

Nutzung des nahen Infrarot zur Filterung von Punktwolken aus UAS-Aufnahmen

Ansgar Greiwe

Frankfurt University of Applied Science · ansgar.greiwe@fb1.fra-uas.de

Full paper double blind review

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag behandelt den Einsatz von UAS und Sensoren zur Erzeugung eines geometrisch hoch aufgelösten multispektralen Orthophotomosaikes und einer Klassifikation der erzeugten 3D-Punktwolke in Boden- und Vegetationspunkte zur Ableitung der Geländeoberfläche. Hierzu wurden die UAV-Aufnahmen in ein RGBI-Orthophotomosaik überführt, zusätzlich wurde eine hochdichte Punktwolke aus den Bilddaten abgeleitet.

Im Gegensatz zu Ansätzen, bei denen lediglich eine neigungsbasierte Filterung der photographisch erzeugten Punktwolke vorgenommen wird (GRENZDÖRFFER 2013), kann in diesem Fall auf die NIR-Informationen zurückgegriffen werden und eine spektrale Filterung der neigungsbasierten Filterung vorgeschaltet werden. Durch diese spektrale Vorfilterung kann die Vegetation in dieser Punktwolke erfolgreich gefiltert werden. Die maskierten Punktwolken approximieren bis auf wenige Abweichungen die Geländeoberfläche.

1 Motivation

Als Untersuchungsgebiet wurde eine Bergehalde mit einer Höhenausdehnung von ca. 40 m gewählt. Die Hänge der Halde weisen eine künstlich geschaffene, regelmäßige Oberfläche auf. Sie sind allerdings teilweise mit Vegetation bewachsen.

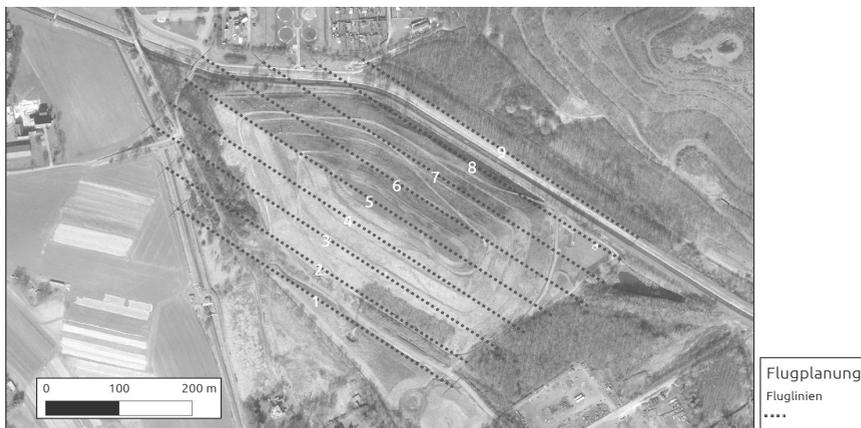


Abb. 1: Aufnahmegebiet und geplante Flugstreifen

Um die Geländeoberfläche luftgestützt aufzunehmen sind Verfahren wie das Airborne Laserscanning (ALS) oder eine photogrammetrische Auswertung denkbar. Dense-Matching Verfahren erlauben die Ableitung von 3D-Punktwolken aus den Bilddaten, haben jedoch den Nachteil, dass die aufgenommene Vegetation den Boden bedeckt und somit im Gegensatz zum Laserscanning nicht die Geländeoberfläche, sondern die Vegetationsdecke erfasst wird (Abb. 2).

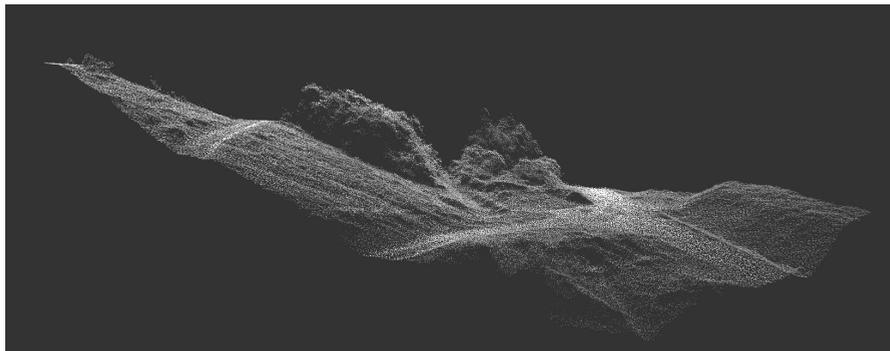


Abb. 2: Vegetation in einer photogrammetrisch erzeugten Punktwolke

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Filterung der in Abbildung 2 gezeigten Vegetation, um mit den verbleibenden Punkten eine möglichst gute Approximation der Geländeoberfläche zu erreichen.

