

5

K öln
u nd
B onner
A rchaeologica



2015

K öln

u nd

B onn

A rchaeologica

KuBA 5/2015

Kölner und Bonner Archaeologica
KuBA 5/2015

Herausgeber

Martin Bentz – Dietrich Boschung – Eckhard Deschler-Erb –
Michael Heinzelmann – Frank Rumscheid – Eleftheria Paliou

Redaktion, Satz und Gestaltung

Jan Marius Müller

Umschlaggestaltung

Jan Marius Müller

Fotonachweis Umschlag

Manuela Broisch (Arbeitsgruppe Geophysikalische Prospektion, Universität zu Köln)

Alle Rechte sind dem Archäologischen Institut der Universität zu Köln und der
Abteilung für Klassische Archäologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
vorbehalten. Wiedergaben nur mit ausdrücklicher Genehmigung.

Hinweise für Autoren sind unter <http://www.kuba.uni-bonn.de/de/autoren> einsehbar.

Durch die Vermittlung des Fördervereins Akademisches Kunstmuseum Bonn e. V. wurde die Hälfte der
Druckkosten freundlicherweise von der HypZert GmbH und der Sparkasse KölnBonn getragen.

HypZert

 Sparkasse
KölnBonn

INHALT

Beiträge

AXEL MISS, Handwerkliche Produktionsstätten in westphönizisch-punischen Kontexten	5
JON ALBERS, Zur Rekonstruktion des Heiligtums für Hercules Musarum am flaminischen Circus in Rom	39
MICHELLE ROSSA – ALFRED SCHÄFER – DANIEL STEINIGER, Überlegungen zur Datierung des römischen Zentralheiligtums der CCAA	65

Projektberichte

DAPHNI DOEPNER, Weihgeschenke am Apollon-Tempel in Syrakus: ein Vorbericht	79
MICHAEL HEINZELMANN – BELISA MUKA, Vorbericht zur fünften Grabungskampagne 2015 in Dimal (Illyrien)	91
MAURO RUBINI – PAOLA ZAIO, A Paleoanthropological and Paleopathological Approach to the Dimal Population (3rd–2nd Century BCE, Albania)	107
MICHAEL HEINZELMANN – TALİ ERICKSON-GINI, Elusa – eine nabatäische Metropole im nördlichen Negev. Vorbericht zu den Kampagnen 2015 und 2016	111
NATALIE PICKARTZ – BÜLENT TEZKAN – MICHAEL HEINZELMANN, Geophysikalische Multimethodenprospektion des archäologischen Fundorts Elusa (Israel). Vorbericht zu den Kampagnen 2015 und 2016	137
MANUEL FLECKER – JOHANNES LIPPS – MANUELA BROISCH, Geophysikalische Untersuchungen im sog. <i>comitium</i> am Forum von Pompeji	153
DORU BOGDAN – CONSTANZE HÖPKEN – MANUEL FIEDLER, Kult in offenem Raum? Untersuchungen in einem Heiligtumsbezirk in Apulum (Alba Iulia, Rumänien) 2013–2014	167

Aus den Sammlungen

DYFRI WILLIAMS, A Special Dedication to Aphrodite and some Thoughts on the Early Years of the Greek	177
FRANK RUMSCHEID, Randfiguren aus Hyrtakina im Akademischen Kunstmuseum Bonn: Terrakotta-Reliefs als Reifaufsätze aus einem kretischen Demeter-Heiligtum	199
ERIKA ZWIERLEIN-DIEHL, Stiftung der bedeutenden Gemmen-Sammlung Klaus J. Müller für die Universität Bonn	235

CONSTANZE HÖPKEN, Mimosops: ägyptische Heilpflanze und römisches Glas	251
---	-----

ArchäoInformatik

DAPHNI DOEPNER – JULIA SCHULZ – ANNIKA SKOLIK, Terrakottafiguren aus Medma (Rosarno) und ihre digitale Präsentation in ARACHNE	259
--	-----

CHRISTOPH STOLLWERK – CHRISTIAN A. SCHÖNE – VINCENT KANNENGIESSER – ARNE SCHRÖDER, Erheben, Erstellen und Aufbereiten eines Geländemodells in Elusa (Israel)	269
--	-----

