

Low-Cost vs. High-End Systeme im Vergleich – 3D-Aufnahme der Ringwallanlage Lembecksburg auf der Nordseeinsel Föhr

Thomas P. KERSTEN, Maren LINDSTAEDT, Klaus MECHELKE,
Daniel OMELANOWSKY und Johannes PRENTING

Zusammenfassung

Das Labor für Photogrammetrie & Laserscanning der HafenCity Universität Hamburg hat im Rahmen einer Messexkursion vom 26. bis zum 29. Mai 2015 die Ringwallanlage Lembecksburg, ein gut erhaltener, stattlicher Ringwall 1 km nördlich des Dorfes Borgsum auf der Insel Föhr (Landkreis Nordfriesland), mit verschiedenen Verfahren dreidimensional erfasst. Während der Messexkursion wurden für eine 3D-Dokumentation des archäologischen Denkmals folgende Messverfahren eingesetzt: a) Topographische Aufnahme mit dem Tachymeter, b) Topographische Aufnahme mit GNSS, c) Statisches terrestrisches Laserscanning, d) Kinetisches (mobiles) Laserscanning mit dem portablen Aufnahmesystem der Firma p3d systems GmbH und e) Luftbildaufnahme mit einem Unmanned Aerial Vehicle (Hexacopter). Die eingesetzten Messsysteme bzw. -verfahren wurden geometrisch und wirtschaftlich miteinander verglichen.

1 Einführung

Die herkömmliche topographische Geländeaufnahme mit dem Tachymeter wird schon seit über einem Jahrzehnt oft durch flächendeckendes terrestrisches Laserscanning (TLS) ersetzt. Beispiele für die Aufnahme von archäologisch interessanten Wallanlagen mit terrestrischem Laserscanning stellen die Ringwälle Willenscharen (HÖNNIGER & KERSTEN 2004) und Oersdorf (LINDSTAEDT et al. 2015) dar. Doch Gebietsgrößen von einigen Hektaren stellen die klassischen Vermessungsmethoden vor eine große Herausforderung: einerseits sind Flächen oft zu groß für eine Aufnahme durch Tachymetrie oder durch terrestrisches Laserscanning, aber andererseits ist eine Befliegung durch Airborne Laserscanning oder mit Systemen der klassischen Luftbildphotogrammetrie aufgrund zu kleiner Flächen noch nicht wirtschaftlich.

Doch gerade für diese Lücke ergeben sich heute neue Möglichkeiten der Objekterfassung. Zum einen bietet sich durch das vermehrte Aufkommen von Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), ausgerüstet mit Kamera und einem Sensor für das Global Navigation Satellite System (GNSS), der unbemannte Bildflug an. Die wachsende Bedeutung von UAVs in der Vermessung und Photogrammetrie ist durch die steigende Anzahl von Publikationen und Fachtagungen dokumentiert. Die hohen Teilnehmerzahlen bei Fachtagungen zum Thema UAV, wie z.B. beim DVW-Seminar UAV 2016 - Vermessung mit unbemannten Flugsystemen – in Bonn oder beim UAV-g 2015 in Rostock und beim Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) in Melbourne verdeutlichen den momentanen Hype in der Vermessung. Die Idee der Luftaufnahme mit einer terrestrischen Kamera, unterstützt durch Fluggeräte wie z.B. mit einem Ballon, ist nicht neu, denn schon 1979 führten PRZYBILLA und WESTER-EBBINGHAUS (1979) Flüge mit einer Kamera

an einem ferngelenkten Modellflugzeug durch. Durch die Entwicklung der Elektronik und der digitalen Kameras sowie die allgemeine Verfügbarkeit von Koptern und anderen Fluggeräten wird diese Art der Datenerfassung heute für jedermann ermöglicht. Nur beherrscht jeder Pilot eines UAVs auch die präzise Vermessung durch Luftbildphotogrammetrie? Einen Überblick zum Thema 3D-Mapping mit UAVs geben z.B. NEX & REMONDINO (2014) oder COLOMINA & MOLINA (2014). Den Auswerteprozess von UAV-Bilddaten beschreibt z.B. KERSTEN (2016).

Auf der anderen Seite ist das terrestrische Laserscanning heute nicht mehr allein als statische Lösung zu nutzen. Der Schritt zum mobilen System macht das TLS für viele neue Anwendungen interessant (siehe u.a. KERSTEN et al. 2009, KERSTEN et al. 2011). Mit der Vielzahl der benötigten Sensoren für eine Erfassung der Daten in der Bewegung geht jedoch oftmals eine Spezialisierung einher, die der Preis für eine entsprechende Produktivitätssteigerung ist, z.B. bei der Erfassung von Straßenräumen (FREI et al. 2013). Mit der kinematischen Lösung von p3d systems GmbH lässt sich auch der Mensch als Trägerplattform für das System nutzen, und ermöglicht bedingt so die Erfassung von unwegsamem Gelände.

