

# Ableitung eines Geländemodells (Haldenkörper) aus multispektralen UAS-Bilddaten

**ANSGAR GREIWE, RALF GEHRKE<sup>1</sup>, VOLKER SPRECKELS & ANDREAS SCHLIENKAMP<sup>2</sup>**

*Zusammenfassung: Airborne Laserscanning (ALS) hat sich als ein Verfahren zur Erfassung der Geländeoberfläche und der Ableitung eines Geländemodells (DGM) etabliert. Großer Vorteil dieser Methode ist die Verwendung eines Messsignals im Nahen Infrarot, welches durch Vegetation transmittiert wird und neben der Erfassung der Blattoberfläche auch die Erfassung der Geländeoberflächen unterhalb der Vegetationsdecke ermöglicht. Erste Ansätze zur Nutzung von unbemannten autonom navigierenden Flugsystemen (UAS) als Plattform für ALS werden von unterschiedlichen Herstellern verfolgt.*

*Im vorliegenden Beitrag wird das eingesetzte UAS jedoch nicht mit einem Laserscanner versehen, sondern mit wesentlich leichteren Kameras ausgestattet, um somit auch die Flugzeit zu verlängern. Die Kameras nehmen im Spektralbereich des sichtbaren Lichts (RGB) und im Nahen Infrarot (ab 720 nm) auf und werden während des Fluges simultan ausgelöst. Endergebnis sind multispektrale Einzelaufnahmen. Durch Ansätze aus der Computer Vision (Structure from Motion, SfM) können aus diesen Bilddaten analog zum ALS hochdichte Punktwolken erzeugt werden. Im Gegensatz zum ALS werden jedoch nur die sichtbaren Oberflächenpunkte zur Generierung des Höhenmodells verwendet, das Ergebnis ist somit ein Digitales Oberflächenmodell (bDOM).*

*Im vorliegenden Anwendungsfall ist das Geländemodell eines lediglich mit spärlicher Vegetation bewachsenen Haldenkörpers abzuleiten. Um für diesen Fall aus einem bDOM ein DGM zu erzeugen, ist die Vegetation in geeigneter Weise zu filtern. In dem hier vorgestellten Ansatz werden die multispektralen Bilddaten zu einer hochdichten Punktwolke und einem multispektralen Orthophotomosaik verarbeitet. Mit einem geeigneten Verfahren (Segmentierung, spektrale und neigungsbasierte Filterungen) wird die Vegetation aus der Punktwolke entfernt und das gewünschte Geländemodell erzeugt.*

## 1 Einleitung

Zur Volumenermittlung oder Überwachung von Geländebewegungen ist der Einsatz der Photogrammetrie zur Ermittlung der Geländeoberfläche und der Überführung in ein digitales Geländemodell (DGM) eines der möglichen vermessungstechnischen Aufnahmeverfahren. Um die Geländeoberfläche möglichst gut in den Aufnahmen abzubilden, werden meist im Frühjahr in der vegetationslosen Zeit die jeweiligen Bildflüge durchgeführt. Ein ganzjähriges Monitoring wird durch den Vegetationswechsel allerdings erschwert, denn die Geländeoberfläche unterhalb der Vegetation ist für die Auswertung nicht sichtbar. Werden für eine Aufnahme jedoch anstelle einer Kamera aktive Sensoren verwendet, ergeben sich mehrere Vorteile, einer davon ist die Wahl der Wellenlänge der Strahlungsquelle.

1) Labor für Photogrammetrie und Fernerkundung, FH Frankfurt am Main, Nibelungenplatz 1, 60318 Frankfurt am Main. E-Mail: {ansgar.greiwe, ralf.gehrke}@fb1.fh-frankfurt.de

2) RAG Aktiengesellschaft, RAG Deutsche Steinkohle, Geschäftsbereich Standort- und Geodienste, Shamrockring 1, 44623 Herne. E-Mail: {volker.spreckels, andreas.schlienkamp}@rag.de

Vegetation transmittiert im Spektralbereich des Nahen Infrarot (ab ca. 720 nm Wellenlänge) einen Großteil der eintreffenden Strahlung, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