FELICIA MEYNERSEN – MARCEL RIEDEL, <i>Für die Zukunft sichern</i> . Im ‚Syrian Heritage Archive Project‘ (SHAP) des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI) und des Museums für Islamische Kunst der Staatlichen Museen zu Berlin (MIK) wird ein digitales Kulturgüterregister für Syrien erstellt	277
--	-----

DAVID NEUGEBAUER – ULRICH STOCKINGER, Vom Produktionsabfall zur Produktivversion. Zum Aufbau einer interaktiven Onlinedatenbank zu Werkstätten in ARACHNE	285
---	-----

SHABNAM MOSHFEGH NIA – MARINA UNGER, Die Antike in Zeichnung, Plan und Bauaufnahme: Primäre Dokumentationsmaterialien des 19. und 20. Jahrhunderts im Deutschen Archäologischen Institut Rom. Ein Digitalisierungsprojekt zur Erhaltung von Archivbeständen	291
---	-----

Erheben, Erstellen und Aufbereiten eines Geländemodells in Elusa (Israel)

CHRISTOPH STOLLWERK – CHRISTIAN A. SCHÖNE – VINCENT KANNENGIESSER – ARNE SCHRÖDER

As part of a cooperation between the chairs of Computer Science and Archaeology at the University of Cologne a 3D surface-reconstruction of the antique settlement Elusa was created. The preliminary result is presented in this article. The data was gathered in spring 2015 via kite aerial photography. Several commercial and free Structure from Motion (SfM) software solutions were evaluated. The resulting 3D digital terrain model was disciplinary worked up. The article presents chances, drawbacks and discusses other methods in comparison.

Im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Informatik und dem Archäologischen Institut der Universität zu Köln ist ein Vorhaben umgesetzt worden, bei dem aus einer großen Menge Luftbildaufnahmen, die in Elusa, dem heutigen El-Khalasa in Israel, aufgenommen wurden, eine Visualisierung entstanden ist.

Die Fundstelle Elusa wird geprägt vom Zusammenfluss der beiden Wadis Nahal Atadim und Nahal Besor. Hierdurch ergibt sich ein annähernd rechteckiges, von drei Seiten durch die Wadis umfasstes Areal. Bereits bei ersten Begehungen

im Frühjahr 2013 wurde klar, dass die Oberfläche noch zahlreiche Hinweise auf die urbanen Strukturen der antiken Stadt geben, wie beispielsweise langgezogene Depressionen, die auf alte Straßenzüge hindeuten, oder zweifelsfrei als eingestürzt erkennbare Häuser in Form von Erhebungen. Vom Boden aus kann das Gelände jedoch nur in unzureichendem Maße begriffen werden. Im Zuge der Forschungskampagne im Frühjahr 2015 wurde begonnen, das Areal als digitales Geländemodell zu erfassen, das die nötige Übersicht ermöglichen soll (**Abb. 1**).



Abb. 1: Elusa, Luftbild. Schraffiert ist die mit KAP erfasste Fläche dargestellt.

