

PHOTOGRAMMETRISCHE 3D-DOKUMENTATION VON NASSHOLZFUNDEN AUS OYMAAĞAÇ HÖYÜK/NERIK (PROVINZ SAMSUN/TR)

Bei den Ausgrabungen auf dem Oymaağaç Höyük (Provinz Samsun/TR) wurde im Jahre 2017 in einer unterirdischen Quellschleuse unerwartet eine größere Menge an außergewöhnlich gut erhaltenen Nasshölzern entdeckt. Der für die Archäologie Zentralanatoliens einmalige Befund stellte nicht nur für die Ausgrabungen, sondern auch für die Dokumentation eine große Herausforderung dar. Der Bedeutung des Befundes und der Funde Rechnung tragend, wurde gleich nach der Entdeckung versucht, eine bestmögliche Aufnahme zu gewährleisten, die jedoch durch die finanziellen, personellen und organisatorischen Rahmenbedingungen vor Ort limitiert war. Dieser Beitrag soll über die nicht alltäglichen Probleme und vor allem die angewandten Lösungen bei der Dokumentation dieser außergewöhnlichen Nassholzfunde berichten.

Der Befund

Der Siedlungshügel des Oymaağaç Höyük liegt in der mittleren Schwarzmeerregion Anatoliens nahe der heutigen Stadt Vezirköprü und wurde vom Chalkolithikum (Mitte 5. Jt. v. Chr.) bis in die Eisenzeit (3. Jh. v. Chr.) besiedelt. Der bedeutendste Siedlungsniederschlag datiert in die Spätbronzezeit (ca. 1700-1200 v. Chr.), als die Hethiter dort ihre auch überregional wichtige Kultstadt Nerik errichteten. Seit 2007 finden hier unter der Leitung von Prof. Dr. Rainer Maria Czichon (Universität Uşak) und Prof. Dr. Jörg Klinger (Freie Universität Berlin) sowie mit Genehmigung und Unterstützung des türkischen Ministeriums für Kultur und Tourismus archäologische Ausgrabungen statt (Czichon 2013; 2015;



Abb. 1 Der freigelegte Eingang des unterirdischen Treppenganges von Oymaağaç Höyük/Nerik zu Beginn der Ausgrabungen. – (Foto H. Marquardt, Oymaağaç-Projekt).

Czichon u. a. 2011; 2016; 2019). Ein Forschungsschwerpunkt bildete dabei die Freilegung eines rätselhaften unterirdischen Treppenganges (**Abb. 1**), der in einer für die hethitische Zeit typischen Kragsteingewölbetechnik errichtet worden ist und zu Beginn der Ausgrabungen fast komplett mit Sediment verfüllt war. Nach acht Jahren aufwendiger

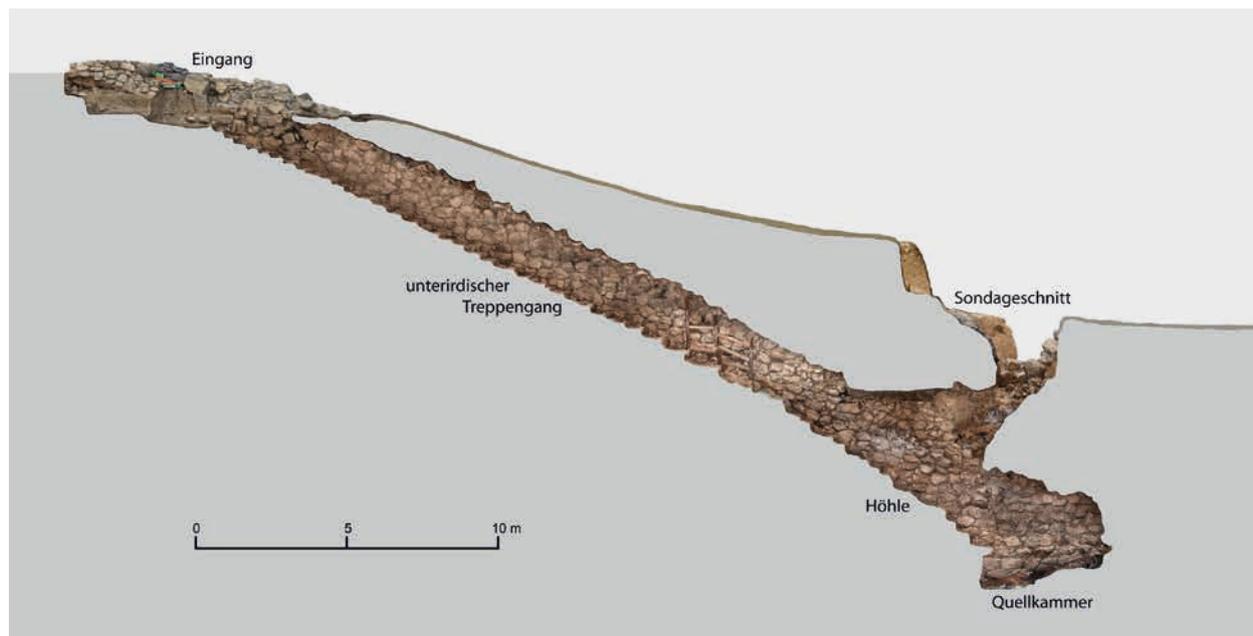


Abb. 2 Profil der photogrammetrischen Dokumentation des unterirdischen Treppenganges und der Quellkammer bis zum Jahre 2017. – (Grafik M. Lehmann).

Arbeiten konnte während der Kampagne des Jahres 2017 dann das Ende erreicht werden, doch erst im Sommer 2019 gelang die vollständige Ausgrabung der Anlage, die nicht nur innerhalb der spätbronzezeitlichen Architektur Anatoliens, sondern auch weit darüber hinaus ein exzeptionelles Bauwerk darstellt (Mielke 2016; 2019; Mielke/Czichon 2019; Czichon/Mielke im Druck). Die zahlreichen Stufen des unterirdischen Treppenganges führen nach etwa 29 m zu einer Quellkammer, deren Boden etwa 9 m unterhalb der heutigen Oberfläche liegt und die ca. 3,5 m hoch ist (Abb. 2). Dabei handelt es sich um ein 3,70 m langes, 1,80 m breites und 1,60 m tiefes Becken, das aus großen Steinblöcken errichtet und wie der Treppengang mit einem Kragsteingewölbe überdeckt worden ist, während der Boden mit einem Steinplattenpflaster versehen wurde (Abb. 3). Dass hier eine Quellkammer vorliegt, wird durch einen besonders bearbeiteten Wassereinlaufstein belegt, der am hinteren Ende der Kammer aus der Wand ragt. Darüber hinaus fand sich noch ein aus mächtigen Kiefernstämmen gezimmerter hölzerner Auslauf. Bei dem exzeptionellen Bauwerk wird es sich um die aus hethitischen Keilschriftontafeln histo-

risch überlieferte »Quelle des Wettergottes von Nerik« handeln.

