

Untersuchungen zur Qualität bildbasierter Punktwolken aus UAV-Bildflügen

Heinz-Jürgen PRZYBILLA, Maren LINDSTAEDT und Thomas P. KERSTEN

Zusammenfassung

Die Qualität bildbasierter Punktwolken aus UAV-Bildflügen unterliegt verschiedenen Einflussfaktoren. Neben der Güte des eingesetzten Sensors (digitale Kamera) ist das Bilddatenformat (z. B. TIF oder JPG) eine weitere wesentliche Kenngröße. Auf dem von der Hochschule Bochum eingerichteten UAV-Testfeld Zeche Zollern in Dortmund wurden hierzu mit einer Mittelformatkamera des Herstellers Phase One (IXU 1000) von einem UAV Bilddaten im RAW-Format erfasst. Das Ziel der Untersuchungen besteht darin, den Einfluss des Bilddatenformats auf Punktwolken, die im Rahmen eines Dense Image Matching Prozesses erzeugt wurden, zu evaluieren. Weiterhin wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Datenfilter, die Bestandteil der Auswertprogramme sind, untersucht. Die Prozessierung erfolgte mit den Software-Paketen der Anbieter Agisoft und Pix4D auf der Basis der jeweils generierten TIF bzw. JPG Datensätze.

Die in den Berechnungen erzeugten Punktwolken bilden die Grundlage der in diesem Beitrag vorgestellten Untersuchungen. An ausgewählten Testgebieten, die objekttypische Flächen (mit variierenden Oberflächenstrukturen) repräsentieren, wurden Punktwolken-Vergleiche mit der Referenz durchgeführt. Als Referenzdaten wurden hierzu Punktwolken durch terrestrisches Laserscanning genutzt. Neben flächenhaften Vergleichen wurden weiterhin ausgewählte lineare Objekte – über Profilverläufe zwischen den verschiedenen Datensätzen – evaluiert. Über vorliegende Kontrollpunkte wurden zudem Abweichungen zu den dichten Punktwolken ermittelt.

Es konnten Abweichungen zwischen den Ergebnissen der eingesetzten Software-Pakete nachgewiesen werden. Als Ursache sind u. a. Filtereinstellungen bei der Generierung der dichten Punktwolken zu nennen. Zu vermuten sind zudem algorithmische Unterschiede der Softwaresysteme. Die in Berechnungen eingesetzten, geringfügig komprimierten JPG-Bilddaten führten im Vergleich zu den unkomprimierten TIF-Datensätzen zu keinen signifikanten Veränderungen in der Qualität der untersuchten Punktwolken.

1 Einleitung

Im Rahmen von UAV-Bildflügen werden unterschiedliche digitale Kameras eingesetzt, vom proprietären System des UAV-Anbieters bis hin zu high-end Kameras im Mittelformat, wie sie auch in der klassischen Luftbild-Photogrammetrie genutzt werden. Die Datenspeicherung erfolgt im Regelfall im verlustbehafteten JPG-Format. Vorrangige Gründe hierfür sind neben der Ersparnis von Speicherplatz die schnellere Datenspeicherung während des Flugs sowie die Option, Korrekturen (z. B. radialsymmetrische Verzeichnung) am Bild direkt vornehmen zu können (PRZYBILLA et al. 2017). Die Nutzung von RAW-Bilddaten wird in vielen Fällen

eher nicht in Erwägung gezogen, da sie nicht unmittelbar weiterverarbeitet werden können, sondern ein zusätzlicher Arbeitsschritt der „Bildentwicklung“ bzw. der Konvertierung notwendig wird. Aus RAW-Bildern abgeleitete TIF-Bilddaten speichern die Bildinformationen verlustfrei und sind auch nicht geometrisch vorverarbeitet.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen besteht zum einen darin, den Einfluss des Bildatenformats auf Punktwolken, die im Rahmen eines Dense Image Matching Prozesses erzeugt wurden, zu evaluieren. Die auf dem von der Hochschule Bochum eingerichteten UAV-Testfeld Zeche Zollern (Abb. 1) erfassten Bilddaten wurden mit einer Mittelformatkamera des Herstellers Phase One (IXU 1000) (PHASE ONE 2019a) aufgenommen. Der Sensor verfügt über 100 MPixel und wurde auf einer Trägerplattform der Firma COPTERSYSTEMS (2019) eingesetzt (Abb. 2). Das System ermöglicht eine schnelle Speicherung von RAW-Daten, aus denen im Nachgang mit der Software Capture One (PHASE ONE 2019b) sowohl unkomprimierte TIF- als auch komprimierte JPG-Bilddaten abgeleitet wurden. Für die nachfolgenden Untersuchungen wurden die JPG-Bilddaten mit einer Komprimierung auf 80% erstellt (100% = verlustfrei). Zum anderen werden die Auswirkungen unterschiedlicher Datenfilter auf die Punktwolken, die Bestandteil der Auswerteprogramme sind, untersucht (Kap. 2).

Fragestellungen zur Qualität bildbasierter Punktwolken wurden in verschiedenen Publikationen erörtert (KERSTEN & LINDSTAEDT 2012, KERSTEN et al. 2016, D’OLEIRE-OLTMANN & LACKNER 2018, Zhang et al. 2018, HAALA et al. 2019).

