

Die automatisierte Auswertung von LiDAR-Daten in der Archäologie

M. FABIAN MEYER¹, INGO PFEFFER² & CARSTEN JÜRGENS¹

Zusammenfassung: Während die LiDAR-Technologie in den letzten Jahren einige Probleme der archäologischen Prospektion gelöst hat, steckt die systematische und effiziente Auswertung der LiDAR-Daten immer noch in den Anfängen.

In Kooperation mit der LWL-Archäologie für Westfalen wurde daher im Rahmen einer Masterarbeit am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum eine Möglichkeit gesucht, die großen LiDAR-Datenmengen effizient auszuwerten. Bei der entwickelten Methode kommt u.a. die Software eCognition zum Einsatz, die automatisch nach Bodendenkmälern sucht. Um die anschließende Interpretation zu erleichtern, sind die Verdachtsflächen danach sortiert, wie sehr sie ihrem jeweiligen Idealtyp entsprechen. Auf diese Weise können die interessantesten Flächen zuerst begutachtet und uninteressante zunächst vernachlässigt werden.

1 Einleitung – vom Luftbild zum DGM

Bodendenkmäler sind laut Denkmalschutzgesetz erhaltenswerte Zeugnisse der Kulturgeschichte. Daher ist es ein grundlegendes Interesse der Archäologie, sie zu schützen, zu erhalten und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Bei der dafür nötigen, flächendeckenden Erfassung spielt in einer ganzen Reihe von Prospektionsmethoden die Luftbildarchäologie seit langem eine wichtige Rolle. Sie ist durch die große Distanz zur Erdoberfläche in der Lage, sowohl einzelne Bodendenkmäler als auch vollständige (historische) Landschaften zu erfassen. Damit schafft sie die Grundlage für die wortwörtlich tiefergehende Prospektion, z.B. mittels Georadar oder schließlich einer Grabung.

Klassischen (Schräg-)Luftbildern sind dabei gewisse Grenzen gesetzt. So hat vor allem der Reifegrad der Vegetation entscheidenden Einfluss darauf, ob ein Bodendenkmal erkannt wird oder nicht. Auch andere Aspekte wie die Tages- und Jahreszeit sind entscheidend. Geht es schließlich an die Erkundung von Waldgebieten, stoßen Luftbilder ebenso wie Feldbegehungen noch schneller an ihre Grenzen und nur in Ausnahmefällen können während der vegetationslosen Zeit Strukturen am Waldboden fotografiert werden. Da Bodendenkmäler jedoch unter der relieferhaltenden Wirkung von Vegetation relativ gut erhalten bleiben und zudem seltener durch landwirtschaftliches Gerät überformt werden, sind gerade diese Bereiche von großem Interesse.

Dort hat die LiDAR-Technologie in den letzten 15 Jahren die Werkzeugpalette der archäologischen Prospektion ergänzt und einen Beitrag dazu geleistet, die Grenzen ein Stück weit ‚in den Wald hinein‘ zu verschieben, indem sie kaum von Vegetation beeinträchtigt wird und es ermöglicht, digitale Geländemodelle (DGM) auch von Waldgebieten zu erstellen. Zumindest

¹ Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut – AG Geomatik, Universitätsstraße 150 / Gebäude NA, 44780 Bochum, E-Mail: matthias.meyer@rub.de, carsten.juergens@rub.de

² LWL-Archäologie für Westfalen, Außenstelle Münster, An den Speichern 7, 48157 Münster, E-Mail: ingo.pfeffer@lwl.org

oberirdische Bodendenkmäler sind damit gut zu erfassen – also solche, die als Reliefanomalie im Gelände vorliegen.

Um die Sichtbarkeit selbst subtiler Strukturen zu verbessern, werden die Laserdaten in Form verschiedenster Visualisierungen für die manuelle Erfassung mit dem geschulten Auge aufbereitet, wobei der Schummerungsdarstellung eine zentrale Rolle zukommt (Abb. 1). Dieses Verfahren bestätigt das Anfang des Jahrtausends für LiDAR vorausgesagte Potential immer wieder eindrucksvoll, indem es selbst in alten Testgebieten neue Strukturen sichtbar macht.