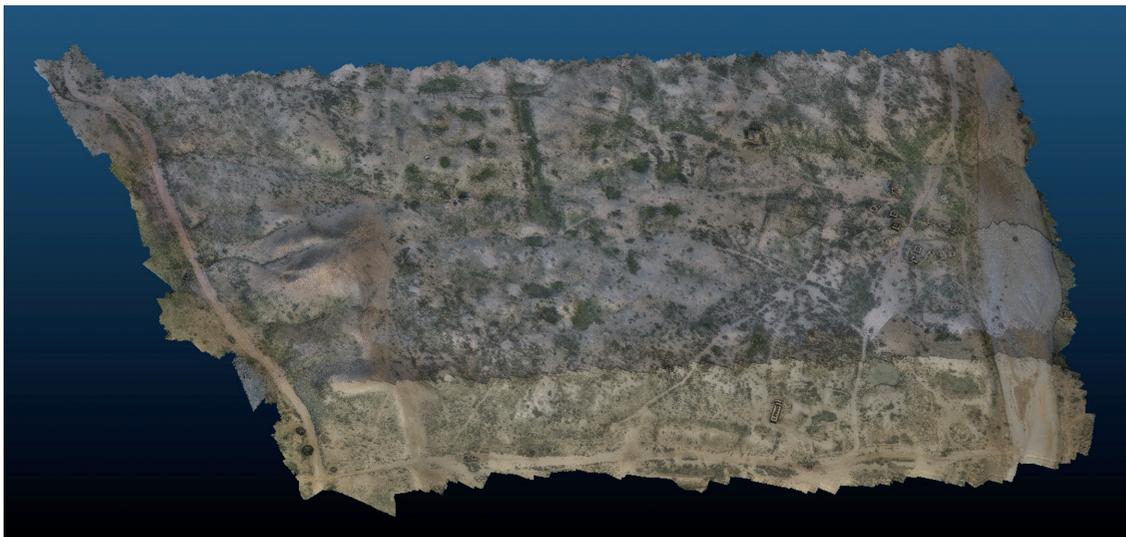


Abb. 2: Elusa, digitale 3D-Rekonstruktion des Zielgebietes, die mittels Aerofotogrammetrie erstellt wurde.

Das eingesetzte Verfahren

Hierbei wurde Structure from Motion (kurz: SfM) eingesetzt, bei der aus Reihen von Digitalfotos dreidimensionale Information errechnet werden kann. Die Bilder entstanden mithilfe zweier Kameras (Canon G15 und Canon G16), die an einer Picavet-Aufhängung unter einem 5 m² großen KAP-Drachen¹ befestigt und mit diesem auf ca. 80 m Höhe gebracht wurden. Hiermit wurde die Fläche in 25 m Abständen systematisch von Nordwest nach Südost begangen. Die hierdurch entstandenen Bilderserien umfassen hochgradig überlappende Bilder, die insgesamt ca. 38 Hektar und damit über 40 % des zentralen Siedlungsareals abdecken².

Mit der Berechnung der Daten wurde als erster Zwischenstand eine Visualisierung in Form eines 3D-Modells angestrebt, welches über das oben beschriebene Verfahren der Aerofotogrammetrie in ein topografisches Höhenmodell einer 3D-Punktwolke überführt wurde. Bei einer ersten Sichtung der Punktwolken wurde die Notwendigkeit weiterer Verarbeitungsschritte klar (Abb. 2).

Neben der fotogrammetrischen Verarbeitung der Rohdaten zu einer Punktwolke (SfM), bei der die geometrischen Information des Geländes rekonstruiert werden, war auch die Aufbereitung des Geländemodells für die Archäologie eine zweite wichtige Anforderung. Zusätzlich wurde

deutlich, dass eine automatisierte Verarbeitung der Luftbildaufnahmen von großem Vorteil wäre. Archäologen, die Prospektionsergebnisse ihrer Forschungsprojekte verarbeiten und mit zusätzlichen Information (z. B. via Daten aus geophysikalischer Prospektion oder Metadaten) erweitern können, werden in die Lage versetzt, eine Visualisierung zu produzieren, die neben der reinen Geometrie des Geländes, auch Einblicke ermöglicht, die unter der Oberfläche Befindliches und zusätzlich Bekanntes darstellt.

Die beiden Kameras produzierten etwa 10.000 Bilder, die zusammen ca. 40 GB Speicherplatz benötigen. Kern des Vorhabens war es, mittels einer Vielzahl von Luftbildaufnahmen ein Geländemodell zu produzieren, das zur Planung archäologischer Vorhaben genutzt werden kann. Die größten Herausforderungen bestanden erstens darin, die große Menge von Bilddaten in überschaubarer Zeit zu berechnen, sodass ein starker Computer ausreicht, um im Tagesbereich zu einem Ergebnis zu kommen und zweitens eine topografische Darstellung zu erzeugen, die fachwissenschaftliche Rückschlüsse zulässt (Abb. 3).