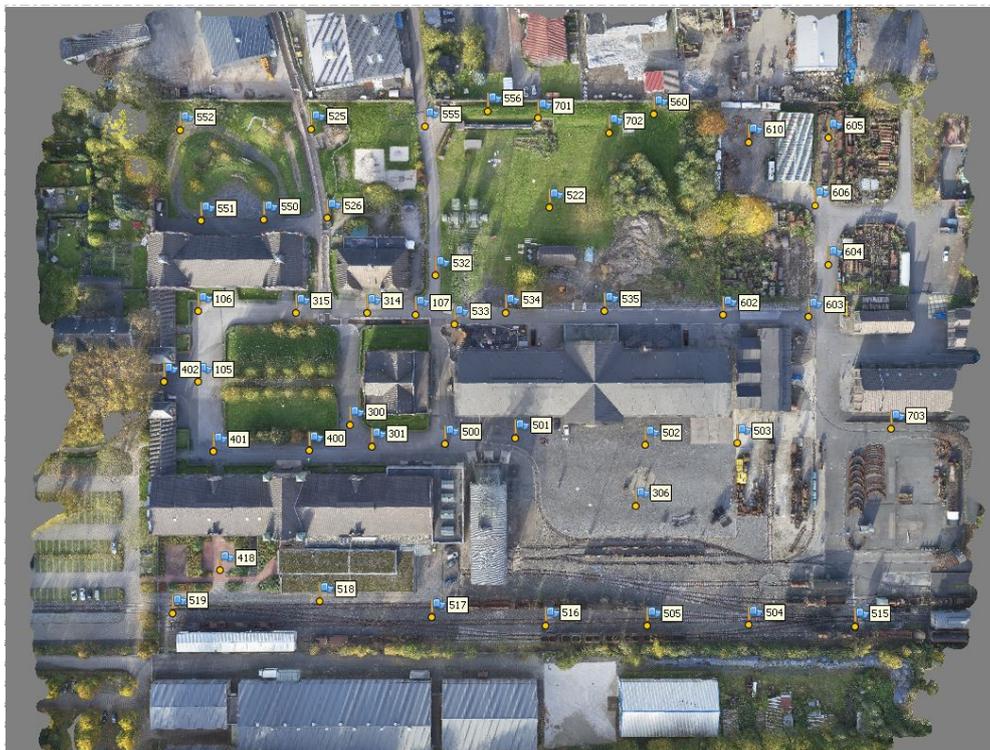


Abb. 1: UAV-Testfeld Zeche Zollern in Dortmund mit Passpunkt-Anordnung



Abb. 2: Phase One IXU 1000 (100Mpix) (links), Coptersystems Multikopter (rechts)

2 Generierung dichter Punktwolken

Die Generierung der dichten Punktwolken erfolgte mit der Software Agisoft PhotoScan (AGISOFT 2019a) und Pix4Dmapper (PIX4D 2019a) auf der Basis der generierten TIF bzw. JPG Bilder. Die Qualität der hier verwendeten Kamera, im Vergleich zu proprietären Systemen des Herstellers DJI, wird auf Basis der Ergebnisse von Bildtriangulationen in PRZYBILLA (2019) näher untersucht.

Die Berechnung der dichten Punktwolke wird in den Softwares durch Angabe weniger Parameter konfiguriert. Zur Steuerung der Punktdichte sind vorrangig Angaben zur Bildskalierung erforderlich, d. h. werden vollständige oder auflösungs-reduzierte Bilder im Berechnungsprozess genutzt. Weitere Parameter zielen auf die Reduktion von Ausreißern sowie die Glättung der Daten. Die für die vorliegenden Untersuchungen genutzten Punktwolken sind entsprechend den nachfolgenden Tabellen 1 und 2 parametrisiert.

Tabelle 1: Parametrisierung der dichten Punktwolken in Agisoft PhotoScan (AGISOFT 2019b)

Parameter	Einstellung	Beschreibung	Anzahl generierter Punkte
Qualität	Medium	Nutzung jedes 4. Pixels pro Zeile und Spalte	
Filterfaktor	Aggressive	Elimination kleiner Details. Aussortieren der meisten Ausreißer (normale Einstellung für Luftbilddaten)	82.943.385
	Moderate	Liefert Ergebnisse, die zwischen den Varianten „Mild“ und „Aggressive“ liegen	86.708.706
	Mild	Kleine Details bleiben erhalten; wichtige Merkmale werden nicht als Ausreißer detektiert	82.797.394
	Disabled	Filterung wird deaktiviert. Diese Option wird nicht empfohlen, da die daraus resultierende dichte Punktwolke extrem verrauscht sein kann.	83.918.236

Tabelle 2: Parametrisierung der dichten Punktwolken in Pix4Dmapper (PIX4D 2019b)

Parameter	Einstellung	Beschreibung	Anzahl generierter Punkte
Bildskalierung	1/2 (Halbe Bildgröße, Standard)	Die halbe Bildgröße ist die empfohlene Einstellung.	
Punktdichte		Dieser Parameter definiert die Dichte der verdichteten Punktwolke.	
	Optimal (Standard)	Für jedes (4/Bildskalierung) Pixel wird ein 3D-Punkt berechnet. Wenn die Bildskalierung auf 1/2 (halbe Bildgröße) eingestellt ist, wird alle $4/(0,5) = 8$ Pixel des Originalbildes ein 3D-Punkt berechnet.	
	Option: Multiscale aktiviert	Multiskalig (Standard): Wenn diese Option aktiviert ist, werden zusätzliche 3D-Punkte über mehrere Bildskalen berechnet, beginnend mit der gewählten Skalierung aus der Dropdown-Liste "Bildgröße" bis zur 1/8-Skala (1/8 Bildgröße, tolerant).	92.282.251
	Option: Multiscale deaktiviert	In einigen Fällen erzeugt das Deaktivieren der Option Multiscale weniger Rauschen in der Punktwolke. Diese Option ist zu deaktivieren, wenn viel Rauschen in der Punktwolke sichtbar ist und Artefakte in 3D-Texturnetzen, DSM oder Orthomosaiken vorhanden sind	70.574.392

Bezüglich der einstellbaren Bildgröße (Parameter: Qualität / Bildskalierung) verfolgen beide Anbieter gleiche Strategien, indem neben dem vollen Bildformat entsprechende Reduktionsstufen wählbar sind. Dieser Parameter hat wesentlichen Einfluss auf die Größe der erzeugten dichten Punktwolken.

