

# GNSS und Pléiades-Bilder in der Hochgebirgskartographie

## *GNSS and Pléiades Images in the High Mountain Cartography*

Martin Ladner<sup>1</sup>, Armin Heller<sup>1</sup>, Ekkehart Grillmayer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geographie an der Universität Innsbruck · martin.ladner@uibk.ac.at

<sup>2</sup>geoAT, Garsten

**Zusammenfassung:** Im Rahmen des FFG-Projektes AV.MAP wurden Methoden für effektiv durchführbare GNSS-Messungen in definierten Genauigkeitsbereichen untersucht. Um den Zeit- und technischen Aufwand im Gelände gering zu halten, wurden die Trimble RTX-Echtzeitkorrekturverfahren auf ihre Praktikabilität hin überprüft. Messungen im unteren Dezimeterbereich sind unerlässlich, um geometrische Passpunkte als Grundlage für die Berechnung von Geländemodellen aus VHR Pléiades Tri-Stereo-Images zu ermitteln. Die Erfassung der Infrastruktur erfolgt im unteren Meterbereich. Empirische Versuchsreihen lieferten optimale Gerätekonfigurationen für Geländeaufnahmen in den Stubai Alpen (Franz-Senn Hütte) und im Nationalpark Mt. Kenia (Afrika).

**Schlüsselwörter:** GNSS, Hochgebirgskartographie, Ground Control Points, Trimble RTX, Pléiades

**Abstract:** *The FFG project AV.MAP investigates methods for effective GNSS measurements in defined accuracy. In order to minimize time and technical outlay on the ground, practical tests of the Trimble RTX real-time correction methods were implemented. Results showed measurements in the lower decimeter range are indispensable for georeferencing the VHR Pléiades Tri-Stereo Images using Ground Control Points to derive accurate terrain models. Measurements in the lower meter range are used to record infrastructure. During empirical tests the optimal device configurations and workflows were created while mapping for the Austrian Alpine Club in Tyrol and Africa.*

**Keywords:** *GNSS, high mountain cartography, ground control points, Trimble RTX, Pléiades*

## 1 Motivation und Grundlagen

Im Zuge des, durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) geförderten, Projektes AV.MAP (2016) sollen für den Österreichischen Alpenverein effektive und weltweit anwendbare Methoden in den Bereichen Pléiades, Kartographie und Globale Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS) entwickelt werden. Dabei werden eine alpine (Franz-Senn-Hütten Umgebungskarte) und eine außeralpine (Nationalpark Mt. Kenia) topographische Karte im Maßstab 1:25.000 bzw. 1:12.500 auf Grundlage hochauflösender Very High Resolution (VHR) Pléiades-Tri-Stereo-Bilder (Astrium, 2012) für das Hochgebirge erstellt. Der inhaltlich hohe Detailgrad dieser Karten stellt erhebliche Anforderungen an deren horizontale und vertikale Lagegenauigkeit.

### 1.1 Ziel

GNSS spielen beim Aufbau einer Geodateninfrastruktur (GDI) und als Grundlage für hochwertige kartographische Ableitungen, wie beispielsweise Karten oder Onlineinhalten, eine wesentliche Rolle. In dieser Arbeit werden geometrische Passpunkte (Ground Control Points,

GCP) sowie Infrastruktur mittels differenziellen GNSS (dGNSS) erhoben. Die Messungen werden im Hinblick auf Zeit-, Aufwand- und Kosten im Verhältnis zur erreichbaren Genauigkeit untersucht. Die entwickelten Methoden müssen in technisch gut erschlossenen alpinen europäischen Gebieten, sowie in unerschlossenen Gegenden funktionieren, in denen keine qualitativ ausreichenden Referenzdaten zur Verfügung stehen, wie zum Beispiel für Expeditionskarten.

## 1.2 Referenzsysteme und GNSS-Messungen

Globale Koordinaten beziehen sich immer auf Referenzsysteme bzw. Referenzrahmen, welche im Wesentlichen globale Netze aus Fixpunkten an der Erdoberfläche sind (Eckerth, 2010, p. 9). Allgemein erfolgt die GNSS-Positionsbestimmung im globalen geozentrischen Koordinatensystem World Geodetic System 1984 (WGS84). Hohe Lagegenauigkeiten können aus GNSS Messungen nur durch Elimination der systembedingten Fehlereinflüsse mittels differenzieller Auswerteverfahren erzielt werden. Dabei werden Daten eines zweiten Empfängers, welcher sich an einem Punkt mit bekannten Koordinaten (in einem Referenzrahmen) befindet, genutzt (Referenzstation). Dies kann zum Zeitpunkt der Messung, also in (Fast-) Echtzeit (Real Time) oder im Nachhinein (Post-Processing, PP) erfolgen (Hamberger, 2001, p. 16). Koordinaten aus dGNSS-Messungen beziehen sich somit auf jenen Internationalen Terrestrischen Referenz Rahmen (ITRF), in dem die Koordinaten der Referenzstation angegeben wurden (Kaplan & Hegarty, 2005, p. 380). ITRF sind periodisch aus Messungen abgeleitete Realisierungen des ITRS und werden unter dem Namen ITRF mit Beifügung der Jahreszahl ihrer Berechnung veröffentlicht. Das aktuellste ITRF ist das ITRF2014, welches im Jänner 2016 veröffentlicht wurde (Institut Géographique National, 2016).