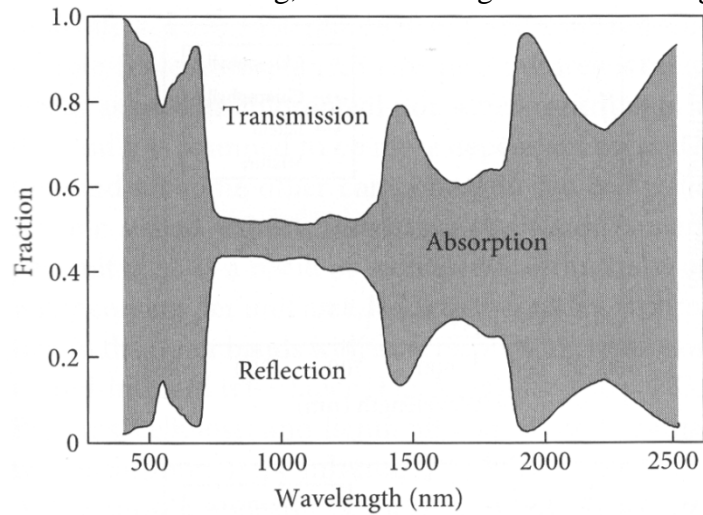


Abb. 1: Reflektions- und Transmissionsvermögen von Vegetation in Abhängigkeit von der Wellenlänge, aus: JONES & VAUGHAN (2010)

Somit kann bei einem Laserscanning neben der Reflektion auf der Blattoberfläche (first pulse) auch die Reflektion des transmittierten Signals an der Geländeoberfläche (last pulse) erfasst werden. Diese „last pulse“-Daten werden als 3D-Punktwolken abgelegt und können in ein DGM als Rasterdaten überführt werden.

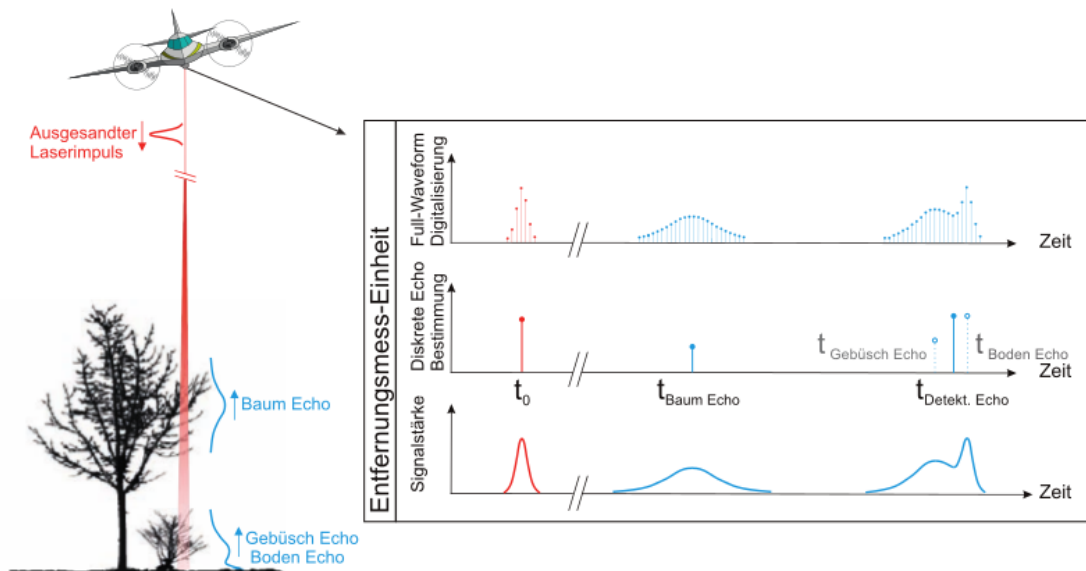


Abb. 2: Bodenpunkte unter einer Vegetation (Baum, Busch) werden durch Reflektion eines Laserimpulses erfasst, aus: MANDLBURGER ET.AL. (2009)

## 2 Problemstellung

Als Endprodukt einer photogrammetrischen Auswertung kann analog zum Laserscanning ebenfalls eine 3D-Punktwolke erzeugt werden. Unterschiedliche Ansätze wie Structure from Motion (SfM) erlauben die automatische Ableitung hochdichter Punktwolken aus Bildaufnahmen. Werden hoch aufgelöste Bilddaten beispielsweise durch eine UAS-Befliegung erfasst, so lässt sich mit SfM-Ansätzen eine hochdichte Punktwolke erzeugen, welche die Vegetationsoberfläche enthält, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abb. 3: Photogrammetrisch erzeugte 3D-Punktwolke beinhaltet Geländeoberfläche und Vegetationshülle

BENDING ET.AL. (2013) haben aus hoch aufgelösten UAS-Aufnahmen multitemporale Oberflächenmodelle, sogenannte Crop Surface Model (CSM) erzeugt, um die Wuchshöhe von Getreidebeständen zu untersuchen. Im Gegensatz zur Ableitung eines CSM ist jedoch bei der Erstellung eines DGM die enthaltene Vegetation eher hinderlich. Eine Separierung der Punktwolke in Boden- und Nicht-Bodenpunkte durch eine Filterung ist hier erforderlich. Nach einer erfolgreichen Filterung lässt sich aus den verbleibenden Bodenpunkten der 3D-Punktwolke als Endergebnis ein DGM ableiten.