1 KAP = Kite Aerial Photography.

2 Dies entspricht ungefähr 48 Mal der überbauten Fläche des Kölner Doms.

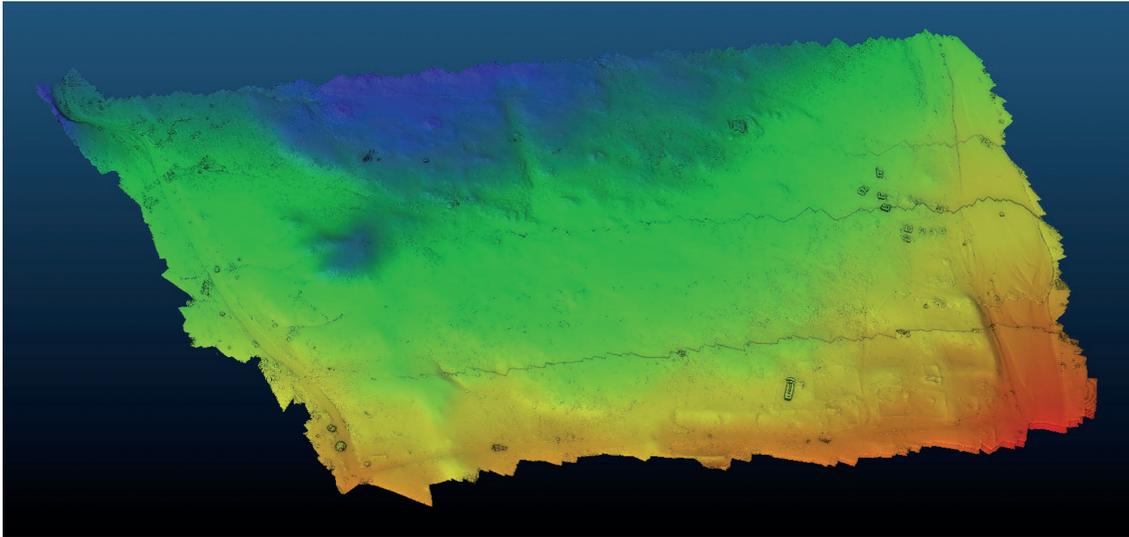


Abb. 3: Elusa, 3D-Rekonstruktion des Zielgebiets als Visualisierung in Form einer eingefärbten Höhenkarte.

Dazu wurden verschiedene Software-Lösungen evaluiert, die sowohl aus dem kommerziellen Umfeld, als auch aus frei verfügbaren Quellen stammen. Die angewandten SfM-Lösungen waren: aspect 3D³, Agisofts PhotoScan⁴, openMVG⁵, VisualSFM (via commandline)⁶ und 3DF ZEPHYR von 3Dflow⁷. Dabei haben sich enorme Unterschiede hinsichtlich der Kriterien wie Qualität der Ergebnisse, Verarbeitungszeit, Anwendbarkeit und Ausgabeformat ergeben.

Die erhobenen Daten wurden auf sieben Luftbildserien aufgeteilt, die mittels eines SfM-Verfahrens in ein 3D-Geländemodell umgewandelt wurden. Dabei sind verschiedene erschwerende Umstände berücksichtigt worden: Die Nutzung unterschiedlicher Kamera-Modelle stellt eine Herausforderung für jede der genannten Software-Lösungen dar, denn zwei der sieben Luftbildserien sind mit einem älteren Modell desselben Kamertyps erstellt worden. Außerdem hat sich herausgestellt, dass die Beleuchtungsverhältnisse deutliche Auswirkungen auf das Ergebnis haben. So sind Farbsprünge, die sich in der Punktwolke oder

der Textur des 3D-Modells abzeichnen, auf unterschiedliche Tageszeiten bei der Datenerhebung zurückzuführen.

Der Fokus dieses Vorhabens lag auf der Produktion eines ersten nutzbaren Ergebnisses. Gleichwohl sind neben dem SfM-Verfahren auch weitere Methoden zu nennen, mit denen man ein terrestrisches Geländemodell erzeugen und die dafür notwendigen Daten erheben kann. Im Folgenden wird daher auf die Wahl der Software eingegangen und auf Methoden, mit denen man vergleichbare Ergebnisse erzielt.