Durch „Einfrieren“ der Koordinaten der auf dem europäischen Teil der eurasischen Platte liegenden Stationen des ITRF89 wurde das ETRS89 (European Terrestrial Reference System) festgelegt. Die Geschwindigkeiten gegenüber dem globalen Bezugsrahmen ITRF betragen in Mitteleuropa ca. 25 mm/Jahr in Nordostrichtung (DVW, 2012, pp. 3 ff.). Seit der Festlegung ETRS89 hat sich eine Differenz zwischen WGS84 (ITRS) und ETRS89 gebildet, welche dynamisch zunimmt und heute mehr als einen halben Meter beträgt. Da der Kontinent um den Masseschwerpunkt der Erde rotiert, variiert die Differenz je nach Lage des Referenzpunktes (Killet, 2016). Während sich die Koordinaten des ITRF in Europa verändern, gibt es im ETRF, bis auf die instabilen Teile Europas, keine signifikanten Veränderungen (Augath, 2001, p. 201). Für die Navigation und Geoinformationswirtschaft scheinen diese Differenzen unerheblich, für hochgenaue Vermessungsarbeiten müssen sie berücksichtigt werden. Um genaue Messungen aus einem ITRF in das ETRS89 verlustfrei überzuführen, sind diese räumlich zu transformieren. Die notwendigen genauen Transformationsparameter werden mit jedem ITRF von IGN veröffentlicht (EUREF, 2016).

Beim frei zugänglichen Satellite Based Augmentation System (SBAS) erfolgt die Übermittlung der Korrekturdaten an die Empfänger innerhalb von 6 Sekunden. Aufgrund der Satellitenpositionen sind diese Signale jedoch nicht immer verfügbar. In den mittleren Breiten sind die SBAS-Satelliten nur schlecht zu empfangen, da sie in einem geringen Winkel über dem Horizont stehen (Dodel & Häupler, 2004, pp. 279 ff.; Weber, 2009, pp. 7 f.).

Das kostenpflichtige Echtzeit-Korrekturverfahren Real Time eXtended (RTX) konnte im Projekt dank der Firma Trimble unentgeltlich genutzt werden und ist für Empfänger der neuesten Generation über Internet (Internet Protocol, IP) bzw. Satellitensignal verfügbar (Geräteabhängig, siehe Tabelle 1). Die Koordinaten werden im System ITRF2008 Epoche 2005.00 zur Verfügung gestellt. Je nach Empfänger stehen bis zu vier RTX Korrekturservices zur Verfügung (Trimble, 2017). Beispielsweise wird beim Trimble CenterPoint RTX Post-Processing-Service eine Genauigkeit von weniger als vier Zentimetern angegeben. Dabei werden derzeit folgende GNSS-Systeme verwendet: GPS, GLONASS, QZSS und BeiDou (Trimble, 2016).

**Tabelle 1:** Übersicht Trimble RTX-Korrekturservices via Satellit, Preise für die Industrie Mapping/GIS; Quellen: Trimble (2017), AllTerra Österreich (2017)

RTX Korrekturservice	horizontale Genauigkeit [cm]	Initialisierungszeit [min]	unterstützt von		Preise pro Jahr
			R1	R2	
CenterPoint (CP)	< 4	< 30 oder < 5	Nein	Ja	€ 2.000,-
FieldPoint (FP)	20	< 15 oder < 5	Nein	Ja	€ 1.250,-
RangePoint (RP)	50	< 5	Nein	Ja	€ 550,-
ViewPoint (VP)	< 100	< 5	Ja	Ja	€ 300,-

## 2 Methoden

Die im Folgenden beschriebenen Entscheidungskriterien für ein System hängen eng mit der Frage der anfallenden Kosten und des Einsatzzweckes bzw. des Anspruches an die Genauigkeit zusammen (Grillmayer & Heller, 2013, pp. 48 f.).

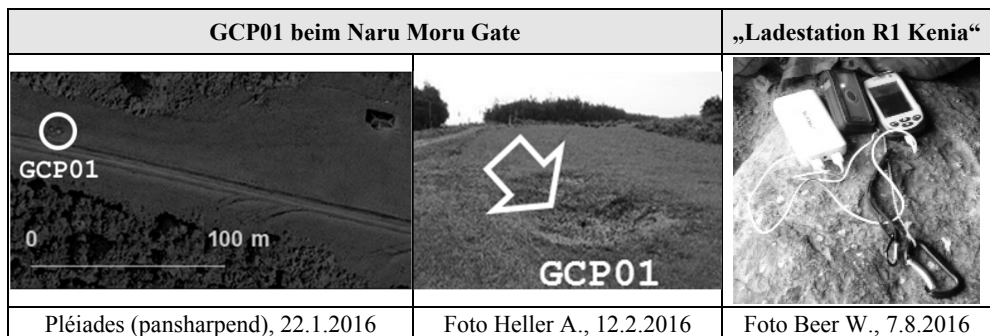
### 2.1 GNSS Passpunkte – Messungen im unteren Dezimeterbereich

