



Millimetergenau mit 3D-Laserscanning Neue Dokumentationsmöglichkeiten für die Landesarchäologie

Durch das terrestrische 3D-Laserscanning eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten für Dokumentation und Visualisierung in der archäologischen Feldforschung. Erstmals ist es möglich, hochpräzise und dreidimensionale Aufnahmen bedeutender Befunde in großer Anzahl zu erstellen und in Form von 3D-Computermodellen der Landesdenkmalpflege und Forschung zur Verfügung zu stellen.

David Bibby/Markus Steffen

Seit Herbst 2010 besitzt das Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart einen eigenen, hochmodernen terrestrischen Laserscanner für 3D-Dokumentationen, etwa von Ausgrabungsbefunden oder Geländedenkmalen. Die Methode kommt besonders bei bewegten Oberflächen, bei verschachtelten Objekten oder komplexen Befundsituationen zum Einsatz. Der Scanner (Abb. 1) erfasst die räumlichen Daten mittels des so genannten Pulslaufzeitprinzips. Während des Scannerbetriebs sendet das Gerät mit einer maximalen Reichweite von bis zu 0,5 km und einem effektiven Wirkungskreis von 360° bis zu 122.000 Laserlichtimpulse pro Sekunde aus, die von der Umgebung reflektiert und wieder vom Gerät empfangen werden. Die interne Software des Scanners errechnet die räumliche Lage und Entfernung jedes einzelnen reflektierten Punktes. So entsteht eine „Punktwolke“ als Abbild der gescannten Umgebung beziehungsweise des gescannten Objektes. Diese Daten können direkt

nach dem Scannen visualisiert werden und ermöglichen so bereits während der Scanaufnahmen eine optische Kontrolle der Ergebnisse.

Der Scan vor Ort

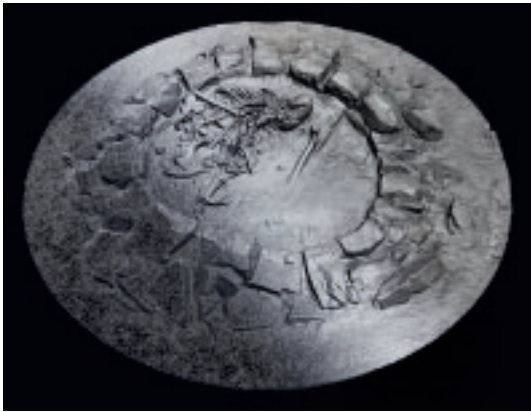
In der Regel besteht ein Projekt aus den Punktwolken mehrerer Scanpositionen um ein Objekt herum, die notwendig sind, um es komplett und von allen Seiten zu erfassen. Die Punktwolken einzelner Scanpositionen können mit den zugehörigen Fotos, die während des Scanvorgangs von der eigens dafür auf dem Scanner montierten Kamera gemacht wurden, eingefärbt und betrachtet werden. Eine Zusammenführung aller Scanpositionen ist mithilfe einer Georeferenzierung über gemeinsame Passpunkte möglich, die sowohl während der Scanvorgänge automatisch erfasst als auch auf konventionelle Weise tachymetrisch in einem gemeinsamen Koordinatensystem aufgenommen werden.

Datenaufbereitung

Die Zusammenführung der einzelnen Scans findet zusammen mit allen weiteren, zum Teil recht aufwendigen Arbeitsschritten nach Abschluss der Datenaufnahme im Rahmen einer Datenaufbereitung im Labor statt. Erster Schritt des so genannten postprocessings ist es, die Scandaten zu sichten, zu bereinigen und anhand der tachymetrisch aufgenommenen Passpunkte in projektbezogene oder globale Koordinatensysteme einzubinden und damit zu verorten. Zusätzlich muss bei Verwendung der von der auf dem Scanner montierten Kamera erzeugten Fotos die so genannte mounting calibration durchgeführt werden. Sie dient dazu, kleinste Verschiebungen und Verdrehungen, die bei der Montage der Kamera auf dem Scanner unweigerlich entstehen, auszugleichen.

1 Der Scanner im Einsatz auf der Grabung des Apollo-Grannus-Tempels in Neuenstadt a. Kocher und in Hemmenhofen. Die Ansteuerung erfolgt mit einem Notebook direkt über eine WLAN/LAN-Schnittstelle.