Die weiteren Vorgehensweisen unterscheiden sich vorrangig darin, dass PhotoScan mehrere Varianten der Datenfilterung anbietet. Diese Option ist in Pix4Dmapper eher eingeschränkt (nur über das Aktivieren/Deaktivieren des Parameters „Multiscale“) verfügbar. Die Option ist nach Herstellerangaben zu deaktivieren, wenn viel Rauschen in der Punktwolke sichtbar ist und Artefakte vorhanden sind.

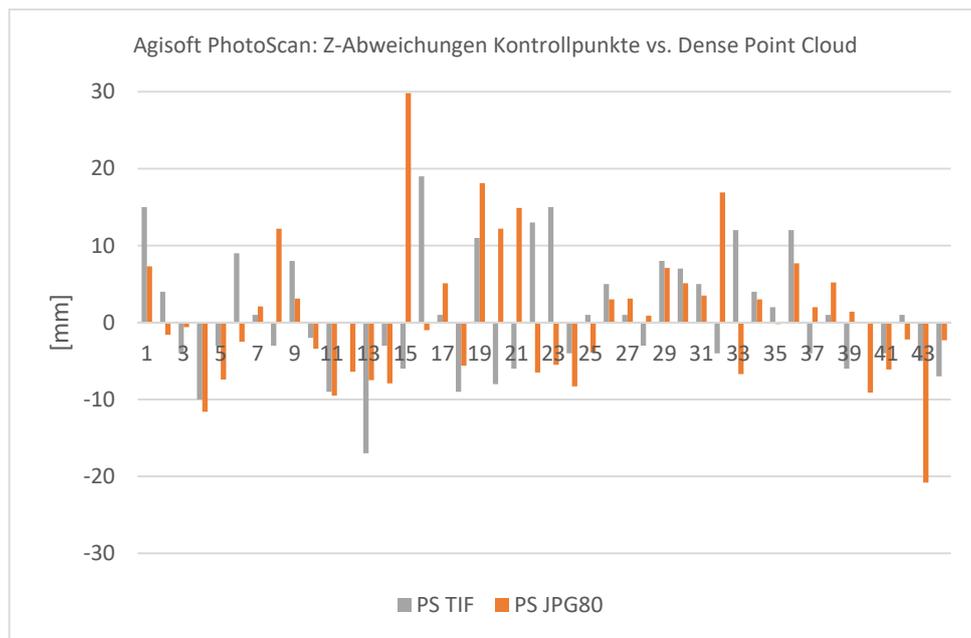
Um einen Vergleich der Punktwolken aus beiden Software-Paketen zu ermöglichen, wurden die Qualitäts-Parameter so gewählt, dass sich vergleichbar große Punktwolken ergaben.

3 Untersuchungsergebnisse

Die in den Berechnungen erzeugten Punktwolken bilden die Grundlage der Untersuchungen. Die vorliegenden Passpunkte werden als Kontrollpunkte verwendet, um punktuelle Abweichungen zu den dichten Punktwolken zu ermitteln. Nachfolgend werden über Profilverläufe linienhafte Vergleiche der Punktwolken vorgenommen. Abschließend erfolgen Vergleiche der verschiedenen Punktwolken über ausgewählte Flächen, die variierende Oberflächenstrukturen repräsentieren. Als Referenzdaten wurden hierfür Punktwolken durch terrestrisches Laserscanning erstellt.

3.1 Punktuelle Vergleiche

Für die punktuelle Vergleiche wird der kürzeste Abstand (in vertikaler Richtung) zwischen den Kontrollpunkten (CP) und der dichten Punktwolke berechnet. Die Verteilung der Punkte entspricht der Abbildung 1. Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, streuen die vertikalen Abweichungen der PhotoScan-Punktwolken etwas mehr als die entsprechenden aus den Pix4Dmapper-Punktwolken. Im Mittel liegen sie bei einem Wert von ca. 1 mm. Die Punktwolken aus den Berechnungen mit Pix4Dmapper zeigen eine systematische negative Abweichung. Die entsprechenden Punktwolken liegen im Mittel ca. 8-10 mm oberhalb des Kontrollpunkthöhenneaus. Dieser Wert entspricht ca. 2/3 der in den Flügen definierten Bodenauflösung (GSD) von 14mm. Signifikante Abweichungen zwischen Punktwolken, die auf unterschiedlichen Bilddatenformaten (TIF bzw. JPG80) basieren, sind jedoch nicht erkennbar.