Abb. 1: Landwehr in Dülmen in Luftbild und DGM; Quelle: Bezirksregierung Köln 2016 (Hrsg.): TIM-online. <http://www.tim-online.nrw.de>

2 Problemstellung – die manuelle Auswertung

Bei allem Erfolg leidet die Schummerungsdarstellung unter derselben Beleuchtungsproblematik wie Luftbilder, die Bodendenkmäler über Schattenwürfe preisgeben (Abb. 2). Deswegen wurden erfolgreich verschiedenste Visualisierungen entwickelt, die ohne eine simulierte Beleuchtungsquelle auskommen. Eine vergleichende Darstellung von Visualisierungen ist bei DONEUS (2013) zu finden. Am Ende stehen dennoch die manuelle Erfassung der Bodendenkmäler und eine Reihe von möglichen Fehlerquellen, angefangen von der Bildschirmdarstellung und -einstellung über das damit verbundene Übersehen von Verdachtsflächen bis hin zum großen Zeitaufwand. Letzteres wird einmal mehr deutlich, wenn man die enorme Zahl zu erwartender Verdachtsflächen berücksichtigt.

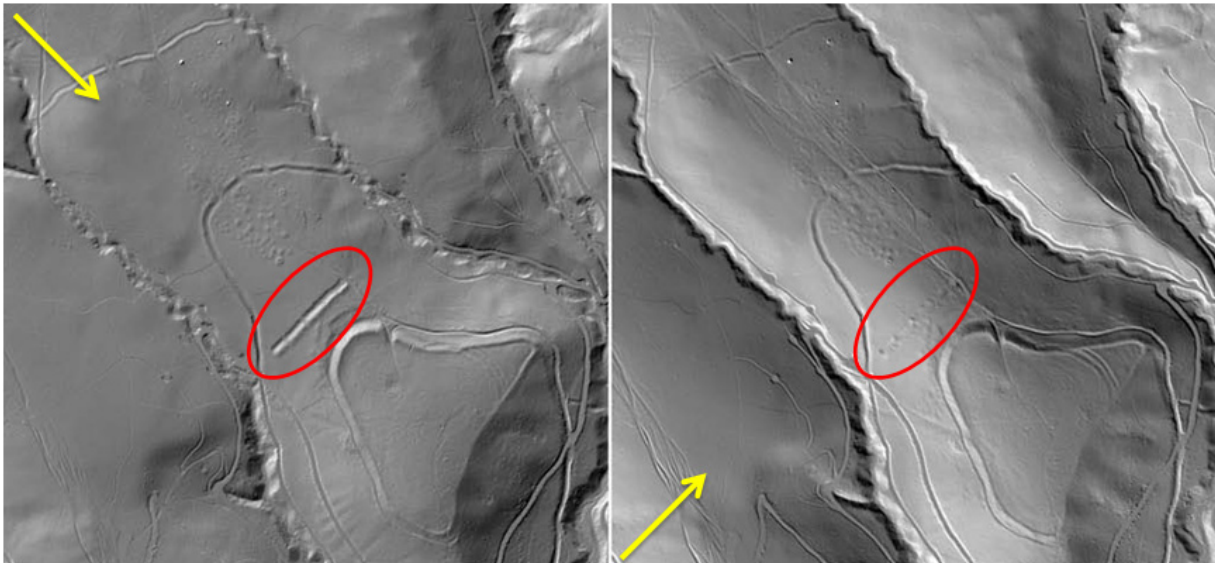


Abb. 2: Schattenproblematik beim schattierten Geländemodell als mögliche Fehlerquelle bei der manuellen Erfassung von Bodendenkmälern (DONEUS & BRIESE 2006: 103).

3 Methodik - Automatische Erfassung von Bodendenkmälern

Im Rahmen einer Masterarbeit am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum wurde in Kooperation mit der LWL-Archäologie eine Möglichkeit gesucht, die großen LiDAR-Datenmengen möglichst effizient auszuwerten und potentielle Bodendenkmäler weitestgehend automatisiert zu erfassen. Eine aktuelle Übersicht über ähnliche Projekte findet sich bei SEVARA et al. (2016). Die entwickelte Methode besteht aus drei Schritten, die jeweils vollautomatisch ablaufen. Die ersten beiden dienen der Datenvorbereitung und der dritte Schritt der eigentlichen Erfassung.