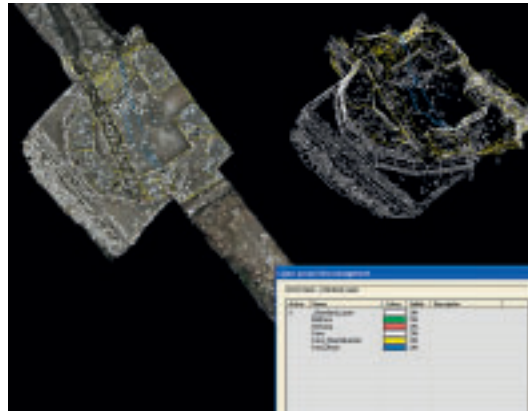


So wird gewährleistet, dass jeder einzelne Punkt der Punktwolke seine exakten Farbwerte erhält und darüber hinaus, dass die Grundlage für die spätere fotorealistische Texturierung des fertigen 3D-Modells geschaffen wird.

Wie bereits erwähnt, liegen die 3D-Daten nach dem primären postprocessing zunächst als Punktwolken vor, die zwar sehr viel 3D-Basisinformation beinhalten, aber für viele Fragestellungen und Anforderungen eher umständlich zu handhaben sind. Eine Umwandlung dieser Punktwolken in Körper mit geschlossener Oberfläche stellt daher eine ideale Ergänzung des Datenkanons dar. Neben einer geringeren Speicheranforderung stehen so auch deutlich erweiterte Visualisierungs- und Analyse-möglichkeiten zur Verfügung. Für die Prozessierung der Punktdaten und deren Verarbeitung zu einem flächigen Modell, dessen Oberfläche aus einem Netz von unregelmäßigen Dreiecken beziehungsweise Polygonen zusammengesetzt wird, müssen diverse Aufbereitungsschritte unter Anwendung aufwendiger Spezialsoftware durchgeführt werden. Ziel ist dabei auch immer eine Reduktion der Datenmenge, ohne die geforderte Detailgenauigkeit des Modells zu beeinträchtigen.

Für eine Visualisierung mit Fototexturen, sei es für Präsentationszwecke oder eine optisch-visuelle Analyse, ist eine geringere Auflösung ausreichend, da hierbei die Detailinformation in erster Linie über die fotorealistischen Texturen und nicht so sehr über die Geometrie transportiert wird (Abb. 2).

In vielen Fällen ist es sinnvoll, zunächst eine sehr hohe Polygonanzahl und damit eine sehr hohe Auflösung und Genauigkeit zu wählen und diese dann bei Bedarf zu reduzieren. Bei der Reduktion der Polygonzahl wird im Bereich komplizierter Strukturen eine höhere Polygonzahl und damit eine hohe Detailtreue beibehalten, während zum Beispiel in den ebenen Bereichen stärker reduziert werden kann. Auf Basis dieses Verfahrens können auch komplexere Geometrien häufig stark vereinfacht werden, ohne entscheidende Einbußen bei der Genauigkeit hinnehmen zu müssen. Nach der Erzeugung der Polygonoberfläche kann es notwendig sein, diese noch zu optimieren. In Abhängigkeit von



2 Dreiecksvermaschung, geschlossene 3D-Oberfläche und Fototextur am Beispiel des römischen Brunnens aus Stettfeld, Kr. Karlsruhe.

3 Digitalisierung der 3D-Daten am Beispiel eines spätrömischen Turmes aus Konstanz.

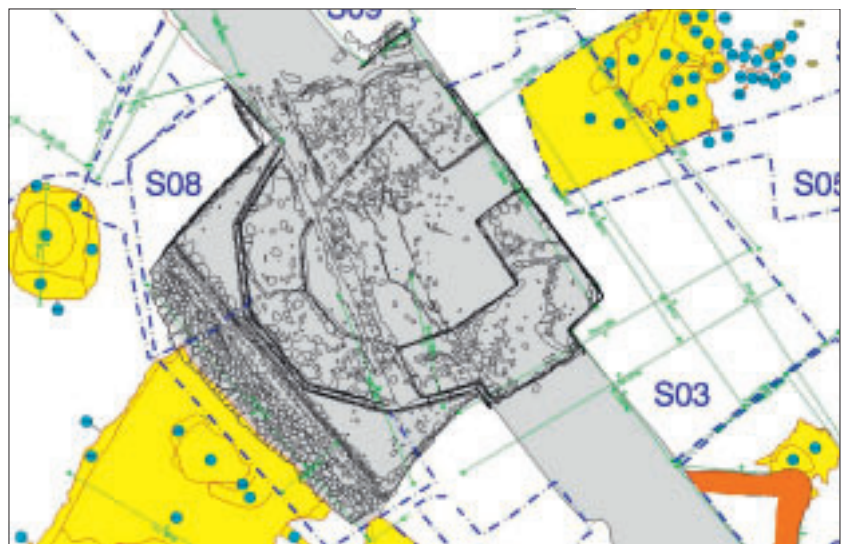
der Qualität der Rohdaten kann es an kritischen Stellen zum Beispiel zu Vermaschungsfehlern kommen, die sich aber von Hand oder mithilfe von diversen Reparaturalgorithmen beheben lassen.