Vegetation besitzt ein charakteristisches Reflexionsverhalten im sichtbaren (RGB) und Nahen Infrarot (NIR, 720 nm Wellenlänge). Mit geeigneten Methoden wie dem Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) lässt sich Vegetation von anderen Oberflächen trennen.

Werden die Punkte aus der Punktwolke über dieses Kriterium entfernt, entstehen Löcher in der Punktwolke. Durch Interpolation können diese lediglich aufgefüllt werden. Somit fehlen sämtliche Geländeinformationen in diesem Bereich. Da es sich aber um eine Halde mit einer künstlich geschaffenen (regelmäßigen) Geländeoberfläche handelt, wird dieser Ansatz aus ausreichend betrachtet.

2 Datenerfassung

2.1 Copter

Im Rahmen der Untersuchungen wurde der Octocopter Multirotor MR-X8 eingesetzt. Der MR-X8 hat ein maximales Abfluggewicht von 3.5 kg. In dem genannten Abfluggewicht ist die maximale Nutzlast von 1.5 kg enthalten. Kameraaufhängung, Akku und die mitgeführten Kamerasysteme teilen sich dieses Gewicht und werden für jede eingesetzte Kamertechnik abgestimmt. Die eingesetzten Akkus (siehe Abbildung 1) sind 6600 mAh Lithium Polymer Akkus. Das Gewicht der Akkus (700 g) und die Kamerahalterung incl. zwei Ka-

meras (ca. 600 g) ermöglichen eine Flugzeit von ca. 14 Minuten. Somit sind zwei Fluglinien von ca. 350 m Länge in einer Höhe von 100 m Höhe auch bei geringen Fluggeschwindigkeiten (1 m/s, für eine hohe Überlappung) sicher durchzuführen.

2.2 Kamerasystem

Die notwendigen Bilddaten im Spektralbereich des sichtbaren und Nahen Infrarot lassen sich nicht mit einer einzigen, leichtgewichtigen Kamera erzeugen. Somit wurden zwei Kameras (Sigma DP2) parallel ausgerichtet, eine mit einem IR-Filter versehen und beide Systeme im Bildflug simultan ausgelöst (GEHRKE & GREIWE 2013). Die Sigma DP2 besitzt einen Sperrfilter, welcher Wellenlängen ab ca. 720 nm (Beginn des Nahen Infrarot) sperrt. Für die gewünschten Infrarotaufnahmen wurde dieser Filter dauerhaft entfernt.

Die modifizierte Kamera wurde anschließend für die NIR-Aufnahmen mit einem Objektivfilter (IR-Sperrfilter) versehen, der alle Wellenlängen unterhalb von 720 nm sperrt. Diese modifizierte Kamera kann somit lediglich den Wellenlängenbereich des nahen Infrarot aufzeichnen. Die restlichen RGB-Farbanteile fehlen und werden mit einer zweiten, unmodifizierten Kamera erzeugt. Parallel ausgerichtet, erfolgt die Auslösung der Aufnahmen simultan und kann sowohl vom Copter automatisiert oder von der Bodenstation manuell vorgenommen werden.



Abb. 3: Copter und eingesetzte Kamerakombination

3 Auswerteprozesse RGB/CIR

3.1 Radiometrische Anpassungen

Die aufgenommenen Bilddaten werden vor einer weiteren Prozessierung zunächst vom RAW-Format in das TIFF-Format überführt. Hierbei ist die Korrektur der Belichtung essenziell. Diese kann durch die nachträgliche Regelung der Blendeneinstellung mit bis zu zwei Blenden vorgenommen werden.