Die Ausgrabung der Quellkammer war nicht nur durch die Enge unter Tage problematisch. Als besondere Herausforderung erwies sich der Umstand, dass die Grabungsstelle unterhalb des heutigen Grundwasserspiegels liegt, der trotz des Einsatzes mehrerer Pumpen nicht einfach in den Griff zu bekommen war. Zudem war die Quellkammer komplett mit feinem Lehm zusedimentiert, der im Laufe der Jahrhunderte dort eingeschwemmt worden ist. Durch diese Ausgangssituation waren jedoch auch gute Bedingungen zur Erhaltung organischer Funde gegeben, eine Vermutung, die sich mehr als bestätigen sollte: Die Quellkammer war unterhalb der letzten Stufe des Treppenganges über und über mit hervorragend erhaltenen Holzresten unterschiedlichster Größe verfüllt (Czichon/Mielke 2019) (Abb. 4). Insgesamt handelt es sich um mehrere Tausend einzelne Fundstücke. Ein Teil dieser Holzreste gehörte zu einer Art Plattform bzw. einer stegartigen Konstruktion, die von der letzten Treppenstufe aus in die Kammer hineinführte. Die große Masse des entdeckten Holzes war jedoch als unstrukturiertes Pa-



Abb. 3 Die unterirdische Quellkammer mit Wassereinlaufstein an der hinteren Kammerwand und hölzernem Auslauf nach Beendigung der Ausgrabungen 2019. – (Foto D. P. Mielke, Oymaağaç-Projekt).



Abb. 4 Holzpaket in der Quellkammer während der Ausgrabungen 2017. – (Foto D. P. Mielke, Oymaağaç-Projekt).

ket auf dem Boden der Kammer abgelegt worden. Bei allen größeren Hölzern der Ansammlung handelt es sich um bearbeitete Stämme einstiger Holzbauten oder anderer hölzerner Strukturen, die aufgrund ihrer Dimensionen längs in der Kammer deponiert wurden. In den meisten Fällen liegt Kiefernholz vor. Kleinere, oft ebenfalls bearbeitete Holzstämmen wurden auch quer verlegt. Dazwischen lag zahlreiches Geäst, das vor der Deponierung offensichtlich zerhackt worden ist, wie zahlreiche Schnitt- und Hackspuren anzeigen. Hier ist die Variationsbreite der Holzarten deutlich größer. Neben Kiefer konnten auch Eiche, Wacholder sowie Obstgehölze nachgewiesen werden. In dem Paket kamen aber auch spektakuläre Funde von Geräten aus Kiefernholz wie eine Feldhacke oder mehrere Webschwerter zu Tage (**Abb. 5**). Komplementiert wurde dieses exzeptionelle Ensemble durch den Fund einer Leiter, die noch *in situ* direkt an der letzten Stufe des Treppen-

ganges stand und auf den Boden der Kammer hinabführte (**Abb. 6**). Die Holme der Leiter wurden aus Kiefernholz, die Sprossen hingegen aus Eiche gefertigt. Mit Ausnahme der gezielt eingebauten stegartigen Konstruktion wurde das Holz offensichtlich aus der Siedlung und der Umgebung zusammengetragen und in der Kammer abgelegt. Es wird vermutet, dass mit dem in der Kammer deponierten Holz versucht werden sollte, ein Feuer zu entfachen, um die Anlage zum Einsturz zu bringen. Dafür spricht nicht nur die Art des Holzpaketes, sondern auch eine Brandstelle, die klar belegt, dass das Holzpaket *in situ* gebrannt hat (**Abb. 4**). Der Zerstörungsversuch ist wahrscheinlich wegen Sauerstoffmangel oder steigenden Grundwassers gescheitert, sodass Kammer und Hölzer bis heute erhalten geblieben sind. Nach bisherigen Untersuchungen wurden die Hölzer dort am Ende des 9. Jahrhunderts v. Chr. deponiert. Mögliche Hintergründe für diese Aktion



Abb. 5 Kiefernholzgeräte – Feldhacke (1) und Webschwert (2) – aus der unterirdischen Quellkammer. – (Fotos H. Aka, Oymaağaç-Projekt).

sind noch unklar und werden hoffentlich im Zuge der weiteren Auswertung erkennbar. Die Kammer selbst wurde im 17. Jahrhundert v. Chr. errichtet und wohl bis zu dem Zeitpunkt der Holzdeponierung ununterbrochen genutzt.

Bei den Nassholzfunden aus der unterirdischen Quellkammer von Nerik handelt es sich um einen nicht nur in der anatolischen Archäologie herausragenden Befund. Vergleichbare Befundsituationen sind nur aus Feuchtbodenmilieus – vor allem aus dem mittel- und nordeuropäischen Raum – bekannt.

Obwohl es sich um mehr als 3000 Jahre altes Nassholz handelt, ist die Holzstruktur äußerlich nahezu perfekt erhalten und das Holz sieht wie frisch verarbeitet aus (Abb. 7). Darüber hinaus haben sich in der Kammer auch unzählige kleine botanische Funde wie Haselnüsse oder Oliven erhalten, die ebenfalls mit viel Aufwand durch Flotation geborgen wurden. Die Nassholzfunde stellen ein unschätzbares Archiv für die Klima- und Umweltforschung dar und eröffnen die Möglichkeit, Einblicke in die Holzbearbeitung früher Epochen zu erhalten. Bei einigen der

bearbeiteten Stämme könnte es sich um die bisher frühesten Reste einer Holzarchitektur handeln, wie sie bis in jüngerer Zeit in der türkischen Schwarzmeerregion vorgekommen ist. Aufgrund der geschilderten Einmaligkeit und Bedeutung der Nassholzfunde aus der unterirdischen Quellkammer war es ein großes Anliegen, auch eine bestmögliche Dokumentation zu gewährleisten.

Die Befunddokumentation

Bereits seit 2011 gibt es eine Kooperation zwischen dem Ausgrabungsteam der Freien Universität Berlin bzw. der Universität Uşak mit dem Labor für Photogrammetrie der Beuth Hochschule für Technik Berlin, die vor allem die Dokumentation der Ausgrabungsbefunde umfasst (Kähler/Lehmann 2016; Breuer/Lehmann/Koch 2019). Ziel der Photogrammetrie ist dabei die Generierung exakter dreidimensionaler



Abb. 6 Holzleiter *in situ* an der letzten Stufe des unterirdischen Treppenganges angelehnt während der Ausgrabungen 2017. – (Foto D. P. Mielke, Oymaağaç-Projekt).



Abb. 7 Herkömmliche zweidimensionale Dokumentation einiger großer bearbeiteter Holzstämme. – (Fotos H. Aka, Oymaağaç-Projekt).

Informationen aus Bilddaten. Nachdem zu Beginn der photogrammetrischen Arbeiten auf dem Oymaağaç Höyük mehrere Verfahren getestet wurden (Kähler/Lehmann 2016, 121), wurde die Automatische Mehrbildphotogrammetrie, die auch als Structure from Motion (SfM) bezeichnet wird¹, als am geeignetsten für die weitere Dokumentation der Befunde ausgewählt. Dank der Entwicklungen der letzten Jahre ist dieses Verfahren kostengünstig und vergleichsweise einfach einzusetzen und findet dementsprechend seit einiger Zeit auch vermehrt in der archäologischen Dokumentation Anwendung (De Reu u. a. 2013; 2014; Reinhard 2016). Hierbei werden die Befunde zunächst mit Digitalkameras mit hochauflösendem Sensor erfasst. Anschließend wird mit einer Software ein dreidimensionales Modell berechnet. Im aktuellen Fall kam das Programm Metashape Professional der Firma Agisoft LCC² zum Einsatz, das unter seinem früheren Produktnamen Agisoft PhotoScan eine weite Verbreitung gefunden hat. Über am Befund verteilte Passpunkte mit bekannten Koordinaten oder Strecken wird der Maßstab des 3D-Modells festgelegt. Danach werden für das Gesamtmodell eine dichte Punktwolke, ein Oberflächenmodell und schließlich ein texturiertes 3D-Modell berechnet. Mit diesem Verfahren wurden seit 2014 nicht nur täglich sämtliche Befunde auf dem Oymaağaç Höyük dokumentiert, sondern auch die komplette unterirdische Anlage. Aus den Daten der photogrammetrischen Dokumentation ist in Zusammenarbeit mit dem Labor für Geomedien der Beuth Hochschule für Technik Berlin (Prof. Dr. Ursula Ripke, Martin Vigerske M.Sc.) eine Virtual-Reality-Umgebung entstanden, die der Visualisierung des unterirdischen Ganges sowie des kompletten Ausgrabungsgeländes inklusive des weiteren Umkreises dient. Die in kleinen Schritten durchgeführte Freilegung der Nasshölzer wurde fortlaufend photogrammetrisch erfasst. Zweidimensionale Dokumentationsmethoden hätten die Komplexität der Funde nicht adäquat abbilden können. Eine dreidimensionale Erfassung wurde also notwendig. Diese konnte trotz der räumlichen Enge der Fundsituation unter erschwerten Bedingungen mehr als zufriedenstellend realisiert werden.