Als erstes entpackt eine *Batch*-Datei im Windows Explorer alle Archive mit den Rohdatensätzen, ändert die Dateierendungen und schreibt in jede Datei eine Kopfzeile mit Spaltenüberschriften. Dies funktioniert mit einer beliebigen Anzahl von Datensätzen, da mehrere Schleifen Verwendung finden und diese alle Dateien im gleichen Verzeichnis bearbeiten, die die Kriterien der jeweiligen Schleifen erfüllen (Abb. 3).

Dieser Schritt ist notwendig, damit das GIS-Tool die Koordinaten korrekt erkennt.

Als zweites berechnet ein eigens programmiertes *ArcGIS*-Tool die nötigen Geländemodelle und legt eine Ordnerhierarchie an, sodass die Daten (und später die Ergebnisse) nach den Untersuchungsgebieten sortiert vorliegen. Da sich Strukturen an Hängen mit *eCognition* nur sehr begrenzt in einem herkömmlichen DGM erfassen lassen, wird auf die *Difference Map* zurückgegriffen (HESSE 2010). Diese Visualisierung entsteht durch ein *Trend Removal*-Verfahren, das kleinräumige Erhebungen und Vertiefungen hervorhebt, indem es das Makrorelief aus dem DGM eliminiert und nur das Mikrorelief übriglässt. Zunächst wird das vorhandene DGM mit

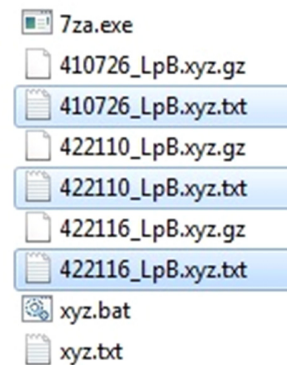


Abb. 3: Ergebnis der Batch-Datei (eigene Darstellung)

einem Tiefpassfilter geglättet, um es dann wieder vom originalen DGM zu subtrahieren. Die Differenz der beiden DGM wird dann visualisiert, wobei die Werte um null mäandrieren und die Amplitude von der Stärke des Tiefpassfilters abhängt (Abb. 4). Zu beachten ist, dass durch das Glätten v.a. an Geländekanten Pseudostrukturen entstehen, die die Klassifikation positiv und negativ beeinflussen können.

Im dritten Schritt findet schließlich die eigentliche Erfassung statt. *eCognition* arbeitet mit dem Konzept der objektorientierten Klassifikation (s.u.). Es bedient sich dabei der berechneten *Difference Map* und greift in Einzelfällen auf das herkömmliche DGM zurück. Am Ende der Erfassung liegen GIS-kompatible Verdachtsflächen vor, die der Interpretation bedürfen. Um diese zu erleichtern und zu beschleunigen, sind die Verdachtsflächen danach sortiert, wie sehr sie ihrem jeweiligen Idealtyp entsprechen. Auf diese Weise können die interessantesten Flächen zuerst begutachtet und uninteressante zunächst vernachlässigt werden. Der Workflow ist in Form eines *rulesets* gespeichert, das sich in neuen Gebieten mit wenig Aufwand anwenden lässt (Abb. 5). Somit entfällt das zeitaufwendige Erstellen der Prozesse, was schnelle Analysen neuer Gebiete ermöglicht.

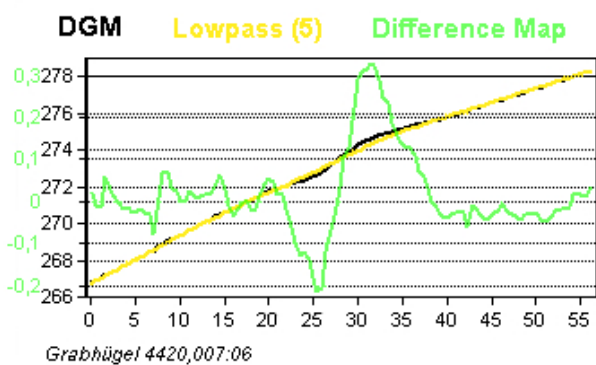


Abb. 4: Profil eines Grabhügels in DGM, geglättetem DGM und Difference Map (eigene Darstellung)

