306 Short Paper

Möglichkeiten und Grenzen von Low-Cost-RTK-GNSS-Receiver

Possibilities and Limits of Low-cost RTK GNSS Receiver

Marco Gabl, Armin Heller

Institut für Geographie, Universität Innsbruck · marco.gabl@student.uibk.ac.at

Zusammenfassung: Neuere Untersuchungen zeigen, dass mit RTK-fähigen Low-Cost-GNSS-Receiver zentimetergenaue Positionsdaten erfasst werden können. In dieser Arbeit wurden GNSS-Messungen mit RTK-Receiver von Emlid Reach durchgeführt und evaluiert. Die Auswertung der Positionsgenauigkeiten erfolgt entweder in Echtzeit (Real Time Kinematic) oder wird im Nachhinein (Post Processing) ermittelt. Die hier durchgeführten Tests zeigen, dass nicht nur zentimetergenaue Positionsdaten an Referenzpunkten statisch gemessen werden können, sondern auch kinematisch, am Beispiel eines Skirennläufers unter anspruchsvollen Testbedingungen.

Schlüsselwörter: Low-Cost-GNSS, Echtzeitkorrektur, Einfrequenzempfänger

Abstract: Recent investigations show that RTK-enabled low-cost GNSS receivers can capture position data with centimetre-perfect precision. For the GNSS measurements in this paper Emlid Reach RTK receivers are used. The evaluation of the position accuracy is carried out either in real time with Real Time Kinematics or retrospectively with Post Processing. Tests demonstrate that centimetre-perfect position data can be measured statically at reference points, as well as kinematically, with a ski racer under challenging test conditions.

Keywords: Low-cost GNSS, Real Time Kinematic (RTK), single-frequency receiver

1 Einführung

Mit der Markteinführung von Low-Cost-GNSS-Receiver wie dem Emlid Reach oder dem Piksi Multi im Jahr 2015, wurden von den Herstellern zentimetergenaue GNSS-Positionsbestimmungen beworben. Ziel dieser Arbeit ist es, mit einem konventionellen Low-Cost-GNSS-Receiver zentimetergenaue Positionsdaten aufzuzeichnen. Dies wird an einem amtlich vermessenen Triangulationspunkt statisch ermittelt, zudem werden kinematische Messungen im Skirennsport durchgeführt. Die für eine differenzielle GNSS(dGNSS)-Messung im Zentimeterbereich notwendigen sensiblen Bedingungen werden als Anlass und Herausforderung genommen, qualitativ hochwertige Ergebnisse auch bei vermeintlich ungünstigen Messbedingungen zu erzielen. In verschiedenen Testszenarien werden neben statischen Messungen, dynamische Messreihen durchgeführt, die hohe Abtastraten benötigen und wahlweise in Echtzeit korrigiert (RTK) oder nach der Aufzeichnung im Post-Processing (PPK) ausgewertet werden. Die im Skirennsport vorherrschenden "ungünstigen" Voraussetzungen für eine adäquate differenzielle GNSS-Messung, unter anderem bedingt durch Abschattung, Expositionseffekte und der Antennenmontage, benötigen für Messungen im Sub-Dezimeter Bereich besondere Konfigurationen. Die aufgezeichneten Daten werden auf Lagegenauigkeit geprüft und in verschiedenen Messszenarien erhoben, um gesicherte Aussagen über die Qualität der verwendeten Low-Cost-Receiver zu erhalten.

2 Komponenten

2.1 Base und Rover

Für die Untersuchungen wurden GNSS-Geräte der Marke *Emlid Reach* verwendet. Der Hersteller verspricht zentimetergenaue Positionsbestimmungen mit RTK (https://emlid.com). Das erfordert die Verwendung von zwei Modulen (Base und Rover) bzw. Korrektursignalen die von Referenzstationen (Echtzeitpositionierungsdiensten) herangezogen werden. Die Hardware der *Emlid Reach* Geräte besteht im Wesentlichen aus einem Intel Edison Kleinrechner-Modul, sowie der Hauptkomponente, einen NEO M8T Chipsatz (GNSS-Receiver) der Firma u-blox, der die notwendigen Hardware Spezifikationen aufweist (Tabelle 1). Es handelt sich um Single-Frequency Geräte, die nur eine Trägerphase (Carrier Phase, L1) für die RTK-Korrektur nutzen. Weitere Entscheidungskriterien sind neben dem Preis (Base+Rover+Antenne < 1000 €) bereits vorhandene Testergebnisse (Egziabher, 2018; Eriksson, 2016; Meghani, Miller, & Holderman, 2017) und die Kompatibilität mit Open-Source-Software.