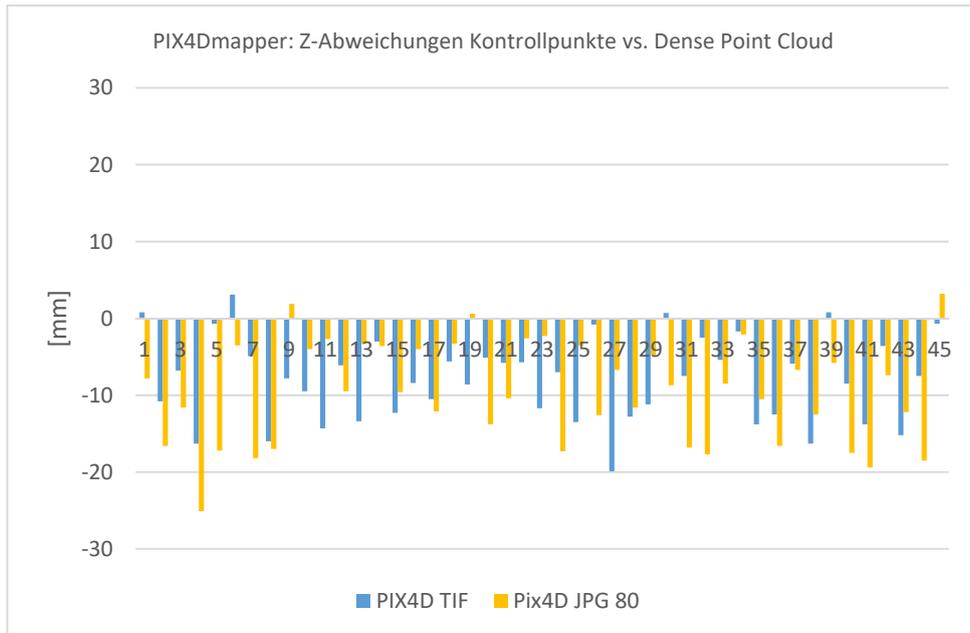


Abb. 3: Vertikale Abweichungen zwischen den Kontrollpunkten und der dichten Punktwolke. Positiver Wert – Punktwolke liegt unterhalb des CP; Negativer Wert – oberhalb der CP

3.2 Linienhafte Vergleiche

In die linienhaften Vergleiche wurden Objekte mit charakteristischen Merkmalen einbezogen (Abb. 4), wie z. B. Dachstrukturen und Gleiskörper. Die Abbildungen 5 – 8 zeigen Gleisprofile in der Längsachse und in Querrichtung.

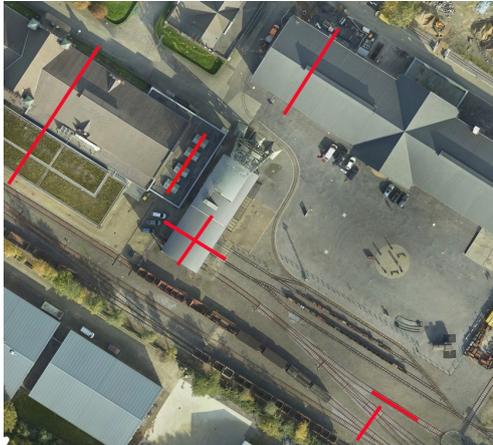


Abb. 4: Verteilung der Profile im Testfeld

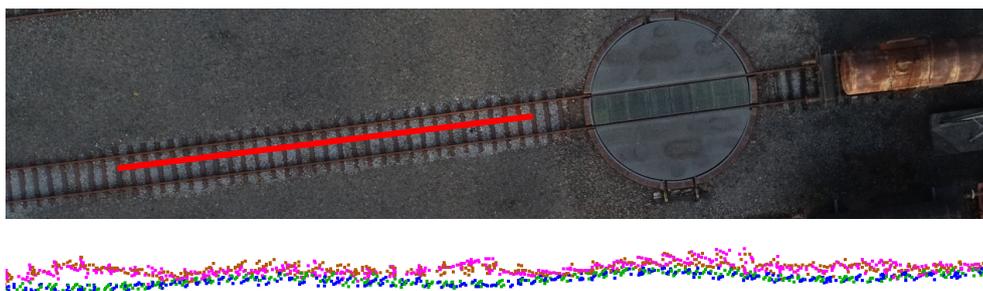


Abb. 5: Darstellung der Profile der verschiedenen Punktwolken in der Gleisachse – Profilposition im Foto (oben), Punktwolkenprofile (unten): P4D JPG80 (pink), P4D TIF (Braun), PS JPG80 (grün) und PS TIF (blau)

In Abbildung 5 ist der Höhenversatz der Profile aus den Berechnungen mit Pix4Dmapper gegenüber Agisoft PhotoScan deutlich erkennbar. Wie bei der punktuellen Betrachtung liegen auch die Pix4D-Profile über denen der PhotoScan-Auswertung. In Abbildung 6 ist die Form der Profile dargestellt. Grundsätzlich korrespondieren die jeweiligen Profile der zwei Auswertesysteme, jedoch sind die Profile aus PhotoScan offensichtlich geglättet. Die Anwendung des Filterfaktors „aggressive“ dürfte sich hierfür verantwortlich zeigen.

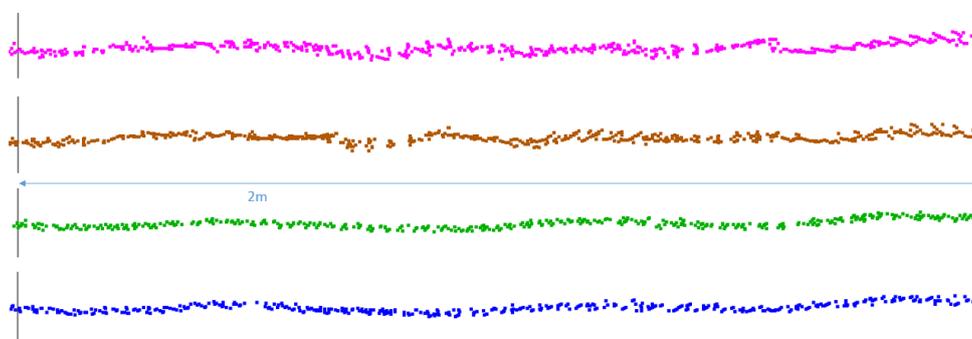


Abb. 6: Einzeldarstellung der Profile aus Abb. 5: P4D JPG80 (pink), P4D TIF (braun), PS JPG80 (grün) und PS TIF (blau)

Die in den Abbildungen 7 und 8 dargestellten Querprofile bestätigen die vorherigen Aussagen. Auch hier ist eine deutliche Glättung der PhotoScan-Profile zu sehen. Die Profile aus Pix4Dmapper sind zwar bezüglich der Schienenstränge grundsätzlich form-treuer, streuen jedoch erkennbar mehr. Auslöser hierfür ist wahrscheinlich der aktivierte Parameter „Multiscale“ (Tab. 2). Die Angaben des Herstellers zur Wirkungsweise dieses Parameters sind leider wenig konkret. Die Unterschiede der Profile als Folge der verschiedenen Bilddatenformate (TIF / JPG80) sind vernachlässigbar gering.