## 3 Ansätze zur Filterung von 3D-Punktwolken

Zur Filterung von 3D-Punktwolken existieren unterschiedliche Algorithmen. Da keine first- und last-pulse Informationen wie beim Airborne Laserscanning in den photogrammetrisch erzeugten Daten vorhanden sind, liegt zunächst der Einsatz neigungsbasierter Verfahren nahe. Hier werden die Höhenwerte der lokalen Umgebung eines Punktes als Grundlage zur Unterscheidung in Boden- oder Nicht-Bodenpunkte verwendet. AXELSSON (2000) verwendet hierzu einen Ansatz der iterativen TIN-Verdichtung, um Punkte zu filtern, die sich von der lokalen Nachbarschaft abheben. ISENBURG (2013) hat dieses Verfahren in einer Programmbibliothek (LAS-Tools) implementiert. Ein wesentlicher Steuerungsparameter in diesem Verfahren ist die Größe des Fensters zur Definition der Nachbarschaftspunkte, welche eine Ebene (Boden) definieren. ISENBURG (2013) gibt hierzu als Parameterwerte für einen Nachbarschaftsradius 5 m für Wald bis hin zu 25 m für urban geprägte Oberflächen (Häuser) an. GRENZDÖRFFER (2013) hat dieses Verfahren zur Filterung von Vegetationspunkten einer extensiv genutzten Grünlandfläche verwendet, die photogrammetrisch per UAS erfasst wurde.

Ein von STREUTKER UND GLENN (2006) entwickeltes Verfahren arbeitet ebenfalls neigungsbasiert auf der Basis der lokalen Nachbarschaft eines Punktes. Hierbei wird das Gebiet zunächst in Rasterzellen unterteilt und für jede dieser Zellen wird der tiefste Punkt verwendet, um in einem Thin Plate Spline eine erste Geländeoberfläche zu approximieren. Iterativ wird anschließend überprüft, ob ein Punkt als Bodenpunkt zu klassifizieren ist. Sollte dies zutreffen, wird dieser bei der nächsten Iteration für die Approximation der Geländeoberfläche hinzugezogen. Der Nutzer kann den Algorithmus mit zwei wesentlichen Parametern steuern. Die lokale Umgebung eines Punktes, in der eine Höhenänderung erwartet wird und ein Schwellwert der angibt, ab welcher Höhenänderung zur lokalen Umgebung ein Punkt als „nicht Bodenpunkt“ klassifiziert wird. In der folgenden Abbildung ist das Ergebnis einer rein neigungsbasierten Filterung ersichtlich. Hier sind als Ergebnis der Filterung die Bodenpunkte magenta dargestellt.

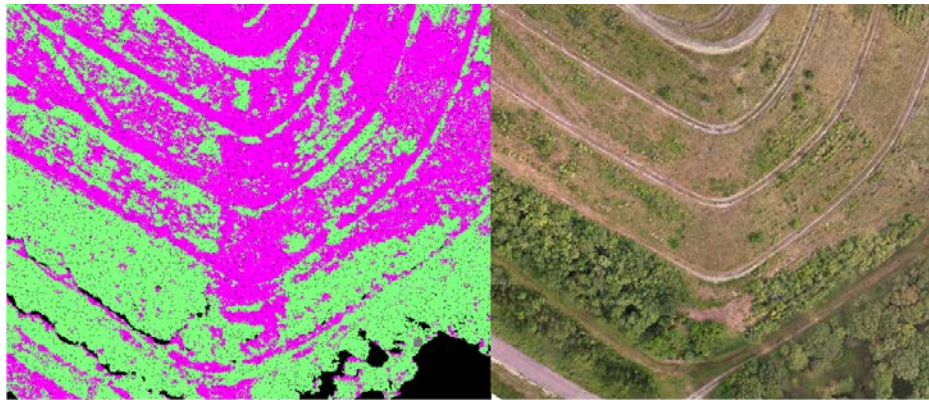


Abb. 4: Bodenpunkte (magenta) und Vegetation (grün) als Ergebnis einer neigungsbasierten Filterung, Parameter: Nachbarschaftsradius 3m, akzeptierte Höhenänderung 0.2 m.

Für kleinere Vegetationsoberflächen (Büsche) ist eine neigungsbasierte Filterung erfolgreich, größere Flächen (Hecken oder Baumgruppen) weisen innerhalb der gefilterten Nachbarschaft irrtümlich klassifizierte Bodenpunkte auf, welche insbesondere in einer 3D Darstellung sichtbar sind (s. n. Abbildung).