Datenerhebungsverfahren im Vergleich

Die Wahl eines Datenerhebungsverfahrens hängt von diversen Faktoren ab: Zum einen von der verfügbaren Zeit, die Daten aufzuzeichnen und zum anderen dem verfügbaren Budget, das bei kleineren Vorhaben oder Voruntersuchungen in der Regel gering ausfällt. Neben den Faktoren Zeit und Geld ist auch häufig ein organisatorischer Aspekt relevant, bei dem es um das zu transportierende Equipment geht. Die Tatsache, dass Elusa in weni-

3 <<http://aspect.arctron.de>> (03.02.2016).

4 <<http://www.agisoft.com>> (03.02.2016).

5 <<http://imagine.enpc.fr/~moulonp/openMVG>> (03.02.2016).

6 <<http://ccwu.me/vsfm>> (03.02.2016).

7 <<http://www.3dflow.net/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/>> (03.02.2016).

ger als 50 km vom sogenannten Gaza-Streifen entfernt liegt und teilweise militärisches Sperrgebiet ist, legt nahe, dass dort keinerlei UAV's (Drohnen/Quadrocopter) eingesetzt werden konnten. Daher wurde auf einen KAP-Drachen zurückgegriffen, an dem eine Fotokamera befestigt wurde.

Neben dem hier genutzten Verfahren der Aerofotogrammetrie existieren alternative Verfahren, die nicht auf der Basis von Bildern per Fotogrammetrie ein 3D-Modell berechnen, sondern direkt mit Lasertechnik funktionieren. Hier sind vornehmlich die beiden Verfahren terrestrische Laserscans (TLS) und Airborne Laserscans (ALS; z. B. von LiDAR oder per UAV's) zu nennen. Beide Verfahren sind zwar präziser, aber in Hinsicht auf die Faktoren Zeit, Geld und Organisation auch aufwändiger⁸.

Bei terrestrischen Laserscans wird üblicherweise die Entfernung mit einem Laserstrahl von einem Standpunkt aus zu einem einzelnen Zielpunkt ermittelt. Dies wird mittels eines zugrundegelegten Rasters wiederholt, sodass zum Schluss eine sehr umfangreiche Punktwolke vorliegt, die eine hohe Auflösung vorweist⁹. Nachteile, die bei dem hier vorliegenden Anwendungsfall auftraten, sind neben den hohen Anschaffungskosten für einen Laserscanner, auch die Bedienung des Geräts, die ohne geschulte Mitarbeiter nicht ohne weiteres möglich ist. Auch das geringe Gebiet (Sichtfenster des Scanners), das durch einen Laserscan abgedeckt wird (38 ha würden sehr viele Standortwechsel mit einem Laserscanner erfordern) ist relevant. Die einzelnen Scans müssten im Anschluss, je nach Auflösung und Raster, rechenintensiv wieder in einer ‚Punktwolke-zu-Punktwolke Registrierung‘ vereint werden. Eine schnell nutzbare Übersicht des Geländes, wie sie im hier beschriebenen Anwendungsfall notwendig ist, wäre auf diese Weise nicht möglich. Das hohe Datenaufkommen macht eine lokale Prozessierung auf einem Laptop äußerst schwierig, wenn nicht sogar unmöglich. Der Vorteil eines Laserscanners würde demnach eindeutig in der höheren Präzision liegen, die aller-

dings – je nach Anwendungsfall – nicht immer benötigt wird. Aus dem gleichen Grund wird auch das Verfahren der luftgestützten Laserscans (ALS) im Folgenden nur kurz angesprochen.