Bei der Berechnung digitaler Höhenmodelle (DHM) auf Grundlage der mit den Pléiades-Bildern gelieferten Rationalen Polynomkoeffizienten (Rational Polynomial Coefficient, RPC) liegt der RMS-Fehler (Root Mean Square Error, RMS) der panchromatischen Nadir Aufnahme bei 8,5 Meter CE90 (Circular Error im 90 % Vertrauensbereich) (Astrium, 2012). Durch Verwendung von GCP kann der horizontale Fehler auf ca. 0,5 Meter und vertikal auf kleiner 1 Meter minimiert werden (Perko et al., 2014).

Geometrische Passpunkte können aus unterschiedlichen Quellen, wie beispielsweise ALS-Daten oder amtlichen Vermessungspunkten, abgeleitet werden. Diese Quellen sind jedoch nicht überall verfügbar. Wie Analysen zeigen, sind die verfügbaren topographischen Karten im Untersuchungsgebiet in Kenia mit Abweichungen von mehr als 100 Metern dafür unbrauchbar. Ableitungen aus Online Karten scheitern an Bildqualität und Wolkenbedeckung, weshalb GCP in Eigenregie mit dGNSS-Messungen ermittelt werden müssen. Unter Verwendung dieser Punkte werden aus den VHR Pléiades Tri-Stereo-Images Digitale Geländemodelle berechnet und orthorektifizierte Bilder erstellt, welche der Ableitung von Höhenlinien, Schummerungen, Klassifikationen und als Kartierungsgrundlage dienen. Da sie damit die Basis für das gesamte Kartenmaterial bilden, haben Lagefehler der GCP direkten Einfluss

auf das kartographische Endergebnis. Eine Studie von Toutin & Chénier (2004) zeigt anhand gut gewählter Passpunkte mit einer Genauigkeit von 0,2 Metern und QuickBird-Satellitenbildern mit einer Auflösung von 0,61 m, dass der resultierende Fehler nicht an der Messung, sondern am Georeferenzieren der Punkte liegt und für eine Karte im Maßstab 1:5.000 ausreichend ist (Toutin & Chénier, 2004). Für die mit 0,5 m geometrisch ähnlich hoch aufgelösten panchromatischen Pléiades Images (Astrium, 2012, p. 2) sollten daher die GCP ebenfalls mit einer Genauigkeit von weniger als 0,2 Metern, also im unteren Dezimeterbereich, ermittelt werden. Die Höhe ist ebenfalls eine wichtige Einflussgröße der Geländemodellerstellung und stellt damit dieselben Anforderungen an die Messung.

Diese eingemessenen, natürlichen oder künstlichen Punkte müssen zugänglich und auf den einzelnen Satellitenbildern (Forward-, Nadir- und Backwardaufnahme) eindeutig erkennbar sowie von Ihrer Umgebung gut unterscheidbar sein. Es eignen sich also markante Objekte bzw. Strukturen, welche im Gelände erreichbar und auffindbar sind, wie beispielsweise Bachquerungen an Straßen oder Wanderwegen. Bei sich zeitlich verändernden Objekten (z. B. Wasserlöcher, siehe Abb. 1) muss gewährleistet sein, dass diese Objekte während der Zeitdifferenz zwischen GNSS-Messung und Aufnahme der Satellitenbilder ihre Lage nicht verändert haben. Idealerweise sollte diese Zeitspanne kurz sein und die Planung für die GNSS-Messungen erfolgt bereits visuell auf Grundlage der für die Geländemodellerstellung verwendeten Satellitenbilder. Damit sind die Messungen vorab planbar und einer nicht Zuordenbarkeit des Messpunktes zu den Bildern, wie beispielsweise wegen Wolkenbedeckung, kann entgegengewirkt werden. Zusätzlich sollte auf eine günstige Verteilung der GCPs geachtet werden. Durch die Auswahl von geeigneten Punkten können des weiteren Multipath-Effekte und Abschattungen deutlich minimiert werden. Erfahrungsgemäß eignen sich bodennahe Objekte, welche einen Durchmesser von mehreren Pixeln der zu referenzierenden Satellitenbilder haben (bei Pléiades-Bildern folglich mindestens zwei Meter) und bei denen die Messung im Mittelpunkt durchgeführt werden kann. Bei sehr steilen Übergängen, wie beispielsweise Abbrüchen oder großen Felsblöcken, besitzen angrenzende Pixel teilweise große Höhenunterschiede. Durch die unterschiedlichen Aufnahmewinkel der Pléiades-Aufnahmen erhöht sich die Gefahr, dass beim Zuweisen zwischen Bildkoordinate und Passpunkt eines der Nachbarpixel verwendet wird und es daher zu einer vermeidbaren großen Höhendifferenz kommt.