Um eine optimale Belichtung nachträglich in der Rohdatensoftware vorzunehmen, wird in 40 m Flughöhe eine Passmarke aufgenommen, auf deren Oberfläche ein Spektralon posi-

tioniert ist, dessen Reflektanz im Bereich des sichtbaren Lichts (440 bis 650 nm) und Nahen Infrarots (ca. 720 nm) bei 98 % liegt.

Die RAW-Daten werden mit der Software Sigma Photo Pro in das TIFF-Format überführt. Hierbei kann die Helligkeit der Aufnahmen über die Änderung der Blendeneinstellung nachträglich angepasst werden. Diese Blendeneinstellung für die Verarbeitung der Aufnahmen wird so angepasst, dass die Helligkeit der Pixel in dem Bereich des Spektralons bei ca. 255, also der Sättigung für 8-bit-Daten, liegt (siehe Abb. 4 und Abb. 5.)

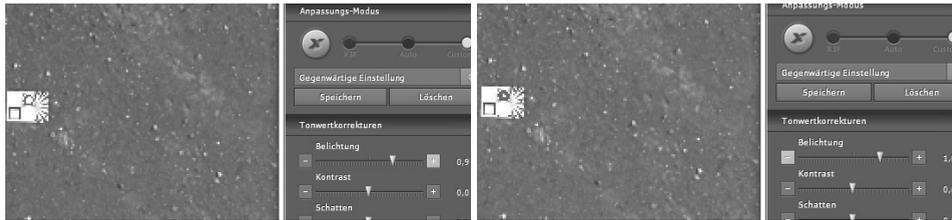


Abb. 4: RGB-Aufnahme mit Belichtungskorrektur bei der Übertragung in das TIFF-Format, das kreisförmige Spektralons wird als überbelichtet markiert

Das gleiche Verfahren wird für die Aufnahmen im Nahen Infrarot verwendet. Hier werden die simultanen Aufnahmen aus 40 m Höhe ebenfalls für eine Bestimmung der korrekten Blendeneinstellung verwendet (Abb. 5).



Abb. 5: NIR-Aufnahme in der Rohdatensoftware. Da sämtliche Bildinformationen im roten Kanal (nächster zum NIR) aufgezeichnet werden, erscheint die Aufnahme rot gefärbt.

Für die vorliegenden Aufnahmen wird in den RGB-Aufnahmen eine Blendekorrektur von 1.0 und in den NIR-Aufnahmen eine Blendekorrektur von 0.6 vorgenommen.

3.2 CIR-DOP und ausgedünnte Punktwolke

RGB- und NIR-Aufnahmen werden in vierkanalige RGBI-TIFF Dateien überführt und anschließend mit einem Dense-Matching-Verfahren (Agisoft Photoscan) in eine hochdichte Punktwolke überführt (Abb. 6).

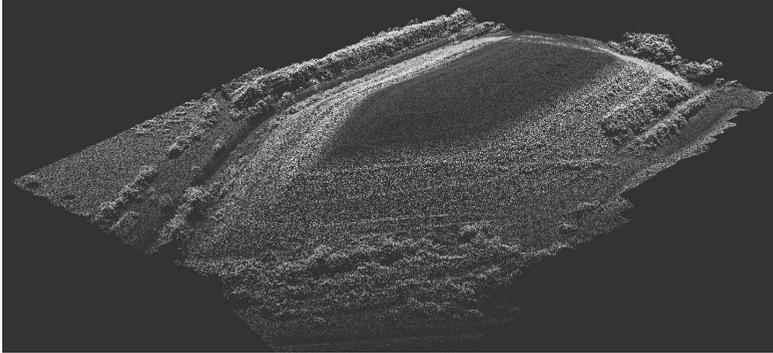


Abb. 6: RGBI-Orthophotomosaik in der CIR-Darstellung

Aus der Punktwolke lässt sich ein Oberflächenmodell ableiten. Dieses dient als Grundlage für die Entzerrung der RGBI-Aufnahmen zu einem Orthophotomosaik (Abbildung 7). Dieses Vierkanal-Orthophoto lässt sich als Falschfarben-Infrarot-Orthophoto anzeigen (CIR-DOP; Abb. 7). In diesen entzerrten, lagetreuen Bilddaten lassen sich NDVI-Berechnungen und durch den Lagebezug über diese Bilddaten auch Filterungen in der Punktwolke durchführen, wie im folgenden Kapitel beschrieben.