Ähnlich wie bei terrestrischen Laserscannern entstehen beim ALS extrem präzise Aufnahmen des Geländes, die zwar einfach ein größeres Gebiet abdecken können, aber gleichzeitig auch sehr teuer werden und eine größere Vorlaufzeit benötigen. Wenn man nicht die finanziellen Ressourcen eines größeren Forschungsprojektes hat, wie z. B. ArcLand¹⁰, ist es kaum möglich, LiDAR-Scandaten zu produzieren¹¹. Neben dem finanziellen Aspekt weist LiDAR technische Nachteile bei stark reflektierenden Oberflächen, Wasser, starkem Umgebungslicht, sowie absorbierenden Oberflächen auf. Auch Bewegungen von Personen oder Fahrzeugen innerhalb des Zielgebietes sowie Regen oder Feuchtigkeit sind hier zu erwähnen, wobei diese beiden Effekte bei allen Verfahren zu Problemen führen. Bevor nun die Vorteile von aus LiDAR stammenden Daten angesprochen werden, soll eine kurze Darstellung den Umfang und Verfahrensweg von LiDAR/ALS erklären. Bei „Light Detection and Ranging“ (LiDAR) werden Laserstrahlen aus einem Flugzeug, das mehrfach das Zielgebiet überquert, zum Boden geschickt und deren Reflexionen wieder empfangen. Dabei werden Höhenunterschiede mit sehr großer Präzision erfasst. Außerdem kann Vegetation zum Teil ‚herausgerechnet‘ werden. Die beschriebenen Leistungen werden derzeit vor allem von Fachfirmen erbracht, was eine gewisse Planung und Vorlaufzeit erfordert. Dabei ist die Präzision bei großen Flächen äußerst beeindruckend (~5 cm vertikale & ~30 cm horizontale). Im Laufe der Entwicklung von LiDAR, wurden automatisierte Verarbeitungsschritte zur Datenaufbereitung entwickelt, die typischerweise keine weiteren Fachkenntnisse des nutzenden Wissenschaftlers benötigen. Die Verarbeitungs- und Aufnahmeschritte sind hocheffizient und damit wesentlich schneller im Vergleich zur TLS oder Aerofotogrammetrie, wenn die Größe

8 Pfeifer – Brise 2007.

9 Lerma u.a. 2010.

10 <<http://www.arcland.eu>> (03.02.2016).

11 Johansen – Phinn – Witte 2010.

der aufgenommenen Fläche in Bezug zur benötigten Zeit gesetzt wird. Doch bleibt ein maßgeblicher Faktor, dass hier eine Art ‚Auftragsarbeit‘ erstellt wird.

Dementsprechend bietet das hier angewandte Verfahren den SfM Vorteil, dass es tendenziell jeder Wissenschaftler handhaben kann. Eine einfache Konzeption des Aufnahmegepärs soll sicherstellen, dass einerseits keine teuren Gerätschaften gekauft werden müssen und andererseits, dass ein Ergebnis unmittelbar nach der Aufnahme der Bilddaten vorliegt, da der Wissenschaftler selbst überprüfen kann, ob die aufgenommenen Fotos augenscheinlich in Ordnung sind. Zudem ist die Flexibilität der hier vorgeschlagenen Lösung hoch: So können die Gerätschaften leicht mitgeführt und kurzfristig verwendet werden, dabei kann zweckorientiert auf Faktoren wie z. B. gewünschte Präzision oder der verfügbaren Zeit für das jeweilige Vorhaben gezielt eingegangen werden. Zudem kann die Ausrüstung darüber hinaus auch zu anderen Zwecken, beispielsweise zur Grabungsdokumentation verwendet werden. Die Flexibilität und einfache Nutzbarkeit sind ebenfalls wichtige Faktoren für die Wahl der hier primär genutzten Softwarekomponenten, die im Folgenden besprochen werden.

Evaluierung der Software-Lösungen

Wie oben erwähnt, sind verschiedene Software-Lösungen aus dem kommerziellen und dem frei verfügbaren Bereich in ihrer Anwendbarkeit auf den vorliegenden Anwendungsfall überprüft worden. Um die Qualität der Ergebnisse und Ausgabeformate der Software besser abschätzen zu können, sind einerseits kleinere Ausschnitte mit der Software berechnet worden und auf der anderen Seite die Berechnung des gesamten Datensatzes (~10.000 Bilder in ~40GB) innerhalb der Software initiiert worden. Als Testsysteme standen mehrere Dell Rechner vom Typ Precision-r7610 zur Verfügung, die jeweils mit 192GB oder 265GB RAM, eine NVIDIA Quadro K6000 und zwei Intel Xeon CPU's vom Typ E5-2637 v2 mit 3.50GHz und 16 Kernen ausgestattet sind. Dabei hat sich bereits gezeigt, dass die Software aspect 3D nicht mit der gesamten Datenmenge zurechtkommt. Die Software Photoscan von Agisoft hat an dieser Stelle