**Abb. 1:** GCP01 – temporäres Wasserloch beim Naru Moru Gate in Kenia (links, Mitte), Trimble R1 „Ladestation“ während eines Geländeaufenthalts in Kenia (rechts)

Die notwendige Mindestmessdauer, eine kompliziertere Handhabung, das Gewicht, die Stromversorgung und die Datensicherung sind keine Entscheidungskriterien bei GCP-Messungen, da der hohe Genauigkeitsanspruch einen entsprechenden Aufwand rechtfertigt. Pléiades Images liegen im WGS84-Koordinatensystem vor, weshalb bei der Verwendung von RTX-Messungen Abweichungen durch Transformationen zu berücksichtigen sind.

## 2.2 GNSS Infrastruktur – Messungen im unteren Meterbereich

Der Anspruch an die Genauigkeit der mittels dGNSS aufgenommenen Infrastruktur im unteren Meterbereich ergibt sich einerseits aus der maßstabsabhängigen Anforderung innerhalb der Geodateninfrastruktur und andererseits aus der Vergleichbarkeit durch die Nutzer der Daten selbst (beispielsweise bei Online-Anwendungen mit GNSS). Die Anforderungen an die gemessenen Höhen liegen im Meterbereich, wie zum Beispiel bei Höhenkoten. Höhen können zusätzlich aus anderen Datenquellen stammen, wie beispielsweise aus Geländemodellen, müssen jedoch auf Qualität und Genauigkeit hin untersucht werden. Die unterschiedlichen Anforderungen an die dGNSS-Messungen ergeben sich aus der Notwendigkeit Inhalte aus der GDI in verschiedenen Maßstäben darzustellen. Die erarbeiteten Verfahren müssen weltweit, auch ohne SBAS-Abdeckung bzw. Post-Processing, funktionieren (vgl. Kapitel 1.2). Die Positionsgenauigkeit von Freizeitgeräten liegt ohne Korrektur bei 10 bis 20 Metern, welche durch den Einsatz von SBAS auf 1-3 Meter verbessert werden kann (Zogg & Studer, 2011, p. 17). Vergleichsmessungen bei optimalen Bedingungen bestätigten dies (Ladner, 2011, p. 117). Sogar bei guten Bedingungen in Bezug auf Abschattung, Multipath und Satellitenkonstellation sind daher Freizeitgeräte für die Datenerfassung von Infrastruktur für den geforderten Maßstab nur bedingt bzw. für evtl. spätere digitale Anwendungen nicht zufriedenstellend genau. In stark abgeschatteten bzw. bewaldeten Gebieten lassen sich Multipath- und Abschattungseffekte nicht vermeiden und die geforderte Genauigkeit nicht durchgehend erreichen. Georektifizierte Pléiades-Bilder können verwendet werden um diese Unschärfen bzw. „Ausreißer“ manuell für das spätere Endprodukt zu verbessern.

Die Handhabung in Bezug auf Bedienbarkeit (z. B. mit Handschuhen), Effektivität, Gewicht und Stromversorgung stellt für die Erfassung von Infrastruktur vor allem im Hochgebirge ein wesentliches Kriterium dar. Nicht nur eine Sicherung der Daten sollte in situ möglich sein, sondern ein zweiter Empfänger als Back-up erweist sich als sinnvoll. Die Möglichkeit eine Hintergrundkarte am GNSS-Gerät bzw. Datenlogger zu verwenden ist ein sehr nützliches Feature, dient einerseits der Orientierung im Gelände und kann andererseits dazu verwendet werden, Objekte zu kontrollieren und zu aktualisieren.

## 2.3 Testumgebung

An verschiedenen Standorten in Tirol und Kenia wurden unterschiedliche Geräte, Antennen und Korrekturverfahren getestet. Dieser Artikel befasst sich hauptsächlich mit Geräten der Firma Trimble und dem Echtzeit-Korrekturverfahren RTX.

Um den Messdatenvergleich im Koordinatenrahmen des Messmittels herbeizuführen wurde am Einschaltpunkt (EP) 81120-18 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) in Mutters mit einer Trimble R2 RTX CenterPoint Messung ein Referenzpunkt im ITRF2008