In diesem Beitrag wird die Aufnahme einer Wallanlage auf einem Gebiet von ca. 3 Hektar mit unterschiedlichen Messmethoden beschrieben, so dass die Ergebnisse der verschiedenen Techniken hinsichtlich Genauigkeit, Vollständigkeit und Wirtschaftlichkeit miteinander verglichen werden können. Zum Einsatz kam hier die Tachymetrie als Referenz für Daten vom UAV, vom TLS und vom kinematischen TLS. Die Erfassung wird in Kapitel 3 detailliert beschrieben, im Kapitel 4 werden die generierten Daten vorgestellt. Der geometrische Vergleich der unterschiedlichen Datensätze erfolgt in Kapitel 5.

2 Die Lembecksburg

Die Lembecksburg (Abb. 1) – früher auch Borgsumburg genannt – befindet sich auf der Nordseeinsel Föhr, ca. einen Kilometer nördlich des Dorfes Borgsum. Diese Ringwallanlage wurde auf eine Geestkuppe am Rand der Föhrer Marsch erbaut, der Außendurchmesser beträgt heute ca. 142 m, innen sind es noch ca. 92 m. Die Höhe geht bis 10 m über das äußere Gelände, während im Inneren das Gelände nur ca. 3-4 m niedriger als die Wallkrone ist. Früher führte ein Graben um die Burg herum, der heute jedoch kaum mehr zu erkennen ist, lediglich der ehemalige Vorwall ist im Osten noch schwach auszumachen. Bis ins 19. Jahrhundert gab es durch einen Priel vom Nordrand der Burg eine vermutlich schiffbare Verbindung bis ins nördliche Wattenmeer. Der Aufbau der Wallanlage wird auf das 8. Jahrhundert datiert, also in die Wikingerzeit, es wurden aber auch Siedlungsspuren (u.a. Keramik) aus der römischen Kaiserzeit gefunden. Heute sind der gesamte Wall und auch das Gelände außen herum von Gras bewachsen, was zum Zeitpunkt der Aufnahme kurz vor dem Mähen stand und eine entsprechende Höhe von bis zu 40 cm aufwies. Eine ausführliche Beschreibung über die archäologischen Arbeiten in der Vergangenheit und über die Bedeutung der Lembecksburg gibt SEGSCHEIDER (2009).



Abb. 1: Das archäologische Denkmal Ringwallanlage Lembecksburg auf der Insel Föhr aus der Luft, aufgenommen mit einer Kamera Sony Nex-5 am Hexakopter.

3 Datenerfassung

3.1 Topographische Aufnahme mit Totalstation

Die klassische topographische Aufnahme erfolgte mit einer Totalstation Leica TCRA1201. Grundlage bildete ein geodätisches 3D-Netz mit vier Punkten (bestehend aus einem trigonometrischen Punkt der Landesvermessung und drei vermarkten Neupunkten auf der Krone des Ringwalls). Die Orientierung des Netzes erfolgte über drei Fernziele (trigonometrische Punkte der Landesvermessung). Die topographische Aufnahme der Ringwallanlage erfolgte von diesen vier Netzpunkten sowie von weiteren Aufnahmepunkten aus, die über freie Stationierungen koordiniert wurden. Insgesamt wurden so ca. 550 topographische Punkte erfasst, die später als Referenzdaten dienten. Die Passpunkte für die Luftbilder und die Scandaten wurden auch von den vier koordinierten Netzpunkten gemessen.

3.2 Topographische Aufnahme mit GNSS

Parallel zur klassischen topographischen Aufnahme wurde versucht, die Wallanlage mit GNSS-Verfahren topographisch erfassen. Dabei wurde ein Trimble R6 GNSS-Empfänger eingesetzt, der Echtzeitkorrekturen des Trimble-Dienstes VRS Now für eine präzise Positionierung nutzte. Die topographische Aufnahme sollte im RTK-Modus durch das Ablaufen von Profillinien im Gelände erfolgen. Es stellte sich jedoch heraus, dass die steilen Wälle mit dem hohen Grasbewuchs ein kontinuierliches Ablaufen unmöglich machten. Die Aufnahme wurde daher nach einigen Versuchen eingestellt.