Die Texturierung der fertigen Geometrie lässt sich durch die Fotos realisieren, die beim Scannen mit der auf dem Scanner montierten, hochauflösenden Digitalkamera aufgenommen wurden. Es können aber auch alle anderen Fotos des gescannten Objekts verwendet werden. Diese werden manuell über Passpunkte eingefügt und von der Software auf die Geometrie dreidimensional entzerrt.

Verwendungsmöglichkeiten der fertigen 3D-Modelle

Das nun fertige Modell kann einerseits für Präsentations- und Visualisierungszwecke weiterverwendet werden, andererseits steht es auch für Dokumentationsarbeiten zur Verfügung. So ist es einfach und schnell möglich, Koordinaten an jedem beliebigen Punkt der Modelloberfläche abzufragen. Längen, Breiten und Entfernungen können problemlos gemessen werden und auch das Anlegen von Schnitten oder Segmenten in jeder beliebigen Lage und Anzahl ist ohne großen Aufwand realisierbar. Damit besteht auch nach der eventuellen „Beseitigung“ des realen Befundes die

4 Übertragung der digitalisierten Zeichnungen in die herkömmliche Archäocad-Dokumentation.





5 Schattierte (links) und fotorealistisch texturierte Aufnahme (rechts) eines mittelalterlichen Kellers aus Ulm/Weinstraße.

Option, nachträgliche Vermessungsaufgaben durchzuführen. Weiterhin lässt sich das Modell als Grundlage zur dreidimensionalen Digitalisierung des gescannten Objekts verwenden. Dabei kann direkt auf die 3D-Oberfläche des Modells am PC-Bildschirm mit der Maus gezeichnet werden (Abb. 3). Nach Bedarf können die so entstandenen 3D-Vektordaten oder auch georeferenzierte Orthofotos anschließend in die Standard-CAD-Systeme der Landesarchäologie (AutoCAD®/ArchäoCAD®) exportiert und in die herkömmlichen zeichnerischen Dokumentationen integriert und weiterverwendet werden (Abb. 4).

Projekte 2010/2011

Seit September 2010 wurden mehrere Laserscan-Projekte erfolgreich durchgeführt. Der zeitliche Aufwand bei den in ihren Anforderungen teils sehr unterschiedlichen Projekten reichte von wenigen Stunden bis hin zu mehrtägigen Kampagnen. Zu den kleineren Projekten zu zählen ist die Aufnahme eines römischen Brunnens mit Sonderbestatungen in Stettfeld, Kr. Karlsruhe, ein Scan der Betelbühl-Grabkammer nach der Bergung und dem Transport nach Ludwigsburg und die Aufnahme eines mittelalterlichen Kellers in Ulm (Abb. 5). Aufgrund der geringen Größe und vergleichsweise einfachen und wenig verschachtelten Strukturen dieser Objekte waren hier in der Regel vier bis sechs Scanpositionen ausreichend, um eine vollständige Erfassung der Befunde zu gewährleisten. Daraus resultieren eine entsprechend eher geringe Datenmenge und eine in aller Regel unkomplizierte Datennachbearbeitung, sodass die fertig prozessierten Modelle oftmals nach wenigen Tagen zur Verfügung stehen.