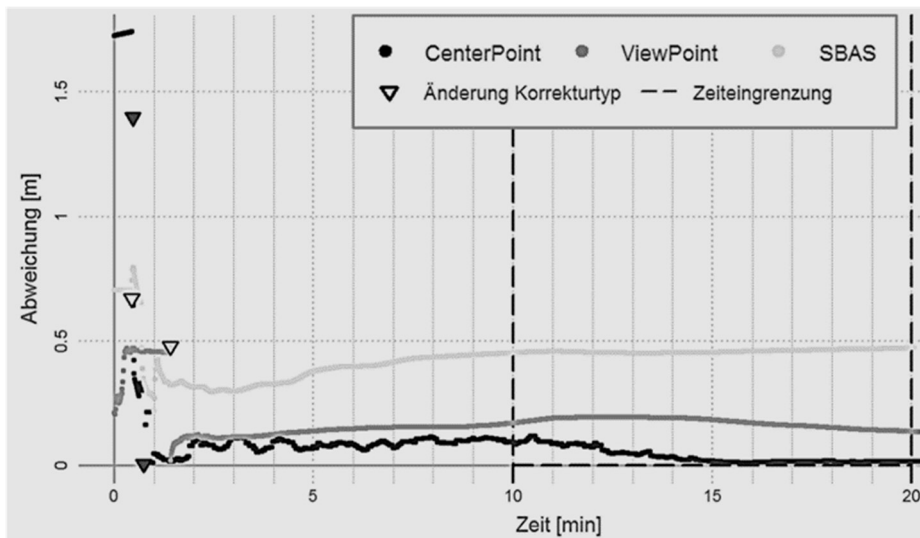
Epoche 2005.00 als Merkmal (Feature) eingemessen. Zur Überprüfung der äußeren Genauigkeit wurden die Koordinaten des Einschaltpunkts von der GNSS-Permanenstation Patzschkofel (Betreiber: BEV, Daten werden auch über die Österreichischen Akademie der Wissenschaften abgegeben) mittels GNSS-Post-Processing ermittelt. Die Lagedifferenz beider Lösungen (RTX und Post-Processing) beträgt rund vier Zentimeter und wird somit als Beleg für die äußere Genauigkeit angesehen. In weiterer Folge wird nun die innere Genauigkeit der durchgeführten GNSS-Messungen untersucht, in dem als Referenz der Mittelwert aller RTX-Positionen benutzt wird.

Der Trimble Geo7X-Empfänger unterstützt RTX nur über IP, ist daher nicht weltweit anwendbar und für Geländeaufnahmen des Österreichischen Alpenvereins nicht geeignet. Der Betrieb einer eigenen Base-Station wurde in Kenia aufgrund des Aufwandes für Installation, Betrieb, Datensicherung und nicht zuletzt wegen der Diebstahlgefahr (zusätzliches Personal für die Bewachung) ausgeschlossen. Auf freie Korrekturdaten für das Post-Processing wurde ebenfalls verzichtet, da die Qualität dieser Daten schwierig zu bewerten ist und kurze Baselines vor allem in Entwicklungsländern nicht gewährleistet sind.

Durch die Auswahl von geeigneten Passpunkten können Multipath-Effekte und Abschattungen minimiert werden, weshalb diese Einflüsse in diesem Genauigkeitsbereich nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind.

### 3 Ergebnisse

Ein Vergleich von Messungen eines Trimble R2-Empfängers über die Zeit zeigt die deutliche Verbesserung der horizontalen Lagegenauigkeit mit dem Inkrafttreten des jeweilig verwendeten Korrekturtyps (vgl. Abb. 2). Dies gilt auch für Höhenmessungen.



**Abb. 2:** Horizontale Abweichungen von R2-Messungen (siehe Tabelle 2, Var. *AI, D, E*)

In den von GNSS-Empfängern erhaltenen Navigationsnachrichten sind die Ephemeridendaten (Almanach) enthalten, welche der schnelleren Positionsbestimmung nach einem Einschalten zur Eingrenzung des Suchbereiches dienen (Ladner, 2011, pp. 16 ff.). Die folgenden Analysen erfolgen ohne Berücksichtigung dieser Initialisierungszeiten. Ab der zehnten Minute wird über einen Zeitraum von zehn Minuten ausgewertet, d. h. es werden jeweils 600 Einzelmessungen (Positionen) analysiert (vgl. Abb. 2, Tabelle 3). Die Ergebnisse sind daher gut vergleichbar, denn die vor der Echtzeitkorrektur gemessenen Punkte und Beeinflussungen durch vorherige Inbetriebnahme am Standort werden in den folgenden Analysen der Positionen nicht berücksichtigt. Die von Trimble mittels eines nicht veröffentlichten Algorithmus berechneten Merkmale werden jedoch aus der gesamten Messdauer ermittelt.

Eine Analyse der R2-Messungen (vgl. Tabelle 2, Varianten *A-F*) zeigt, dass obwohl bei der FieldPoint-Messung (*B*) die Positionen in horizontaler Richtung bessere Min-, Max- und vor allem HDOP-Werte besitzen, das abgeleitete Merkmal aufgrund des qualitativ hochwertigeren Korrekturdienstes der CP-Messung (*A1*) um 47 mm (vertikal 60 mm) weiter entfernt liegt (vgl. Abb. 2). Generell zeigen die geringen Distanzen die Funktionalität der Korrekturdienste und die Qualität des Empfängers recht deutlich.