3.3 Statisches terrestrisches Laserscanning

Die Aufnahme der terrestrischen Scandaten erfolgte an zwei Tagen mit dem Z+F IMA-GER 5010 in zwei Abschnitten. Für die Aufnahme des äußeren Walls und der umgebenden Topographie wurden 23 Scannerstandpunkte außen um die Wallanlage herum festgelegt. Die Registrierung der einzelnen Scans im UTM-Koordinatensystem erfolgte über jeweils fünf Targets, die um den Scanner herum angeordnet waren und mit dem Tachymeter eingemessen wurden. Die Auflösung betrug 12 mm / 10 m (Auflösung 'middle'), was 11 Mio. Punkte pro Scan entspricht. Die Aufnahme der Ringwallkrone und der innenliegenden Flächen erfolgte von der Krone aus. Dabei wurde das auf dem Scanner verfügbare Programm 'Polygonzug' verwendet, um auf zusätzliche Tachymetermessungen verzichten zu können. Die Auflösung wurde auf die Stufe 'high' gesetzt (6 mm / 10 m, 44 Mio. Punkte pro Scan), um eine größere Entfernung der Standpunkte voneinander zu ermöglichen. So wurden insgesamt 19 Standpunkte benötigt. Die gesamte Aufnahmezeit für die 42 Standpunkte betrug ca. 12 Stunden, was einer Zeit von 17 Minuten pro Standpunkt inkl. Umbau entspricht. Der extrem starke und böige Wind am Aufnahmetag, sowie der durch den dichten Grasbewuchs stellenweise sehr nachgiebige Untergrund auf der Wallkrone machten gesicherte Aufstellungen von Scanner und den Scannertargets für Rück- und Vorblick unmöglich, woraus untypisch große Abschlussfehler resultierten. Die Abschlussfehler blieben jedoch für eine topographische Aufnahme in einem akzeptablen Rahmen.

3.4 Kinematisches terrestrisches Laserscanning

Die Aufnahme mit dem kinematischen Laserscanning-System ProScan der Firma p3d systems GmbH (Hamburg) dauerte insgesamt zwei Stunden. Das Aufnahmesystem besteht aus einem terrestrischen Laserscanner – in diesem Fall ein IMAGER 5010 – mit aufgesetzter GNSS-Antenne (oder auch einem Prisma) und einer unter dem Scanner befestigten Inertial Measurement Unit (IMU) der iMAR Navigation GmbH (FREI et al. 2013, Abb. 2). Die Tragvorrichtung besteht aus einer speziellen Weste und einem daran montierten gedämpften Arm (GLIDECAM), wie sie auch für Filmaufnahmen eingesetzt werden. Gesteuert wird das System über einen Tablet-Computer. Für die Positionierung des Systems über den GNSS-Empfänger wird eine Referenzstation benötigt, die bei der Aufnahme vor Ort eingerichtet wurde.

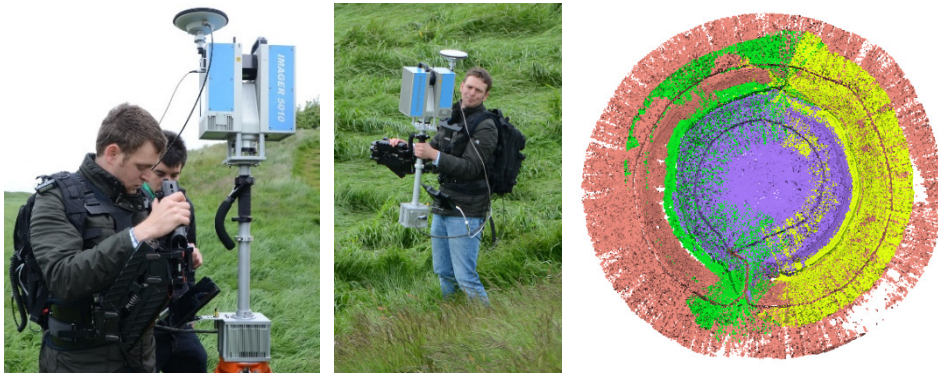


Abb. 2: Aufnahme mit dem kinematischen Laserscanning-System der Firma p3d systems: Systemeinrichtung (links), Messung (Mitte) und Ergebnisse der vier aufgenommenen Tracks (rechts).

Bei der Aufnahme dreht der Laserscanner mit 50 Hz und erzeugt bei einer hier durchschnittlichen Gehgeschwindigkeit von gut einem Meter in der Sekunde einen Profilabstand von ca. 2 cm. Die Punkterfassung wurde von vornherein auf eine Distanz von 30 m bzw. 35 m begrenzt. Die hier abgelaufenen vier Tracks lagen außen und innen am Fuß des Walles und auf der Wallkuppe, sie hatten eine Gesamtlänge von 1143 m und ergaben eine Datenmenge von 154 Mio. Punkten. Die Auswertung der Trajektorie erfolgte im Post-Processing im Vor- und Rückweg.

3.5 UAV - Hexacopter

Für die UAV-Aufnahmen wurde ein Hexacopter Sky Hero Spy 750 eingesetzt (Abb. 3). Dieser wurde mit einer Sony NEX-5 Digitalkamera mit 16 mm Brennweite ausgerüstet (Auflösung 4592 x 3056 Pixel). Insgesamt wurden in dem später ausgewerteten Bildflug 186 Fotos in 8 Minuten Flugzeit aufgenommen. Die vorgesehene automatische Flugsteuerung mit dem 3D Robotics Pixhawk gemäß Bildflugplanung musste aufgrund des starken Windes verworfen und der Hexacopter manuell gesteuert werden. Für die Georeferenzierung der Aufnahmen wurden fünf am Boden verteilte Passpunkte tachymetrisch eingemessen, die später in den Luftbildern eindeutig identifiziert und gemessen werden konnten.