Abb. 7: RGBI-Orthophotomosaik in der CIR-Darstellung

4 Filterung der Punktwolke

Zunächst werden aus den Daten der orientierten Luftbilder des UAS (s. vorige Kapitel) eine Punktwolke aus Bilddaten (bDOM) erzeugt. Diese Punktwolke ist aufgrund des hohen GSD der UAS-Befliegung auszudünnen. Für weitere Analysen wurde die Punktdichte von 10 Punkten/m² gewählt und im Rahmen der Ausdünnung der jeweils niedrigste Punkt für weitere Analysen gespeichert. Anschließend kann entweder direkt eine geometrische Filterung mit einem neigungsbasierten Ansatz erfolgen oder vor dieser Filterung eine radiometrische Vorfilterung erfolgen.

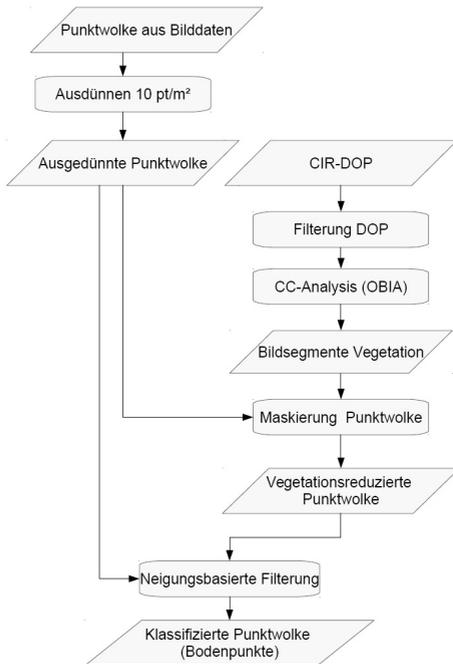


Abb. 8: Ablauf der Filterung

Für die radiometrische Filterung werden zunächst die RGBI-Orthophoto (als CIR-DOP in obiger Abbildung bezeichnet) für eine Segmentierung verwendet. Über die Berechnung eines Vegetationsindizes (NDVI) werden mit einem Schwellwert einzelne Segmente als Vegetation deklariert. Diese Segmente werden dann als Ausschlusskriterium zur Maskierung der Punktwolke verwendet. Anschließend werden Ränder der Segmente mit einem neigungsbasierten Verfahren gefiltert und das Endergebnis als klassifizierte Punktwolke (Bare Ground/Vegetation) abgelegt.

4.1 Ausdünnung der Punktwolke

Die UAS-Bilddaten weisen ein GSD von 3 cm auf. Daraus resultieren über 100 Punkte/m². Diese Punktdichte ist für die Ableitung der Geländeoberfläche zu hoch. Um auch die nachfolgenden Prozesse zu beschleunigen, werden die Punktwolke auf 10 Punkte/m² ausgedünnt. Hierbei wird jeweils der tiefst liegende Punkt in einer Zelle identifiziert und in das ausgedünnte Ergebnis übernommen. Für das Untersuchungsgebiet verbleiben ca. 11 Mio. Punkte als Restmenge, welche neben der Geländeoberfläche auch die gesamte Vegetation enthalten.

4.2 Direkte neigungsbasierte Filterung der Punktwolke

Die Punktwolke kann direkt nach der Ausdünnung durch ein neigungsbasiertes Verfahren gefiltert werden. Bei der Filterung ist ein Suchfenster für die Berechnung der Neigungsumgebung anzugeben. Wird dieses zu groß gewählt, so werden Bruchkanten der Halde als

Vegetation gefiltert. Für die vorliegende Untersuchung ist ein Suchradius von 3 m zielführend, um die Bruchkanten des Geländes zu erhalten. Probleme ergeben sich bei diesem Ansatz für Hecken oder kleinere Waldflächen mit lückenlosem Baumbewuchs.

Existiert eine geschlossene Vegetationsfläche mit einem Durchmesser von 3 m, so werden Punkte auf dieser „Baumoberfläche“ aufgrund der gleichmäßigen Neigung als „Bodenpunkte“ detektiert. Diese Artefakte (Restpunkte) führen dann zu einer fehlerhaften Ermittlung des DGM, wie aus Abbildung 9 im unteren Bereich links und rechts ersichtlich.

