

Korrektur der GNSS-Codebeobachtungen um die in den Satelliten auftretenden Verzögerungen

Einleitung

In GNSS-Satelliten treten Signalverzögerungen auf, die die Codebeobachtungen beeinflussen. Die Signalverzögerungen entstehen durch den Zeitunterschied zwischen der Abfrage der Satellitenuhr und dem Sendezeitpunkt des Signals. Eine Korrektur dieser Hardwareverzögerung für das Codesignal wird von mehreren Quellen angeboten, die sie unterschiedlich schätzen. Sie werden je nach Quelle entweder als Observable-specific Signal Bias (OSB) oder als Differential Code Bias (DCB) geschätzt. Ein OSB ist die Signalverzögerung einer GNSS-Codebeobachtung für einen Beobachtungscode eines Signals. Ein DCB ist die Verzögerungsdifferenz zwischen zwei GNSS-Codesignalen. Wenn sie dieselbe Frequenz haben, sind es Einfrequenzkombinationen. Andernfalls sind es Zweifrequenzkombinationen. In dieser Arbeit wurde die Größenordnung und die Langzeitstabilität der DCB für Ein- und Zweifrequenzkombinationen untersucht. Außerdem wurde die Wirkung der Korrekturen für Zweifrequenzkombinationen auf die erzielbare Code-Positionsgenauigkeit bestimmt.

Größenordnung

Die Größenordnungen der DCBs werden anhand der Spannweite aller Korrekturen eines GNSS beurteilt. Als Datenquellen für die DCB-Korrektionsdatensätze werden die broadcast-Ephemeriden (BRDC) sowie die Analysezentren der Chinese Academy of Sciences (CAS), des Center for Orbit Determination in Europe (CODE) und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) genutzt. Es werden die täglichen DCBs für die Tage 2, 43 und 85 von 2022 zur Ermittlung der Spannweite verwendet. Die Tab. 1 enthält die Spannweiten der DCBs für die vier GNSS-Konstellationen für die Einfrequenzkombinationen. Die Spannweiten liegen überwiegend im Bereich von 0 bis 5 ns. Die Spannweite für Galileo ist am niedrigsten. Darauf folgen BeiDou und GPS, mit Ausnahme des Ausreißers von CAS. Darauf folgen die Spannweiten der DCBs von GLONASS. Die größte Spannweite weist der Ausreißer CAS für die GPS-Konstellation auf.

Tab. 1: Spannweiten der DCBs der Einfrequenzkombinationen der Korrekturdatensätze für jede GNSS-Konstellation

GNSS	Spannweite von BRDC [ns]	Spannweite von CAS [ns]	Spannweite von CODE [ns]	Spannweite von DLR [ns]
GPS	2.4	16	2.9	3.1
GLONASS	/	4.6	/	3.2
BeiDou	1.4	/	/	/
Galileo	/	/	0.7	/

Tab. 2 zeigt die Spannweiten für die vier GNSS-Konstellationen für die Zweifrequenzkombinationen. Die Spannweiten variieren zwischen den Datenquellen etwas. Am niedrigsten sind sie für GLONASS, darauf folgt GPS und dann Galileo. BeiDou weist mit Werten bis über 100 ns die größten Spannweiten auf. Die Spannweiten sind für fast alle Datenquellen deutlich größer als bei den Einfrequenzkombinationen.

Tab. 2: Spannweiten der DCBs der Zweifrequenzkombinationen der Korrekturdatensätze für jede GNSS-Konstellation

GNSS	Spannweite von BRDC [ns]	Spannweite von CAS [ns]	Spannweite von CODE [ns]	Spannweite von DLR [ns]
GPS	17	18	18	18
GLONASS	7.9	11	/	11
BeiDou	93	117	/	104
Galileo	22	17	22	17

Langzeitstabilität

Für die Untersuchung der Langzeitstabilität wird die Differenz zwischen dem DCB der Tage 2 und 85 von 2022 für jeden Satelliten gebildet. In Abb. 1 ist dies für gewählte Zweifrequenzkombinationen der vier GNSS-Konstellationen separiert nach dem Korrekturdatensatz dargestellt.

Die Differenzen variieren innerhalb einer Kombination je nach GNSS-Konstellation unterschiedlich stark. Die größten Variationen gibt es für die Differenzen der Kombination von BeiDou der Datenquellen CAS und BRDC sowie für die von Galileo der broadcast-Ephemeriden. Die geringsten Unterschiede weisen die Differenzen von CODE für die Galileo-Kombination auf.