Abb. 3: Der Hexacopter Sky Hero Spy 750 (links), Start des Hexacopter für die Aufnahme (Mitte) und Aufnahmekonfiguration mit Passpunkten (rechts).

4 Datenauswertung

4.1 Statisches terrestrisches Laserscanning

Die 42 aufgenommenen terrestrischen Laserscans wurden mit der Software Z+F LaserControl registriert und georeferenziert. Die Registrierung des äußeren Ringes wurde mit einer durchschnittlichen Abweichung von 2.4 mm durchgeführt, wobei jeder Standpunkt direkt zu den Tachymeterdaten und nicht untereinander registriert wurde. Die Standpunkte auf dem Wall wurden in Form eines Polygonzuges aufgenommen und entsprechend auch georeferenziert. Da die Polygonzugberechnung aber nicht nachträglich in LaserControl möglich war, wurden die Transformationsparameter für die einzelnen Standpunktsysteme manuell berechnet und in die Software übernommen.

Für das digitale Geländemodell (DGM) wurde ein Bereich von ca. 40 m um den Wall und der Wall selbst inkl. Innenbereich bearbeitet. Es wird hier im weiteren Verlauf wegen der relativ geringen Höhe des Vegetationsbewuchses der Begriff Geländemodell verwendet, obwohl es sich im eigentlichen Sinne um ein Oberflächenmodell handelt. Die ca. 25 Mio.

Punkte wurden reduziert auf einen Punktabstand von 15 cm (Datensatz 1), was einer Dreiecksvermaschung von ca. 2,3 Mio. Dreiecken entspricht. Die linearen Drainagesysteme im Inneren des Walls, kenntlich durch nachgesackten Boden, sind hier im westlichen Teil zu erkennen, auf der Ostseite noch zu erahnen. Das Geländemodell zeigt aber auch im südöstlichen Bereich niedergedrücktes Gras (Abb. 4), das durch die Begehung während der Aufnahme entstanden ist. Nach der Filterung der Punkte auf ein 20 cm-Raster und der gleichzeitigen Verwendung des minimalen Z-Wertes pro Zelle (Datensatz 2) wird das Modell deutlich glatter, mehr Details lassen sich aber nur minimal erkennen (Abb. 4).

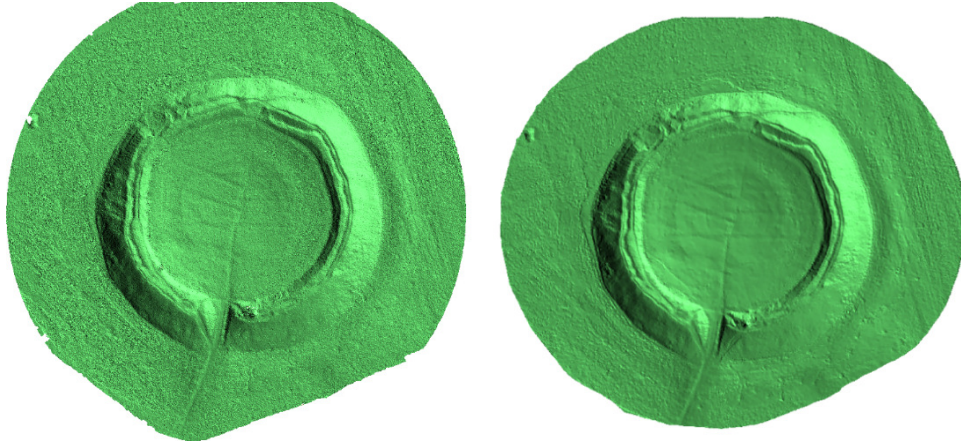


Abb. 4: Vermaschung aus der Laserscanning-Punktwolke des IMAGER 5010: 3D-Modell mit einem Punktabstand von 15 cm (links), 3D-Modell nach Filterung und Reduktion auf den minimalen Z-Wert je 20 cm-Raster (rechts).