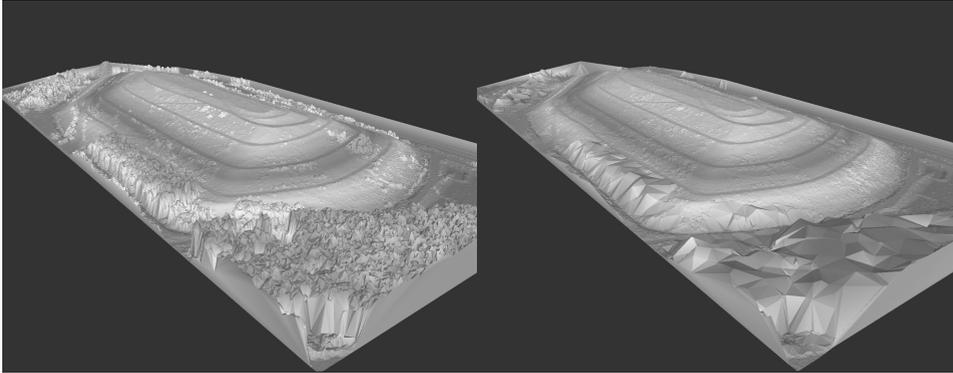


Abb. 9: Rechts: Filterergebnis (TIN) mit Resten an Vegetation (mittig links und unten)

Eine Möglichkeit, diese Punkte zu detektieren, ergibt sich aus der Möglichkeit der spektralen Filterung von Vegetationsflächen, welche im Folgenden beschrieben wird.

4.3 Spektrale Vorfilterung

Für die zu filternden Punktwolken liegen als RGBI-Orthophotomosaik mit einem GSD von 3 cm vor. Diese relativ hoch aufgelösten Daten können nicht effizient in einem pixelbasierten Ansatz klassifiziert werden. Die Bilddaten werden stattdessen objekbasiert ausgewertet. In einem ersten Schritt werden spektral ähnliche Pixel zu Bildsegmenten zusammengefasst, klassifiziert und per NDVI gefiltert. Die resultierenden Vegetations-Segmente werden abschließend zur Maskierung der Punktwolke verwendet.

4.4 Segmentierung hoch aufgelöster Daten

Im vorliegenden Fall wird zur Segmentierung der „MeanShift“-Operator eingesetzt (CHENG 1995). Der MeanShift Algorithmus arbeitet mit drei Eingangsparametern: Schwellwert für die spektrale Ähnlichkeit, den Suchradius um ein Pixel und die Anzahl der Iterationen.

Der Segmentierungsalgorithmus verwendet keine Hierarchieebenen oder „Scale-Parameter“. Somit kann als Endergebnis eine neue Bilddatei geschrieben werden, welche für jeden Aufnahme kanal den Mittelwert der einzelnen Grauwerte des Bildsegmentes speichert. Für jedes Bildsegment kann aus den Rot- und NIR-Grauwerten der NDVI errechnet werden. Der Schwellwert zur Detektion von Vegetation mit Höhenausdehnung wurde auf 0.5 gesetzt.

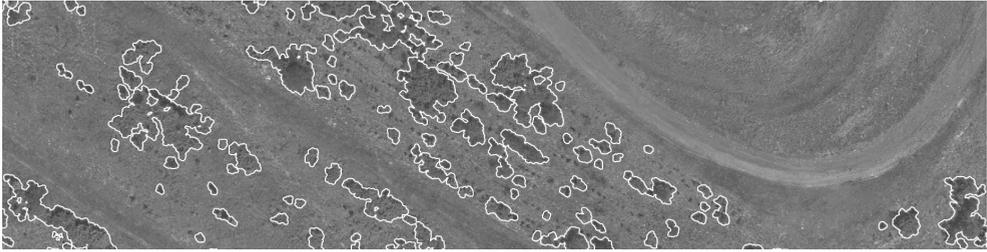


Abb. 10: Segmente, die zur Maskierung herangezogen werden. Vegetation mit Höhengausdehnung kann hierbei mit einem NDVI-Schwellwert von 0.5 von Bodenbewuchs getrennt werden.

