



Analyse GNSS L2 Tracking für einen Topcon Empfänger

Gerhard Wübbena, Martin Schmitz, Norbert Matzke
*Geo++® Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und
navigatorische Technologien mbH*
D-30827 Garbsen, Germany
www.geopp.de

Garbsen 9. Juni 2010
Version 1.0

Einführung

Der Empfang von zirkular-polarisierten GNSS Signalen erzeugt eine Abhängigkeit von GNSS Phasenmessungen von der Orientierung der Antenne. Eine vollständige Drehung der Antenne verursacht einen Unterschied von einem Zyklus in der gemessenen Phase, vorausgesetzt, das kein Signalabbriss auftritt. Dieser Effekt wird allgemein als „phase wind-up“ bezeichnet und hat Bedeutung für unterschiedliche Anwendungen.

Die Größenordnung des Wind-Up Effektes ist theoretisch bekannt und kann beispielsweise in einem kontrollierten Experiment genutzt werden um die Charakteristik der Phasenmessung („phase tracking“) eines Empfängers zu untersuchen. Die einfache Differenz („single difference“) der originalen L1 und L2 Beobachtungen können in idealer Weise kombiniert werden um eine absolute Referenzmessung für z.B. das GPS Tracking zu erhalten.

Die GPS Tracking Technologie hat mehrere, unterschiedliche Techniken entwickelt um anti-spoofing (AS) zu umgehen und die volle Wellenlänge bei den L2 Phasenmessungen zu erhalten. In Abhängigkeit von der Tracking Methode und den erweiterten Tracking Loop Parametern sind Unterschiede in den GNSS Beobachtungen vorhanden. Derartige Unterschiede in den Beobachtungen können sich auf dynamische und kinematische Anwendungen auswirken, aber auch auf die ionosphärische Beobachtung und deshalb auf weitere Größen im GNSS Modell.

Ein experimenteller Aufbau nutzt eine kurze Basislinie zwischen einer Referenzstationsantenne und einer Antenne, die rotatorische Beschleunigungen/Abbremsungen und Geschwindigkeiten unterschiedlicher Größenordnung erlaubt. Das Signal der gedrehten Antenne wird gesplittet und auf mehrere unterschiedliche Empfänger verteilt. Dies entspricht einer Zero-Baseline Konfiguration. Die Analyse erfolgt für die unterschiedlichen Empfänger getrennt in Bezug zu der Referenzstation und verwendet einen undifferenzierten GNSS Auswerteansatz.

Der Bericht gibt die Ergebnisse der experimentellen Untersuchung der Single Difference L2-L1 Phasenmessungen für einen TPS NETG3A von Topcon an. Die Untersuchung beschränkt sich auf Fehler der GPS L2 Phasenmessung der jeweiligen Empfänger in dynamischen Anwendungen bzw. auf daraus resultierenden potentiellen Modellfehler, beispielsweise in der ionosphärischen Modellkomponente in einer GNSS Datenauswertung.

Experimentaufbau

Die Untersuchung wurde auf einem speziellen Drehstand durchgeführt, der unterschiedliche Dynamiken (Geschwindigkeit, Beschleunigung) und eine Drehung von 360° erlaubt. Als Antenne wurde eine Ahtech Chokering Antenne (ASH700936E NONE, CR15615) verwendet. Als zweite GNSS Station wurde die Geo++ Referenzstation 1000 genutzt, die mit einem JPS LEGACY Empfänger und einer Ashtech Chokering Antenne (ASH700936E SNOW, CR16978) ausgestattet ist.

Als GNSS Software werden unterschiedliche Module aus Geo++ GNSMART eingesetzt. Die Bestimmung der wesentlichen Kenngröße - L2-L1 Single Difference Clock – des Experimentes erfolgt in Echtzeit durch das Module GNNET.

Das Antennensignal wird gesplitted und kann unterschiedlichen Empfängern zugeführt werden. Dies ist nicht zwingend für den experimentellen Aufbau notwendig. Liegt eine exakte oder vergleichbare Zuordnung der Drehungen in unterschiedlichen Experimenten vor, können Vergleiche und Analysen von nicht zeitgleich untersuchten Empfängern ebenfalls durchgeführt werden. Der Zero-Baseline Aufbau schließt jedoch zeit-, stations- oder konstellations-abhängige Störungen im Wesentlichen aus und hat deshalb Vorteile.

