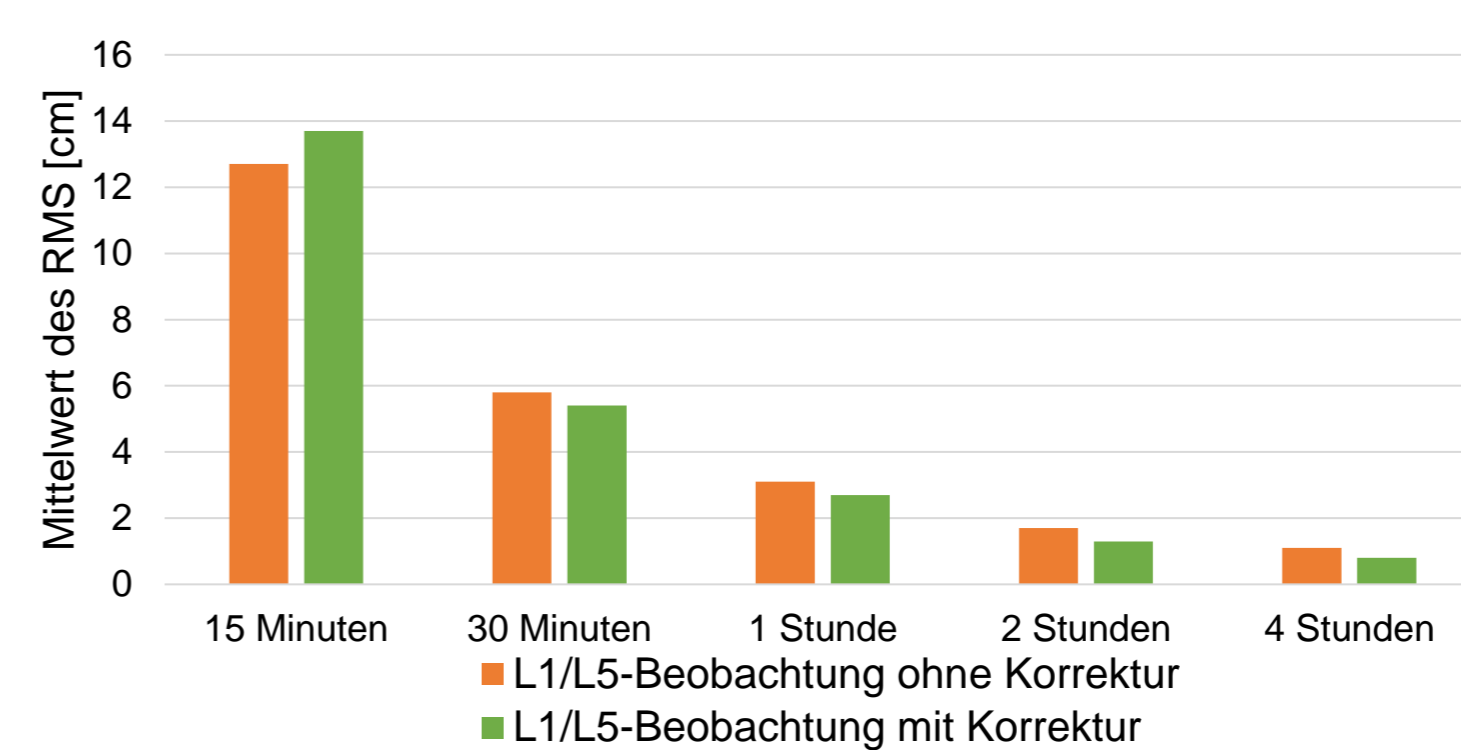


Abb. 4: Mittelwert des RMS vom 01.-07.01.2023 von Station PTBB

Fazit

Für hochpräzise Positionsbestimmungen mit langen Beobachtungszeiten ist eine Korrektur der kurzperiodischen Signalverzögerung sinnvoll, um das volle Potential der L5-Beobachtung nutzen zu können. Deswegen wären institutionelle Korrekturdaten sinnvoll, obwohl der Effekt nur bei den GPS-Block-IIF-Satelliten auftritt.