Das vorliegende Ergebnis wirft die Frage auf, ob in PhotoScan mit anderen Filtereinstellungen die Schienen ähnlich deutlich wie in Pix4D abzubilden sind. Daher wurde ein Gleisabschnitt mit allen vier Filtermöglichkeiten aus PhotoScan mit dem Ergebnis aus Pix4D verglichen. Interessanterweise ergab sich für den Gleiskörper bzw. dessen Oberflächenstruktur keinerlei Unterschied in Abhängigkeit von den verschiedenen Filterstufen (Abb. 9).

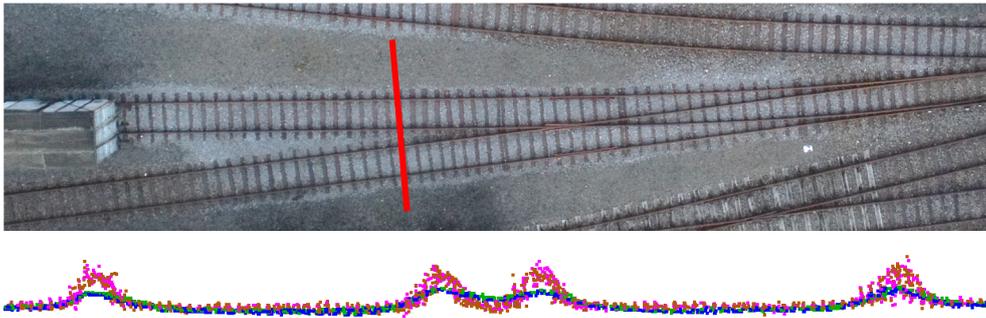


Abb. 7: Darstellung der Profile der verschiedenen Punktwolken quer zur Gleisachse – Profilposition im Foto (oben), Punktwolkenprofile (unten): P4D JPG80 (pink), P4D TIF (Braun), PS JPG80 (grün) und PS TIF (blau)

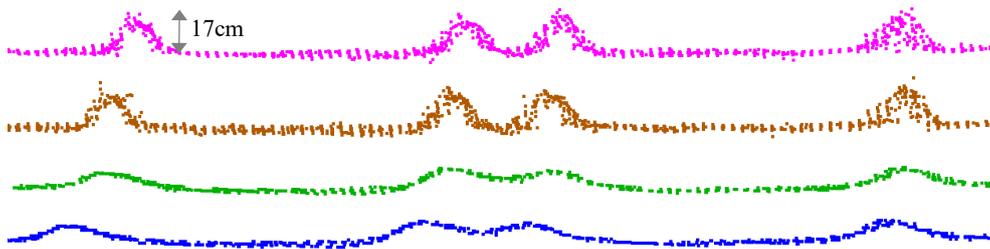


Abb. 8: Einzeldarstellung der Profile wie Abb. 7: P4D JPG80 (pink), P4D TIF (braun), PS JPG80 (grün) und PS TIF (blau)

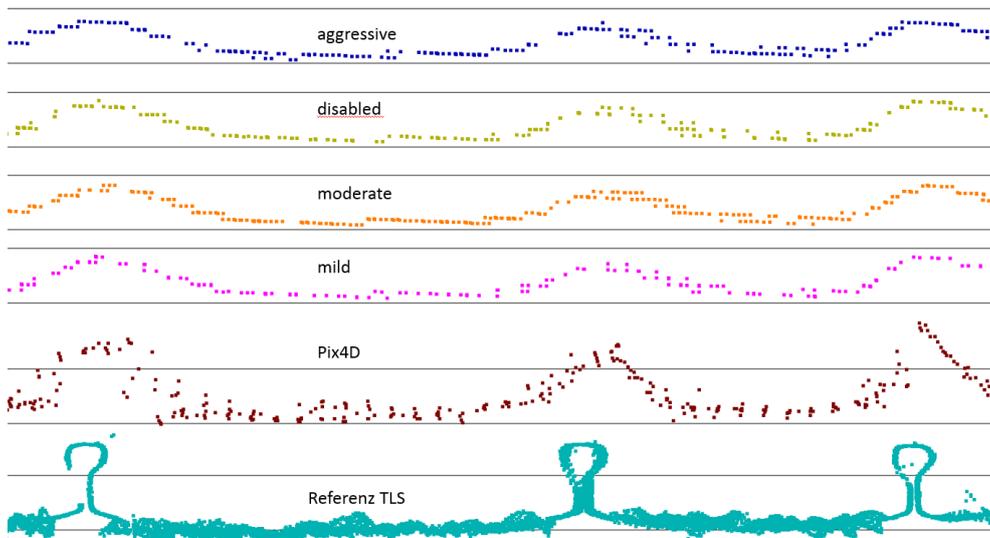


Abb. 9: In PhotoScan erstellte Profile wie in Abb. 8, jedoch unter Verwendung verschiedener Filterfaktoren, im Vergleich zur TLS-Referenz

Auch die Profildarstellungen der Abbildung 10 bestätigen die bisherigen Aussagen über Höhenversatz und Filterung.