Experiment

Es wurde ein TPS NETG3A durch den Auftraggeber bereitgestellt. Für die Analyse wurde ein bei Geo++ verfügbarer Empfänger JAVAD TRE_G3T verwendet.

Tab. 1 gibt die IGS Bezeichnung der Empfänger, Seriennummer und Firmware der untersuchten Empfänger an.

Empfänger	Seriennummer	Firmware
TPS NETG3A	618-00262	3.4 Jun,23,2009 NET-G3A p1
JAVAD TRE_G3T	3W3P1NI38EA6G3VXX6U0U33	3.1.4 Feb,03,2010

Tab. 1: Firmware Tocon und Javad Empfänger im Untersuchungszeitraum

Im Experiment wird der Wind-Up Effekt ausgenutzt, der durch Drehung der Antenne eine kontrollierte Änderung der Phasenmessung in Abhängigkeit von der durchgeführten Drehung erlaubt. Eine vollständige Drehung verursacht eine Änderung um genau eine Wellenlänge. Für eine horizontierte Antenne werden alle GPS Satelliten gleich beeinflusst. Die Trägerphasen L1 und L2 haben jedoch unterschiedliche Wellenlängen, so dass sich hierbei unterschiedliche Effekte ergeben. In der L2-L1 Single Difference Clock kann der Unterschied ermittelt werden. Eine vollständige Umdrehung erzeugt eine Änderung von ca. 5.4 cm, die L2-L1 Differenz-Wellenlänge.

Ergebnisse

Es wurden im Zeitraum 2010-03-11 bis 2010-03-16 Experimente mit den Empfängern (Tab. 1) durchgeführt. Exemplarisch werden zwei Experimente wiedergegeben, die an unterschiedlichen Tagen durchgeführt wurden und das Testergebnis repräsentativ wiedergeben.

Durch eine 360° Drehung verändert sich die Phasenmessung kontrolliert um ca. 5.4 cm. Die Antenne bleibt in den Endposition für 30 s stehen, so dass die Tracking Loops der Empfänger Zeit haben von der dynamischen Phase in die statische Phase einzulaufen. Ideal ist, wenn unabhängig von den Dynamiken der rotierenden Antenne der Wechsel von dynamischer Phase zu statischer

Phase bestmöglich durch den L2-L1 Single Difference Clock Phasenmessungen beschrieben wird. Es werden jeweils die gleichen Experimente hinsichtlich den verwendeten Dynamiken durchgeführt um Vergleichbarkeit der Experimente und daraus erzeugter Graphiken zu schaffen.

Tab. 2 zeigt die unterschiedlichen Dynamiken, die jeweils in einem Experiment gefahren wurden. Aufgrund der Beschränkung auf eine Umdrehung konnten die nominellen Dynamiken nicht immer erzielt werden. Die Tabelle gibt deshalb ebenso die tatsächlich erreichten Dynamiken an, wie sie unabhängig vom Drehmodule mit einem Extensiometer ermittelt wurden.

30sec waiting experiment					
#	dynamics keyword attempted velocity/ acceleration	path	actual velocity	actual acceleration	nominal time for acceleration
		[deg]	[deg/s]	[deg/s ²]	[s]
1	v/a 100/5	360	44	7	20.0
2	v/a 100/10	360	56	10	10.0
3	v/a 100/20	360	73	19	5.0
4	v/a 100/40	360	95	33	2.5
5	v/a 100/80	360	100	40	1.25
6	v/a 5/10	360	7	6	0.5
7	v/a 10/20	360	11	4	0.5
8	v/a 20/40	360	20	9	0.5
9	v/a 40/80	360	39	18	0.5
10	v/a 60/120	360	59	28	0.5
11	v/a 80/160	360	80	36	0.5
12	v/a 100/200	360	100	44	0.5
13	v/a 23/23	360	23	10	1.0