Die Funddokumentation

Nach der Bergung der ersten Nasshölzer im Jahre 2017 stellte sich schnell auch die Frage nach einer adäquaten Dokumentation dieser Funde, denn unter diesen waren außergewöhnliche Objekte, wie die bereits erwähnte Hacke, mehrere Webschwerter und die Leiter. Nach kurzer Überlegung wurde beschlossen, auch für die 3D-Dokumentation der Nasshölzer das Verfahren der Automatischen Mehrbildphotogrammetrie anzuwenden, das prinzipiell für derartige Aufgaben geeignet ist (Luhmann 2018; Pomaska 2016). Die photogrammetrische 3D-Dokumentation dieser speziellen Funde stellt allerdings in vielerlei Hinsicht eine Herausforderung dar, zumal dieses Verfahren offensichtlich bisher kaum bei vergleichbaren archäologischen Funden eingesetzt worden ist³. Zwar sind die Hölzer auf den ersten Blick äußerlich gut erhalten (**Abb. 7**), doch weisen sie unterschiedliche Abbaugrade auf. So sind alle größeren Hölzer an der Oberfläche fast durchgängig weich, wobei einige zum Kern hin fester werden, andere hingegen durchgehend weich bleiben. Der maximale Holzfeuchtegehalt (u_{\max}), der bei fällfrischen Baumstämmen bis 150 % reichen kann, liegt zwischen 400 und 850 %, was die Hölzer nicht nur äußerst schwer, sondern auch sehr fragil macht. Aus diesem Grund sollten die Nasshölzer während der Dokumentation möglichst wenig bewegt werden. Insgesamt waren die meisten Hölzer jedoch noch so stabil, dass sie ohne größere Probleme gehandhabt werden konnten. Darüber hinaus mussten sie ständig feucht gehalten werden, um ein Schrumpfen zu verhindern. Fototechnische Probleme ergaben sich vor allem dadurch, dass die Oberfläche der Holzfunde aufgrund der starken Durchfeuchtung und wegen Oxidationsprozessen nach der Entnahme aus dem Lagerungsmilieu insgesamt sehr dunkel ist. Hinzu kommt, dass die reflektierenden Oberflächen der nassen Hölzer (**Abb. 7-8**) fotografisch grundsätzlich schwierig zu erfassen sind. Es wurde jedoch angestrebt, die Oberflächen im dreidimensionalen Ergebnis sehr detailliert wiederzugeben, um die Textur der Holzoberfläche sowie

Bearbeitungs-, Nutzungs- oder Brandspuren bestmöglich dokumentieren und später analysieren zu können. Zudem mussten je nach Größe und Ausformung des Fundstückes die Lagerung auf einer Plattform und die jeweilige Aufnahmeconfiguration individuell angepasst werden. Schließlich stand für die photogrammetrischen Arbeiten in jeder Ausgrabungskampagne lediglich ein Zeitfenster von ungefähr zehn Tagen zur Verfügung, denn alle Funde mussten vor Ort dokumentiert werden. Um diese Probleme in den Griff zu bekommen und eine weitgehende Vereinheitlichung und Optimierung bei der Durchführung der photogrammetrischen Dokumentation zu gewährleisten, wurde zunächst ein geeigneter Arbeitsablauf entwickelt. Erst 2018 begann dann die eigentliche Dokumentation der Nasshölzer (Breuer/Lehmann/Koch 2019), die 2019 fortgesetzt wurde.

Dabei stand zunächst die Aufnahme der besonderen Objekte im Vordergrund, allen voran die der Leiter, die sehr fragil war und in über 20 einzelnen Fragmenten geborgen werden musste. Allein diese Dokumentationsarbeiten waren sehr aufwendig, wobei die endgültige Bearbeitung und Auswertung der Daten im Rahmen einer Bachelorarbeit erfolgte (Pergande 2019). Bei der Funddokumentation der Nasshölzer mittels Automatischer Mehrbildphotogrammetrie wurden die einzelnen Objekte mit mehreren Digitalkameras mit hochauflösendem Sensor in einer dem Fund angepassten geeigneten Aufnahmeconfiguration erfasst. Mit der Software MetaShape Professional der Firma Agisoft LCC wurde anschließend das dreidimensionale Modell berechnet. Über kleine, am Objekt liegende Passpunkte mit bekannten Koordinaten oder Strecken wurde der Maßstab des 3D-Modells bestimmt. Da jeweils immer nur eine Ober- und eine Unterseite aufgenommen werden konnte, wurden die 3D-Teilmodelle anschließend über identische Punkte zu einem Gesamtmodell verknüpft. Für das Gesamtmodell eines jeden Holzstückes sind abschließend eine dichte Punktwolke, ein Oberflächenmodell und ein texturiertes 3D-Modell berechnet worden. Aufgrund des exemplarischen Charakters der angewandten Lösungen bei der Dokumentation der

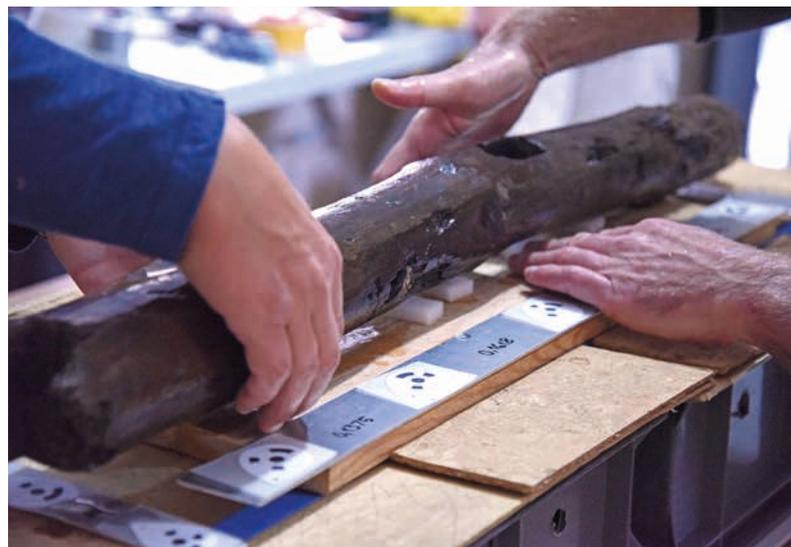


Abb. 8 Lagerung eines Holzes der Leiter auf der vorbereiteten Unterlage. – (Foto M. Lehmann).

Nassholzfunde aus der unterirdischen Quellkammer von Oymaağaç Höyük/Nerik wird im Folgenden eine generalisierte Beschreibung der photogrammetrischen Arbeiten mittels Automatischer Mehrbildphotogrammetrie gegeben.