Tabelle 1: Hardware Spezifikationen (Emlid Reach)

General		Data
Receiver type:	72-channel u-blox M8 engine	Internal storage: 8GB
GNSS signals:	GPS/QZSS L1, GLONASS G1, BeiDou B1, Galileo E1, SBAS	Correction input: RCTM2, RCTM3
Update rate:	14Hz/5Hz	Solution input: NMEA
		Logs: RINEX 2.x, RINEX 3.x
Connectivity		Mechanical
Wireless:	Wi-Fi	Size: 56x45x15mm (Rover)
Interface:	USB, UART (Radio Antenna)	145x145x85mm (Base)
		Weight: 20g (Rover), 690g (Base)

Bei hohen Geschwindigkeiten, wie im Skirennsport üblich, sind hohe Abtastraten am Rover nötig. Mit dem *Emlid-Reach*-Modulen können wahlweise 14 Hz (14 Messungen pro Sekunde, mit GPS und Galileo) oder 5 Hz (5 Messungen pro Sekunde mit GPS, GLONASS, Galileo und BeiDou) aufgezeichnet werden. Die Daten (Rinex 3.x bzw. UBX Format) werden auf dem internen 8 GB Storage gespeichert und können für Post Processing-Anwendungen über Wifi und der *ReachView*-Applikation auf den Desktop oder auf das Smartphone/ Tablet übertragen werden.

2.2 Antenne

Die Wahl der "richtigen" Antenne ist ein Schlüsselelement bei der Aufzeichnung von dGNSS-Messungen. Vor allem für dynamische dGNSS-Positionsbestimmungen (Rover) eignen sich Helix Antennen an Stelle von Patch Antennen. Das Antennendesign soll möglichst effektiv auf Mehrwegeunterdrückung abzielen und die Fähigkeit, auch tief stehende Satelliten zu empfangen, besitzen (vgl. Moernaut & Orban, 2009). In vorangegangen Testversuchen wurden mehrere Antennen (*Tallysman* TW 4721, *Maxtenna* M1516HCT-P_SMA, Ethertronics EtherHelix & Harxon D-Helix Antenna) getestet. Zur Untersuchung der Positionsgenauigkeit kommt die D-Helix Antenne der Marke *Harxon* zum Einsatz, die mit Abstand die besten

Messergebnisse liefert. Zur Zeit der Testphase war die D-Helix noch im Prototypenstadium und ist ab 2019 am Markt verfügbar. Bei der *Harxon* D-Helix Antenne handelt es sich um eine innovative Antenne, die Multiband-Signale von GPS (L1/L2/L5/L-Band), GLONASS (G1/G2/G3), BDS (B1/B2/B3) und Galileo (E5a/E5b/E6/E1) aufzeichnen kann. Im Vergleich zu den anderen Antennen besitzt die D-Helix Antenne, die Fähigkeit alle sichtbaren Satelliten, auch unter schwierigeren Bedingungen besser zu verfolgen. Mit der intern verbauten Antenne der Base-Einheit im Reach-Modul werden hingegen Single-L-Band GPS-, GLONASS-, Galileo- und Beidou-Signale (L1, G1, B1, B1 BOC, B12 und E1) empfangen.

2.3 Software

Für die Prozessierung der RTK-Daten kommt das Open-Source-Paket RTKLIB von Tomoji Takasu und die ReachView-Software zum Einsatz. ReachView hat ein Web-Interface, u. a. um Daten zu loggen und RTK-Einstellungen vorzunehmen.

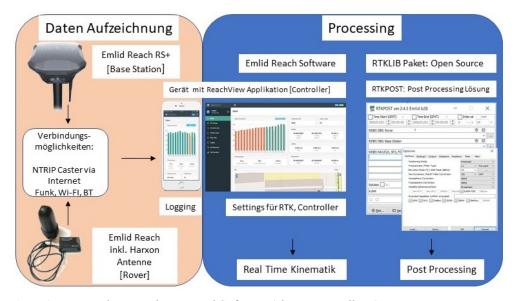


Abb. 1: Verwendetes Equipment und Software (eigene Darstellung)