Tab. 2: Dynamiken innerhalb eines Experimentes

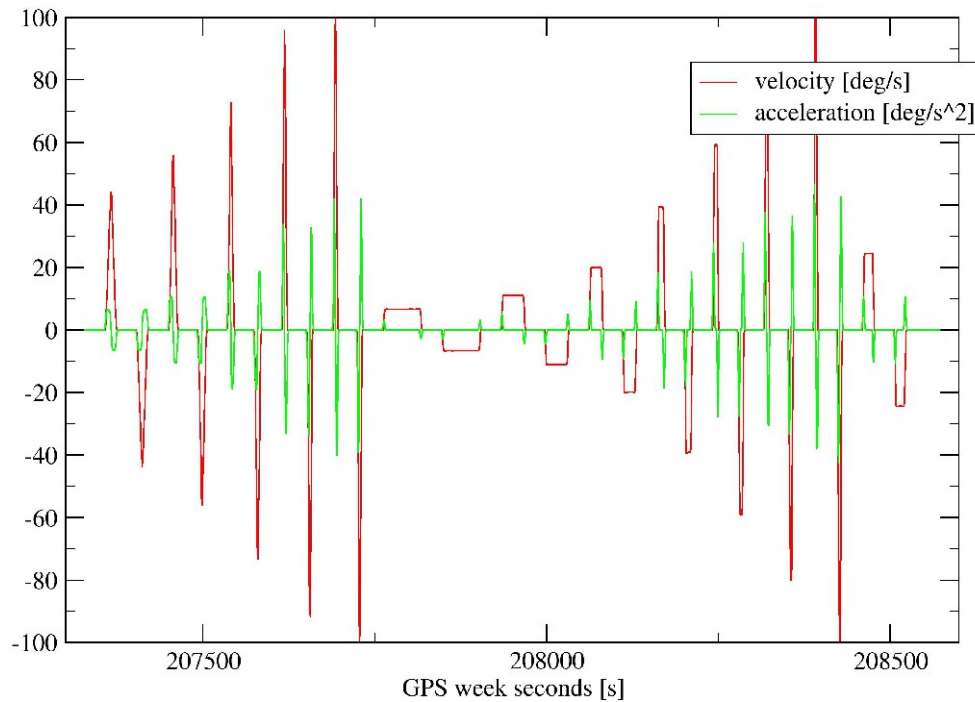


Abb. 1: Dynamiken ermittelt aus Experiment 067

In Abb. 1 sind die Dynamiken der dreizehn Teil-Experiment graphisch dargestellt. Es sind jeweils die Drehung von 0 bis 360° und nach 30 s in der Ruhephase in der Endposition die Drehung 360 bis 0° zu erkennen.

In Abb. 2 und Abb. 4 ist jeweils die unabhängig geschätzte, jedoch simultan durch den Zero-Baseline Aufbau bestimmte, L2-L1 Single Difference Clock aus zwei unabhängigen Experimenten zu sehen. Die Eingangsdaten wurden um ganzzahlige Mehrdeutigen korrigiert und auf ein mittleres Niveau verschoben. Mehrwegeeffekte der Referenzstation sind in der Single Difference Clock enthalten. Effekte werden durch Wiederholung der Experimente kontrolliert bzw. kann durch den Zero-Baseline Aufbau und Vergleich simultaner Experimente eliminiert werden. Die Differenz der Single Difference Clocks der beiden Empfänger ist ebenfalls dargestellt.