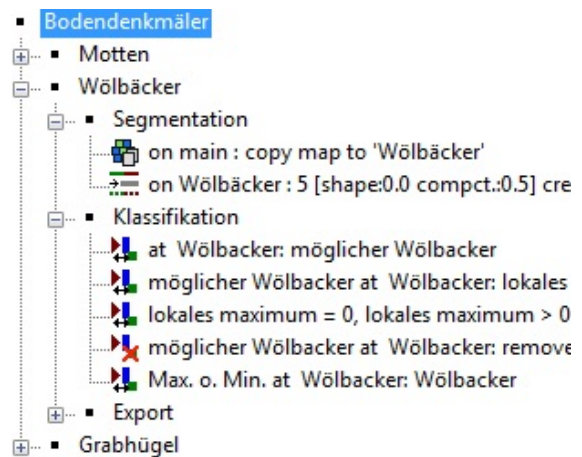


Abb. 5: *Ruleset* zur Suche nach Wölbäckern (eigene Darstellung)

Bei der objektorientierten Klassifikation werden nicht einzelne Pixel klassifiziert, sondern homogene Bildbereiche (Objekte), die im initialen Schritt der Segmentation erzeugt werden und in diesem Fall den zu suchenden Bodendenkmälern entsprechen. Für die Objekte lassen sich verschiedenste Eigenschaften wie Form, Größe oder der durchschnittliche Pixelwert berechnen. Außerdem stehen die Objekte zueinander in Beziehung, sodass auch Nachbarschaften berücksichtigt werden. Mit denselben Eigenschaften und Nachbarschaftsbeziehungen werden Klassen definiert, die die verschiedenen Bodendenkmäler beschreiben. „Kleine, runde Objekte, die ausschließlich von niedrigeren Objekten umgeben sind“ repräsentieren beispielsweise Grabhügel. „Große, runde Objekte, die von einem Graben umgeben sind“ beschreiben hingegen die Turmhügel von Mottenanlagen - als Motten werden bestimmte Burgentypen bezeichnet, die

im Wesentlichen aus einem Turmhügel und einem umlaufenden Graben bestehen - und „lange, schmale, runde Objekte, die von höheren Bereichen umgeben sind und neben einem Turmhügel liegen“ die dazugehörigen Gräben. Passen die Eigenschaften eines Objektes zu denen einer Klasse, wird es ihr zugewiesen.

4 Ergebnisse

Das beschriebene Verfahren wurde anhand von Motten, Grabhügeln und Wölbäckern in Testgebieten in Nordwest- und Ostwestfalen entwickelt. Wölbäcker sind Überreste historischer Ackerfluren, die heute in Scharen parallel verlaufener Wölbungen erhalten sind. Zur Beurteilung der Qualität wurden Referenzdaten verwendet, wobei Treffer, die in diesen nicht vorhanden waren, als „falsche Treffer“ bezeichnet wurden – in Einzelfällen handelte es sich allerdings auch um bisher nicht gefundene Bodendenkmäler. Die Ergebnisse zeigen schließlich, dass alle drei Bodendenkmaltypen grundsätzlich erfassbar und Trefferquoten von 90-100%, je nach Testgebiet und Klasse, möglich sind.

Bei den Motten werden erfolgreich verschiedene Erhaltungszustände abgedeckt (Abb. 6). Der einzige falsche Treffer ist auf die verwendeten Parameter und/oder auf die *Difference Map* zurückzuführen und sieht außerdem einer Motte recht ähnlich. Durch die Verwendung der *Difference Map* treten darüber hinaus kleinere Probleme bei der Erfassung der Turmhügel auf, die durch die Ergänzung des herkömmlichen DGM umgangen werden.



Abb. 6: Verschiedene Erhaltungszustände von Motten, die mit dem Verfahren gefunden werden können; eigene Darstellung

Die Grabhügel geben ein sehr diffuses Bild ab. Es zeigte sich, dass hier die Erfassungsgenauigkeit stark von mehreren Faktoren abhängt. Erstens ist dies der Erhaltungszustand – deformierte oder stark erodierte Grabhügel fallen trotz guter Segmentation in weniger idealtypische Klassen. Zweitens sind auch die Segmentation und die Klassifikation mögliche Fehlerquellen, da die Einstellungen zu nicht erkannten und unpassend klassifizierten Verdachtsflächen führen können. Nicht zuletzt ist auch auf die Nachteile der *Difference Map* zu verweisen. Trotz aller Schwierigkeiten wurden bisher unbekannte Grabhügel gefunden und in manchen Gebieten sehr gute Trefferquoten erzielt. (Abb. 7).