3 Methodik und Konfiguration

3.1 Real Time Kinematic (RTK)

Bei Real Time Kinematics handelt es sich um eine differenzielle GNSS-Messtechnik, die auf der Auswertung der Trägerphase (P-Code) beruht und Genauigkeiten im Zentimeterbereich zulässt. Um Korrektursignale in Echtzeit (RTK) zu empfangen ist für den beschriebenen Testaufbau eine Internetverbindung nötig. Die Einmessung der Base-Station wird mithilfe von Korrekturdaten des Austrian Positioning Service (APOS) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) durchgeführt. Ist der genaue Standort der Base-Station bestimmt,

werden die Korrekturdaten der Base-Station über das Internet via NTRIP Caster auf ein Smartphone übertragen. Vom Smartphone werden die Korrekturdaten über Wi-Fi an den Rover gesendet. Alternativ können die Korrekturdaten mit den erhältlichen Funkmodulen (LoRa) übertragen werden. Mit der Reach-View-Applikation können vielfältige Einstellungen wie z. B. der Elevation Mask Angle oder die SNR Mask an die jeweiligen Verhältnisse angepasst werden.

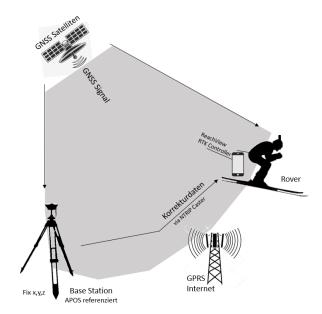


Abb. 2: Real Time Kinematic (eigene Darstellung)

3.2 Post Processing (PPK)

Eine weitere Möglichkeit die Tracking-Daten der Rennläufer differenziell zu korrigieren, geschieht mit dem Open Source basierenden Softwarepaket RTKLIB (Version 2.4.3). Mit RTKPOST werden die Rohdaten (Rinex 3.x) des Rovers und der Base-Station erst im Nachhinein verarbeitet.

RTKPOST bietet vielfältige Einstellungsmöglichkeiten (http://www.rtklib.com). Beispielsweise werden die Daten durch Zeitangaben beschränkt. Damit wird sichergestellt, dass das Ergebnis durch schlechtere Signale in der Initialisierungsphase nicht verfälscht wird.

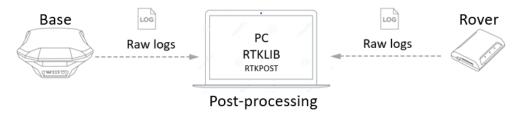


Abb. 3: Post Processing (PPK) (eigene Darstellung)

3.3 Montage

Um für einen bestmöglichen Signalempfang zu sorgen, wird die Helix-Antenne am Helm so platziert, dass sie in der Abfahrtsposition möglichst vertikal nach oben zeigt (Abb. 4). Die Antenne wird am Helm durch einen Kamerasockel mit einer Sollbruchstelle fixiert. Über den vorhandenen SMA-Antennenanschluss kann eine Vielzahl von GNSS-Antennen verwendet werden.

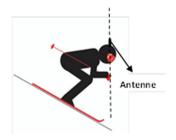


Abb. 4: Antennen-Montage (eigene Darstellung)

4 Testaufbau und Ergebnisse



Abb. 5: Vermessungspunkt BEV EP 81313-178

Um die Receiver auf ihre statische und kinematische Genauigkeit zu prüfen, werden mehrere ausgewählte Testszenarien durchgeführt. In einem ersten Schritt wird die horizontale und vertikale Genauigkeit mittels RTK und APOS an einem amtlich vermessenen Triangulationspunkt bestimmt. Da in der Praxis nicht immer ideale Umgebungsbedingungen vorzufinden sind, werden die statischen Messungen an einem Ort mit natürlicher Abschattung und geminderte Sichtbarkeit zu den Satelliten (Abb. 5) durchgeführt.

In Abbildung 6 wird die horizontale (links und rechts oben) und vertikale (rechts unten) Lagegenauigkeit dargestellt. Der totale RMS-Wert in horizontaler Lage beträgt 1,62 cm, vertikal beträgt der RMS-Wert 2,7 cm. Somit können die Herstellerangaben bestätigt werden. Um die Genauigkeit von dynamischen Bewegungsraten, wie sie z. B. im alpinen Skirennlauf vorkommen, zu überprüfen, werden in einem ersten Schritt die Tore eingemessen. Dazu wird der Prismenstab mit dem GNSS-Receiver vertikal in die Öffnung der Torstange geführt und die Position auf < 2 cm bestimmt (Abb. 6). Die Referenztore führen entlang einer Skipiste in alpiner Umgebung (Abb. 7), so werden die natürlich vorkommenden Abschattungs- und Expositionseffekte mitberücksichtigt.