Aufnahmeplanung

Bei der Planung der Aufnahme für die 3D-Dokumentation mussten photogrammetrische, fotografische, praktische und zeitliche Aspekte berücksichtigt werden. Zu den photogrammetrischen Aspekten gehörten die Anordnung, Art und Anzahl der Kameras, der erforderliche Bildmaßstab, die Auflösung am Objekt, die Berücksichtigung der Schärfentiefe, die Planung der Überlappungsbereiche zwischen den Bildern sowie die Beachtung der Genauigkeitsanforderungen. Weiterhin zählten dazu sowohl die Art und Verteilung von Passpunkten als auch die Markierung identischer Punkte für das Zusammenfügen der Modelle der Ober- und Unterseite. Die fotografischen Aspekte umfassten die optimale Beleuchtung und Ausleuchtung des jeweiligen Fundstückes in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit, die Reduktion von Spiegelungen und die Vermeidung von Vibrationen bei

der Auslösung. Zu den praktischen und zeitlichen Aspekten gehörten die Konstruktion von Auflageplattformen sowie die Parallelisierung von Arbeitsschritten und die Optimierung von Abläufen. Schließlich sollte auch eine Qualitätskontrolle der erfassten Daten vor Ort stattfinden, um gegebenenfalls Nachbesserungen durchführen zu können. Hierbei waren die Qualität der Einzelbilder und die Vollständigkeit des Bildverbandes zu überprüfen, was durch eine erste Berechnung des 3D-Modells erreicht wurde. Zu den limitierenden Faktoren hinsichtlich der Anzahl der aufzunehmenden Objekte gehörten ebenfalls die zur Verfügung stehende Zeit vor Ort, die personelle Ausstattung, die Anzahl der verfügbaren Kameras und die örtlichen Gegebenheiten. Ein weiterer bedeutender Faktor waren die hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Dokumentation.

Photogrammetrische Aspekte

Photogrammetrische Aufnahmeverfahren erlauben die mehrdimensionale Vermessung von Objekten mit sehr hoher Genauigkeit. Diese kann je nach Aufnahmekonfiguration bis zu wenigen Mikrometern betragen. Solch hohe Genauigkeiten erfordern jedoch einen extrem hohen Aufwand. Die Planung der Konfiguration ist also immer als Kompromiss zwischen gewünschter oder erwarteter Genauigkeit und vertretbarem oder leistbarem bzw. in der jeweiligen Situation vernünftig erscheinendem Aufwand zu verstehen. Für die hier beschriebenen Arbeiten war eine Aufnahmekonfiguration zu entwickeln, die mit einer leicht zu transportierenden Ausrüstung unter den Bedingungen einer Ausgrabung in Anatolien innerhalb einer sehr begrenzten Zeit bestmögliche Ergebnisse liefert. Als Aufnahmesysteme standen drei digitale Spiegelreflexkameras vom Typ Nikon D850 mit Vollformatsensor zur Verfügung. Diese konnten mit Nikkor-Objektiven 50mm 1/1,4 oder 35mm 1/1,4 ausgestattet werden.

Für die Planung der Aufnahmen mussten verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Neben dem

Bildmaßstab, der sowohl die Auflösung als auch die Genauigkeit beeinflusst, musste die Überlappung der Bilder, also die Basislänge zwischen den einzelnen Aufnahmen, festgelegt werden. Diese ist ebenfalls ein die Genauigkeit bestimmender Faktor. Um die maximale Auflösung der Kamera auszunutzen, muss der Abbildungsmaßstab so groß wie möglich gewählt werden, d.h., der Abstand zwischen Objekt und Kamera wird so klein gewählt, dass das Objekt inklusive der Passpunkte das gesamte Bildformat ausfüllt. Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Schärfentiefe, die sich gerade bei geringen Aufnahmeabständen als limitierender Faktor erwies. Der Schärfentiefebereich verringert sich mit kürzer werdender Aufnahmeentfernung, sodass je nach Objektgröße ein bestimmter Abstand nicht unterschritten werden darf. Sonst werden Teile des Objektes oder der Passpunkte nicht mehr scharf abgebildet. Die Aufnahmeentfernung variierte mit der räumlichen Ausdehnung des Objektes in Aufnahme-richtung und musste für jedes Holzstück individuell definiert werden.

Die Aufnahme der Nasshölzer wurde mit den nachfolgend beschriebenen Parametern geplant: Ein Pixel auf dem Vollformatsensor der Kameras hat eine Größe von 0,0043mm. Aufgrund der Abbildungsleistung soll weitestgehend mit 50-mm-Normalwinkelobjektiven gearbeitet werden. Mit einem Aufnahmeabstand von 60-80cm und der Blende 16 wird die erforderliche Schärfentiefe von 12-22cm erreicht. Der Abstand zwischen zwei Bildern wird erwartungsgemäß eine Größe von 2,5-45cm haben. Die große Spanne für die Basislänge ergibt sich daraus, dass hier sowohl aufeinanderfolgende Bilder von einer Kamera innerhalb eines Streifens infrage kommen als auch Bilder benachbarter Kameras, die den gleichen Objektpunkt abbilden. Unter Annahme mittlerer Werte für Aufnahmeabstand und Basislänge ist eine mittlere Genauigkeit von 0,06mm im photogrammetrischen Modell zu erwarten (vgl. Luhmann 2018, 168ff.). Der Bildmaßstab wird dabei zwischen 1:12 und 1:16 liegen und die Auflösung am Objekt, also die Kantenlänge eines Pixels, bei 0,05-0,07mm.



Abb. 9 Auflageplattform Drehteller mit Fragment eines Webschwertes. – (Foto H. Lux).

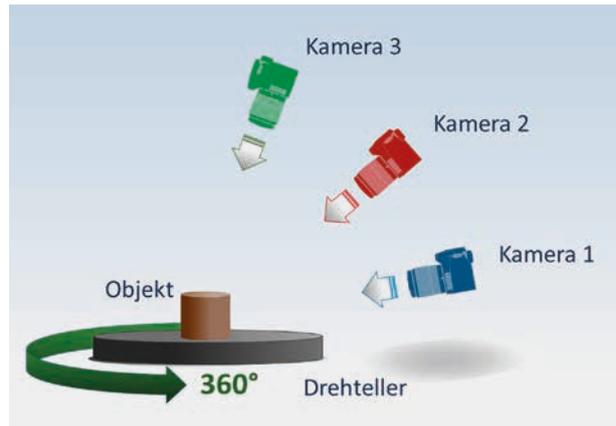


Abb. 10 Geplante Konfiguration einer Drehtelleraufnahme. – (Grafik M. Koch).

Aufnahmekonfiguration

Aufgrund der Verschiedenartigkeit und Größe der Nassholzfunde, die von kleinen 10-20cm langen Stücken bis zu 2,40m langen Stämmen reicht, wurden unterschiedliche selbst angefertigte Auflageplattformen verwendet. Grundsätzlich wurde mit statisch angeordneten Kameras gearbeitet und die Auflageplattform bewegt, da sich diese Vorgehensweise als sehr effizient erwiesen hat. Für kleinteilige Funde wie z. B. die Webschwerter, Werkzeuge oder Bruchstücke der Leiter kam ein Drehteller zum Einsatz (**Abb. 9**). Dabei wird ein zentral auf dem Drehteller platziertes Objekt von drei Kameras beobachtet, die in drei verschiedenen Positionen angeordnet sind und somit Bilder aus drei verschiedenen Blickwinkeln liefern (**Abb. 10**). Der Aufnahmeteller wird vor jeder Aufnahme um ca. 10° gedreht, bis eine komplette Drehung von 360° absolviert ist.