Bei den Wölbäckern ist das Ergebnis besser als erwartet. Gerade in flachem Gelände zeigt sich, dass die Klassifikation sehr gut funktioniert (Abb. 8). Es ist dabei fraglich, inwieweit falsche Treffer durch Anpassungen des *rulesets* vermieden werden können, da sie Wölbäckern sehr ähnlich sehen. An Hängen mit hangparallelen Wegen zeigen sich Probleme, da beim Entfernen des Makroreliefs Strukturen entstehen, die in der *Difference Map* Wölbäckern sehr ähnlich sehen – die Verwendung des herkömmlichen DGM kommt im Gegensatz zu den Motten allerdings nicht in Frage. Die Qualität der Klassifikation hängt also von mehreren Faktoren ab, insbesondere dem Erosionsgrad der Strukturen, der Überprägung des Testgebietes durch den Menschen, den Klassifikationseinstellungen in *eCognition* und schließlich auch der Datenqualität.

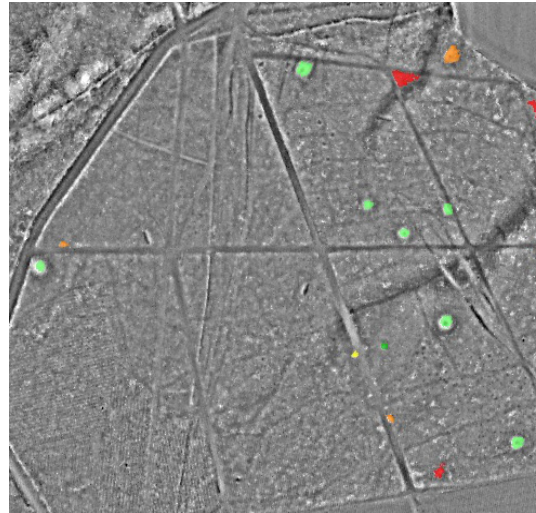


Abb. 7: Ausschnitt eines Testgebietes in Flaesheim nach abgeschlossener Klassifikation. In Grün die idealtypischen Verdachtsflächen, die für eine Interpretation am interessantesten sind (eigene Darstellung)

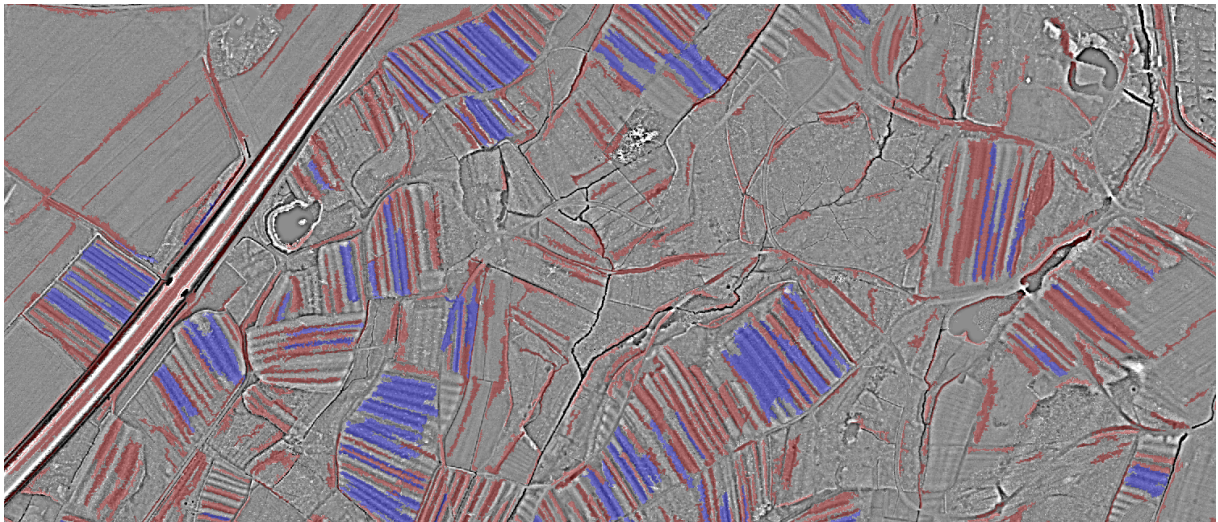


Abb. 8: Klassifikationsergebnis im Wildpark Dülmen. In Blau die erfassten Wölbackerstrukturen. In Rot weitere Strukturen, die zur Klassifikation der blauen Flächen benötigt werden, für die Interpretation aber nicht von großer Bedeutung sind (eigene Darstellung)