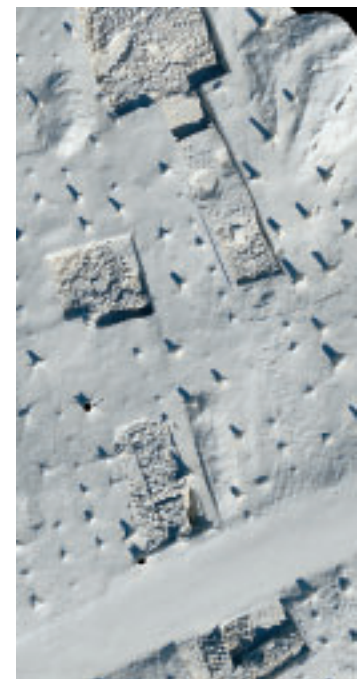
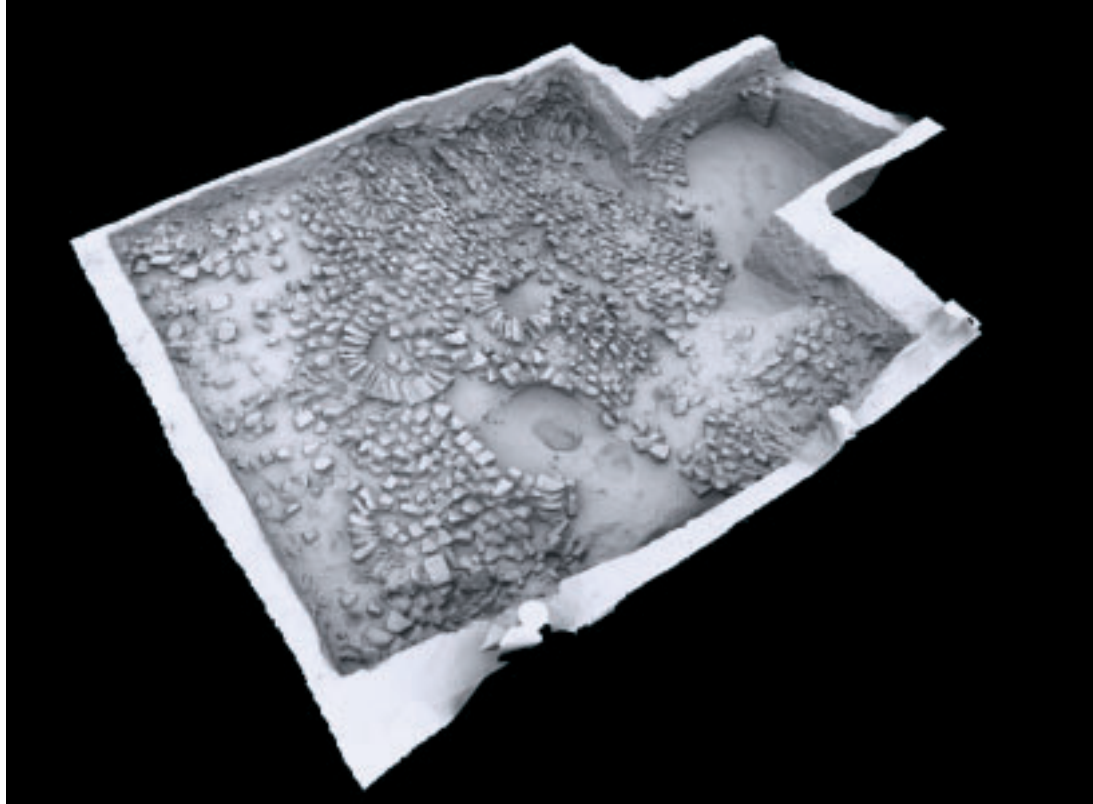
6 Hochauflösende Scans von erhaltenen Hölzern eines mittelalterlichen Schiffswracks aus dem Bodensee.

Zu den aufwendigsten Projekten zählen die Aufnahmen der ausgegrabenen Bereiche des Apollo-Grannus-Tempels in Neuenstadt am Kocher, Kr. Heilbronn, und der römischen Badeanlage in Murrhardt, Rems-Murr-Kreis. In Neuenstadt waren über 40 Scanpositionen nötig, um die verwinkelten Mauerbefunde von allen Seiten zu dokumentieren. Die so entstandenen enormen Datenmengen konnten von der EDV nicht in einem Arbeitsgang verarbeitet werden und mussten in mehrere Teile aufgetrennt und separat prozessiert werden. Später wurden die einzelnen Segmente dann wieder zu einem Gesamtbild zusammengefügt.

Aber nicht nur die tatsächliche Größe eines Objektes oder Befundes, auch die Struktur beziehungsweise Geometrie hat einen wichtigen Einfluss auf den Arbeitsaufwand. In einem Versuchsprojekt gemeinsam mit der Arbeitsstelle für Feuchtbodenarchäologie in Hemmenhofen sollte versucht werden, hölzerne Wrackteile eines Schiffes aus dem Bodensee mit dem Laserscanner dreidimensional zu erfassen (Abb. 6). Die fertigen Modelle der einzelnen Bauteile sollen als digitale Grundlage für die Kartierung von Bearbeitungsspuren und konstruktiver Details dienen. Weiterhin ist angedacht, diese zu einem späteren Zeitpunkt am Computer virtuell wieder zusammenzusetzen und auf dieser Basis eine komplette 3D-Rekonstruktion des Schiffes zu entwickeln. Die ca. 40 erhaltenen Holzfragmente mussten einzeln mit jeweils acht gesonderten Scans aufgenommen und die Daten separat prozessiert und zu 3D-Modellen zusammengefügt werden. Die Arbeiten an diesem Projekt wurden im Herbst 2010 begonnen und werden noch bis Ende 2011 andauern.