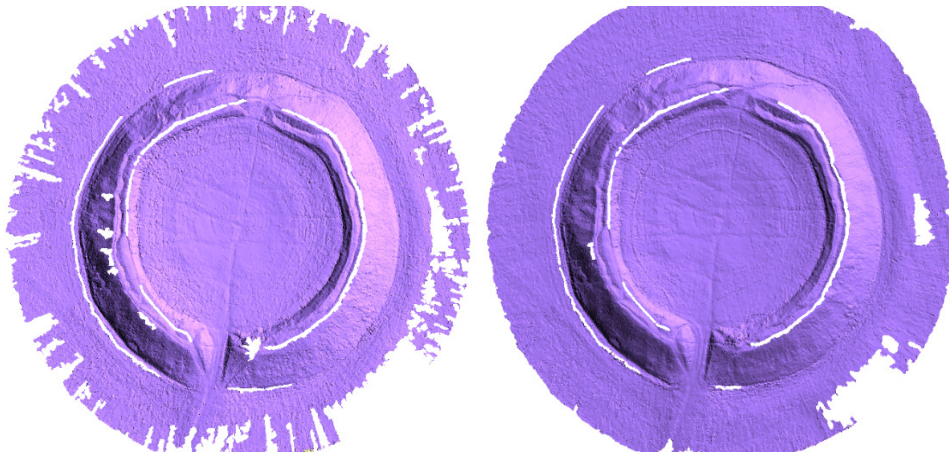


Abb. 5: Vermaschung der Daten vom System ProScan von p3d systems GmbH: 3D-Modell mit einem Punktabstand von 15 cm (links), 3D-Modell nach Filterung und Reduktion auf den minimalen Z-Wert je 20 cm-Raster (rechts).

4.2 Kinematisches terrestrisches Laserscanning

Die Georeferenzierung wurde in der Software p3d PCloud von p3d systems durchgeführt. In dieser wurden die Trajektorien berechnet sowie die resultierenden Punktwolken je Track erstellt. Durch die GNSS-Anbindung wurde die Georeferenzierung direkt im UTM-Koordinatensystem durchgeführt, lediglich die Höhen mussten noch von ellipsoidischen Höhen in die verwendeten Geoidhöhen umgerechnet werden. Die Positionsgenauigkeit lag hierbei bei 2 – 3 cm. Um den Wall wurde ein Bereich von 30 m mit erfasst. Die Vermaschung wurde ebenso mit 15 cm Punktabstand (Datensatz 1) und mit einem 20 cm-Raster mit minimaler Z-Koordinate (Datensatz 2) gerechnet. Auch hier sind die Drainagesysteme in beiden Datensätzen zu erkennen, ebenso ist die 20 cm-Variante deutlich glatter und beinhaltet weniger Lücken (Abb. 5). Mehr Details sind aber hier kaum erkennbar.

4.3 UAV - Hexacopter

Für die Auswertung der UAV-Bilddaten wurde ein Bildverband mit 186 Bildern orientiert. Die verwendete Kamera wurde simultan kalibriert. Hierfür wurde die Software PhotoScan der Firma Agisoft genutzt. In die Bündelblockausgleichung wurden fünf Passpunkte für die Georeferenzierung eingeführt. Die Verbesserungen nach der Ausgleichung lagen bei 6 mm in der Lage bzw. 2 mm in der Höhe, was aber ein sehr optimistisches Ergebnis darstellt, das kritisch zu hinterfragen ist. Anschließend wurde eine Punktwolke von mittlerer Qualität (Auflösung) berechnet, die 8,8 Mio. Punkte besaß. Die Berechnung dauerte auf dem XMG-Notebook von Schenker (Intel Core i7 (4 GHz), 32 GB RAM, 2x NVIDIA GeForce GTX 780M mit 4096 MB) ca. 35 Minuten. Auch dieser Datensatz wurde auf 15 cm Punktabstand reduziert (Datensatz 1) sowie auf ein 20 cm-Raster mit minimalen Z-Werten (Datensatz 2) gerechnet. Optisch deckt sich dieses Ergebnis mit den Resultaten der anderen beiden Methoden, es sind kaum Unterschiede zwischen den beiden Datensätzen auszumachen (Abb. 6).

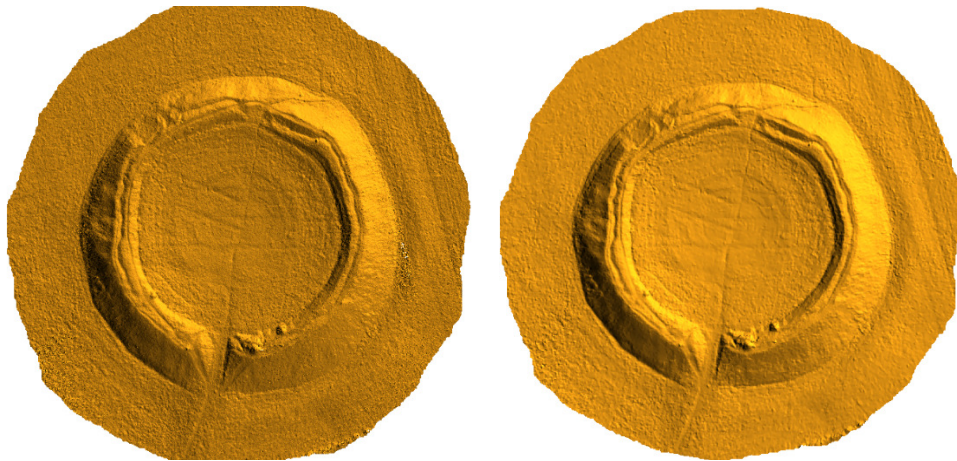


Abb. 6: Vermaschung der UAV-Daten: 3D-Modell mit einem Punktabstand von 15 cm (links), 3D-Modell nach Filterung und Reduktion auf den minimalen Z-Wert je 20 cm-Raster (rechts).