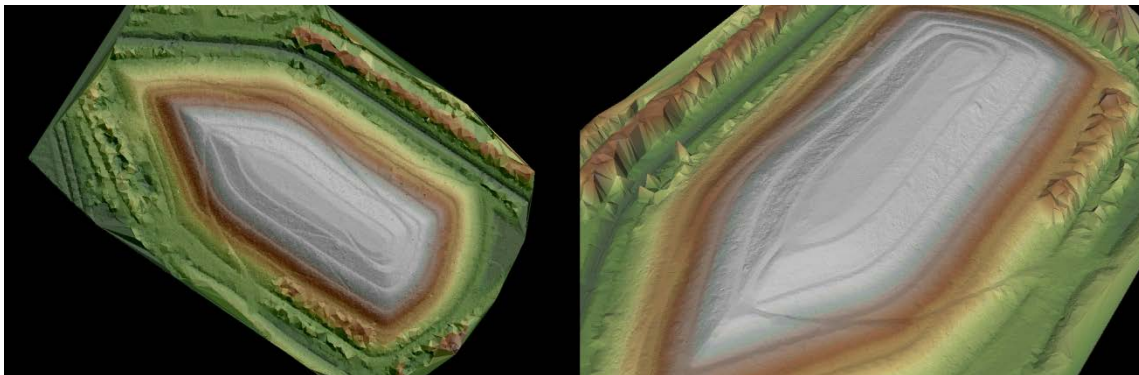


Abb. 5: Ergebnis einer neigungsbasierten Filterung mit sichtbaren Fehlern (Hecken, Baumgruppen)

## 4 Lösungskonzept

Für die Detektion der Vegetation innerhalb der 3D-Punktwolke wird anstelle einer neigungsbasierten Filterung die Vegetation in der Punktwolke zunächst ausmaskiert. Die benötigte Vegetationsmaske wird aus einem Vierkanal-RGBI-Orthophotomosaik erzeugt.

Hierzu wird das Gelände mit einem UAS und einer RGB/NIR Kamerakombination aufgenommen. Nach einer Vorprozessierung der Daten wird ein RGBI-Orthomosaik erzeugt, welches dann segmentiert wird. Die entstehenden Bildsegmente werden in Vegetation und Nichtvegetation getrennt und anschließend zur Maskierung der prozessierten Punktwolke verwendet. Die vegetationsreduzierte Punktwolke wird anschließend einer neigungsbasierten Filterung unterzogen und die klassifizierte Punktwolke als Endergebnis abgespeichert. Der Ablauf ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

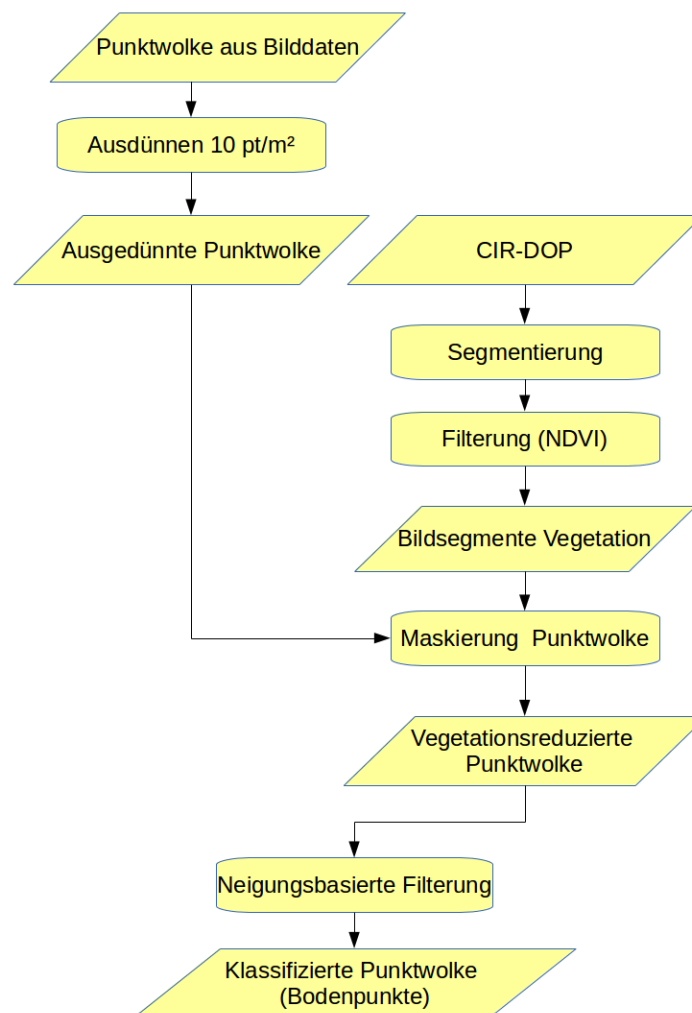


Abb. 6: Ableitung einer klassifizierten Punktwolke aus multispektralen Bilddaten.