Alle größeren Holzobjekte wurden hingegen auf eine schlittenartige, bewegliche Plattform gelegt, die durch Kunststoffschienen in der Spur gehalten wurde (**Abb. 11**). Dieser Schlitten wurde dann schrittweise an drei, in verschiedenen Positionen auf das Objekt ausgerichteten Kameras vorbeibewegt. So wurden Aufnahmeentfernung und Beleuchtungsbedingungen für die einzelnen Bilder konstant gehalten (**Abb. 12**). Lediglich an den oft bearbeiteten Enden der großen Holzbalken musste eine indi-



Abb. 11 Auflageplattform Schlitten mit halbrundem bearbeitetem Holzobjekt. – (Foto M. Lehmann).

viduelle Kamerapositionierung vorgenommen werden. Nach der Aufnahme des ersten Streifens wurde die Plattform mit aufgelegtem Nassholz vorsichtig gedreht, um den zweiten Streifen zu erfassen. Die einzelnen Kameras wurden für jede Aufnahmeserie



Abb. 12 Geplante Konfiguration einer Aufnahme mit Schlitten. – (Grafik M. Koch).

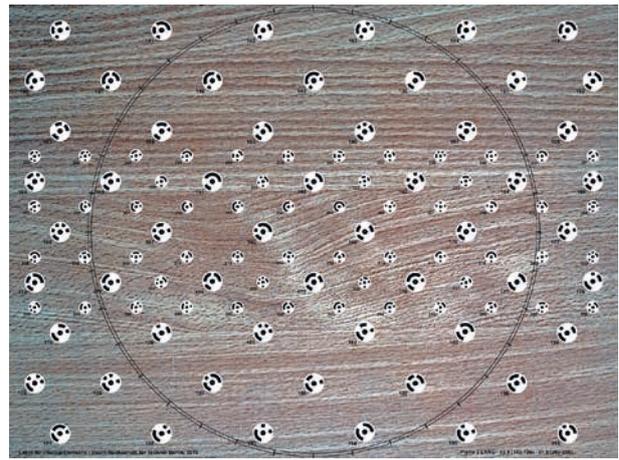


Abb. 13 Passpunkte auf Aufnahmeplatte (60 cm x 45 cm). – (Foto M. Lehmann).

individuell fokussiert, die Fokussierung während der Aufnahmeserie jedoch fixiert. Für alle Aufnahmen einer Fokusstufe innerhalb eines Modells können dadurch einheitliche Kameraparameter berechnet werden.

Die Verwendung von Passpunkten oder bekannten Strecken ist für die Transformation des photogrammetrischen Modells in ein maßstäbliches 3D-Modell notwendig. Die Software Metashape der Firma Agisoft LCC bietet die Möglichkeit, codierte Passpunktmarken beliebiger Größe zu generieren. Diese codierten Marken werden im Zuge der Modellberechnung in den Einzelbildern automatisch erkannt und unterstützen auch die Orientierung des Bildverbandes. Die Passpunktmarken bestehen aus einem schwarzen Innenkreis, dessen Mittelpunkt Weiß markiert ist und den Passpunkt definiert. In einem Außenkreis wird über unterschiedlich große, schwarze und weiße Segmente die Punktnummer codiert.

Für den späteren Auswertungsprozess ist eine optische Trennung des aufzunehmenden Objektes vom Unter- und Hintergrund zwingend notwendig. Jedoch sollte das Material, auf dem die Nasshölzer während der Aufnahme gelagert wurden, eine möglichst ungleichmäßige Textur aufweisen, damit von der Software auch hier zahlreiche Verknüpfungspunkte detektiert werden können, die

den Bildverband bei der Bildorientierung stützen. Gleichzeitig sollte die Auflageplattform auch als Passpunktfeld dienen (**Abb. 13**). Um ein Bezugskordinatensystem für alle zu vermessenden Holzfunde zu schaffen, wurden Passpunkte in zwei unterschiedlichen Größen auf einem unregelmäßig texturierten Untergrund platziert. Diese Datensätze wurden auf maßhaltige Kunststoffplatten gedruckt und dann als Auflageplattform für den Drehteller und den Schlitten verwendet.

Fotografische Aspekte

Für die detailgenaue fotografische Aufnahme der dunklen Oberflächen der Nasshölzer ist einerseits eine gewisse Lichtstärke erforderlich, andererseits müssen die Reflexionen auf den nassen Oberflächen möglichst gering gehalten werden. Um dies zu erreichen, musste in einem abgedunkelten Raum gearbeitet werden. Die Beleuchtung war so anzuordnen, dass das Objekt aus der Aufnahmerichtung indirekt angestrahlt wurde. Auftretende Spiegelungen auf der nassen Holzoberfläche konnten durch den Einsatz eines Polarisationsfilters reduziert werden. Aufgrund der langen Belichtungszeiten wurden die Kameras auf Stativen angebracht. Zur Vermeidung von Vibrationen bei der Auslösung wurde eine



Abb. 14 Anordnung der Kameras vor der Drehtellerplattform. – (Foto M. Koch).

Auslöseverzögerung an den Kameras eingestellt. Vor der Aufnahme wurde zudem ein Weißabgleich durchgeführt.

Durchführung der Aufnahme

In einem ersten Schritt wurden die Koordinaten der Passpunkte definiert, indem von beiden vorbereiteten Auflageplattformen (Drehteller und Schlitten) ein Bildblock mit hoher Auflösung und starker Überlappung aufgenommen wurde. Durch Bestimmung von Strecken zwischen den Punkten konnte ein lokales Koordinatensystem erzeugt werden. Die Streckenmessung erfolgte vor Ort an den bereits auf dem Schlitten montierten Platten mittels eines Stahlmaßstabes mit Halbmillimeterteilung unter Zuhilfenahme einer Messlupe. Der Bildblock wurde in Agisoft Metashape ausgewertet und die Passpunktkoordinaten mithilfe einer Bündelblockausgleichung

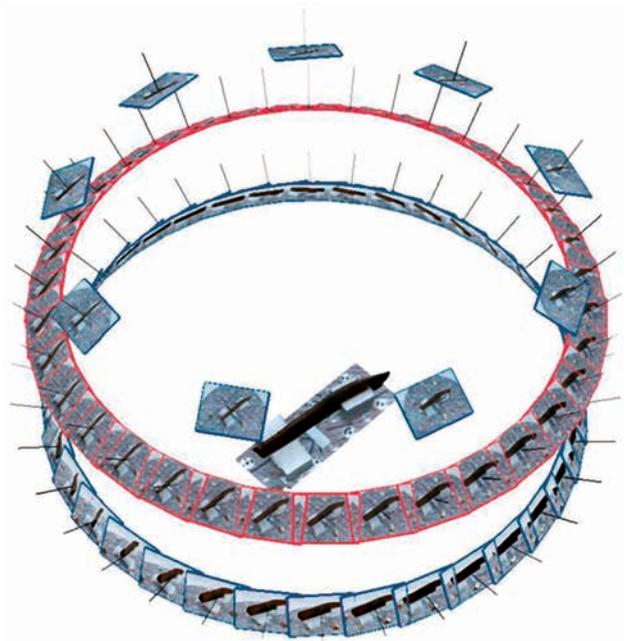


Abb. 15 Kamerapositionen im 3D-Modell (Drehteller). – (Grafik M. Lehmann).

bestimmt. Die Genauigkeit der Passpunktkoordinaten beträgt 0,2 mm.

Unmittelbar vor der Aufnahme der Bilder wurden am Objekt im Überlappungsbereich zwischen oberer und unterer Seite Stecknadeln platziert. Die Köpfe dieser Nadeln sollen als identische Punkte bei der Zusammenfügung der beiden Hälften dienen. Die geplante Aufnahmekonfiguration wurde auf die einzelnen Fundstücke angewendet und individuell angepasst. Zwei der drei Kameras wurden auf einer Schiene montiert und mit einem Synchronisationskabel verbunden (**Abb. 14**). Eine Auslöseverzögerung von zwei Sekunden wurde eingestellt. Die dritte Kamera wurde mit einem Funkfernauslöser ausgestattet.