5 Ausblick

Bisher konnte lediglich ein erster Eindruck der Möglichkeiten des Verfahrens erlangt werden. Zukünftig könnte daher einerseits die Qualität der Klassifikation und andererseits der Grad der Automation erhöht werden, was die Methode für größere Untersuchungsgebiete interessant machte.

Die Klassifikation ist stark von der Datenqualität abhängig. Bisher wurden LiDAR-Daten aus den Jahren 2008-2010 verwendet. Inzwischen stehen jedoch neuere und genauere Daten zu Verfügung, die derzeit auf ihre Eignung geprüft werden.

Vor diesem Hintergrund ist die Frage interessant, wie gut sich weitere Daten in die automatisierte Suche integrieren lassen. Interessant sind hier z.B. Satelliten- und Luftbilder im sichtbaren und nicht sichtbaren Bereich, Thermalbilder, Bodenfeuchte-Daten sowie NDVI-Klassifikationen. Möglicherweise lassen sich so Bodendenkmäler von natürlichen Strukturen unterscheiden, die im LiDAR-Scan identisch aussehen.

Der größte Qualitätsgewinn würde in der Datenvorbereitung im GIS erreicht werden, indem Flächen aus den Daten entfernt würden, die keine Bodendenkmäler mehr enthalten können – Siedlungs-, Verkehrs- und Abbaufächen kommen hier beispielsweise in Frage. Dies würde viele definitiv falsche Treffer bereits im Vorhinein vermeiden.

Da in allen Untersuchungsgebieten mehr oder weniger negative Einflüsse der verwendeten Visualisierungen beobachtet wurden, könnte die Verwendung anderer, aufwendigerer Visualisierungen die Ergebnisse zukünftig verbessern. Hier ist erstens das *Local Relief Model*, einer Weiterentwicklung der *Difference Map*, interessant, da es z.B. die Probleme bei der Erfassung von Turmhügeln lösen sollte. Außerdem könnte sich der *Sky-View Factor* als nützlich erweisen, da sich diese Visualisierung für Hänge eignet.

Auf Seiten von *eCognition* könnten die Trefferquoten mit strengeren, feineren und neuen Klassenbeschreibungen verbessert und verschiedene Erhaltungszustände durch mehrere, unabhängige Segmentationen abgedeckt werden. Neben den bisherigen Ansätzen gibt es noch weitere Möglichkeiten, Bodendenkmäler abzugrenzen, die bisher nicht behandelt werden konnten. Für eine Anwendung der ausgearbeiteten Methode in größerem Rahmen ist die Nutzung der Stapelverarbeitungsmodi von *ArcGIS* und *eCognition* vielversprechend und erforderlich, da so mehrere Datensätze auf einmal bearbeitet werden könnten. Dies wäre ein weiterer, großer Schritt hin zur vollständigen Automation.

6 Literaturverzeichnis

- DONEUS, M., 2013: Openness as Visualization Technique for Interpretative Mapping of Airborne Lidar Derived Digital Terrain Models. *Remote Sensing* **5**(12), 6427-6442.
- DONEUS, M. & BRIESE, C., 2006: Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance. From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. Proceedings of the 2nd International Workshop, CNR, Rome, Italy, December 4-7, 2006, CAMPANA, S. & FORTE, M. (Hrsg.), Oxford, 99-105.
- HESSE, R., 2010: LiDAR-derived Local Relief Models – a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection* **17**, 62-72.
- SEVARA, C., PREGESBAUER, M., DONEUS, M., VERHOEVEN, G. & TRINKS, I., 2016: Pixel versus object – A comparison of strategies for the semi-automated mapping of archaeological features using airborne laser scanning data. *Journal of Archaeological Science: Reports* **5**, 485-498.