Die Erfassung des Brandschuttes des Haus zum Bub in der Hussenstraße in Konstanz dagegen stellte die Methodik vor gänzlich anders geartete Probleme. Normalerweise ist ein zu scannendes Objekt, in der Regel ein Grabungsbefund, von allen Seiten gut zugänglich, und es ist verhältnismäßig unproblematisch, Scans von allen Positionen und Blickwinkeln durchzuführen. Die Situation in Konstanz ließ dies allerdings nicht zu. Nicht nur die immense Höhe und Komplexität des Brandschutts, sondern vor allem die Tatsache, dass





ein Betreten aus sicherheitstechnischen Gründen nicht möglich war, und die äußerst eingeschränkten Platzverhältnisse durch die direkt angrenzenden Gebäude ließen nur eine sehr limitierte Auswahl an Scanpositionen zu. So ließen sich für die Erstaufnahme im Januar 2011 lediglich vier teils sehr eingeschränkte Blickwinkel von nur drei Seiten aus realisieren. Die daraus resultierenden großen Datenlücken verhinderten die Erstellung eines geschlossenen Oberflächenmodells. Dennoch bildet die Aufnahme, die einer Vermessung des Befundes mit über 10 Millionen Messpunkten entspricht, eine hochpräzise Grundlage für die wissenschaftliche Dokumentation. Nach Beseitigung des Brandschutts wurden im Sommer 2011 weitere Scans der erhaltenen Bauglieder und des Kellers durchgeführt, um die Bauaufnahmen zu vervollständigen.

Ein weiteres aufwendiges Projekt ist die dreidimensionale Aufnahme der aktuellen Grabungen im Bereich des römischen Freilichtmuseums Hechingen-Stein. In mehreren Schnitten konnten hier verstürzte und im Bauzusammenhang erhaltene Mauern dokumentiert werden. Die hohe Detailgenauigkeit der Laserscanaufnahmen kann in dieser Situation zum Beispiel zeitaufwendige steingenaue zeichnerische Dokumentationen ersetzen beziehungsweise unterstützen (Abb. 7). Zusätzlich wird angestrebt, auch die markante topografische Situation zu erfassen und in Form eines dreidimensionalen Geländemodells bereitzustellen. Der dichte Bewuchs der Fundstelle mit Fichten stellt hierbei eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit dar, da die Sicht auf die Geländeoberfläche bereits nach wenigen Metern sehr eingeschränkt ist (Abb. 8).

Die im Verlauf der letzten Monate realisierten Projekte dokumentieren deutlich das Potenzial mo-

derner 3D-Scanverfahren, die vor allem im Verhältnis Präzision zu Zeitaufwand allen herkömmlichen Methoden deutlich überlegen sind.

Bei allen Möglichkeiten, die diese Technologie bietet, sind aber auch die Anforderungen zu bedenken, die eine zeitlich direkte Integration von 3D-Laserscandaten in die bestehenden Arbeitsprozesse der laufenden Projekte der Landesarchäologie der Denkmalpflege stellt. Neben dem technischen Wissen, das der Anwender benötigt, um in vollem Umfang Scandaten zu erheben, zu nutzen und zu prozessieren, sind umfangreiche Softwarepakete und eine leistungsstarke Hardware sowohl für die Datenerhebung als auch für das Postprocessing nötig. So ist der finanzielle Aufwand nicht unerheblich und das System noch einmalig in der baden-württembergischen Landesarchäologie. Für die Zukunft ist es aber durchaus denkbar, dass 3D-Scandaten und ihre Nutzung für Dokumentation und Präsentation mittelfristig, genau wie Tachymetervermessung und Photogrammetrie heute, zum Standardrepertoire der archäologischen Denkmalpflege gehören werden.

Literatur

J. Bofinger/M. Merkl (Hrsg.): Mit Hightech auf den Spuren der Kelten. Archäologische Informationen Baden-Württemberg, 61 = Schriftenreihe des Keltenmuseums Hochdorf/Enz 8, Esslingen 2010.

David Bibby

Markus Steffen M.A.

Regierungspräsidium Stuttgart

Landesamt für Denkmalpflege

7 Schattierte Darstellung des Wandversturzes eines Gebäudes bei den Ausgrabungen der römischen Villa von Hechingen-Stein, Zollernalbkreis.

8 Zusammengesetzter Gesamtscan der Grabungsschnitte und der Geländesituation der Ausgrabungen in Hechingen-Stein.