#### 4.1 Befliegung und Datenprodukte

Im Rahmen dieser Studie der RAG Aktiengesellschaft (RAG) wurde eine Bergehalde mit einer Ausdehnung von ca. 700 m x 500 m mit einem Octocopter (Multirotor MR-X8) befliegen. Dieser hat ein Gesamtgewicht von 3.5 kg und kann Nutzlasten von 1.5 kg mitführen. Als Kamera für die Infrarot- und RGB-Aufnahmen wurden zwei modifizierte Kameras mit Foveon Sensor verwendet (siehe GEHRKE UND GREIWE 2013). Die Kameras wurden in einer Aufhängung parallel angeordnet. Die Auslösung der Aufnahmen erfolgt simultan und kann sowohl vom Copter automatisiert oder von der Bodenstation manuell vorgenommen werden.

Die eingesetzten Kameras besitzen eine Brennweite von 24.2 mm. Bei einer Sensorgröße von 20,7 mm x 13,8 mm und einer Flughöhe von 100 m ergibt sich ein GSD von ca. 4 cm und ein Footprint von ca. 85 m x 57 m für eine Aufnahme. Da der Copter mit jedem beliebigen Kurswinkel eine Fluglinie abfliegen kann, ist sowohl ein Flug mit der langen als auch mit der kurzen Sensorseite in Flugrichtung möglich. Für die vorliegende Studie wurden die Aufnahmen mit der langen Sensorseite parallel zur Flugrichtung durchgeführt. Mit der Fluggeschwindigkeit von 3 m/s und einem Auslöseintervall von 5 Sekunden ergab sich eine Basislänge von 15 m, welches einer Längsüberlappung von 82% entspricht. Der Streifenabstand wurde mit 40 m geplant, welches einer Querüberdeckung von 30% entspricht. Aus den verfügbaren Daten wurden neun Fluglinien geplant und in insgesamt 5 Einzelflüge mit ca. 15 Minuten Flugzeit aufgeteilt.

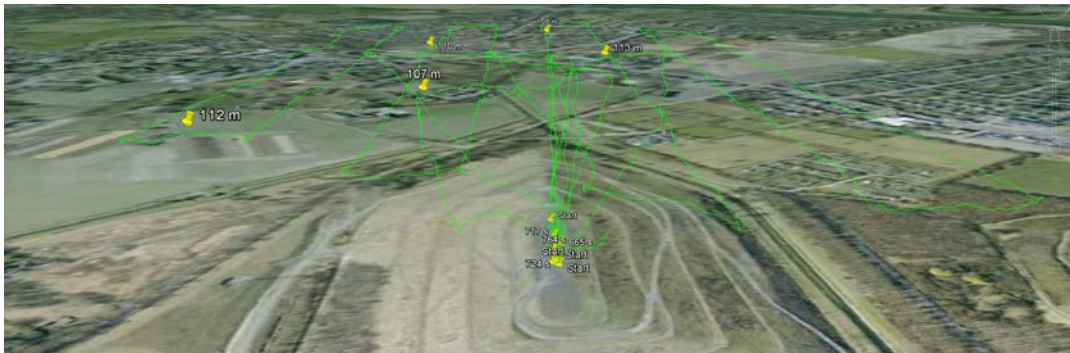


Abb. 7: Flugpfade des UAS über dem Einsatzgebiet

Die aufgenommenen Bilddaten werden vor einer weiteren Prozessierung zunächst vom RAW-Format in das TIFF-Format überführt. Hierbei ist die Korrektur der Belichtung essentiell. Diese kann durch die nachträgliche Regelung der Blendeneinstellung mit bis zu zwei Blenden vorgenommen werden. Um die Einstellungen zu überprüfen, wurde in 40 m Höhe eine Passmarke aufgenommen, auf deren Oberfläche ein Material positioniert ist, dessen Reflektanz sowohl im Bereich des sichtbaren Lichts (440 bis 650 nm) als auch im Nahen Infrarot (ca. 720 nm) bei 98% liegt. Die Blendeneinstellung der Aufnahmen wurde so angepasst, dass die Helligkeit der Pixel in dem Bereich des Referenzmaterials bei ca. 255, also der Sättigung für 8bit-Daten liegt. Die Aerotriangulation wurde mit 17, nach den GPS-RICHTLINIEN über HEPS an SAPOS Stationen angehängte Passpunkte durchgeführt. Das Koordinatensystem wurde von der RAG vorgegeben: „DSK-Ruhr29“, Gauß-Krüger 2. Meridian, mit NN-Höhen (SPRECKELS 2003).

