

Der Einsatz von Drohnen und Photogrammetrie in der Archäologie

Ausgewählte Beispiele aus Baden und der Kurpfalz

Einleitung

Der Einsatz von Drohnen, sogenannten *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs) oder *Micro Aerial Vehicles* (MAVs), ist in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen und einer der größten technologischen Wachstumszweige.



Abb. 1 Übersichtsluftbild des Michaelsklosters auf dem Heiligenberg in Heidelberg.

In den Medien tauchen Drohnen meist wegen negativer Ereignisse auf: Einerseits durch den Einsatz als Kriegswaffe und andererseits durch einige unverantwortliche Hobbypiloten, durch die es schon in einem bestätigten Fall zu einer Kollision und wiederholt fast zu Unfällen mit Passagierflugzeugen in der unmittelbaren Nähe von Flughäfen gekommen ist. Dagegen machen sich die positiven Seiten der zivilen Drohnen, wie sie später vorgestellt werden, vor allem bei TV-Dokumentationen bemerkbar. Dort können mit Hilfe dieser Fluggeräte beeindruckende Aufnahmen erstellt werden, von denen man vor ein paar Jahren nur träumen konnte. Daneben ist auch der Einsatz in Vermessung und Bauwesen ein wichtiger Arbeitsbereich. Das Verfahren hat in vielerlei Hinsicht Verbesserungen gebracht

– und wird in der nahen Zukunft noch mehr möglich machen, vor allem bei Inspektionsaufgaben. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Drohnen auch immer mehr Einzug in die Archäologie erhalten und vielfältig eingesetzt werden.

Einige Anwendungsfälle, die in den letzten Jahren in der Arbeitsgruppe *Optimierung, Robotik & Biomechanik* (ORB) am *Institut für Technische Informatik* bzw. dem *Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen* der Universität Heidelberg durchgeführt werden konnten, werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Neben den Drohnen hat auch die *Photogrammetrie* im Bereich der dreidimensionalen Erfassung von Objekten mit der sogenannten *Structure from Motion*-Methode, kurz SFM, enorme Fortschritte gemacht. So ist es mittlerweile möglich, aus einer Abfolge von Fotografien, die allerdings diversen Kriterien genügen müssen, ein dreidimensionales digitales Modell eines Objektes zu errechnen. Beide Methoden kombiniert bieten dem Archäologen, dem Bauforscher, aber auch dem Vermesser oder Landwirt, ganz neue Möglichkeiten zur Datenerfassung. Frei verfügbare Software wie beispielsweise *MeshLab* oder *CloudCompare* bieten eine Vielzahl von Analyse- und Postprocessingmöglichkeiten der erfassten Daten.

Drohnen – Eine Übersicht

Seit die Fotografie ein wesentlicher Bestandteil der archäologischen Dokumentation ist, wird, vor allem bei Flächengrabungen versucht, aus erhöhter Position zu fotografieren, um möglichst eine gute Übersicht über die Befunde und ihre relative Lage zueinander zu bekommen. Dieser Vorgang kann mit Hilfe von Drohnen erleichtert werden, da sie eine schnelle und flexible Möglichkeit bieten, die Grabungssituation zu erfassen (Abb. 2).

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Benutzung von Drohnen ist in Deutschland einigen Regeln unterworfen, unterteilt in verschiedene Gewichtsklassen, für die unterschiedliche Regeln und geographische Vorschriften gelten. Beispielsweise müssen innerhalb von Stadtgebieten strenge Regeln für den Überflug fremder Grundstücke berücksichtigt werden. Grundsätzlich muss für einen Drohnenflug eine Erlaubnis des Eigners der Start- und Landefläche vorliegen, während außerhalb von Ortschaften Felder und unbebaute Grundstücke ohne spezifische Genehmigung überflogen werden dürfen. Ab 250 Gramm Abfluggewicht wird eine spezielle Versicherung benötigt und ab zwei Kilogramm zusätzlich ein Kenntnisnachweis. Darüber hinaus muss während des Flugs Sichtkontakt zur Drohne bestehen, was abhängig vom Drohmentyp einem Radius von 400-600 Metern entspricht. Weitere Regeln schließen Flüge über sicherheitsrelevanten Objekten aus, sofern nicht eine ausdrückliche Erlaubnis des Betreibers vorliegt. Daher darf nicht über oder nahe an Menschenansammlungen, Infrastrukturen wie Bundesstraßen, Wasserstraßen und natürlich Flugplätzen geflogen werden. Für die meisten der Regeln kann eine Ausnahmegenehmigung beantragt werden, die entweder einmalig oder dauerhaft sein kann.