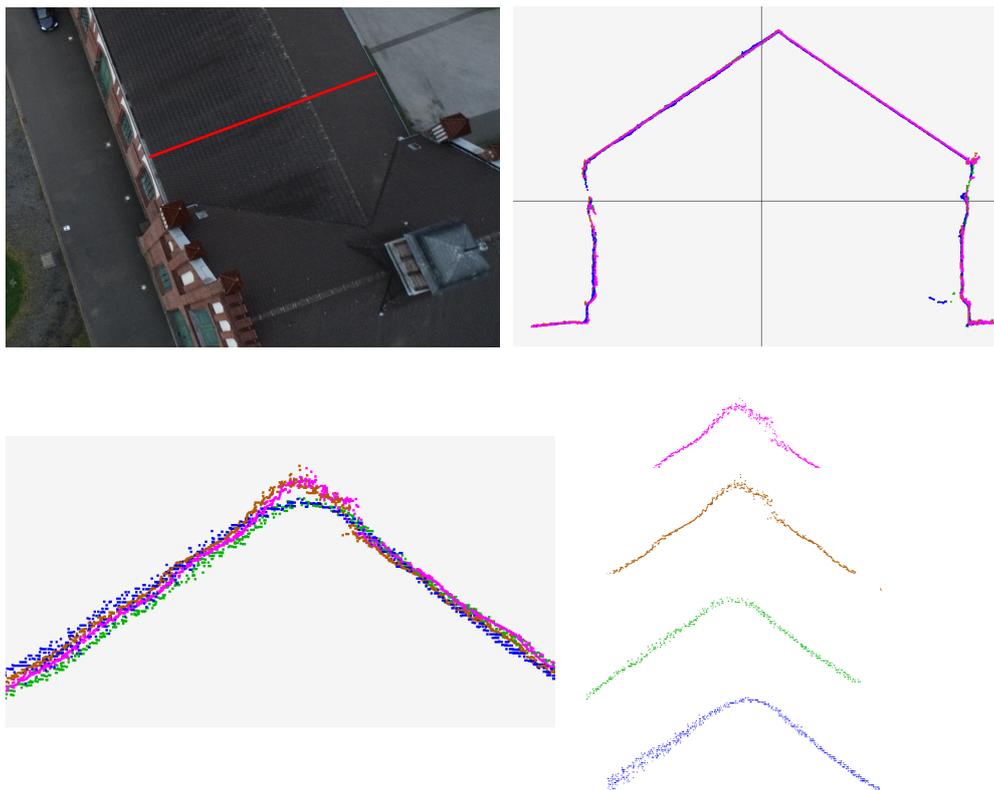


Abb. 10: Profil durch Gebäudedach. Einzelprofile (rechts unten): P4D JPG80 (pink), P4D TIF (Braun), PS JPG80 (grün) und PS TIF (blau)

3.3 Flächenhafte Vergleiche der Punktwolken

Die Testobjekte für die flächenhaften 3D-Vergleiche der verschiedenen Punktwolken sind in Abbildung 11 dargestellt. Die ausgewählten Bereiche repräsentieren Flächen mit variierenden Oberflächenstrukturen. Als Referenzdaten stehen Punktwolken durch terrestrisches Laserscanning (mit dem Z+F IMAGER 5010C) zur Verfügung.

Das Objekt „Rampe“ weist eine geteerte, weitestgehend ebene Oberfläche auf, sowie am linken Rand eine scharf begrenzte Kante mit signifikantem Höhenunterschied. Die Heatmaps in Abbildung 12 (oben) zeigen die Abweichungen zwischen den dichten Punktwolken und den TLS-Referenzdaten. Die Spanne der Abweichungen ist für die dargestellten Datensätze vergleichbar, allerdings ist auch hier ein systematischer Versatz zwischen PhotoScan- und Pix4Dmapper-Punktwolken erkennbar – eine Bestätigung der Ergebnisse aus Kap. 3.1 und 3.2. Weiterhin sind die Auswirkungen des Filterfaktors „aggressive“, der bei der Generierung der dichten Punktwolke durch PhotoScan Anwendung fand, deutlich an der Rampenkante zu erkennen. Die hier dargestellten Effekte wiederholen sich auch am Objekt „Gleiskörper“.

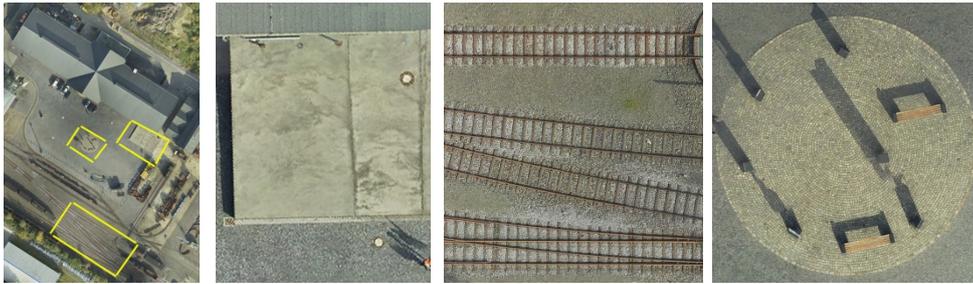


Abb. 11: Flächenhafte Objekte im Überblick (links) und als Detailansicht (rechts): Rampe – Gleiskörper – Pflastersteine