Der letzte Schritt der spektralen Vorfilterung ist die Maskierung der Punktwolke mit den Vegetationssegmenten. Alle Punkte innerhalb der Polygone werden aus den Punktwolken entfernt und das Ergebnis für weitere Analysen abgespeichert.

4.4 Neigungsbasierte Filterung

Durch die spektrale Vorfilterung werden nicht alle Oberflächenpunkte der Vegetation exakt erfasst. Der Grund liegt in der Qualität der Höhenmodelle/Punktwolken, die aus Bilddaten gewonnen werden. Im Gegensatz zu Punktwolken aus einem Airborne Laserscanning weisen die Punktwolken aus Bilddaten oft einen unscharfen „Saum“ an den Objektgrenzen auf, der dazu führt, dass an den Rändern der gefilterten Vegetation einige Oberflächenpunkte bestehen, die nicht zur Geländeoberfläche gehören.

Um die Punkte am Rand einer Vegetation mit Höhengausdehnung (Busch, Baum) zu detektieren, wird eine neigungsbasierte Filterung durchgeführt. AXELSSON (2000) verwendet hierzu einen Ansatz der iterativen TIN-Verdichtung, um Punkte zu filtern, die sich von der lokalen Nachbarschaft abheben. In diesem Anwendungsfall wird die Punktwolke in Zellen mit einer Kantenlänge von 3 m aufgeteilt und die Geländeoberfläche aus den jeweils tiefsten Punkten der einzelnen Zellen approximiert. Punkte, die 20 cm über dieser Oberfläche liegen, werden als Vegetation definiert und entfernt.

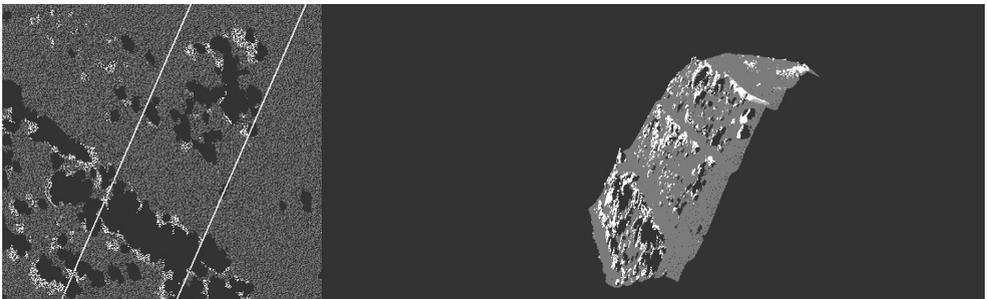


Abb. 11: Klassifizierte Punktwolke: Bodenpunkte (Magenta), zu entfernende Vegetation grün dargestellt

5 Ergebnisse

Die in Abbildung 12 maskierten Punktwolken werden abschließend in Vegetation und Bodenpunkte klassifiziert. In weiteren Schritten kann aus diesen klassifizierten Punktwolken ein Digitales Geländemodell als Rasterdatensatz oder ein TIN als Dreiecksvermaschung (Vektordaten) erzeugt werden.

Die Darstellung der Punktwolke als dreiecksvermaschtes TIN zeigt deutlich die Vorteile einer spektralen Vorfilterung gegenüber einer rein neigungs-basierten Filterung. In der folgenden Abbildung ist das Ergebnis einer neigungs-basierten Filterung der UAS-Daten dargestellt. Wie bereits erläutert, können große Vegetationsflächen mit diesem Verfahren schlecht eliminiert werden. Verbleibende 3D-Punkte der Vegetationsoberfläche (Baumkronen) werden vermascht und erzeugen ein TIN, welches Artefakte an den Vegetationsrändern aufzeigt, dargestellt auf der linken Seite der folgenden Abbildung.