Abb. 2 Burg Wersau, Übersichtsfoto der Grabungssituation mit Hilfe einer Drohne.

Technik

Es gibt verschiedene Arten von Drohnen, die für die archäologische Dokumentation genutzt werden können. Für kleinere Flächen und detaillierte Aufnahmen sind im Besonderen Multikopter geeignet, also Fluggeräte die ähnlich wie Helikopter üblicherweise mit vier oder mehr Propellern fliegen (Abb. 3, oben). Die Geräte können auf der Stelle schweben und haben eine Flugzeit von bis zu einer halben Stunde, da allein die Propeller das Gesamtgewicht tragen. Sie werden immer von einem Autopiloten kontrolliert, ohne den diese Geräte nicht fliegen könnten. Multikopter sind die am weitesten verbreitete Drohnenart in diesem Anwendungsgebiet. Dabei zählt die *Phantom*-Serie des chinesischen Herstellers DJI zu den weltweit bekanntesten Multirotordrohnen.

Für große Flächen und längere Flugzeiten eignen sich dagegen sogenannte Starrflügler besser. Dabei handelt es sich um elektrobetriebene Modellflugzeuge,

die mit einem GPS-gestützten Autopiloten ausgestattet wurden. Außerdem gibt es speziell entwickelte Fluggeräte mit einer umfangreichen Ausstattung an Sensoren, Recheneinheiten und Vorrichtungen zur Datenübertragung (Abb. 3, unten). Im Gegensatz zum Multikopter erzeugt dieser Drohrentyp den Auftrieb über Tragflächen. Dadurch ist eine Mindestfluggeschwindigkeit erforderlich, was einen Schwebeflug unmöglich macht. Dafür ist der Flug effizienter und das Eigengewicht wird komplett von den Flügeln getragen. Mit entsprechenden Spannweiten können große und schwere Nutzlasten über längere Zeiträume transportiert werden, so dass es möglich ist, ganze Landstriche aufzunehmen. Flugzeiten von mehreren Stunden sind je nach Nutzlast möglich. Zukünftig dürften sich auch immer mehr Laserscanner in diesen Drohnen finden, da diese Sensoren immer kleiner und leichter werden. Diese Entwicklung wird noch genauere Einblicke, speziell in bewaldetes Gelände, bieten.



Abb. 3 Drohrentypen: Oben ein Multikopter, DJI Phantom 4 Professional, ein Quadrocopter. Unten ein Starrflügler, in diesem Fall ein Nurflügler, für Vermessungsflüge.

Photogrammetrie: Structure from Motion

Die einzelnen Schritte vom Einzelfoto zum fertigen 3D-Modell sollen in diesem Abschnitt anhand eines Beispiels näher erläutert werden:

Am Ortsausgang der Gemeinde Reilingen, grob zehn Kilometer südlich von Heidelberg gelegen, befindet sich die ehemalige Burg Wersau, die durch das Landesamt für Denkmalpflege und das Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Heidelberg unter Grabungsleiter Justin Schmidt untersucht wird. Durch die kurze Entfernung und die interessante Grabungssituation bot es sich an, einige neue Geräte und Verfahren dort im Praxiseinsatz zu testen.

Aufnahmetechnik

Da die Kamertechnik ein wichtiger Faktor für die Aufnahme ist, werden hier kurz die wichtigsten Bestandteile der Aufnahmesysteme vorgestellt.

Das wichtigste Element ist der Bildsensor. Er besteht aus einem Raster von kleinen, lichtempfindlichen Dioden, die einem Punkt im digitalen Bild entsprechen, und wandelt damit das einfallende Licht in digitale Informationen um, entsprechend dem Film in der analogen Fotografie. Je größer die Sensorfläche, desto mehr Fläche kann jede Diode einnehmen, die jeweils einem Bildpunkt (Pixel) entspricht. Damit ergibt sich direkt das Verhältnis zur Auflösung, also der Pixelanzahl in Breite und Höhe des Sensors: Je höher die Auflösung, desto geringer ist die Fläche pro Diode und desto größer werden die Bildfehler und das Bildrauschen. Bei kleinen Bildsensoren, wie sie beispielsweise in Mobiltelefonen oder günstigen Kompaktkameras verbaut sind, ergibt sich durch die hohe Dichte von Dioden auf der kleinen Fläche ein verwaschenes Bild im Detail. Das bessert sich bei größeren Sensoren, wie sie die spiegellosen Systemkameras oder Spiegelreflexkameras aufweisen, die gleichzeitig den Vorteil bieten, dass sich die Objektive wechseln lassen.