Der Drehteller wurde in einem Lichtzelt untergebracht, wodurch eine einheitliche, indirekte und gleichmäßige Beleuchtung des Objektes garantiert wurde. Für eine Aufnahmesequenz wurden nun von den unteren beiden Kameras jeweils 36 Bilder pro Umdrehung ($1 \text{ Bild}/10^\circ$) aufgenommen (**Abb. 15**). Für die obere, fast senkrecht auf das Objekt ausgerichtete Kamera ergibt sich bei einer Schrittweite von 10° eine so geringe Veränderung des Bildinhaltes, dass hier lediglich neun Bilder ($1 \text{ Bild}/40^\circ$) pro Umdrehung aufgenommen wurden.



Abb. 16 Anordnung der Kameras bei der Aufnahme mit Schlitten. – (Foto M. Lehmann).

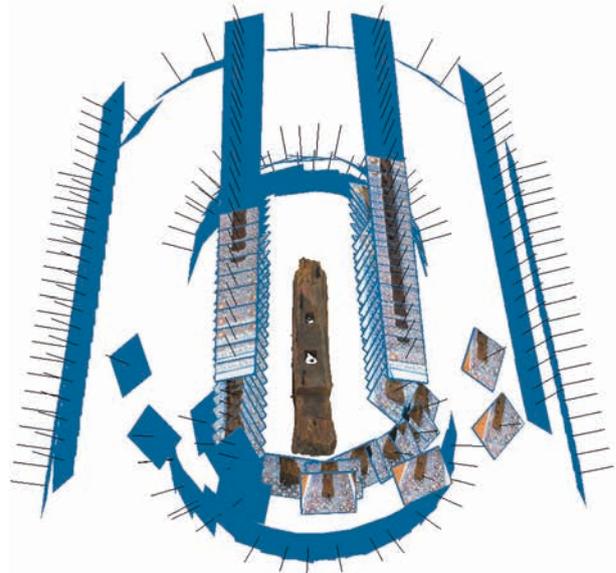


Abb. 17 Kamerapositionen im 3D-Modell (Schlitten). – (Grafik M. Lehmann).

Für die Aufnahme der größeren Fundstücke wurde der bereits erwähnte Schlitten eingesetzt. Die Kameras wurden wie geplant positioniert und zwei Fotoleuchten so ausgerichtet, dass das Objekt aus der Blickrichtung der Kameras gleichmäßig indirekt beleuchtet wurde (**Abb. 16**). Dann wurde der Schlitten mitsamt dem darauf gelagerten Nassholz in Schritten von 5 cm an den Kameras vorbeigezogen. Am Ende einer solchen Aufnahmesequenz wurde der Schlitten gewendet, sodass auf dem »Rückweg« die gegenüberliegende Seite des Holzobjektes aufgenommen werden konnte. Auf diese Weise wurde der Zeitaufwand deutlich minimiert, da ein Umbau der Kameras nicht erforderlich war. Bei der Drehung der Plattform musste äußerst vorsichtig vorgegangen werden, damit sich das Objekt keinesfalls in seiner Lage zu den Passpunkten veränderte. Nur bei unveränderter Lage lassen sich die Bilder beider Streifen innerhalb eines Modells gemeinsam auswerten (**Abb. 17**).

Ausgearbeitete Zapflöcher in den Hölzern, wie sie beispielsweise bei der Leiter vorkamen, wurden in zwei separaten Streifen mit zusätzlicher Beleuchtung und in kleinerer Schrittweite aufgenommen. Die Stirnseiten der Hölzer, die oft Bearbeitungs-

spuren aufwiesen, wurden halbkreisförmig mit einer auf einem Ministativ montierten Kamera aus zwei bis drei verschiedenen Höhen dokumentiert. Im Anschluss wurde das Objekt von der Unter- auf die Oberseite gedreht und mit der Aufnahme auf der oben beschriebenen Weise fortgefahren.

Qualitätskontrolle

Nach jeder Aufnahmeserie wurde eine visuelle Kontrolle der Bildqualität am Rechner durchgeführt. Die Prüfung auf Vollständigkeit der Bildserien wurde vor Ort durch Berechnung eines reduzierten 3D-Modells erreicht. Bei der Bildorientierung und Modellbildung sind Genauigkeiten von durchschnittlich 0,5 Pixeln bei der Bildmessung und 0,25 mm im Objektraum erzielt worden. Hierfür war eine leistungsstarke mobile Workstation mit hoch getaktetem 8-Kern-Prozessor und 64-GB-Arbeitsspeicher im Einsatz. Für die Aufnahme einer Seite eines Nassholzobjektes entstanden am Drehteller 81 Bilder und auf dem Schlitten je nach Objekt zwischen 116 und 354 Bildern.

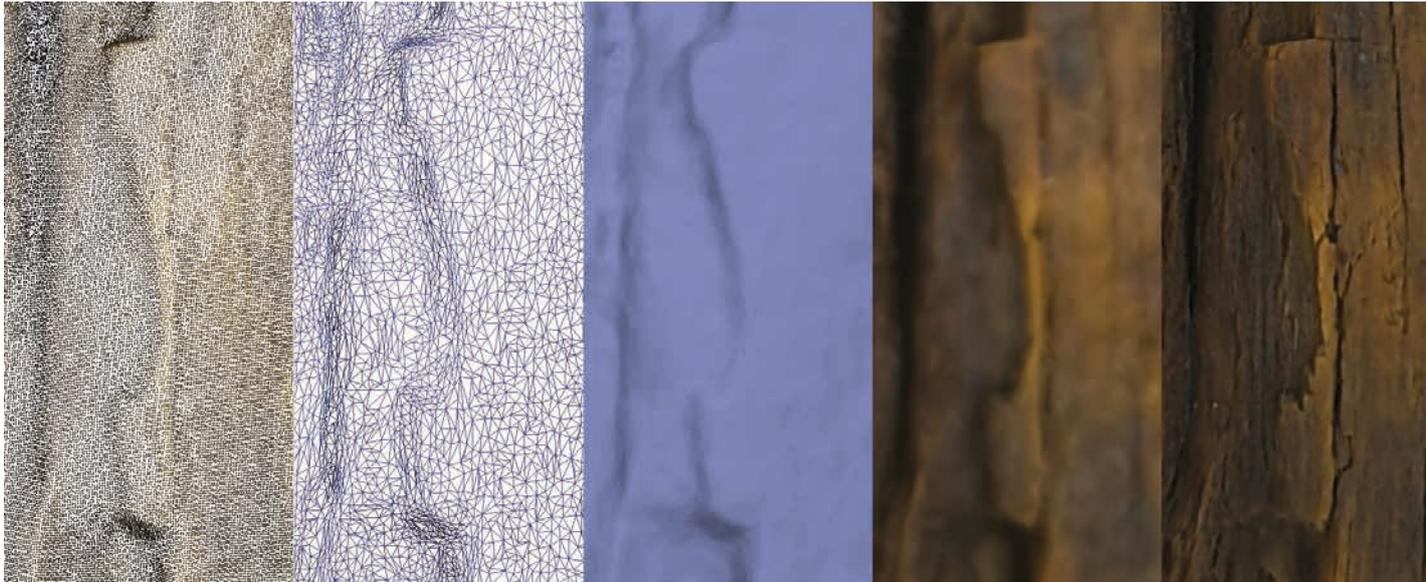


Abb. 18 3D-Modellierung von der 3D-Punktwolke (links) über Dreiecksvermaschung, Oberflächenmodell und Oberflächenmodell mit Farbinformation zum texturierten 3D-Modell (rechts). – (Grafik M. Lehmann).