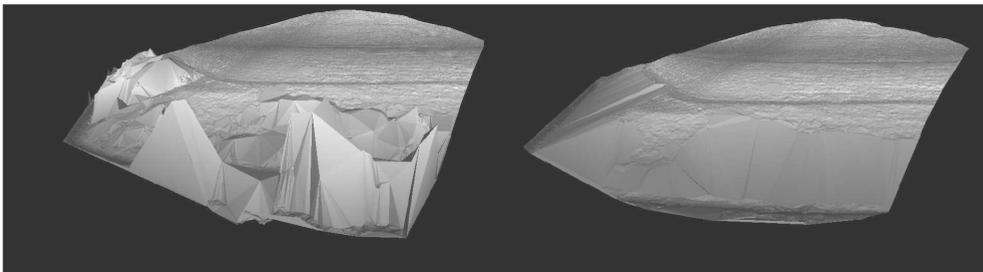


Abb. 12: TIN aus Punktwolke ohne neigungs-basierte Filterung (links) und nach der neigungs-basierten Filterung (rechts)

In der Abbildung 13 auf der rechten Seite ist das Ergebnis einer spektralen Vorfilterung dargestellt, welches für große Vegetationsflächen deutliche Vorteile zeigt. Die entstehenden Löcher in der Punktwolke werden durch eine TIN-Vermaschung gefüllt.

Das entstehende TIN repräsentiert nur in den Fällen die Geländeoberfläche, wenn es sich – wie im vorliegenden Fall – um einen geometrisch einfachen Körper handelt. Bei komplexeren Geländeformationen unterhalb der Vegetation ist dies nicht der Fall.

6 Fazit und Ausblick

Das vorliegende Kamerasystem aus zwei modifizierten Kleinbildkameras hat in Hinblick auf die Datenqualität auswertbare Bilddaten geliefert. Dieses Sensorsystem ist zum derzeitigen Zeitpunkt mit über 3.000 Aufnahmen als stabil funktionsfähig zu bezeichnen. Die spektrale Kalibrierung der Aufnahmen durch Spektrometermessungen vor Ort kann in Zukunft die Kalibrierung der Aufnahmeeinstellungen (Blende) optimieren.

Die Ergebnisse der Filterung der UAS-Daten haben gezeigt, dass die Wahl des NDVI-Schwellwertes eines der zentralen Stellschrauben für die Wirksamkeit der Auswertemethodik ist. Hier wäre in Zukunft eine Erweiterung des Verfahrens sinnvoll. Dazu kann eine

automatisierte Bestimmung des NDVI durch eine nutzerüberwachte Bestimmung gehören. Hierbei werden vorab Referenzflächen definiert, in denen eine Filterung erfolgen soll. Der NDVI dieser Flächen könnte dann als automatisiert bestimmter Schwellwert zur Objektivierung der Ergebnisse beitragen.

Derzeit werden viele Ansätze zur Geländeerfassung durch UAS kombiniert mit einem LiDAR-Sensor diskutiert. Viele der Sensoren liefern jedoch lediglich den „First-Pulse“, also die Vegetationsoberfläche und nicht zusätzlich den Messwert zur darunter liegenden Geländeoberfläche. Dieser „Last-Pulse“ wäre aber für eine Ermittlung der Geländeoberfläche wichtig (MANDLBURGER et al. 2009).

Punktwolken, die lediglich den „First-Pulse“ enthalten, haben keine Vorteile gegenüber den Punktwolken, welche – wie hier vorgestellt – photogrammetrisch abgeleitet werden. Zudem sind 3500 g Abfluggewicht kaum mit einem Laserscanner zu erreichen, welches die Einhaltung gesetzlicher Reglementierungen zum Abfluggewicht schwierig macht und eine bildhafte Erfassung auch unter diesem Aspekt vorteilhaft erscheinen lässt.

Literatur

- AXELSSON, P. (2000), DEM Generation from Laser Scanner Data using Adaptive TIN Models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 (B4/1; PART 4), 111-118.
- CHENG, Y. (1995), Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (IEEE)*, 17 (8), 790-799.
- GRENZDÖRFFER, G. (2013), UAS zur hochgenauen und flächenhaften Bestimmung der Bestandshöhe bzw. Biomasse. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, 81, 14-23.
- GEHRKE, R. & GREIWE, A. (2013), Geometrische Abbildungsqualität von UAV geeigneten Sensoren im Bereich des nahen Infrarots. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, 81, 125-130.
- MANDLBURGER, G., HÖFLE, B., BRIESE, C., RESSL, C., OTEPKA, J., HOLLAUS, M. & PFEIFER, N. (2009), Topographische Daten aus Laserscanning als Grundlage für Hydrologie und Wasserwirtschaft. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 61 (7-8), 89-97.