Eine höhere Bildauflösung ergibt im Modell einen höheren Detailgrad, weil die gleiche Objektfläche durch mehr Bildpunkte repräsentiert wird.

Grundsätzlich setzt die Aufnahme eines Objektes eine bestimmte Anzahl gut verteilter Fotos mit hoher Überlappung voraus. Anhand dieser Überlappungen können die jeweiligen Aufnahmepositionen im Raum sehr genau berechnet werden.

Nach der Aufnahme werden alle Bilder auf markante Bildpunkte untersucht und danach miteinander verglichen. Damit ist es möglich, ähnliche Bilder zu finden und deren Aufnahmepositionen zu berechnen. Damit kann für alle auf beiden Bildern erkennbaren Bildpunkte die jeweilige dreidimensionale Koordinate berechnet werden. Der Wert dieser Koordinate ist zunächst ungenau. Werden weitere Bilder in die Berechnung einbezogen, wird die Position des Punktes im Raum genauer. Je mehr Bilder einbezogen werden können, desto kleiner wird der resultierende Fehler. Üblicherweise überlappen sich vier bis neun Bilder, je nach Anwendung und errechneter Positionsqualität der Bilder. Für den Ablauf der Aufnahme folgt daraus, dass die Fotos in einem strukturierten Verfahren aufgenommen werden, um auch bei komplexen Objekten eine hinreichende Überlappung zu gewährleisten.

Bei Aufnahmen einer Oberfläche mit einer Drohne, dem sogenannten *Mapping*, können die Bilder in einfachen Mustern gleicher Höhe über Grund verteilt werden (Abb. 4) und weisen dadurch immer die voreingestellte Überlappung auf. Am Boden sieht die Situation anders aus, hier ist Erfahrung in der Aufnahme gefragt. Mit der Erfahrung in der Aufnahme bilden sich dafür diverse Strategien im Ablauf aus.



Abb. 4 Burg Wersau, Orthofoto vom 05.07.2018. Es zeichnen sich rechts im Bild schlüsselförmig und hell im Gras einige Mauerreste ab, während sich links im Bild möglicherweise Gräben als dunkles Merkmal zeigen.

Berechnung des Modells und Auswertung

Sind nun alle Kamerapositionen im Raum bekannt, werden diese Positionen verwendet, um Tiefeninformationen zu gewinnen. Aus diesen kann eine sogenannte *dichte Punktwolke* errechnet werden. Diese besteht aus vielen, sehr dichten Punkten, die über die Fotos eingefärbt werden (Abb. 6). Die Punkte entsprechen sehr