Als Ergebnis der photogrammetrischen Auswertungen liegt je ein orientierter Bildverband mit RGB- und NIR-Aufnahmen vor. Aus den Bilddaten wird zudem je ein Oberflächenmodell erzeugt, welches für die Orthophotomosaikerstellung verwendet wird. Ein vierkanaliges RGBI-Orthomosaik wird durch eine Überlagerung (layer stacking) erzeugt

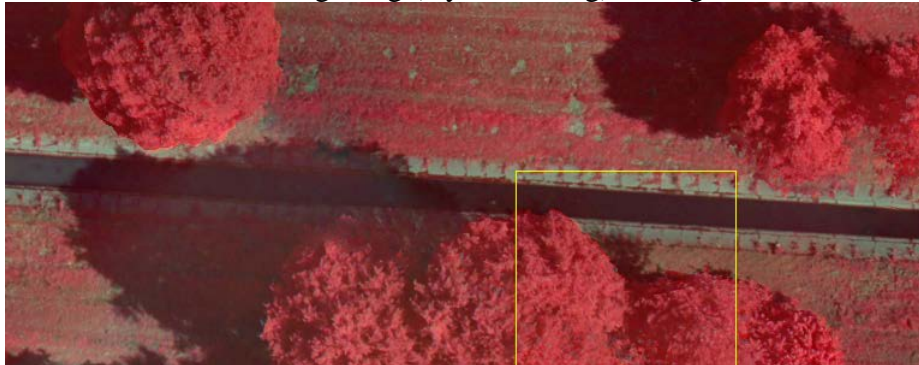


Abb. 8: CIR-Bandkombination aus dem Layer-Stack der UAS-Daten, GSD bei 4 cm

Aus den orientierten Aufnahmen des UAS wurde eine Punktwolke mit einer Dichte von über 300 Punkten pro Quadratmeter erzeugt, resultierend aus dem hohen GSD der Einzelaufnahmen. Für weitere Analysen wurde die Punktdichte von 10 Punkten/m<sup>2</sup> gewählt und im Rahmen der Ausdünnung der jeweils niedrigste Punkt für weitere Analysen gespeichert. Für das Untersuchungsgebiet verbleiben nach der Ausdünnung ca. 11 Mio. 3D-Punkte.

## 4.2 NDVI-Filterung

Für die Erstellung der Vegetationsmaske wird das vorliegende RGBI-Orthomosaik mit dem MeanShift-Algorithmus segmentiert. Jedem Pixel im Bild wird nach der Segmentierung pro Bildkanal der jeweilige Mittelwert aller Bildpixel des Segmentes zugewiesen. Pro Bildsegment lässt sich so, als Zeigerindex für die Existenz von Vegetation, ein NDVI-Wert berechnen. Im vorliegenden Fall wurde ein NDVI von 0.5 als Schwellwert verwendet, um Büsche und Bäume von Rasen zu differenzieren, wie die folgende Abbildung zeigt.

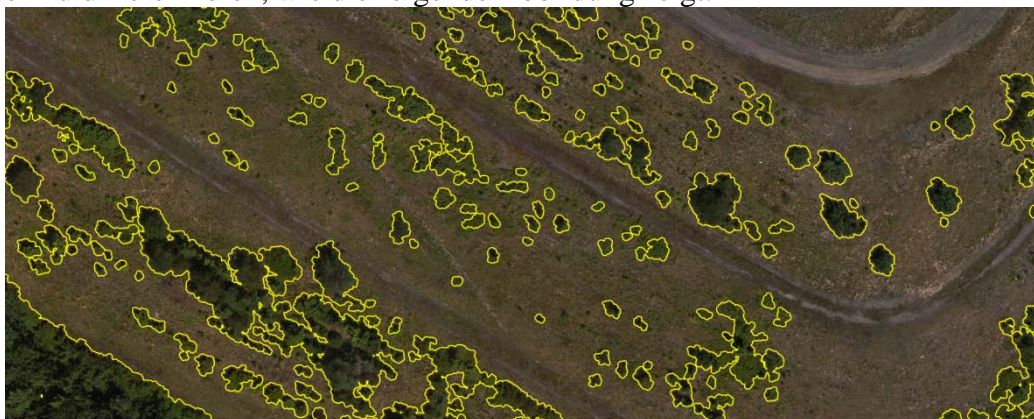


Abb. 9: Bildsegmente, erzeugt aus einer NDVI-Schwellwertoperation

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.

### 4.3 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 3D-Punkte existieren, die nicht zum gewünschten Boden gehören.