**Tabelle 2:** Messungen vom 13.4.2016<sup>1</sup>, 23.6.2016<sup>3</sup> und 22.12.2016<sup>2</sup> am BEV EP 81120-18

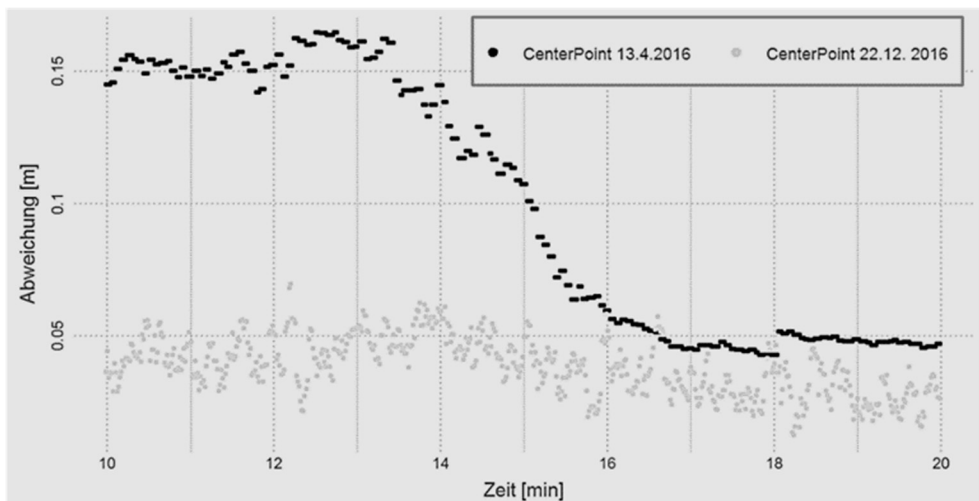
Gerät	Korrektur	Variante	Positionen (600 Messungen nach 10 Minuten)								Merkmale	
			max. DOP		max. Prec [m]		horiz. Dist. [m]		vert. Dist. [m]		Distanz [m]	
			H	P	horiz.	vert.	Min.	Max.	Min.	Max.	horiz.	vert.
R2	CP <sup>1</sup>	<i>A1</i>	1,4	2,2	0,300	0,200	0,010	0,119	0,043	0,165	0,019	0,045
	CP <sup>2</sup>	<i>A2</i>	0,7	1,3	0	0,100	0,021	0,045	0,012	0,070	0,039	0,020
	FP <sup>3</sup>	<i>B</i>	0,8	1,3	0,113	0,100	0,013	0,072	-0,076	0,054	0,066	-0,015
	RP <sup>3</sup>	<i>C</i>	0,9	1,6	0,250	0,250	0,007	0,158	0,003	0,101	0,068	-0,037
	VP <sup>3</sup>	<i>D</i>	0,8	1,4	0,166	0,139	0,137	0,196	-0,101	0,356	0,155	0
	SBAS <sup>3</sup>	<i>E</i>	0,9	2,0	0,419	0,368	0,452	0,473	0,482	0,572	0,418	0,494
	Ohne <sup>3</sup>	<i>F</i>	0,5	1,0	0,835	1,089	0,706	0,780	1,873	2,179	0,371	-0,376
R1	VP <sup>3</sup>	<i>G</i>	0,6	1,2	0,290	0,354	0,058	0,163	0,571	0,758	0,144	0,608
	Ohne <sup>3</sup>	<i>H</i>	0,8	1,6	2,496	4,680	0,849	1,748	-16,168	-13,652	1,412	-14,631

### Messungen im unteren Dezimeterbereich

Anwender von GNSS-Messungen arbeiten üblicherweise nicht mit Positionen, sondern mit Merkmalen. Unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Referenzstation von 4 cm liegen beide R2-CenterPoint-Messungen (*A1* und *A2*) horizontal in diesem Toleranzbereich. Vertikal ergibt sich rechnerisch bei *A1* eine Distanz von 5 mm. Die Höhenwerte zeigen deutlich, dass die berechneten Merkmale die ermittelte Position sehr gut widerspiegeln und R2-CenterPoint-Messungen sich optimal für die Ermittlung von geometrischen Passpunkten eignen. Wie vor allem bei der Messung vom 13.4.2015 die Höhenwerte der einzelnen Positionen deutlich zeigen (*A1*), tritt nach einer Messdauer ab ca. vierzehn Minuten eine Verbesserung ein (vgl. Abb. 3). Für GCP wird eine Messdauer von mindestens 20 Minuten empfohlen.

Diese Messergebnisse zeigen auch eine nicht exakte Reproduzierbarkeit, da neben den Umgebungsbedingungen auch die Satellitenkonstellation und weitere Einflüsse, wie beispielsweise die Ionosphäre, eine Rolle spielen. Deshalb sollte bei hochgenauen GNSS-Messungen auch die Satellitenkonstellation berücksichtigt werden.

Messungen für geometrische Passpunkte sollen sowohl horizontal als auch vertikal im unteren Dezimeterbereich liegen, weshalb die Korrekturdienste CenterPoint, FieldPoint und RangePoint aufgrund dieser Analysen in die nähere Auswahl kommen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass diese Messungen bei optimalen Umgebungsbedingungen durchgeführt wurden und während GCP-Messungen mit schlechteren Umgebungsbedingungen zu rechnen ist. Nicht zuletzt aufgrund der Genauigkeitsangabe von Trimble für RangePoint-Messungen (vgl. Tabelle 1) sollten folglich GCP-Messungen mit CenterPoint- oder zumindest mit FieldPoint RTX gemessen werden.