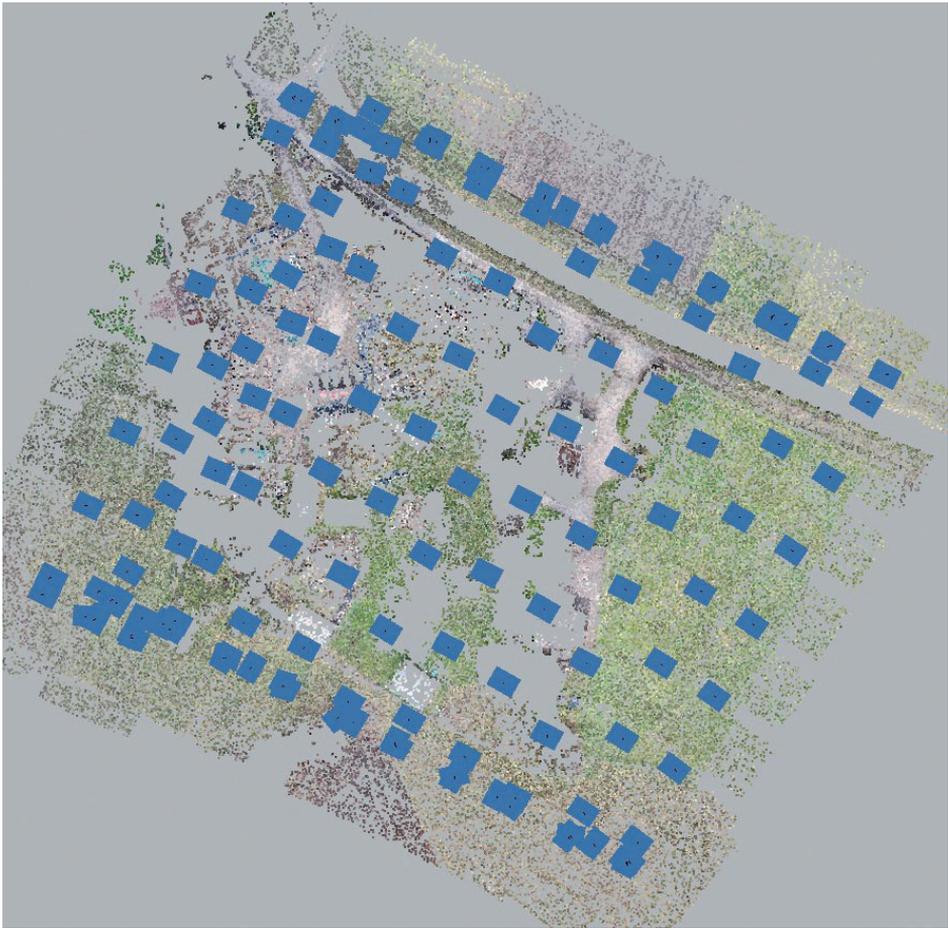


Abb. 5 Resultat aus einem Flug über die Ausgrabung der Burg Wersau. In blau sind die Positionen der einzelnen Fotos zu erkennen. Die Überlappung lag hier bei circa 80%.

präzise der tatsächlichen Oberfläche des aufgenommenen Objekts. Im Wersau-Beispiel (Abb. 5) wurden Aufnahmen ausschließlich in einer Flughöhe erstellt, daher weist die Punktwolke an einigen Stellen mit vertikalen Flächen oder hohen Bäumen eine deutlich geringere Punktdichte auf. Für die Aufnahme dieser Daten wären weitere Flüge mit unterschiedlichen Höhen, anderen Kamerawinkeln, also insgesamt einer anderen Aufnahmemethodik, notwendig gewesen. Für die Erfassung der (Grabungs-) Flächen war das nicht erforderlich.

Aus der Punktwolke wird im nächsten Schritt eine geschlossene Oberfläche errechnet, die aus einer Vielzahl kleiner Dreiecke besteht. Diese Oberfläche wird als *Mesh* oder Dreiecksgitter bezeichnet. Das Mesh wird über die Farben der zugehörigen Punkte aus der Punktwolke eingefärbt (Abb. 6, mittig).

Das Oberflächenmodell umfasst, je nachdem wie zu Beginn die Aufnahmeauflösung und der Aufnahmeabstand gewählt wurden, viele Details und ist sehr genau. Mit großer Sorgfalt können so beispielsweise die Mauerfugen einer



Abb. 6 Burg Wersau, resultierende Punktwolke in 3D-Ansicht mit eingeblendeten Kamerapositionen. Da der Flug ausschließlich zur Erzeugung eines Orthofotos diente, ist die Bodenaufösung mit 3cm/px nicht allzu hoch.

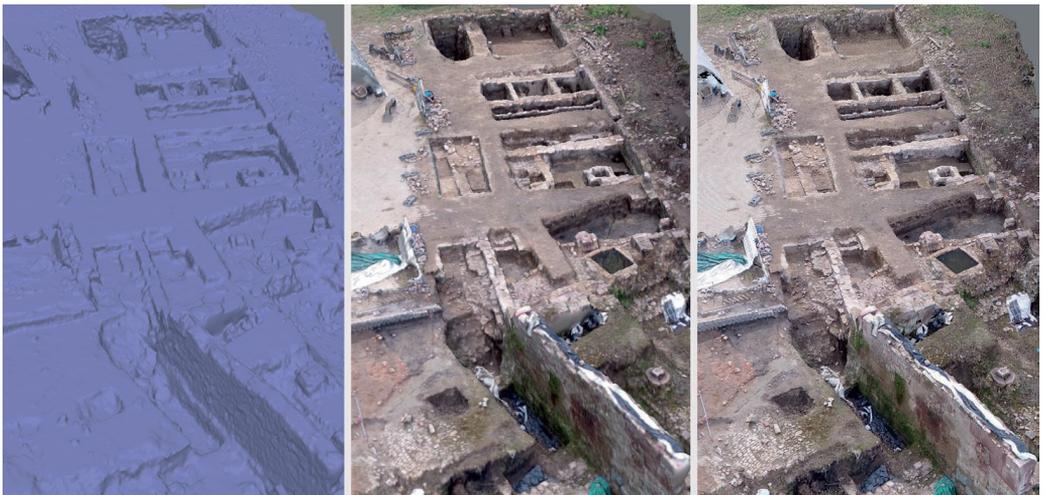


Abb. 7 Burg Wersau, 3D-Modell. Links das ungefärbte Mesh. Die Oberflächenstruktur und den Detailgrad des 3D-Modells lassen sich deutlich erkennen. Mittig das aus der Punktwolke erzeugte und eingefärbte Mesh, rechts das texturierte Mesh. Es fällt der Schärfeunterschied und der höhere optische Detailgrad auf, welche das texturierte Mesh fotorealistisch wirken lassen.