5 Vergleich der Ergebnisse

Um eine Aussage zur Genauigkeit der eingesetzten Verfahren treffen zu können, wurden die erstellten Geländemodelle mit den durch die Tachymetrie erfassten Referenzpunkten verglichen. Dabei wurden insgesamt max. 557 Punkte verwendet, die sich auf den Innenraum und auf dem Wall verteilten. Die Ergebnisse der Vergleiche sind in den folgenden Diagrammen veranschaulicht (siehe Abb. 7 und Abb. 8).

Bei der Ableitung eines DGM aus den reduzierten Punktwolken treten bei allen drei Erfassungsmethoden große Differenzen zwischen der wirklichen Geländeoberfläche und den jeweiligen erfassten Punkten auf. Durch das fast durchgängig hohe Gras auf dem Gelände liegen die Abweichungen im Bereich bis 40 cm über dem eigentlichen Gelände, in einigen Bereichen noch höher. Die ist auch bei allen drei Methoden relativ ähnlich. Der Anteil der Punkte mit max. 20 cm Abweichung von der Referenzhöhe beträgt bei den Daten des IMAGER 5010 39%, beim UAV 43% und bei p3d 38%.

Betrachtet man nun die gefilterten Daten, bei denen im Raster jeweils nur der minimale Z-Wert übernommen wurde, so verbessert sich das Ergebnis insgesamt, jedoch nicht völlig zufriedenstellend.

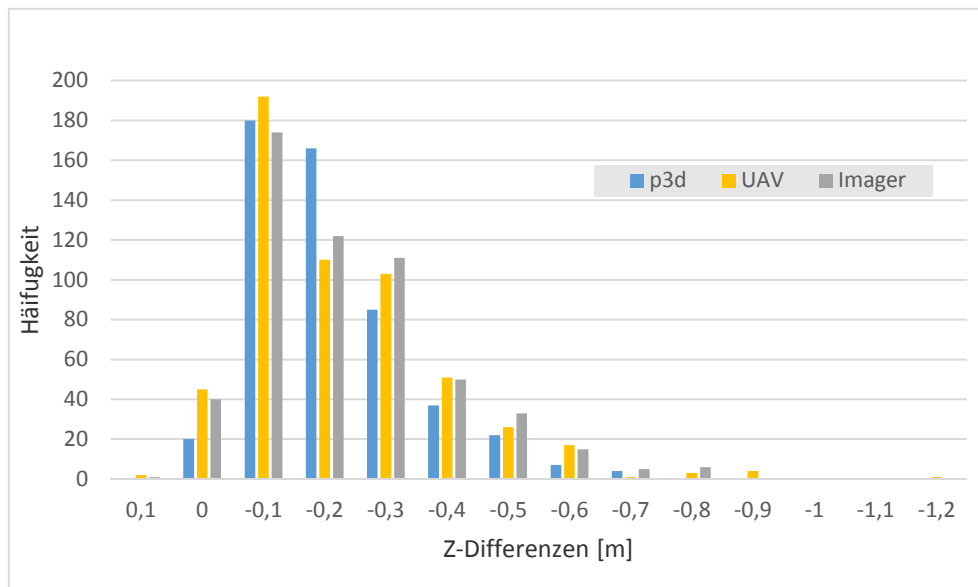


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Z-Differenzen zwischen Tachymeterpunkten (Referenz) und DGM mit 15 cm Punktabstand (Datensatz 1).

Betrachtet man wieder den Anteil der nicht mehr als 20 cm abweichenden Punkte, hat sich das Ergebnis der p3d-Daten am deutlichsten verbessert. Der Anteil wächst auf 63%, beim IMAGER 5010 sind es knapp 53%. Bei den UAV-Bildflugdaten ist nur eine geringe Steigerung auf 49% auszumachen. Dies zeigt, dass es, wie zu erwarten, war durch Image Matching nicht gelingt, „echte“ Geländepunkte zu generieren, die gemessenen Punkte befinden sich

alle auf der Vegetationsschicht. Beim Laserscanning erreichen zumindest die Punkte in der Nähe des Gerätestandpunktes bzw. die entlang der abgelaufenen Trajektorie teilweise den Boden.

Das 3D-Modell aus den Daten des statischen TLS und aus UAV-Bilddaten abgeleitet kann als vollständig bewertet werden, während beim kinematischen TLS durch die Spuren der Trajektorien keine hundertprozentige Abdeckung im Geländemodell erreicht wurde. Eine Übersicht über die Systemkosten, die Ergebnisse der Höhenabweichungen zwischen Referenz und eingesetzten Messverfahren und der jeweilige Zeitaufwand für Aufnahme und Auswertung sind in Tab. 1 zusammengefasst.