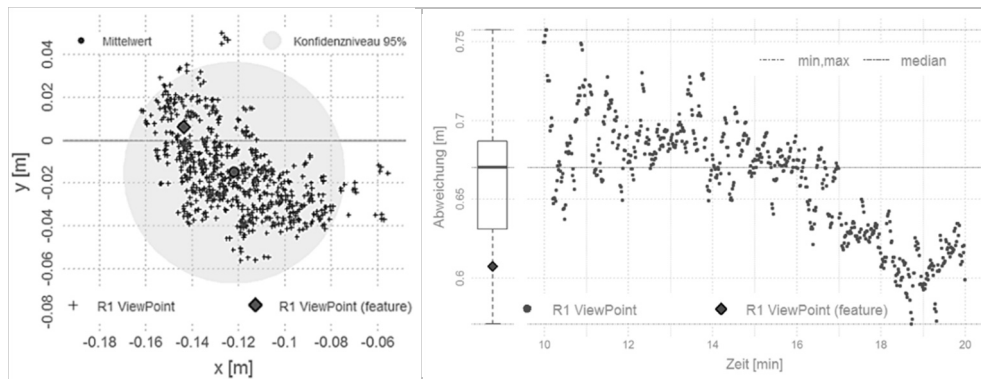


**Abb. 3:** Vertikale Genauigkeiten von R2-CenterPoint-Messungen (Var. A1, A2)

### Messungen im unteren Meterbereich

Der Vergleich der Merkmale aus ViewPoint-Korrekturservices mit den Empfängern R1 und R2 (Tabelle 2, Varianten *D* und *G*) zeigt, dass das RTX-Service empfängerunabhängig in den angegebenen Genauigkeitsbereichen funktioniert. Ohne Korrekturverfahren wurden für die Höhe Distanzen von ca. 15 Metern berechnet (*H*).





**Abb. 4:** Horizontale (links) und vertikale (rechts) Abweichungen bei R1 ViewPoint RTX

Abbildung 4 (links) zeigt die bessere Lage des Merkmals in y-Richtung bzw. den schlechteren Wert in x-Richtung im Vergleich zum Mittelwert der Positionen im betrachteten Zeitfenster in horizontaler Lage. Es wurden Abweichungen von ca. 15 cm horizontal und maximal ca. 61 cm vertikal berechnet (vgl. Tabelle 2). In Abbildung 4 (rechts) sind ein Boxplot, die Positionen innerhalb des Zeitfensters, sowie statistische Inhalte dargestellt, welche die optimale Eignung des RTX-ViewPoint-Korrekturservices für Infrastruktur-Messungen im unteren Meterbereich verdeutlichen.

Im Vergleich zum R1 ist der R2 ein wesentlich schwereres und teureres Gerät, weshalb für Infrastrukturmessungen der in der Handhabung leichtere und günstigere R1 (siehe Abb. 1 rechts) bevorzugt wird. Obwohl SBAS nicht flächendeckend verfügbar ist, kann es bei Backup-Systemen mit Freizeitgeräten sinnvoll eingesetzt werden.

## 4 Diskussion/Schlussbetrachtung

Für die Aufnahme von geometrischen Passpunkten wird derzeit ein Trimble R2 mit RTX CenterPoint empfohlen. Die erreichte Genauigkeit lässt auch Toleranzen im Hinblick auf Messungen bei schwierigeren Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise teilweisen Abschattungen. In diesem Genauigkeitsbereich ist der Umstand, dass Pléiades-Bilder im WGS84-Koordinatensystem vorliegen und daher eine Transformation der gemessenen Punkte aus dem ITRF 2008 Epoche 2005.00 des RTX-Korrekturdienstes notwendig ist, zu berücksichtigen. Technisch bedingt sind damit weitere Abweichungen zu kalkulieren.

Geländeaufnahmen bzw. Infrastrukturerhebungen sollten mit einem Trimble R1 mit RTX ViewPoint in Verbindung mit einem Juno 3B durchgeführt werden. Diese Gerätekonfiguration ist von der Genauigkeit, Handhabung und letztendlich auch vom Gewicht optimal. Bei mehrtägigen Geländeaufenthalten dient ein Akkupack für die Stromzufuhr bzw. als Ladestation (vgl. Abb. 1) und die Daten können mittels Trimble TerraSync zwischen Gerät und SD-Karte gesichert werden. Trotzdem wird ein Garmin-Empfänger, wie beispielsweise ein Oregon, als Back-up für die Wegaufzeichnung empfohlen.

Weitere Analysen in den Bereichen Abschattung, Multipath und für kinematische Beobachtungen werden als durchaus sinnvoll betrachtet. Neue Tendenzen, wie Weiterentwicklungen von Geräten, Software, aber auch vom neuen europäischen globalen Satellitennavigationssystem Galileo werden die Ergebnisse zukünftig weiter verbessern. Neuere Gesamtlösungen, wie beispielsweise der Collector for ArcGIS (Esri, 2017), sollten durchaus in die Analysen vor allem für die Geländeaufnahmen einbezogen werden.