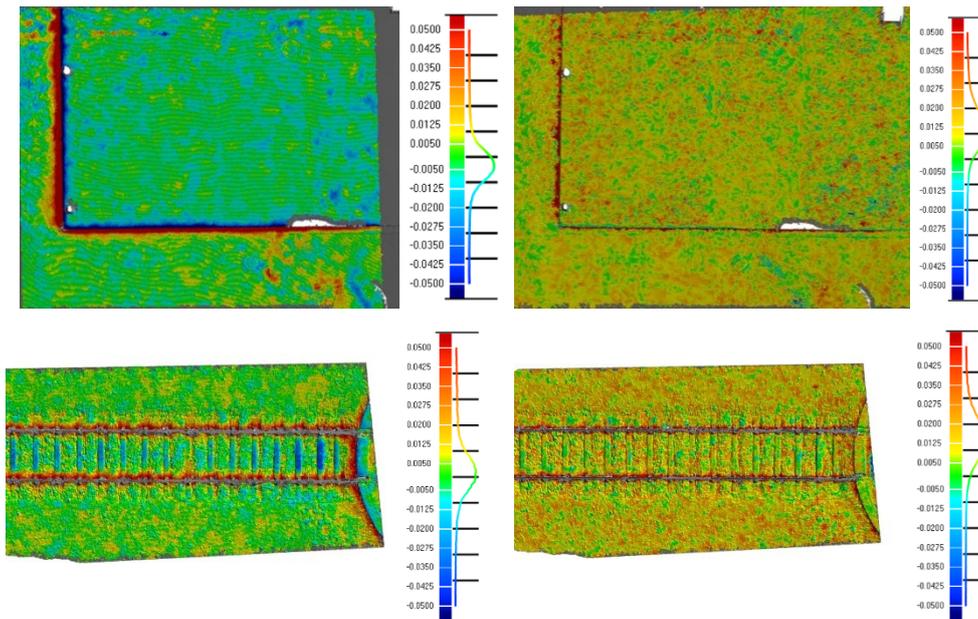


Abb. 12: Flächenhafte Vertikal-Abweichungen der Punktwolken zur Referenz TLS für die Rampe (oben) und den Gleiskörper (unten): PS TIF (links), Pix4D TIF (rechts)

Die Resultate der Vergleiche am Objekt „Pflastersteine“ sind in den Abbildungen 13 und 14 dargestellt. Während in Abbildung 13 (links) die TLS-Messung die Oberflächenstruktur deutlich erkennbar abbildet, ist dies im Bildausschnitt aus der dichten Punktwolke (rechts) aus PhotoScan (TIF) nicht ansatzweise der Fall. Die gewählte GSD des Fluges (14 mm) sowie die reduzierte Auflösung der Bilddaten beim Matching (Qualitätsstufe „medium“) sind hier offensichtlich nicht ausreichend, um die Struktur hinreichend abzubilden.

Die in Abbildung 14 dargestellten grauen Flecken der Heatmaps resultieren aus den auf dem Platz aufgestellten Bänken und Stelen; sie finden im Vergleich keine weitere Berücksichtigung. Insgesamt bestätigen sich auch hier die bisherigen Resultate, ohne erkennbare Verän-

derungen als Folge des vorliegenden Oberflächenmaterials. Die Abweichungen der Punktwolke aus PhotoScan bewegen sich im Westlichen um einen Mittelwert von ca. 0 mm, mit einigen Millimetern Streuung sowohl ins Positive als auch ins Negative. Währenddessen weist die Punktwolke aus Pix4Dmapper einen deutlichen positiven Shift (im Mittel 8-10 mm) auf, womit sie über der Referenz liegt.

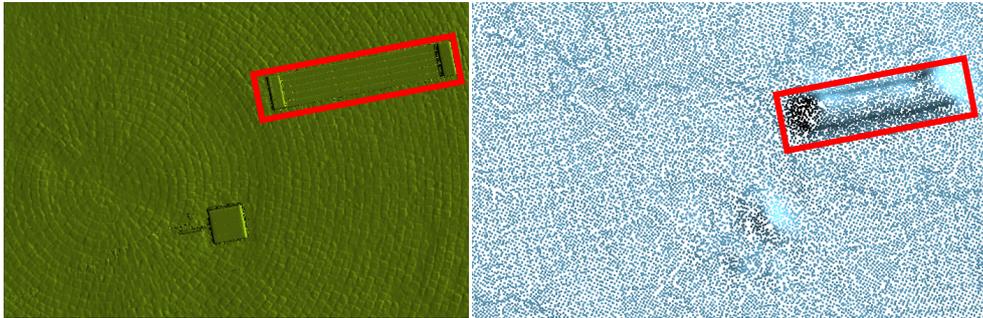


Abb. 13: Referenzdaten aus terrestrischem Laserscanning (links) und dichte Punktwolke aus PS TIF (rechts)

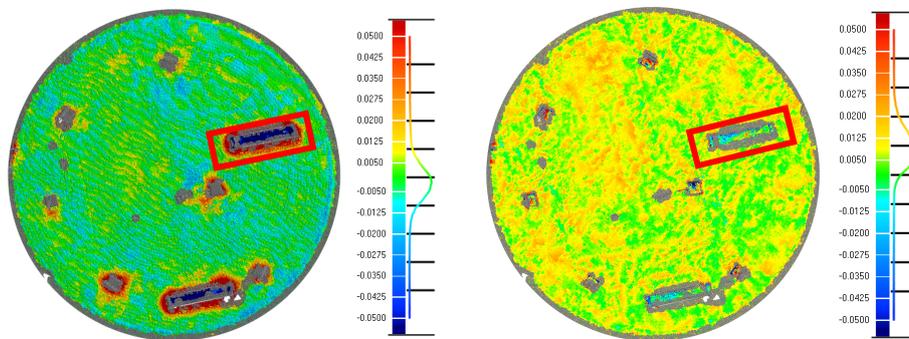


Abb. 14: Flächenhafte Vertikal-Abweichungen für die Pflastersteine: PS TIF (links) und Pix4D TIF (rechts)

4 Fazit und Ausblick

Die Qualität bildbasierter dichter Punktwolken wird durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Neben dem eingesetzten Sensor und der Qualität der erfassten Bilddaten kommt der verwendeten Software, sowie den hier verwendeten Konfigurations-Parametern für das Dense Image Matching und die Filteralgorithmen, eine wesentliche Bedeutung zu.