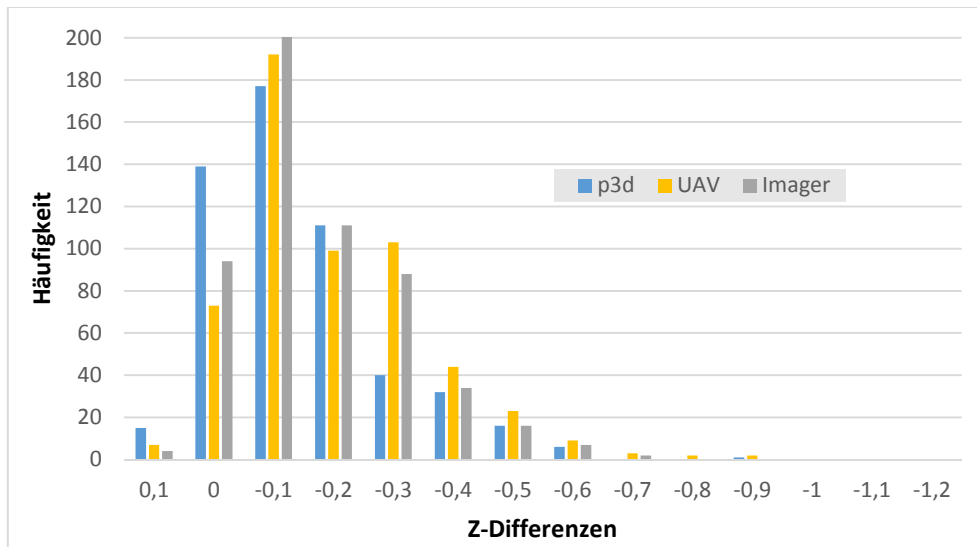


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Z-Differenzen zwischen Tachymeterpunkten (Referenz) und DGM mit 20 cm-Raster mit minimalem Z-Wert (Datensatz 2).

Tabelle 1: Systemkosten, Höhenabweichungen zur Referenz und Zeitaufwand für die drei eingesetzten Messverfahren im Vergleich.

System	SK [EUR]	Abweichungen Datensatz 1 [m] (15 cm Punktabstand)			Abweichungen Datensatz 2 [m] (niedrig. Punkt in 20 cm Zelle)			Zeit [h]
		Ø	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	
TLS	50.000	-0.28	-0.87	0.02	-0.22	-0.87	0.09	25
p3d	150.000	-0.26	-0.79	-0.03	-0.19	-0.90	0.06	5
UAV	5.000	-0.27	-1.21	0.01	-0.25	-0.99	0.03	5

SK Systemkosten (geschätzt), Zeit Zeitaufwand für Aufnahme und Auswertung

6 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurden drei verschiedene Systeme – statisches terrestrisches Laserscanning, kinematisches Laserscanning und UAV-Bildflug – für eine topographische Aufnahme einer Ringwallanlage untereinander und zu einer Referenz verglichen. Dabei ergaben sich

aufgrund der vorhandenen Vegetationsschicht (dichtes und hohes Gras von bis zu 40 cm) wie erwartet Abweichungen von bis zu 30 cm im Durchschnitt zu den realen Bodenpunkten (Tachymeteraufnahme) bei allen drei Systemen. Durch Filterung der Daten und Verwendung des minimalen Z-Wertes für 20 cm-Zellen konnten die Abweichungen reduziert, aber nicht eliminiert werden. Das beste Ergebnis hinsichtlich der Höhenabweichungen lieferten die Daten von p3d systems GmbH, darauf folgten die Daten vom statischen Laserscanning und vom UAV-Bildflug mit den höchsten Abweichungen. Betrachtet man allerdings die Aufnahme- und Bearbeitungszeiten, so sind das kinematische TLS und der UAV-Bildflug mit je 5h im Vergleich zu 25h beim statischen TLS deutlich (Faktor 5) wirtschaftlicher (siehe Tab. 1). Da anzunehmen ist, dass bei geringerer Vegetation auch die UAV-Daten den TLS-Daten von ihrer Qualität gleichzustellen sind, bietet vor allem das UAV eine echte Alternative zum statischen Laserscanning. Es ist nicht nur effizienter in der Aufnahme, sondern mit ca. EUR 5.000 Systemkosten auch deutlich günstiger. Dem besten Ergebnis des kinematischen Laserscannings steht der hohe Systempreis von ca. EUR 150.000 entgegen, was für viele Anwendungsfelder (z.B. in der Archäologie) wohl ein Ausschlusskriterium sein dürfte, da allgemein aufgrund geringer Projektkosten eine Amortisierung der Anschaffungskosten kaum vorstellbar ist.