## Literatur

- AllTerra Österreich (2017). *eMail*. Steyr/Gleink. Retrieved Dec 12, 2016.
- Astrium (Oktober 2012). *Pléiades Imagery User Guide*. Toulouse, Frankreich.
- Augath, W. (2001). Beiträge des Vermessungswesens zur Ortung und Navigation im Wandel. In: *Tagungsband der DGON-Jubiläumsveranstaltung (1951-2001)* (pp. 195–210).
- AV.MAP (2016). *Einsatz von hochauflösenden optischen Pléiades Satellitendaten in der Hochgebirgskartographie*. Retrieved Jan 20, 2017, from <http://www.gis.tirol/AV.MAP/>.
- Dodel, H., & Häupler, D. (2004). *Satellitenavigation. GALILEO, GPS, GLONASS, Integrierte Verfahren*. Bonn: Hüthig.
- DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e. V. (2012). *DVW-Merkblatt 5-2012: Bezugssysteme für GNSS*. Retrieved Jan 04, 2017, from [http://www.dvw.de/sites/default/files/merkblatt/daten/2012/05\\_DVW-Merkblatt\\_Bezugssysteme-fuer-GNSS\\_0.pdf](http://www.dvw.de/sites/default/files/merkblatt/daten/2012/05_DVW-Merkblatt_Bezugssysteme-fuer-GNSS_0.pdf).
- Eckerth, T. (2010). *Ansätze zur präziseren Positionsbestimmung mit GPS-Empfängern aus dem Niedrigpreissegment und deren prototypische Anwendung in einem automatisierten, mobilen Kartographie-Szenario* (M.Sc. Arbeit). Darmstadt.
- Esri (2017). *Collector for ArcGIS*. Retrieved Mar 10, 2017, from <http://www.esri.com/products/collector-for-arcgis>.
- EUREF (2016). *European Terrestrial Reference System 89*. Retrieved Jan 31, 2017, from <http://etrs89.ensg.ign.fr/>.
- Grillmayer, E., & Heller, A. (2013). Mappingsysteme – von den Komponenten zur System-sichtweise. In: J. Strobl, T. Blaschke, G. Griesebner, & B. Zagel (Eds.), *Angewandte Geoinformatik 2013. Beiträge zum 25. AGIT-Symposium* (pp. 47–54). Berlin/Offenbach: Wichmann.
- Hamberger, J. (2001). *GPS als Mittel zum umweltschonenden Maschineneinsatz: Navigation von Forstmaschinen und Dokumentation ihrer Fahrbewegungen* (Dissertation). Retrieved Jan 24, 2017, from [http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/PUBL/quednau/diss\\_hamberger.pdf](http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/PUBL/quednau/diss_hamberger.pdf).
- Institut Géographique National. (2016). *International Terrestrial Reference Frame*. Retrieved Mar 23, 2017, from <http://itrf.ensg.ign.fr>.
- Kaplan, E., & Hegarty, C. (2005). *Understanding GPS: principles and applications* (2nd Ed.). Norwood: Artech house.
- Killet, F. (2016). *Sind die Bezugssysteme WGS84 und ETRS89 wirklich gleich?* Retrieved Dec 29, 2016, from [http://www.killetsoft.de/t\\_1009\\_d.htm](http://www.killetsoft.de/t_1009_d.htm).
- Ladner, M. (2011). *GPS: Messverfahren in Theorie und Praxis*. Saarbrücken: Akademiker Verlag.

- Perko, R. et al. (2014). Assessment of the mapping potential of Pléiades stereo and triplet data. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-3*, 103–109.
- Toutin, T., & Chénier, R. (2004). GCP requirement for high resolution satellite mapping. In: O. Altan (Ed.), *Proceedings International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress, ISPRS Archives, Vol. XXXV*, Part B3 (pp. 836–839). Istanbul: ISPRS.
- Trimble (2016). *Trimble CenterPoint RTX Post-Processing*. Retrieved Dec 30, 2016, from <http://www.trimblertx.com/>.
- Trimble (2017). *Trimble RTX Frequently Asked Questions*. Retrieved Dec 29, 2016, from [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/v\\_Document-822699/TAP201606-0012-FAQ%20-%20Frequently%20Asked%20Questions%20-%20Trimble%20RTX.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/v_Document-822699/TAP201606-0012-FAQ%20-%20Frequently%20Asked%20Questions%20-%20Trimble%20RTX.pdf).
- Weber, J. (2009). *GPS-Empfänger Handbuch*. Retrieved Jan 24, 2016, from [http://gpshandbuch.gpswiki.de/GPS\\_Empfaenger\\_Handbuch.pdf](http://gpshandbuch.gpswiki.de/GPS_Empfaenger_Handbuch.pdf).
- Zogg, J.-M., & Studer, B. (2011). Mehr Präzision durch EGNOS. *Elektronik wireless*, 12-19.