zwar keine hohe Verarbeitungszeit vorgewiesen, war aber prinzipiell in der Lage, die bereitgestellten Ressourcen auszunutzen und die Daten komplett zu berechnen. Mit einer einzelnen Instanz lag die Berechnungszeit im Bereich von mehreren Wochen.

Alle kommerziellen Lösungen haben durch gute Benutzerführung überzeugen können. Im Bereich der Open-Source Lösungen ist man dagegen ausschließlich auf die Kommandozeile, im Fall von VisualSfM, und auf eine Software-Bibliothek, im Fall von OpenMVG, angewiesen. Die Open-Source Produkte wurden zwar als sehr relevant eingestuft, konnten aber aufgrund ihrer komplexeren Handhabung vorerst nicht weiter berücksichtigt werden, da zunächst ein einfach reproduzierbares Endergebnis in möglichst hoher Qualität das Ziel war. Aus diesem Grund ist im Rahmen dieses Zwischenstands die Wahl auf die Verwendung der Software Photoscan von Agisoft gefallen.

Bewertung und Optimierung des Verfahrens

Das hier vorgestellte Verfahren hat gezeigt, dass die ursprünglich formulierten Ziele erreicht werden konnten, wobei in diverser Hinsicht Optimierungsbedarf besteht. Dies gilt sowohl bei der Software-Bereitstellung und -Anwendung als auch bei der Datenerfassung. Bei der Datenerfassung wurde deutlich, dass die Schwierigkeiten bei der gewählten Herangehensweise in der nächsten Forschungskampagne minimiert werden können. Die Picavet-Aufhängung des KAP-Drachens wurde hierzu mechanisch verbessert, außerdem durch einen zweiten, größeren Drachen der Toleranzbereich bei variierenden Wetterlagen (insbesondere bei niedrigen Windgeschwindigkeiten) vergrößert und zudem Maßnahmen zur erleichterten Bedienung umgesetzt. Außerdem soll stärker auf weitere Faktoren (z. B. gleichbleibende Beleuchtung) geachtet werden, um die Qualität der Rohdaten zu steigern und so die nötige Nachbearbeitungszeit zu reduzieren. Die Präzision der GPS-gestützten Georeferenzierung soll durch Marker verbessert werden. Ein erster Ansatz, bereits vorhandene Referenzpunkte zu verwenden, hat sich in der Vergangenheit als unzureichend herausgestellt.

Im Kontext der SfM und den daraus resultieren Modelldaten/Punktwolken sind sowohl vor als