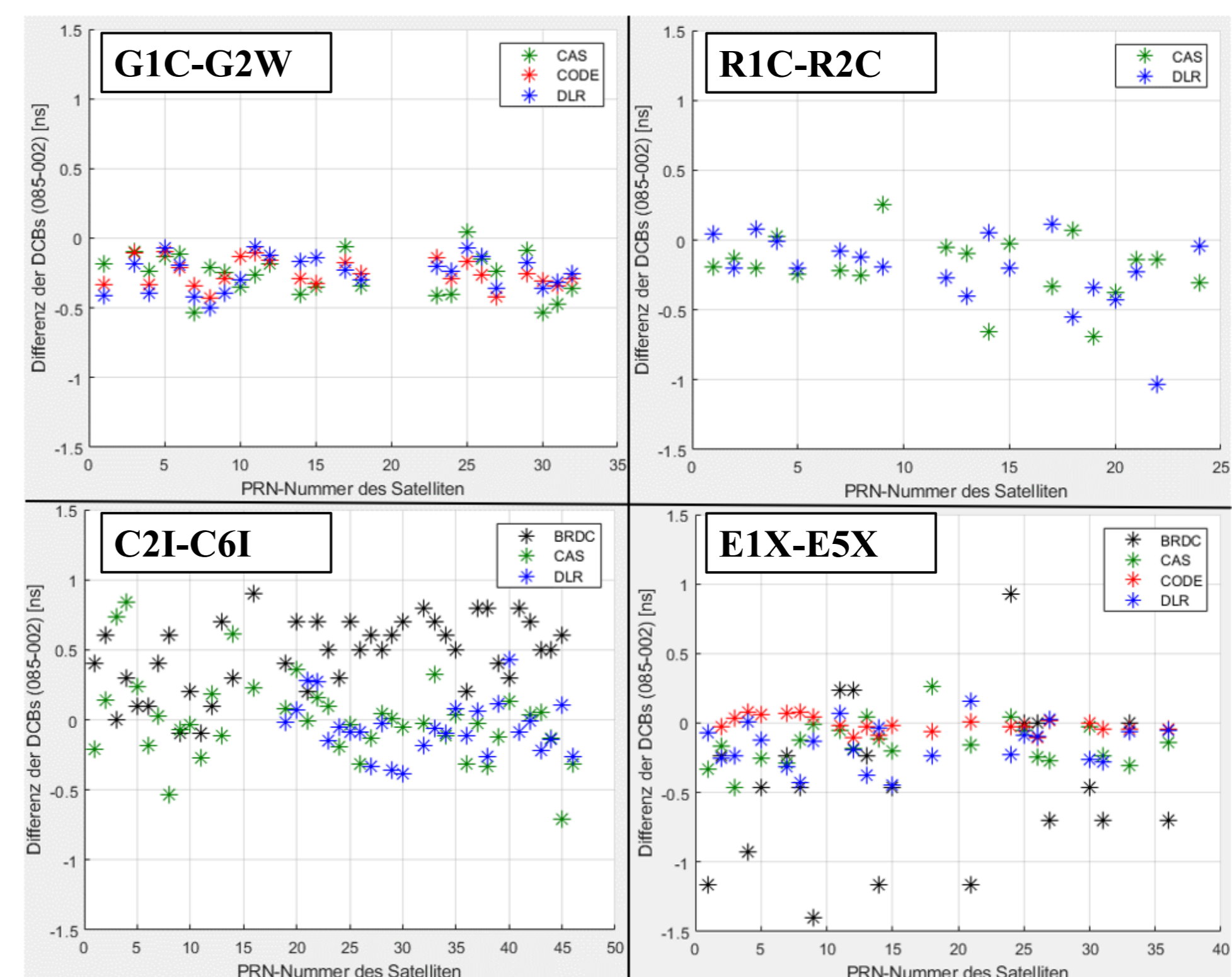


Abb. 1: Differenzen der DCBs der Tage 2 und 85 einer Zweifrequenzkombination

Wirkung der Korrekturen auf die Code-Positionsgenauigkeit

Die Wirkung der Korrekturen auf die erzielbare Code-Positionsgenauigkeit wurde durch Vergleich einer DCB-korrigierten und unkorrigierten Code-Positionslösung für verschiedene Zweifrequenzkombinationen realisiert. Es wurde die Verringerung der Standardabweichung, aus dem Vergleich der korrigierten Positionslösung mit der unkorrigierten Positionslösung, berechnet. Dies ist in Tab. 3 für eine Bodenstation zu sehen. Für die GPS- und BeiDou-Kombinationen wurden starke Verringerungen von bis zu 81% erzielt. Für Galileo und GLONASS sind sie mit max. 5% deutlich geringer. Für BRDC bei E1X-E7X wurde eine Erhöhung der Standardabweichung festgestellt. Für zwei andere Bodenstationen und Empfänger wurden ähnliche Werte erreicht.

Tab. 3: Prozentuale Verringerung der Standardabweichung der Code-Positionslösung nach DCB-Korrektur für den Empfänger JAVAD TRE-3 der Station POTS

Komb. des angepassten Satellitenuhrkorrekturprodukts	BRDC [%]	CAS [%]	CODE [%]	DLR [%]
G1C-G2W	/	42	33	42
G1C-G5X	/	81	/	81
R1C-R2C	/	4	/	5
R1C-R2P	/	4	/	3
C2I-C7Z	/	/	/	78
C2I-C5X	/	/	/	79
C2I-C8X	/	/	/	79
E1X-E7X	-8	4	/	4
E1X-E8X	/	1	/	2

Schlussfolgerungen

Die DCB-Korrektur führt für die Zweifrequenzkombinationen von GPS und BeiDou zu deutlich verbesserten Positionslösungen. Je nach Empfänger kann es geringe Variationen der Wirksamkeit geben. Für die Kombinationen von Galileo und GLONASS bringt die Korrektur eine deutlich geringere verbesserte Positionslösung. Von der Nutzung des DCB der broadcast-Ephemeriden für die betrachtete Galileo-Kombination E1X-E7X ist abzuraten.