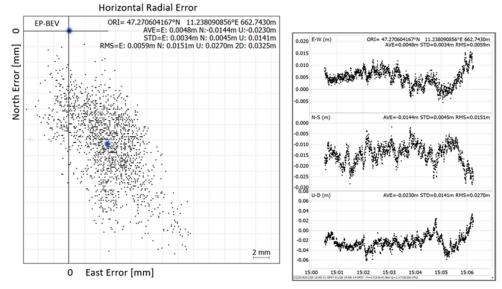


Abb. 6: Horizontale und vertikale Abweichung BEV EP 81313-178 (eigene Darstellung)

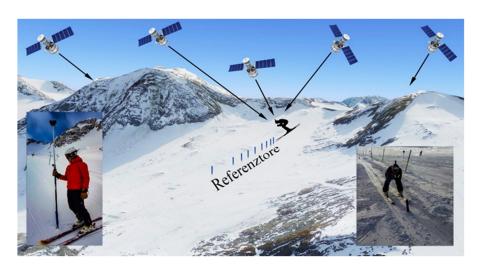


Abb. 7: Testaufbau am Schaufelferner (Stubaier Alpen)

Um hohe räumliche Auflösungen der dGNSS-Messungen zu erzielen, werden sämtliche Durchläufe mit einer Abtastrate von 14 Hz gemessen. Bei dieser Konstellation werden L1-Signale von GPS und Galileo aufgezeichnet. Insgesamt wurden 80 Testmessungen an den Kontrollpunkten durchgeführt, um eine möglichst große Aussagekraft über die Lagegenauigkeit zu erhalten. Die Positionsermittlung der Base Station erfolgt im RTK-Modus, APOS korrigiert und führt zu folgenden Ergebnissen (vgl. Abb. 8).

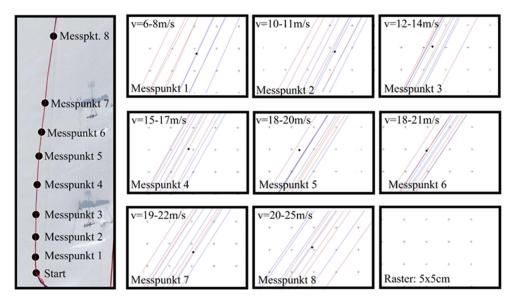


Abb. 8: Lagegenauigkeit der kinematischen Daten

Die Plots in Abbildung 8 zeigen die Abweichung der Läufe vom jeweiligen Referenzpunkt (Messpunkt. 1-8) auf einem 5×5 cm Raster mit den durchschnittlichen Geschwindigkeiten. Die maximale horizontale Abweichung von den Referenztoren beträgt 13 cm. Für die Auswertung der Positionsgenauigkeit ist die Antennenposition zu beachten. Der Testläufer führt die Antenne möglichst zentriert über die vermessene Torstange (Abb. 7). Die entstehenden Ungenauigkeiten durch die Kopfbewegung, die nicht der dGNSS-Messung zuzuschreiben sind, müssen berücksichtigt werden. Die gemittelte horizontale Abweichung von ± 10 cm muss so jedenfalls diskutiert werden.

5 Fazit

Die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass mit Low-Cost-RTK-Receiver zentimetergenaue Positionsbestimmungen möglich sind. Darüber hinaus veranschaulichen die Resultate der kinematischen Messversuche ebenso Genauigkeiten im Dezimeter bzw. Subdezimeter Bereich. Um die Aussagekraft der vorliegenden Daten zu steigern, sollten weitere Messungen mit verschiedenen Konfigurationen, unterschiedlichen Testgebieten und weiteren Testaufbauten durchgeführt werden. Eine weitere Form der Validierung der kinematischen dGNSS-Messdaten, könnte beispielsweise mit einem multiplen, videobasierten Photogrammetrie-System (Gilgien, 2014) erfolgen. Die Wahl einer geeigneten Antenne darf nicht außer Acht gelassen werden. Vor allem bei Messungen, bei denen die Antenne intensiven Bewegungen ausgesetzt ist, zeichnen sich große Unterschiede im Signalempfang ab. Darüber hinaus sind die Geschwindigkeit und die Dynamik mit einzubeziehen. Fordernde Bedingungen, bei denen massive Antennenbewegungen auftreten, führen zu einer Verminderung des Signalempfanges und daraus resultierend zu einer Abnahme der Genauigkeit.