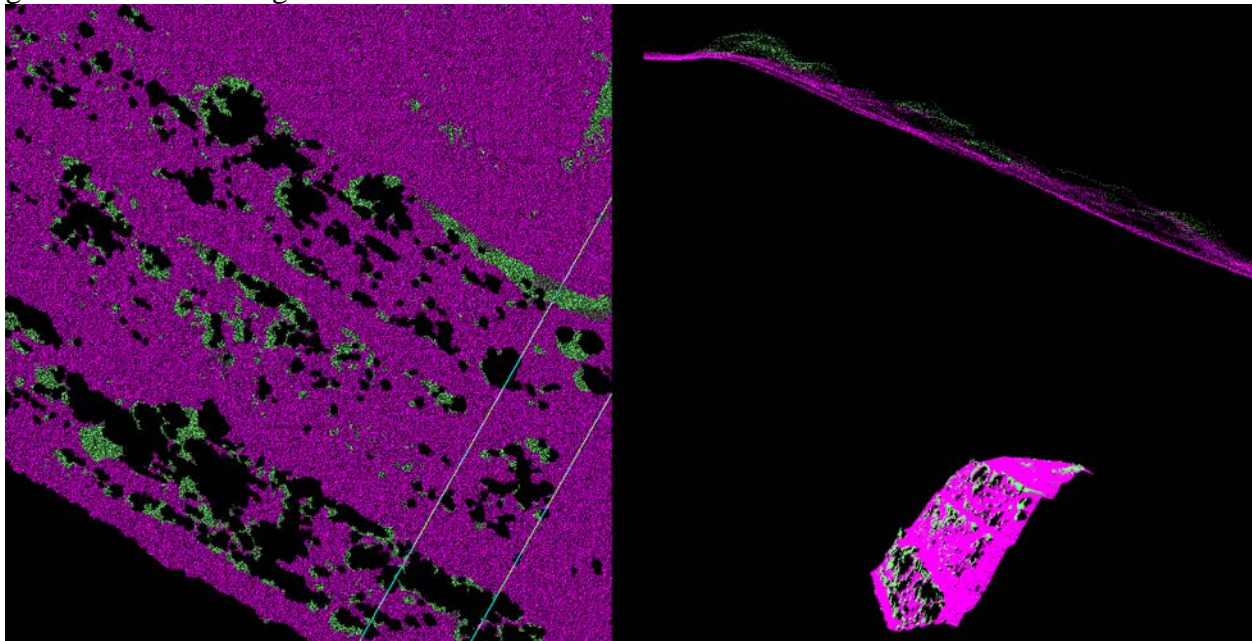


Abb. 10: Bodenpunkte (magenta) und Vegetation (grün), welche nach der NDVI-Filterung neigungsbasiert gefiltert wurde.

In Abbildung 10 ist ersichtlich, dass zunächst die großen Vegetationsflächen ausmaskiert sind. Diese führt zu Löchern in der Punktwolke, die nun lediglich aus Bodenpunkten oder Punkten am Rande einer Vegetation besteht, an denen das Höhenmodell nicht die erforderliche Trennschärfe in den Höhendaten aufweist.

Durch die ausmaskierten Vegetationspunkte kann eine neigungsbasierte Filterung jedoch wesentlich besser verbleibende Nicht-Bodenpunkte detektieren. Diese werden durch den Algorithmus zuverlässig als Ausreißer in der Umgebung eines 3D-Punktes detektiert, da nur wenige (hohe) Vegetationspunkte in der Umgebung existieren, zudem sind die Bodenpunkte am Rand einer Vegetation deutlich häufiger vertreten.



## 5 Ergebnisse

Die gefilterte Punktwolke wird abschließend in ein DGM überführt. Eine Darstellung der triangulierten Punktwolke in Abbildung 11 zeigt den Unterschied zwischen einer rein neigungs-basierten Filterung und dem Ergebnis mit einer NDVI-Filterung. Insbesondere im Bereich geschlossener Vegetation (Büsche, Hecken) werden deutlich bessere Ergebnisse erzeugt.