Abb. 8 Burg Wersau. Links das Orthofoto und rechts das Höhenmodell mit Schummern (Beleuchtung). Beide Datensätze sind maßhaltig und können direkt zu Umzeichnungen oder Analysen von Kanten, Tiefen und weiteren Informationen genutzt werden.

Burg erfasst werden und als Grundlage für die Pläne der Bauforschung dienen. In dem aus dem einfachen Mappingflug gewonnenen Modell der Burg Wersau erkennt man sehr gut die Grabungsschnitte und erhaltenen Mauern (Abb. 7, links und mittig). In einem letzten Schritt können Teile der Fotos auf die Oberfläche projiziert werden, um eine fotorealistische *Textur* zu erhalten (Abb. 7, rechts). Damit lässt sich das menschliche Auge auch über mögliche strukturelle Fehler des 3D-Modells hinwegtäuschen. Das Modell wirkt lebendiger und schärfer. Allerdings können sich dabei auch grobe Fehler einschleichen, beispielsweise durch fehlerhafte Überblendung eines Hindernisses, dass mit der Textur an eine falsche Stelle projiziert wird. Für archäologische Dokumentationszwecke sollte sie nur mit Vorsicht oder im Vergleich mit der Struktur eingesetzt werden – bei Umzeichnungen kann die Textur allerdings von großem Nutzen sein.

Als finaler Schritt können aus der Punktwolke oder dem Mesh das Orthofoto und das digitale Geländemodell berechnet werden. Das Orthofoto (Abb. 8, links) ist eine Abbildung ohne perspektivische Verzerrungen wie bei normalen Fotografien. Dadurch ist es möglich, direkt maßhaltige digitale Umzeichnungen von den Objekten anzufertigen. Im Beispiel könnten nun beispielsweise die Grabungsgrenzen, Schnittkanten oder Befunde nachgezeichnet werden und stünden für die weitere Dokumentation zur Verfügung. Das *Digitale Oberflächenmodell* (DOM oder engl. DSM) gibt die Geländeoberfläche als Grafik wieder, bei dem jedoch die Höhe anstelle der Oberflächenfarbe gesetzt ist. Die Landschaft wird