GPS Windup L2-L1-SD Clock Test 067

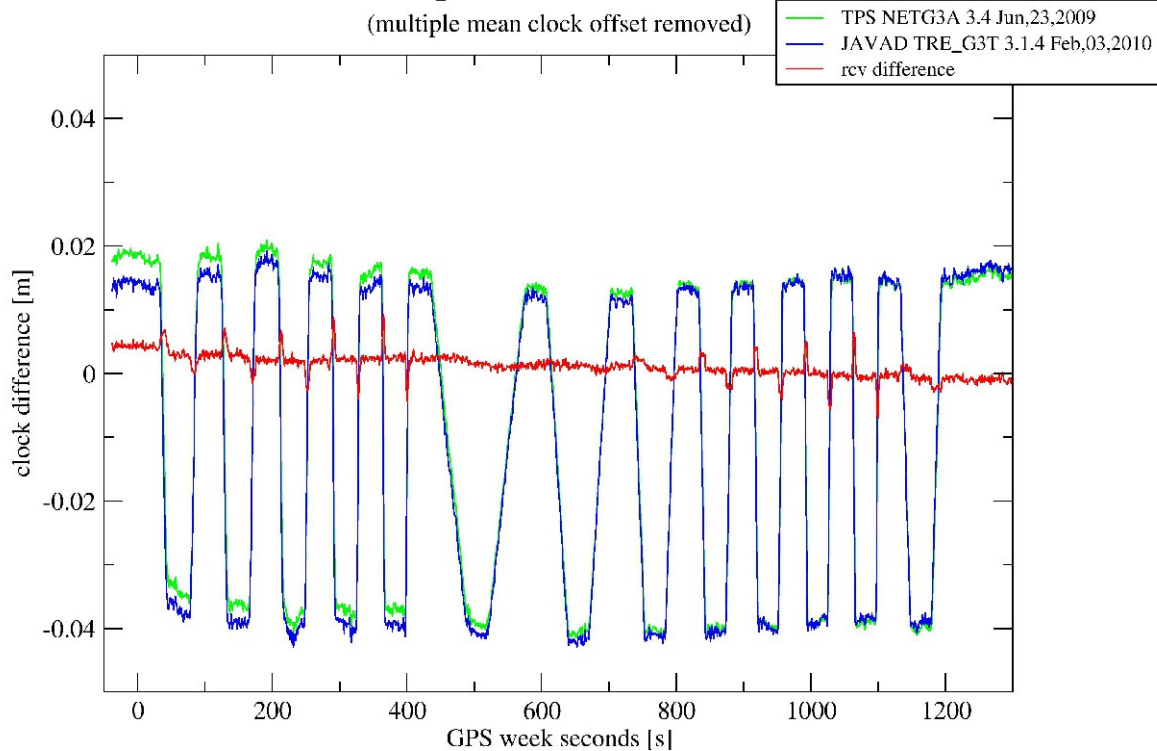


Abb. 2: Experiment 067, 2010-03-16

Der Topcon Empfänger TPS NETG3A erlaubt es, Tracking Loop Parameter zu ändern. Die angegebenen Experimente sind jeweils mit den Default Settings des Topcon durchgeführt worden. Das gleiche gilt für den JAVAD TRE_G3T.

Es ist zu erkennen, dass sich die Phasenmessungen des TPS NETG3A und des JAVAD TRE_G3T für geringere Dynamiken ähnlich verhalten. Erst für höhere Dynamiken sind Differenzen beim Wechsel zwischen statischer und dynamischer Phase zu erkennen. Das Überschwingen in Abhängigkeit von den Dynamiken erreicht eine Größenordnung von bis zu 0.008 m bis 0.01 m. Erfahrungen mit anderen Empfängern zeigen, dass dies relativ kleine Effekte sind.

In Anwendungen ist im allgemeinen die ionosphärisch freie Linearkombination wirksam, die eine Verstärkung um ca. den Faktor 1.54 verursacht.

Beide Empfänger erlauben dem Nutzer die Tracking Loop Parameter zu beeinflussen. Hierdurch ist Potential gegeben, die bestehenden, geringen Unterschiede durch Optimierung der Tracking Loop Parameter zu verbessern.

In Abb. 3 ist zum Vergleich der JAVAD TRE_G3T ausgeblendet und nur der TPS NETG3A und die Differenz der beiden Empfänger dargestellt. Dies legt nahe, dass die Differenz oftmals durch den Topcon Empfänger erzeugt wird. Für einen absoluten Vergleich ist die unabhängig erfasste Orientierung des Drehstandes notwendig, der dann die eindeutige Zuordnung der Effekte zu einem Empfänger erlaubt.

In Abb. 4 ist eine Wiederholung des Experimentes angegeben.