Werden die Daten nach der eigentlichen Aufzeichnung ausgewertet (PPK), sind eingehende Kenntnisse über die Eingabeparameter und Einstellungen der Post Processing Software notwendig, um adäquate Ergebnisse zu liefern. Das gilt auch bei Konfigurationen im RTK Modus. Außerdem ist bei der Planung (Satellitenkonstellationen) und Durchführung auf ein bestmögliches Setup zu achten, um zentimetergenau dGNSS-Daten aufzuzeichnen.

Die kostengünstigen GNSS-Receiver mit dem verbauten *u-blox* M8 Chipsatz sind mit dem Open Source basierendem Software Paket RTKLIB kompatibel und somit für viele Anwendungen der Positionsdatenerfassung geeignet. Zudem besteht die Möglichkeit neben kostenpflichtiger Korrekturdaten (APOS), eigene Basestations einzumessen oder die Berechnung via Postprocessing (PPK) durchzuführen. Zudem können PPK-Messungen überall durchgeführt werden, auch wenn keine GPRS Netzabdeckung vorhanden ist oder keine Funkverbindung möglich ist. Ein weiterer Vorteil der *Emlid-Reach*-Geräte ist die Möglichkeit, sie flexibel einzusetzen. Aufgrund von Bauform, Gewicht, Zubehör und Kompatibilität können die Geräte auch im Bereich von Drohnen und Photogrammetrie eingesetzt werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten der *Emlid-Reach*-Module sind also vielfältig und können für diverse Forschungsfragen eingesetzt werden, bei denen Lagegenauigkeiten im Zentimeterbereich und hohe Abtastraten nötig sind. Ebenso spielt die Preispolitik der GNSS-Hersteller eine große Rolle. Mit der Einführung der getesteten Single-Frequency-Receiver ist es erstmals möglich, hochgenaue Positionsdaten mit Geräten durchzuführen, die deutlich unter der 1000-Euro-Marke angesiedelt sind. Der Faktor Anschaffungskosten wird besonders deutlich, wenn ein Vergleich mit namhaften Herstellern- wie z. B. Trimble oder Leica, gezogen wird. Bei gleichwertiger Positionsgenauigkeit liegt der Anschaffungswert bei mehreren 1000 bis 10.000 Euro und zusätzlich wird die Nutzung kostenpflichtiger Softwarelösungen verlangt.

Neue Entwicklungen, insbesondere die Auswertung des L5-Signals, könnten die Genauigkeiten zusätzlich verbessern. Dazu kündigt Emlid Reach für Juli 2019 einen neuen Multiband Receiver (L1, L2, L5) an, der für zukünftige Untersuchungen Anwendung finden könnte. Speziell für die Anwendungen im Skirennsport sind detaillierte Analysen und Optimierungen in diesem Einsatzbereich zu erwarten. Eine Auswertung der Positionsdaten als hilfreiche Analyse von dynamischen Abläufen im Skirennsport wird in einer separaten Studie ausgewertet und ist noch nicht abgeschlossen.

Literatur

Demoz Gebre-Egziabher, P. I. (2018). Evaluation of Low-Cost, Centimeter-Level Accuracy OEM GNSS Receivers. University of Minnesota: Department of Aerospace Engineering and Mechanics.

Emlid Limited. Retrieved Nov, 2018, from https://emlid.com.

Eriksson, S. (2016). *Real-time kinematic positioning of UAS – possibilities and restrictions*. Gothenburg: Department of Earth and Space Sciences, Chalmers University of Technology.

Gilgien, M. (2014). Characterisation of Skiers' Mechanics. Course Setting and Terrain Geomorphology in World Cup Alpine Skiing using Global Navigation Satellite System (Dissertation). Norwegian School of Sport Sciences.

- Meghani, N. A., Miller, D., & Holderman, B. (2017). Accuracy of Suas Operations in densely forested areas with use of Emlid Reach RTK Systems. Washington: GSA Annual Meeting in Seattle.
- Moernaut, G. J. K & Orban, D. (2009). GNSS Antennas. *GPS World*. Retrieved Nov, 2018, from http://gpsworld.com.
- RTKLIB. *An Open Source Program Package for GNSS Positioning*. Retrieved Dez, 2018, from http://www.rtklib.com.