3D-Modellierung

Für die abschließende 3D-Modellierung der Nasshölzer (**Abb. 18**), die generell erst nach den Feldarbeiten im Labor für Photogrammetrie der Beuth Hochschule für Technik Berlin erfolgte, wurde ebenfalls die Software Metashape Professional der Firma Agisoft LCC verwendet. Es wird eine große Anzahl sich stark überlappender Fotos des zu modellierenden Objektes benötigt. Dabei muss jedes Objekt-detail in mehreren, aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommenen Fotos abgebildet werden, um eine günstige Schnittgeometrie für die Abbildungsstrahlen jedes Objektpunktes zu gewährleisten. Im Idealfall sollen sich die Abbildungsstrahlen eines Objektpunktes unter einem möglichst großen Winkel schneiden.

Zuerst wird in den Fotos automatisch nach übereinstimmenden Punkten gesucht, um die Bilder zu einem Bildverband zu verknüpfen sowie die räumliche Lage und Orientierung der Bilder zu bestimmen. Es entsteht ein photogrammetrisches Modell, das mithilfe von Passpunkten skaliert und ausgerichtet wird. Nachfolgend kann eine dichte Punkt-

wolke berechnet werden, aus der über eine Dreiecksvermaschung das Oberflächenmodell entsteht, das die Farbinformation aus den Einzelpunkten der Punktwolke erhält. Das Oberflächenmodell dient als Basis für die Texturierung des Modells. Dabei werden die Bildinformationen der ursprünglichen Einzelfotos als Bildmosaik auf die 3D-Oberfläche projiziert.

Bei der Auswertung werden zunächst die Bilder der oberen und unteren Objektseiten unabhängig voneinander orientiert. Die beiden Teilmodelle werden dann anhand von identischen Punkten, die in den Bildern gemessen werden, in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert und somit zusammengesetzt. Erst danach werden die Orientierungen aller teilnehmenden Messbilder simultan optimiert. Nach der Orientierung des Bildverbandes, der Transformation der Einzelmodelle sowie der Optimierungsberechnung werden die jeweiligen Zwischenergebnisse und erreichten Genauigkeiten kritisch beurteilt, um gegebenenfalls korrigierend einzugreifen. Erst danach erfolgen die Berechnung einer dichten Punktwolke, eines vermaschten Oberflächenmodells und die Texturierung des 3D-Modells (**Abb. 18**),



Abb. 19 Ausschnitt aus dem 3D-Modell eines Holmes der Leiter. – (Grafik M. Pergande).

wobei für jeden der genannten Teilschritte vor der Berechnung geeignete Parameter zu wählen sind und anschließend die Qualität der Ergebnisse überprüft wird.

Schlussbetrachtungen

Für die Dokumentation der Nassholzfunde aus der unterirdischen Quellkammer von Oymaağaç Höyük/Nerik wurde das Verfahren der Automatischen Mehrbildphotogrammetrie verwendet. An die Qualität wurden dabei hohe Ansprüche gestellt. Die Fundstücke sollten dreidimensional mit möglichst hoher Genauigkeit erfasst werden. Darüber hinaus wurde eine fotografisch hochwertige Dokumentation der Oberflächentexturen erwartet. Zur Lösung dieser Aufgaben wurde ein komplexes Schema für den Arbeitsablauf entwickelt. Trotz des hohen Automationsgrades der Automatischen Mehrbildphotogrammetrie war der personelle und zeitliche Aufwand ziemlich hoch. Unter den besonderen Bedingungen einer Ausgrabung im nördlichen Anatolien und den mit den Nasshölzern verbundenen Problemen kann das Verfahren dennoch als effizient und



Abb. 20 Alle 3D-Modelle der Bruchstücke der Leiter virtuell zusammengesetzt. – (Grafik M. Pergande).

rationell angesehen werden. Die Dokumentationsarbeiten an den Nasshölzern sind noch nicht beendet und müssen in der Sommerkampagne 2020 fortgesetzt werden. Die ersten Ergebnisse (**Abb. 19-20**) zeigen aber, dass der beschrittene Weg den damit verbundenen Aufwand wert ist.

Danksagung

Die Dokumentation und wissenschaftliche Bearbeitung der Nassholz- und Botanikfunde aus der unterirdischen Quellkammer von Oymaağaç Höyük/Nerik werden von der Gerda Henkel Stiftung (2018-2020) finanziert. Die Ausgrabungen auf dem Oymaağaç Höyük sind von der Deutschen Orient-Gesellschaft (2005), der Gerda Henkel Stiftung (2006-2008) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2009-2019) gefördert worden. Allen Unter-

stützern sei an dieser Stelle ein großer Dank ausgesprochen. Weitere ausführliche Informationen zu den Forschungen auf dem Oymaağaç Höyük finden sich auf der Projektwebsite: www.nerik.de. Informationen zum Labor für Photogrammetrie der Beuth Hochschule für Technik Berlin unter <https://labor.beuth-hochschule.de/photogrammetrie/>.

Anmerkungen

1) Die Begriffe »Automatische Mehrbildphotogrammetrie« und »Structure from Motion« werden in diesem Artikel gleichbedeutend benutzt. Mit Structure from Motion werden Berechnungsverfahren aus der Computer Vision bezeichnet, mit denen »aus der Bewegung mit einer Kamera (Motion) ein Objekt dreidimensional rekonstruiert (Structure) werden kann. Das Verfahren ist eine Kombination von Bildverarbeitungsverfahren, robusten Orientierungsmethoden, Bündelausgleichung mit Simultankalibrierung, Stereobildmessung und Punktwolkenverarbeitung [...]« (vgl. Luhmann 2018, 491 ff.). Es werden also die schon seit längerer Zeit in der Mehrbildphotogrammetrie etablierten Verfahren durch Algorithmen der Computer Vision abgebildet und in der Terminologie der Computer Vision benannt. Diese Berechnungsverfahren laufen weitgehend automatisiert ab. Im aktuellen Fall wird großer Wert auf die Gewährleistung einer gleichbleibend hohen Dokumentationsgenauigkeit gelegt. Das entspricht einer typischen photogrammetrischen Messaufgabe.

Daraus ergibt sich, dass neben der reinen Berechnung sehr hohe Ansprüche an die Aufnahmeplanung und -durchführung sowie die Auswertung gestellt werden, die spezielles photogrammetrisches Fachwissen erfordern. Aus diesem Grund wurde im aktuellen Text der Begriff »Automatische Mehrbildphotogrammetrie« benutzt und dem Begriff »Structure from Motion (SfM)« zur Seite gestellt.

2) www.agisoft.com (8.10.2019).

3) Allenfalls die Dokumentation der Holzschaufeln von der Gögealm (Gde. Ahrntal, Autonome Provinz Bozen – Südtirol/I; Steiner u. a. 2009) wäre hier zu erwähnen, die vom Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik (i3mainz) der Hochschule Mainz – University of Applied Sciences dreidimensional dokumentiert worden ist (<http://i3mainz.hs-mainz.de/de/projekte/3d-dokumentation-historischer-holzschaufeln-aus-der-eisenzeit> [8.10.2019]).

Abgekürzt zitierte Literatur

Breuer/Lehmann/Koch 2019: M. Breuer / M. Lehmann / M. Koch, Photogrammetrie. In: Czichon u. a. 2019, 178-186.

Czichon 2013: R. M. Czichon, Oymaağaç Höyük/Nerik (?). In: M. Doğan-Alparslan / M. Alparslan (Hrsg.), Hititler. Bir Anadolu İmparatorluğu/Hittites. An Anatolian Empire (İstanbul 2013) 298-309.