GPS Windup L2-L1-SD Clock Test 067

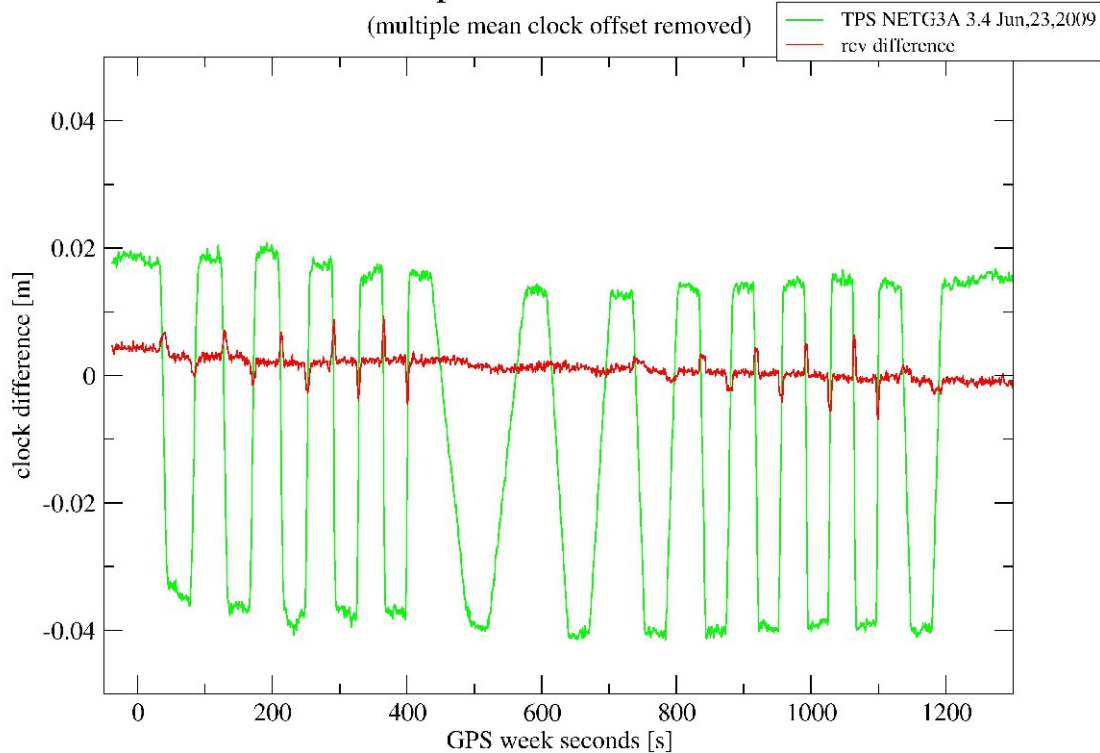


Abb. 3: Experiment 067, 2010-03-16, Javad Empfänger ausgeblendet