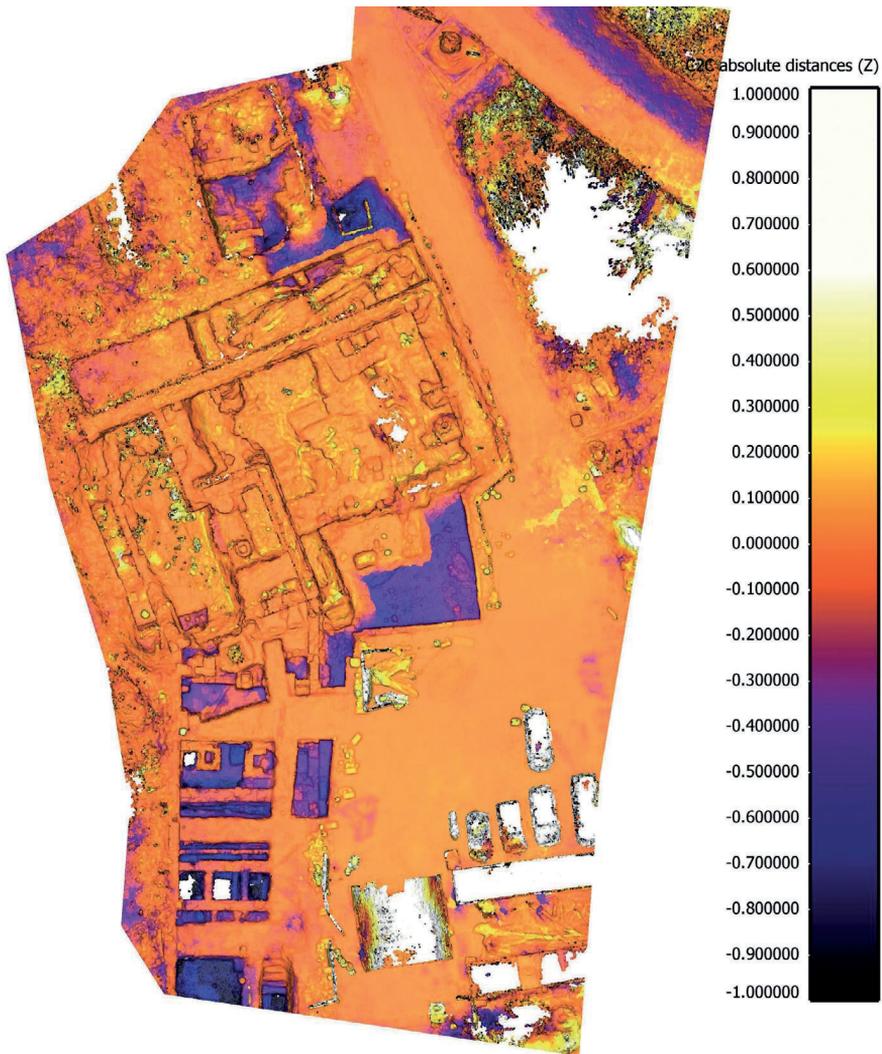


Abb. 9 Burg Wersau, Höhendifferenz zwischen den Grabungsflächen von April 2016 und März 2018..

als Relief, also in 2.5D, abgebildet (Abb. 8, rechts) und steht ebenfalls für weitere Analysen zur Verfügung. Diese Daten können mit Geographischen Informationssystemen (GIS) weiterverarbeitet werden.

Das 3D-Modell ermöglicht darüber hinaus die Nutzung diverser Analysetools, wie beispielsweise einer Kantendetektion oder die Anwendung verschiedener Lichtmodelle. Es lassen sich aber auch zu unterschiedlichen Zeiten angefertigte Modelle vergleichen und Aussagen über den Unterschied zwischen den beiden Aufnahmesituationen treffen (Abb. 9). Damit wird dem Modell eine vierte Dimension, nämlich die Zeit, hinzugefügt. Darüber hinaus können auf einfache Weise Schnitte mit automatischer Umzeichnung durch Befunde gelegt werden,

symmetrische Objekte wie Säulen, Vasen oder Siegel können abgerollt werden. Diese Verfahren bieten in der Dokumentation beispielsweise bei Umzeichnungen erhebliche Erleichterungen.

Vergleich von Structure-From-Motion mit benachbarten Verfahren

Das wichtigste benachbarte Verfahren ist das Terrestrische Laserscanning (TLS). Dieses aktive Messverfahren basiert auf der Laufzeitmessung eines reflektierten Laserstrahls. Ein rotierender Spiegel lenkt den Strahl mit einer hohen Frequenz schnell um, so dass mehrere hunderttausend Punkte in der Minute aufgenommen werden können.

Darüber hinaus gibt es den Streifenlichtscanner, der aktiv ein Streifenmuster aus Licht auf das aufzunehmende Objekt projiziert und über zwei Kameras eine extrem genaue Oberflächenerfassung ermöglicht. Beiden Verfahren ist gemein, dass direkt nach dem Ende der Aufnahme ein vollständiges 3D-Modell angezeigt werden kann. Diese beiden Geräte sind im Vergleich mit der Kamera, die für SFM benötigt wird, sehr teuer, unhandlich und schwer.

Gute Digitalkameras und das nötige Zubehör gehören zur Standardausrüstung in der archäologischen Dokumentation. Hat der Benutzer eine Einführung in die Fotografie und in das Verfahren zur SFM-Aufnahme bekommen, kann er die meisten Objekte vor Ort zügig erfassen. Zu den Nachteilen des Verfahrens gehört allerdings, dass einerseits ein moderner und leistungsstarker PC zur Berechnung benötigt wird, wie er beispielsweise auch für aktuelle PC-Spiele verwendet wird. Außerdem kann man sich bei komplexen Objekten nicht hundertprozentig sicher sein, dass das Modell vollständig ist, bevor es komplett berechnet ist. Dagegen ist die sehr hohe absolute Genauigkeit des Laserscanners bei der gleichzeitig hohen Frequenz der Punktmessung im Raum unschlagbar. Der Scanner muss für die Aufnahme, beispielsweise eines Gebäudes, mehrfach umgestellt und neu aufgebaut werden, um alle Bereiche abzudecken. Im Gegensatz zur SFM-Aufnahme beinhaltet die gewonnene Punktwolke jedoch neben der genauen Position im Raum weitere Informationen, zum Beispiel die Reflektivität. Dafür muss die TLS-Punktwolke über eine auf dem Scanner montierte Digitalkamera eingefärbt werden. Die Farben sind im Vergleich mit der SFM-Methode eher verschwommen, da die Auflösung der Fotos nicht so hoch ist.