Durch RTK-GNSS-Lösungen mit Zwei-Frequenz-Empfänger ist eine Genauigkeitssteigerung für Bildflüge mit UAVs in nächster Zeit zu erwarten (PRZYBILLA et al, 2015). Obwohl fast jede Person ein UAV als Pilot steuern kann, darf nicht vorausgesetzt werden, dass jeder gleichzeitig photogrammetrische Kenntnisse für die Auswertung besitzt. Denn die Expertise der Photogrammetrie bei der Bildflugplanung, bei der Bildorientierung und Kamerakalibrierung durch Bündelblockausgleichung sowie bei der Qualitätsbeurteilung und -kontrolle darf nicht vernachlässigt werden, um qualitativ hochwertige Ergebnisse bzw. Produkte zu generieren.

7 Dank

Unser Dank gilt den Studierenden des Studienganges Bachelor Geomatik (Abb. 9) Henrik Depner, Niklas Kampf, Kersten Keilich, Michael Kind, Kevin Koczyk, Andreas Kosciuk, Felix Sarabia und Mirko Spilker für die tatkräftige Unterstützung während der Messexkursion.



Abb. 9: Teilnehmer der Messexkursion zur Lembecksburg auf Föhr.

Literatur

- Colomina, I. & Molina, P. (2014). *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, S. 79-97.
- Frei, E., Vennegeerts, H. & Omelanowsky, D. (2013). *Kinematische Scanlösungen von p3d systems*. Terrestrisches Laserscanning 2013 (TLS2013), Schriftenreihe des DVW, Band 72, Beiträge zum 132. DVW-Seminar am 12. und 13. Dezember 2013 in Fulda, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 107-124.
- Hönniger, C. & Kersten, T. (2005). *Topografische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System GS100 von Mensi*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005, T. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 224-231.
- Kersten, T., Büyüksalih, G., Baz, I. & Jacobsen, K. (2009). *Documentation of Istanbul Historic Peninsula by Kinematic Terrestrial Laser Scanning*. The Photogrammetric Record, 24(126): S. 122-138.
- Kersten, T., Böder, V. & Thies, T. (2011). *Integration eines terrestrischen Laserscanners in ein hydrographisches Multi-Sensor-System für die kinematische Datenerfassung über und unter Wasser*. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN), 10, S. 330-335.
- Kersten, T. (2016). *Auf Knopfdruck – Auswertung und Resultate UAV-gestützter Bildflugdaten*. UAV 2016 – Vermessung mit unbemannten Flugsystemen, Schriftenreihe des DVW, Band 82, Beiträge zum 148. DVW-Seminar am 18. und 19. Februar 2016 in Bonn, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 135-158.
- Lindstaedt, M., Kersten, T. & Nösler, D. (2015). *Von historischen Luftbildern der Royal Air Force bis zum 3D Laserscanning - Die Entdeckung einer vorgeschichtlichen Wallanlage bei Oersdorf im Landkreis Stade*. Tagungsband der Denkmäler3.de 2013 - Von low-cost bis high-tech: 3D-Dokumentation in Archäologie & Denkmalpflege, H.-J. Przybilla, T. Kersten, F. Boochs (Hrsg.), LWL Industriemuseum Zeche Zollern Dortmund, 16.-18. Oktober 2013, S. 25-29.
- Nex, F. & Remondino, F. (2014). *UAV for 3D mapping applications: a review*. Applied Geomatics, 6(1), S. 1-15.
- Przybilla, H.-J. & Wester-Ebbinghaus, W. (1979). *Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug*. Bildmessung und Luftbildwesen, 47, S. 137-142.
- Przybilla, H.-J., Reuber, C., Bäumker, M. & Gerke, M. (2015). *Untersuchungen zur Genauigkeitssteigerung von UAV-Bildflügen*. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 24, T. Kersten (Hrsg.), 35. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 16.-18. März 2015 an der Universität zu Köln, Tagungsband auf CD-ROM, S. 45-54.
- Segschneider, M. (2009). *Die Ringwälle auf den nordfriesischen Inseln*. Ringwälle und verwandte Strukturen des ersten Jahrtausends n. Chr. an Nord- und Ostsee, Internationales Symposium, Utersum auf Föhr, 29. September – 1. Oktober 2005, Schriften des Archäologischen Landesmuseums, Ergänzungsreihe, Band 5, Segschneider, M. (Hrsg.), Wachholtz Verlag, S. 99-111.

Kersten, Thomas; Lindstaedt, Maren; Mechelke, Klaus
HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning,
Email-Adresse [Thomas.Kersten, Maren.Lindstaedt, Klaus.Mechelke]@hcu-hamburg.de

Omelanowsky, Daniel
p3dsystems GmbH, Harburger Schloßstraße 30, 21079 Hamburg
Email-Adresse omelanowsky@p3dsystems.de

Prenting, Johannes
Aerophoto Hamburg, 22549 Hamburg
Email-Adresse info@aerophoto-hamburg.de