GPS Windup L2-L1-SD Clock Test 073

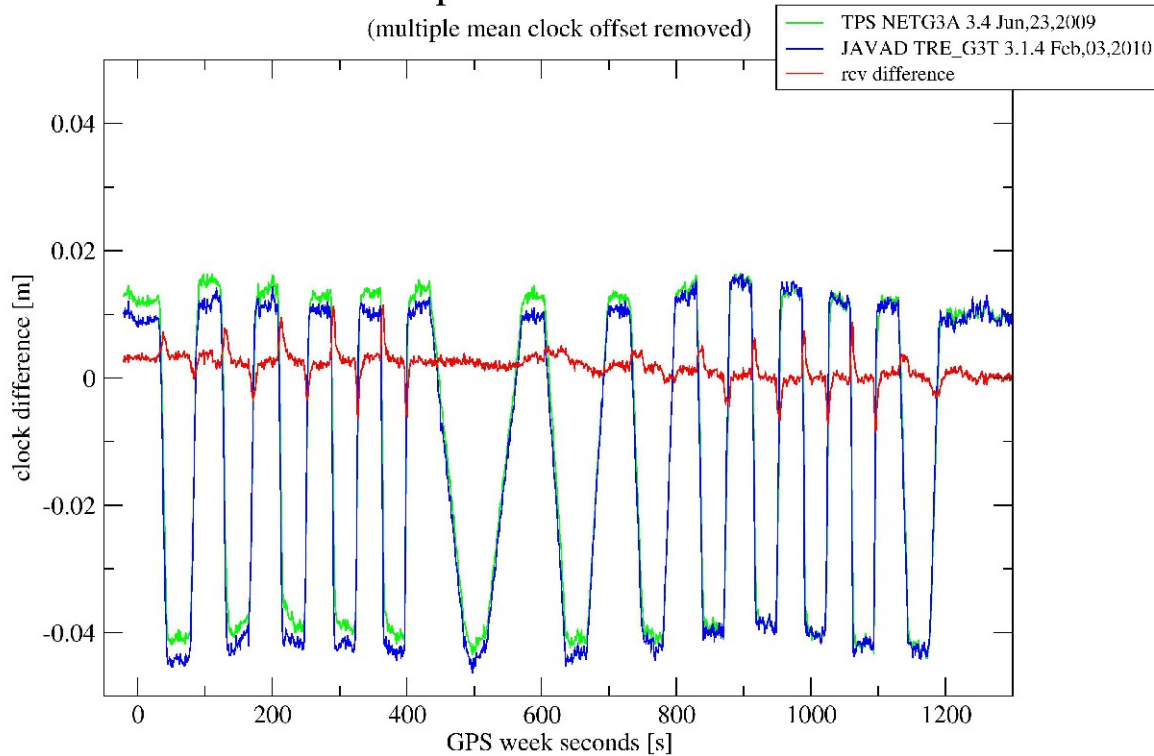
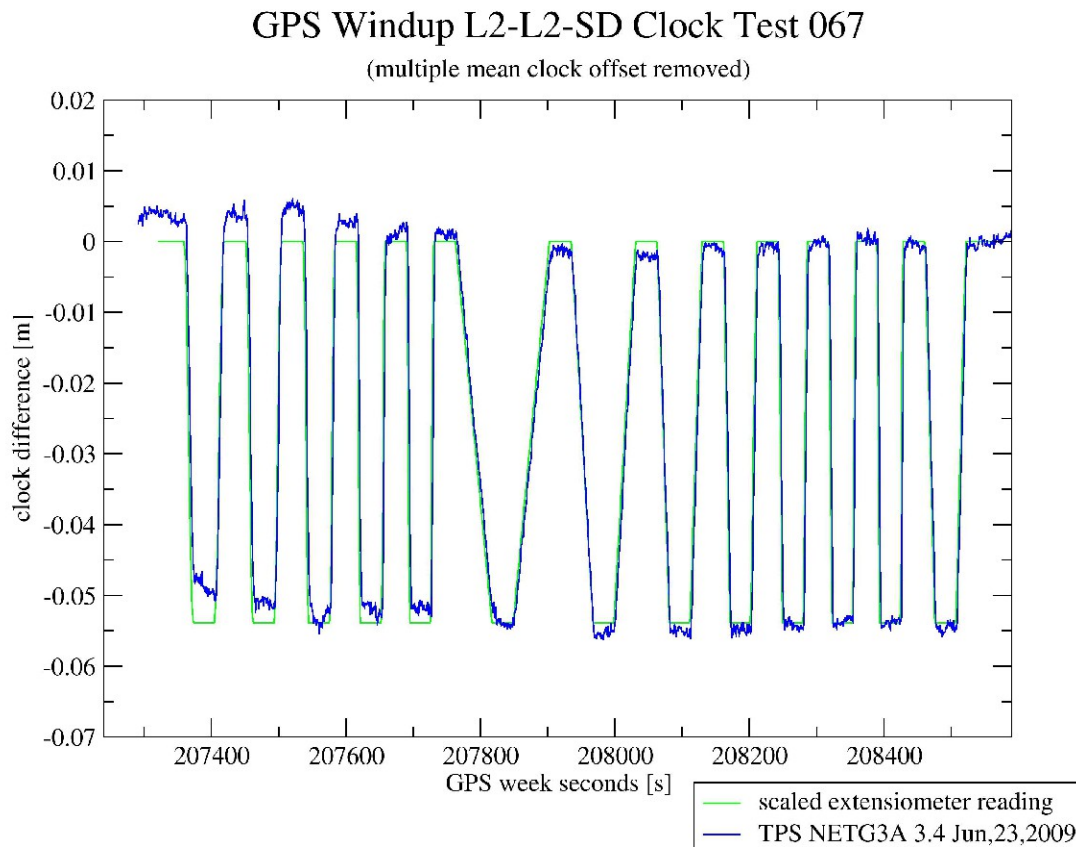