Die resultierenden Daten sind beim TLS direkt *orientiert*. Ausgehend von der Aufstellung des Scanners ist bereits bekannt, wie die drei Achsen, die für ein Koordinatensystem benötigt werden, im Raum ausgerichtet sind. Bei der SFM liegen diese Achsen zufällig im Raum, daher ist das resultierende Modell beliebig im Raum orientiert. Ähnlich verhält es sich mit Skalierung und Positionierung. Der TLS misst direkt absolute Entfernungen. Dadurch ist immer bekannt wie groß ein Objekt ist. Diese Information fehlt bei der SFM, wodurch die Skalierung mehr oder weniger zufällig ist. Indem man leicht erkennbare Maße am Objekt nimmt, beispielsweise die Höhe eines Fensters, lässt sich dieses Problem leicht umgehen. Die zweite Methode ist das Setzen von Passpunkten, um das Objekt herum oder direkt daran. Passpunkte, auch als Marker oder Zielmarken bekannt, sind

üblicherweise runde Scheiben, die verschiedene Muster mit hohen Kontrasten aufweisen. Durch bestimmte Muster können diese auch mit einem maschinenlesbaren Code versehen werden. Dadurch können sie durch das SFM-Programm automatisch zugeordnet werden. Diese Punkte können durch Vermessungsgeräte, beispielsweise Tachymeter oder Vermessungs-GPS, eingemessen und auf den Fotos markiert werden. Damit kann das 3D-Modell mittels der bekannten Raumkoordinaten der Passpunkte skaliert und orientiert werden. Liegen die Koordinaten in einem Weltkoordinatensystem vor, ist das Modell direkt georeferenziert, was eine einfache Einbindung in GoogleEarth ermöglicht. Beim TLS kann dies über ein auf dem Gerät angebrachtes Vermessungs-GPS direkt durchgeführt werden.

Beispiele

Michaelskloster auf dem Heiligenberg, Heidelberg

In Zusammenarbeit mit der Stadtarchäologie Heidelberg konnte das Michaelskloster auf dem Heiligenberg dokumentiert werden (Abb. 1). Dabei ging es im Wesentlichen um die Dokumentation des Ist-Zustands. Das Ergebnis ist ein klassisches Set aus 3D-Modell, Orthofoto und Geländemodell. Weitere Flüge und Fotos vom Boden machten es möglich, dass auch die Mauerseiten im 3D-Modell erfasst werden konnten. Insgesamt wurden 1143 Bilder in die Berechnung mit einbezogen, was in einer Punktwolke von 242 Millionen Punkten resultierte (Abb. 10). Das daraus berechnete Mesh wurde, weil es sonst nicht mehr anzeigbar wäre, auf fünf Millionen Dreiecke limitiert. In der Detailansicht hat dies einen Verlust der Schärfe zur Folge. Bestimmte Teile des Bauwerks können als eigenständiges Objekt mit höherer Auflösung berechnet werden, was den Detailgrad stark verbessert, da die fünf Millionen Dreiecke nun alleine für den jeweiligen Bereich zur Verfügung stehen (Abb. 11).



Abb. 10 Michaelskloster, Heiligenberg, Heidelberg. Dichte Punktwolke mit Kamerapositionen. Sehr gut sind die Drohnenaufnahmen und die bodengebundenen Aufnahmen zu unterscheiden.