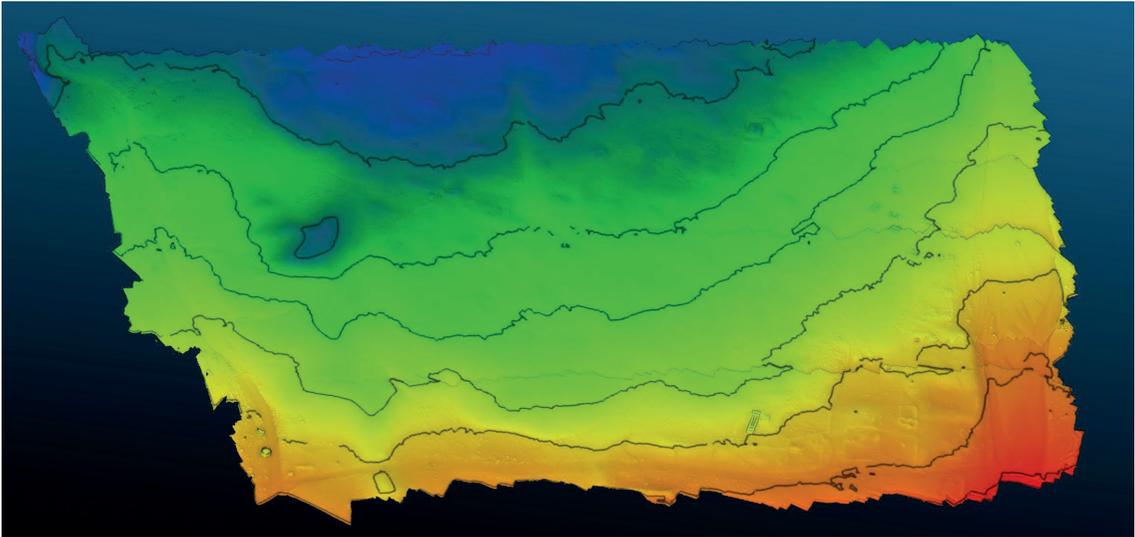


Abb. 4: Elusa, Höhenlinienkarte des Zielgebiets auf Basis der eingefärbten 3D-Rekonstruktion.

auch nach der Produktion der Punktwolke sowie bei der Bereitstellung und Anwendung der Software weitere Verbesserungsmöglichkeiten erkannt worden.

Zahlreiche Korrekturmöglichkeiten können sinnvoll sein. Bei diesen handelt es sich um die Triangulation eines optimierten 3D-Modells oder Verfahren, um Farbsprünge in einer Textur auszubessern. Zudem wurde klar, dass weitere Visualisierungen von Interesse sind, dazu zählen beispielsweise Höhenlinienkarten (Abb. 4) oder die Möglichkeit mit den Ergebnissen an Bereichen, die von größerem Interesse sind, zu interagieren. Sowohl für die Anwendung als auch für Bereitstellung einer SfM-Software sind Optimierungen möglich. Die selbständige Anwendung von SfM-

basierenden Algorithmen zur Berechnung ist von Vorteil. Auch wenn die Software Photoscan von Agisoft primär genutzt wurde, ist bei den Open-Source-Lösungen ein höherer Grad an Automatisierung möglich. Einem Wissenschaftler, der über eine Nutzeroberfläche selbstständig Parameter und Daten festlegen kann und ein Ergebnis erhält, das er daraufhin selbstständig evaluiert, ist im Sinne des Vorhabens. Die Integration von VisualSfM in eine auf Software-Container basierende Prozesskette ist daher als Ausblick zu verstehen. Die Entscheidung dazu wird erneut überprüft werden, sobald die auf algorithmischer Ebene verlaufenden Vergleiche der beiden Punktwolken von VisualSfM und Agisofts Photoscan abgeschlossen sind.

Literaturverzeichnis

- Johansen – Phinn – Witte 2010
 K. Johansen – S. Phinn – Ch. Witte, Mapping of Riparian Zone Attributes Using Discrete Return LiDAR, Quick-Bird and SPOT-5 Imagery: Assessing Accuracy and Costs, Remote Sensing of Environment 114, 11, 2010, 2679–2691.
- Lerma u.a. 2010
 J. L. Lerma – S. Navarro – M. Callabrelles – V. Villaverde, Terrestrial Laser Scanning and Close Range Photogrammetry for 3D Archaeological Documentation: The Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a Case Study, JASc 37, 3, 2010, 499–507.
- Pfeifer – Briese 2007
 N. Pfeifer – Ch. Briese, Laser Scanning-principles and Applications (Wien 2007).
- Abbildungsnachweis: Abb. 1: Ch. Schöne. – Abb. 2–4: Ch. Stollwerk/V. Kannengießer.
- Anschriften: Christoph Stollwerk M.A., Lehrstuhl für Informatik, Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln.
 eMail: stollwerk@uni-koeln.de*
- Christian A. Schöne, Arbeitsgruppe Luftprospektion, Archäologisches Institut, Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln.
 eMail: christian.a.schoene@gmail.com*
- Vincent Kannengießer, Lehrstuhl für Informatik, Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln.
 eMail: Vincent.Kannengiesser@uni-koeln.de*
- Arne Schröder, Arbeitsgruppe Luftprospektion, Archäologisches Institut, Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln.
 eMail: aschroe7@smail.uni-koeln.de*