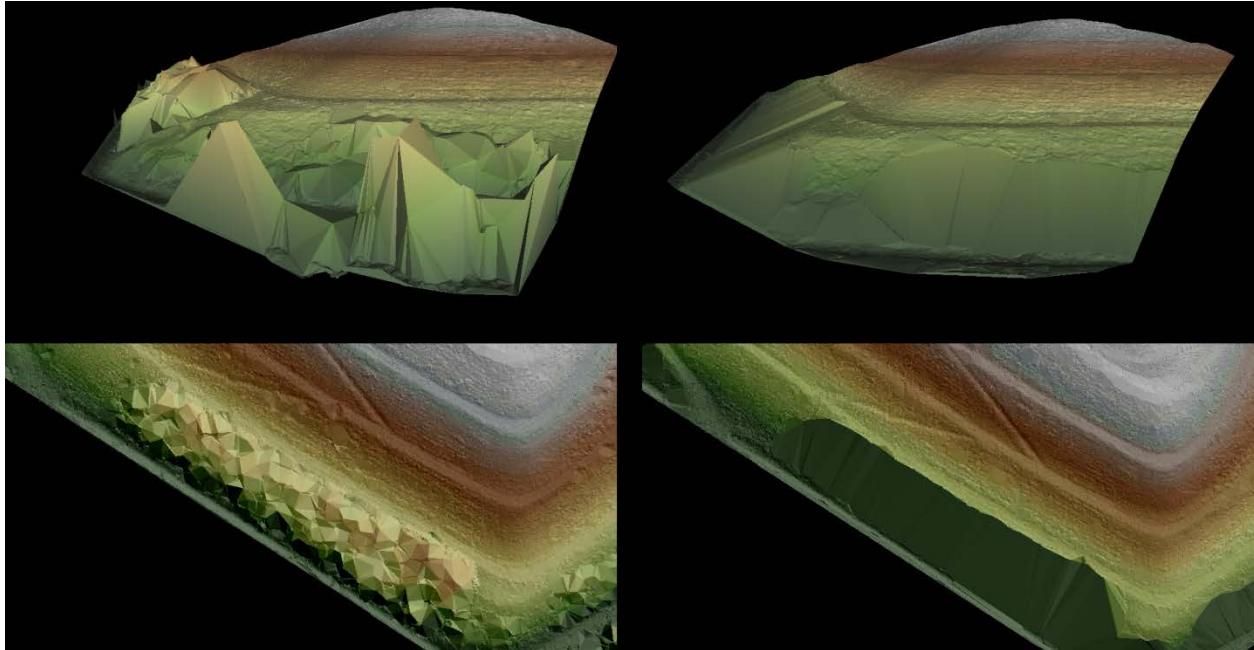


Abb. 11: Endergebnis einer neigungs-basierten Filterung (links) und dem kombinierten Verfahren (rechts).

Einsatzbereiche von UAS sind in den meisten Fällen kleinräumige Gebiete, wie zum Beispiel Regenrückhaltebecken oder Haldenkörper. Weisen diese einen geringen Vegetationsbestand auf, kann die vorgestellte Methode gut zur Ableitung eines Geländemodells verwendet werden.

Ist Vegetation in einem Gebiet großflächig vorhanden, so treten allerdings auch mit dieser Methode zu große Lücken im DGM auf. Für diese Gebiete sind gegebenenfalls andere Methoden der Datenerhebung zu prüfen.

## 6 Literaturverzeichnis

AXELSSON, P., 2000: DEM Generation from Laser Scanner Data using Adaptive TIN Models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Band 33(B4/1; PART 4), S. 111–118.

BENDING, J., BOLTEN, A. & BARETH, G., 2013: UAV-based Imaging for Multi-Temporal, very

high Resolution Crop Surface Models to monitor Crop Growth Variability.  
Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 2013 / 6, S. 551-562.

GEHRKE, R. UND GREIWE, A., 2013: Geometrische Abbildungsqualität von UAV geeigneten Sensoren im Bereich des nahen Infrarots. Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 81, S. 125-130.

GRENZDÖRFFER, G., 2013: UAS zur hochgenauen und flächenhaften Bestimmung der Bestandshöhe bzw. Biomasse. Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 81, S. 14-23.

ISENBURG, M., 2013: Readme lasground. URL  
[http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/download/lasground\\_README.txt](http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/download/lasground_README.txt) (abgerufen am 02.02.2014).

JONES, H. G. UND VAUGHAN, R. A., 2010: Remote Sensing of Vegetation. Principles, Techniques and Applications, Oxford Press.

MANDLBURGER, G., HÖFLE, B., BRIESE, C., RESSL, C., OTEPKA, J., HOLLAUS, M. UND PFEIFER, N., 2009: Topographische Daten aus Laserscanning als Grundlage für Hydrologie und Wasserwirtschaft. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Band 61(7-8), S. 89–97.

STREUTKER, DAVID R. UND GLENN, NANCY F., 2006: Lidar measurement of sagebrush steppe vegetation heights. In: Remote Sensing of Environment, Band 102(1-2), S. 135–145.

GPS-RICHTLINIEN, 2002: Richtlinien zum Einsatz von satellitengeodätischen Verfahren im Vermessungspunktfeld - GPS - Richtlinien - vom 02.09.2002, in der Fassung vom 15.04.2003 36.3 – 7132, Stand v. 20.09.2007 37-51.12.01 - 7132. Herausgeber: Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen, Herstellung und Vertrieb: Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen 2002.  
[http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk\\_internet/organisation/abteilung07/produkte/raumbezug/sapos/allgemein/index.html](http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung07/produkte/raumbezug/sapos/allgemein/index.html) (abgerufen am 02.02.2014).

SPRECKELS, V., 2003: Subsidence determination by different sensor types using standardized transformation parameters. In: Proceedings of ISPRS Joint Workshop of WG I/2,I/5 and WG II/IV and EARSeL Special Interest Group 3D Remote Sensing “High Resolution Mapping from Space”. 6. bis 8. Oktober 2003, Hannover. Auf CD-ROM.  
<http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/spreck.pdf> (abgerufen am 02.02.2014).