In den vorliegenden Untersuchungen ist der Einfluss des Bilddatenformates (TIF vs. JPG) vernachlässigbar gering. Die durch eventuelle Kompressionsverluste zu erwartenden Änderungen der JPG-basierten Punktwolken gegenüber denen aus TIF-Daten sind nicht signifi-

kant. Die in der Software Capture One verwendete Komprimierung (hier auf 80%) hat offensichtlich nur geringe Auswirkungen auf die Geometrie des Bildes. Wie sich erhöhte Kompressionsraten auf die dichte Punktwolke auswirken, ist zukünftig zu untersuchen. In diese Untersuchung sollten ebenfalls die durch DJI erzeugten „entzeichneten“ JPG-Bilder einbezogen werden, da sie für viele Nutzer das Standardbildformat darstellen.

Der Einfluss der eingesetzten Software-Programme mit den entsprechenden Standardparametern auf die dichte Punktwolke ist hingegen deutlich erkennbar. Zum einen zeigen die aus Berechnungen mit Pix4Dmapper erzeugten Testdaten einen Höhenversatz zur geodätischen Referenz von ca. 10 mm (bei einer GSD von 14 mm), zum anderen sind die Auswirkungen von Parametern zur Datenfilterung (Agisoft PhotoScan) unverkennbar, da Objektdetails durch Filterung oft eliminiert werden. Die Wirkungsweise der verschiedenen Filterparameter gilt es daher zukünftig intensiver zu evaluieren, um eine optimale Strategie für die Bearbeitung der Punktwolken zu finden, wie sie bereits für Aerotriangulationen mit der Software PhotoScan durch Mayer et al. (2018) publiziert wurde.

Literatur

- Agisoft (2019a): *Homepage Agisoft*, <https://www.agisoft.com>. Letzter Zugriff: 19.01.2019
- Agisoft (2019b): *PhotoScan Handbuch – Dense Point Cloud Parameter*, https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf, S. 22-23. Letzter Zugriff: 19.01.2019
- Coptersystems (2019): *Multicopter "CS8-MM"*, <https://coptersystems.com/produkte/cs8-mm/>. Letzter Zugriff: 19.01.2019
- Haala, N., Mandlbürger, G., Cramer, M., Laupheimer, D. & Kölle, M. (2019): *Kombinierte Analyse hochpräziser Punktwolken aus UAV-Photogrammetrie und-Laserscanning im Hinblick auf Setzungsmessungen*. 20. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2019, Hanke, K. & Weinold, T. (Hrsg.), Herbert Wichmann Verlag, VDE VERLAG GMBH, Berlin und Offenbach. https://www.uibk.ac.at/vermessung/obergurgl/obergurgl_2019/beitraege/vo_haala.pdf
- Kersten, Th. & Lindstaedt, M. (2012): *Automatic 3D Object Reconstruction from Multiple Images for Architectural, Cultural Heritage and Archaeological Applications Using Open-Source Software and Web Services*. Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, Heft 6, S. 727-740.
- Kersten, Th., Lindstaedt, M., Mechelke, K., Omelanowsky, D. & Prenting, J. (2016): *Low-Cost vs. High-End Systeme im Vergleich – 3D-Aufnahme der Ringwallanlage Lembecksburg auf der Nordseeinsel Föhr*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Mess-technik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2016, Th. Luhmann/Ch. Schumacher (Hrsg.), Wichmann, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, S. 150-161.
- Mayer, C., Gomes Pereira, L. M. & Kersten, T. (2018): *A Comprehensive Workflow to Process UAV Images for the Efficient Production of Accurate Geoinformation*. CNCG2018 - IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Amadora, Portugal, Oct. 25-26.
- d'Oleire-Oltmanns, S. & Lackner, B. (2018): *Evaluierung terrestrischer und UAS-basierter photogrammetrischer Datenprodukte*. AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 4-2018, Wichmann Verlag, VDE VERLAG GMBH Berlin Offenbach, S. 372-377.
- PhaseOne (2017a): *Phase One Industrielle Kamerasysteme*. https://industrial.phase-one.com/Mapping_Surveying_Applications.aspx. Letzter Zugriff: 19.01.2019

- Phase One (2019b): *Capture One*, <https://www.phaseone.com/de-DE/Capture-One.aspx>.
Letzter Zugriff: 19.01.2019
- Pix4D (2019a): *Homepage Pix4Dmapper*. <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>. Letzter Zugriff: 19.01.2019
- Pix4D (2019b): *Pix4Dmapper – Dense Point Cloud Parameter*. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557799>. Letzter Zugriff: 19.01.2019
- Przybilla, H.-J.; Kraft, T.; Geßner, M. & Zurhorst, A. (2017): *Untersuchungen und erste Ergebnisse zur geometrischen Qualität marktgängiger Kameras für den UAV-Einsatz*. In: Th. Luhmann/Ch. Schumacher (Hrsg.): *Photogrammetrie-Laserscanning-Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2017*, ISBN 978-3-87907-625-3, Wichmann - VDE Verlag, Seite 235-246
- Przybilla, H.-J. (2019): *Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit aktueller bildgebender UAV-Sensoren*. Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF in Wien, Österreich – Publikationen der DGPF, Band 28, 2019
- Zhang, Z., Gerke, M., Vosselman, G. & Yang, M. Y. (2018): *Filtering Photogrammetric Point Clouds Using Standard Lidar Filters Towards DTM Generation*. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-2, 319-326, 2018, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-319-2018>
-

Przybilla, Heinz-Jürgen
Hochschule Bochum, Labor für Photogrammetrie
Heinz-Juergen.Przybilla@hs-bochum.de

Lindstaedt, Maren
HafenCity University Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning
Maren.Lindstaedt@hcu-hamburg.de

Kersten, Thomas
HafenCity University Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning
Thomas.Kersten@hcu-hamburg.de