2015: R. M. Czichon, 10 Jahre Forschungen am Oymaağaç Höyük (Nerik)/Oymaağaç Höyük (Nerik) Kazıları'nda 10 Yıl. In: Ü. Yalçın / H.-D. Bienert, Anatolien – Brücke der Kulturen. Aktuelle Forschungen und Perspektiven in den deutsch-türkischen Altertumswissenschaften. Tagungsband des Internationalen Symposiums »Anatolien – Brücke der Kulturen« in Bonn vom 7. bis 9. Juli 2014/Kültürleiri Köprüsü Anadolu. Türk-Alman Eskiçağ Bilimlerinde Güncel Bilimsel Araştırmalar ve Yeni Bakış Açılırları. 7-9 Temmuz 2014'te Bonn'da yapılan »Kültürleiri Köprüsü Anadolu« konulu uluslararası sempozyum kitabı. Der Anschnitt: Beiheft 27 = Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 203 (Bochum u. a. 2015) 231-246.

Czichon/Mielke 2019: R. M. Czichon / D. P. Mielke, Nassholzfund aus der unterirdischen Quellkammer. In: Czichon u. a. 2019, 155-160.

im Druck: R. M. Czichon / D. P. Mielke, Archäologische Forschungen am Oymaağaç Höyük/Nerik 2019. Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin 152, 2020 (im Druck).

Czichon u. a. 2011: R. M. Czichon / J. Klinger / P. Breuer / J. Erbeek / S. C. Fox / E. Marinova-Wolff / H. Marquardt / H. Von der Osten-Woldenburg / S. Reichmuth / S. Riehl / Th. Johannsen, Archäologische Forschungen am Oymaağaç Höyük/Nerik (?) in den Jahren 2007-2010. Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin 143, 2011, 169-250.

2016: R. M. Czichon / J. Klinger / P. Hnila / D. P. Mielke / H. Böhm / Ch. Forster / C. Griggs / M. Kähler / G. K. Kunst / M. Lehmann / B. Lorentzen / S. Manning / K. Marklein / H. Marquardt / S. Reichmuth / J. Richter / C. Rössner / B. Sadiklar / K. Seuffer / R. Sobott / I. Traub-Sobott / H. Von der Osten-Woldenburg / M. Weber / H. Wolter / M. A. Yılmaz, Archäologische Forschungen am Oymaağaç Höyük/Nerik 2011-2015. Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin 148, 2016, 5-141.

2019: R. M. Czichon / J. Klinger / P. Hnila / D. P. Mielke / S. Behrendt / H. Böhm / M. Breuer / C. Forster / C. Griggs / M. Klein / M. Koch / G. K. Kunst / M. Lehmann / B. Lorentzen / S. W. Manning / K. Marklein / C. Purschwitz / C. Rössner / C. Tappert / M. A. Valsecchi Gillmeister, Archäologische Forschungen am Oymaağaç Höyük/Nerik 2016-2018. Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin 151, 2019, 37-200.

- De Reu u.a. 2013: J. De Reu / G. Plets / G. Verhoeven / Ph. De Smedt / M. Bats / B. Cherretté / W. De Maeyer / J. Deconynck / D. Herremans / P. Laloo / M. Van Meirvenne / W. De Clerck, Towards a Three-Dimensional Cost-Effective Registration of the Archaeological Heritage. *Journal of Archaeological Science* 40/2, 2013, 1108-1121.
- 2014: J. De Reu / Ph. De Smedt / D. Herremans / M. Van Meirvenne / P. Laloo / W. De Clerck, On Introducing an Image-Based 3D Reconstruction Method in Archaeological Excavation Practice. *Journal of Archaeological Science* 41, 2014, 251-262.
- Kähler/Lehmann 2016: M. Kähler / M. Lehmann, Dokumentation: Photogrammetrie. In: Czichon u.a. 2016, 121-127.
- Luhmann 2018: Th. Luhmann, Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden, Beispiele (Berlin, Offenbach 2018).
- Mielke 2016: D. P. Mielke, Spätbronzezeitliche Bebauung: der unterirdische Treppengang. In: Czichon u.a. 2016, 31-38.
- 2019: D. P. Mielke, Unterirdischer Treppengang und Quellkammer. In: Czichon u.a. 2019, 135-155.
- Mielke/Czichon 2019: D. P. Mielke / R. M. Czichon, Nerik in Kleinasien. Die Quelle des Wettergottes. *Archäologie in Deutschland* 2019/4, 14-19.
- Pergande 2019: M. Pergande, Dokumentation von Holzfunden am Oymaağaç Höyük durch 3D-Modellierung [unpubl. Bachelorarbeit, Beuth Hochschule für Technik Berlin 2019].
- Pomaska 2016: G. Pomaska, Bildbasierte 3D-Modellierung. Vom digitalen Bild bis zum 3D-Druck (Berlin, Offenbach 2016).
- Reinhard 2016: J. Reinhard, Structure-from-Motion-Photogrammetrie mit Agisoft PhotoScan. Erste Erfahrungen aus der Grabungspraxis. In: U. Lieberwirth / I. Herzog (Hrsg.), 3D-Anwendungen in der Archäologie. Computeranwendungen und quantitative Methoden in der Archäologie. Workshop der AG CAA und des Exzellenzclusters Topoi 2013. Berlin Studies of the Ancient World 34 (Berlin 2016) 17-46.
- Steiner u.a. 2009: H. Steiner / A. Putzer / H. Oberrauch / A. Thurner / K. Nicolussi, Vorgeschichtliche Moorfundstücke auf der Schöllberg-Göge in Weißenbach (Gde. Ahrntal/Südtirol). *Archäologisches Korrespondenzblatt* 39, 2009, 489-508.

Zusammenfassung / Summary

Photogrammetrische 3D-Dokumentation von Nassholzfunden aus Oymaağaç Höyük/Nerik (Provinz Samsun/TR)

Bei den Ausgrabungen auf dem Oymaağaç Höyük wurde im Jahre 2017 in einer unterirdischen Quellkammer eine große Menge an außergewöhnlich gut erhaltenen Nasshölzern entdeckt. Die wissenschaftliche Dokumentation dieser einmaligen Funde stellte eine große Herausforderung dar. Für die dreidimensionale Aufnahme wurde das Verfahren der Automatischen Mehrbildphotogrammetrie (Structure from Motion) angewandt. Durch die hohen Qualitätsanforderungen sowie die fotografischen und konservatorischen Probleme der Nasshölzer gestaltete sich die Dokumentation jedoch recht komplex und aufwendig. Dadurch haben die angewandten Lösungen exemplarischen Charakter für die Dokumentation von Nassholzfunden bzw. vergleichbaren archäologischen Objekten.

Photogrammetric 3D-Documentation of Waterlogged Wood Finds from Oymaağaç Höyük/Nerik (Province Samsun/TR)

During excavations at Oymaağaç Höyük in 2017, a large number of exceptionally well-preserved waterlogged wooden objects were discovered in an underground spring chamber. The scientific documentation of these unique finds posed a great challenge. For the three-dimensional documentation, the method of automatic multi-image photogrammetry (Structure from Motion) was applied. Due to the high requirements of the quality as well as the photographic and conservation problems of the waterlogged wood, the documentation became quite complex and extensive. Thus, the applied solutions have exemplary character for the documentation of waterlogged wood or comparable archaeological objects.

Schlagworte / Keywords

Automatische Mehrbildphotogrammetrie / Structure from Motion / Funddokumentation / Nassholz / Oymaağaç Höyük/Nerik

Automatic multi-image photogrammetry / Structure from Motion / finds documentation / wet wood / Oymaağaç Höyük/Nerik