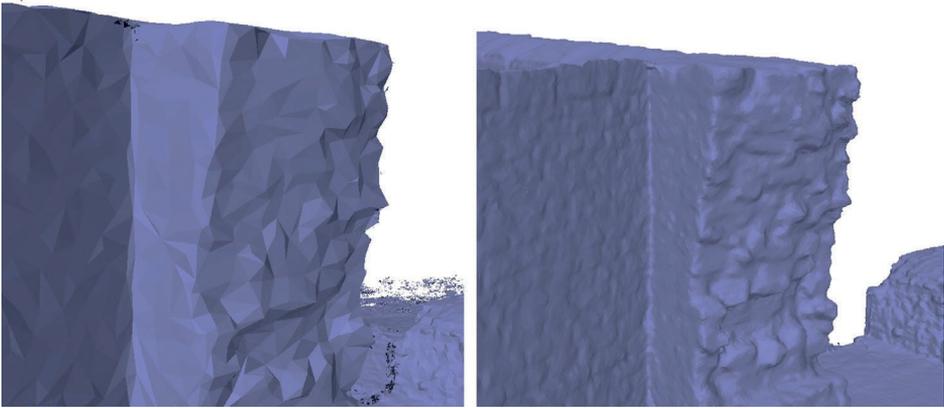


Abb. 11

Kreisgräben nahe Heidelberg-Grenzhof

In den Feldern um den Heidelberger Teilort Grenzhof, der westlich vom Heidelberger Stadtteil Wieblingen sowie westlich der Stadt Eppelheim liegt, finden sich in den Feldern einige Spuren kultureller Aktivität. Eines dieser Felder zeigt mehrere Kreisgräben, die durch Befliegungen im Luftbild, Vegetationsindexbild und Geländemodell dokumentiert sind. Das Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg hat angrenzend ein Testfeld und erteilte dankenswerterweise die Erlaubnis, von dort aus Testflüge zu unternehmen.

Die Resultate sind sowohl Schrägluftbilder verschiedener Wachstumsstadien (Abb. 12) und Jahre, aber auch ein Geländemodell (Abb. 13) und Orthofoto (Abb. 14), in dem sich jeweils die Kreisgräben deutlich abzeichnen.



Abb. 12 Kreisgräben bei Eppelheim. Ein Schrägluftbild zur Übersicht der Gräben im Feld.

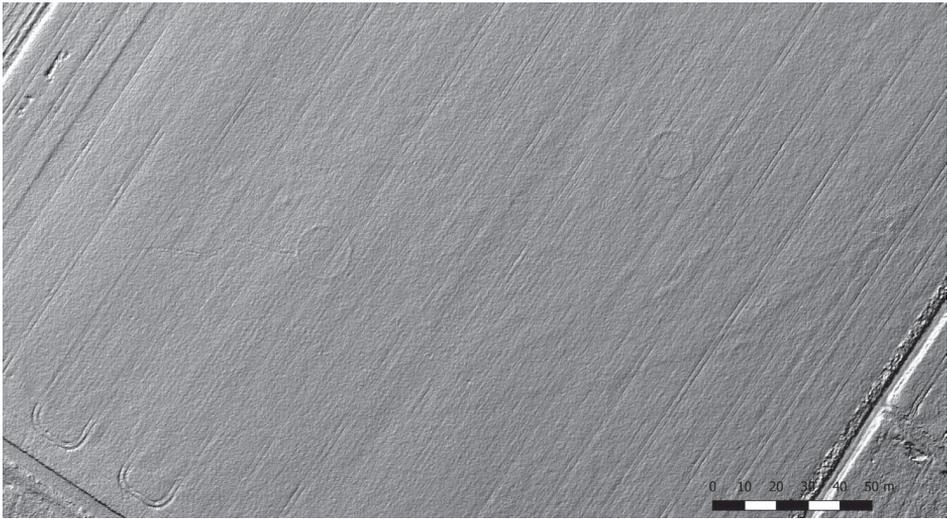


Abb. 13 Kreisgräben bei Eppelheim: Digitales Geländemodell, Schummerung. Die Kreisgräben zeichnen sich über die unterschiedliche Höhe des Bewuchses als positives Merkmal, wie man es aus der klassischen Luftbildarchäologie kennt, deutlich ab.



Abb. 14 Kreisgräben bei Eppelheim: Orthofoto des gesamten Feldes. Die Kreisgräben sind gut zu erkennen. Die Stromleitungen sind nicht durchgehend, weil sie deutlich höher liegen und daher nicht korrekt projiziert werden konnten.

Fazit

Durch den gezielten Einsatz von SFM und Drohnen ist es heute vergleichsweise einfach möglich, wichtige räumliche Daten einer Ausgrabung oder eines Objektes zu erfassen. Damit lässt sich, wenn man es so nennen möchte, mit der Zeit als weitere Dimension, eine 4D-Aufnahme erstellen. Natürlich dürfen die anfallenden Datenmengen nicht unterschätzt werden, genauso wenig die Hardware, ganz gleich ob Rechner oder Drohne. Mit der rasanten Entwicklung der Technologie in diesem Sektor ist jedoch für die Zukunft eine deutlich schnellere Erfassung und höhere Genauigkeit zu erwarten. Beide vorgestellten Komponenten für sich, aber speziell ihre Kombination wird sicherlich zu einem weiteren wichtigen Bestandteil der Werkzeugkiste des Archäologen.

Bildnachweis

Abb. 2, unten, ist freundlicherweise von Heiko Mey, Aeromey GmbH, zur Verfügung gestellt worden. Alle anderen Abbildungen sind vom Autor.