Abb. 4: Experiment 073, 2010-01-18

Absoluter Vergleich mit Extensiometer Messungen

Die durchgeführte Drehung der Antenne wurde zusätzlich durch ein Extensiometer erfasst und mit der GPS Zeit synchronisiert. Die Extensiometer-Messungen können auf die nominelle Veränderung der L2-L1 Single Difference Clock skaliert werden und mit der bestimmten L2-L1 Single Difference Clock verglichen werden. Somit erhält man gegenüber den bisherigen Vergleichen zu einem zweiten Empfänger einen unabhängigen Vergleich.

Der Vergleich für das Experiment 067 ist für den Empfänger TPS NETG3A (siehe Tab. 1) in Abb. 5 angegeben.



*Abb. 5: Absoluter Vergleich TPS NETG3A
mit erfasster Drehung skaliert auf L2-L1 Single Difference Clock*

Die L2-L1 Single Difference Clock ist überlagert durch Mehrwegeeffekte der Referenzstation, so dass die Eingangsdaten für den Vergleich auf die Sollkurve verschoben wurden. Restsystematiken verbleiben, so dass nicht alle Telexperimente mit der Sollkurve zur Deckung kommen.

Der Vergleich mit der Sollkurve bestätigt die vorherigen Analysen.

Zusammenfassung

Die Analysen der Empfänger TPS NETG3A und der Vergleich mit einem JAVAD TRE_G3T zeigen bei den durchgeführten Experimenten geringe bis moderate Unterschiede im Tracking Verhalten der Phasenmessungen auf. Bei geringen Dynamiken sind die beiden Empfänger weitestgehend vergleichbar. Die beiden Empfänger wurden mit Default Settings analysiert.

Vorteilhaft bei beiden Empfängern ist, dass der Nutzer die Möglichkeit hat Tracking Loop Parameter

selber zu verändern. Somit ist grundsätzlich das Potential gegeben die bestehenden Unterschiede durch Optimierung der Tracking Loop Parameter zu verbessern.

Die untersuchten Tracking Unterschiede wirken sich zum einen in kinematischen Anwendungen aus, verursachen aber auch Biases im ionosphärischen Signal, das aus den Original Phasenmessungen abgeleitet wird. Die Ionosphäre kann Dynamiken aufweisen, die durchaus den gewählten Dynamiken im Experiment entsprechen.

Vergleichbare Effekte in den Phasenmessungen können sich auch durch Mehrwegeeffekte ergeben. Hierdurch sind unterschiedliche Tracking Eigenschaften der Empfänger auch unabhängig von der ionosphärischen Aktivität relevant.

Die in den Experimenten nachgewiesenen Fehler bzw. Tracking Biases erfahren des weiteren in den Anwendungen eine Verstärkung in der ionosphärisch freien Linearkombination. Die ionosphärisch freien Linearkombination ist ca. um den Faktor 1.54 größer.

Um eine Trennbarkeit und präzise Modellierung von Fehlerkomponenten in GNSS Anwendungen zu ermöglichen, sollte durch die Phasenmessungen im Empfänger keine Biases erzeugt werden. Insbesondere in Vernetzungen ist die bias-freie Modellierung der Fehlerkomponenten notwendig um präzise und optimierte GNSS Dienste anbieten zu können. Dies sind entsprechend bias-freie Beobachtungen voraus.

Zukünftig kann eine allgemeine Verbesserung des Tracking Verhaltens erwartet werden, wenn streng das neue L2C Signal für das Tracking verwendet wird und keine Kopplung mit L1 mehr erfolgt. Vermutlich wird dies jedoch nicht der Fall sein und mit den bisherigen Verfahren auch L2C Beobachtungen erzeugt werden. Die Verfügbarkeit und strenge Nutzung der L2C Signale ist jedoch hierfür notwendig und wird noch Zeit in Anspruch nehmen. Gleichzeitig ergibt sich hieraus jedoch auch, dass das Tracking zu unterschiedlichen Satelliten in Abhängigkeit von den verwendeten Signalen durchaus unterschiedlich sein kann.