

Die Artemispriesterin hatte bedeutende Aufgaben im Kult zu übernehmen, wie François Kirbihler betont²⁷²: Sie führte vermutlich öffentliche Opfer durch und verteilte die Opfergaben unter Boule, Gerousie, dem Kultpersonal und den Siegern der Artemisieia²⁷³. Bei den Artemisieia selbst führte sie – schenkt man einer Beschreibung des Xenophon von Ephesos Glauben – in der Festprozession den Zug der jungen Frauen an²⁷⁴. Wie auch die Stiftungsinschrift des Salutaris verdeutlicht, nahm die Artemispriesterin am Beginn des 2. Jahrhunderts n. Chr. die Hauptrolle im Kultgeschehen ein und stand den Kulthandlungen vor²⁷⁵. Laut Helmut Engelmann dürfte sie auch ein verbindendes Element zwischen Stadt und Heiligtum dargestellt haben²⁷⁶.

Die Tatsache, dass außer Quintilia Varilla keine anderen Kinder genannt sind, lässt vermuten, dass Varius – zumindest zum Zeitpunkt der Fertigstellung des ›Hadrianstempels‹ – keine anderen Nachkommen hatte²⁷⁷. Die Nennung von weiblichen Familienmitgliedern ist in ephesischen Bauinschriften nicht unüblich. Bis zur Mitte des 3. Jahrhunderts werden sie jedoch zumeist gemeinsam mit Männern – Vätern oder Ehegatten – genannt, erst danach treten sie als ›eigenständige‹ Stifterinnen auf²⁷⁸.

Wiederholt ist auch vermutet worden, es könnte sich bei Quintilia Varilla um die spätere Ehefrau des Ti. Iulius Celsus Polemaeanus gehandelt haben, für den die Bibliothek am westlichen Abschluss des Embolos als Grabbau errichtet worden war²⁷⁹.

Ursula Quatember

1.3 DIE BAUAUFNAHME: 3-D-VERMESSUNG UND POSTPROCESSING

1.3.1 Methode

Der erste Schritt jeder bauforscherischen Tätigkeit ist die genaue Vermessung des vorhandenen Bestands. In situ verbliebene Bauteile, spätere Ergänzungen und Überbauungen sowie lose Einzelbauteile müssen exakt dokumentiert werden und dienen als unabdingbare Grundlage für die wissenschaftliche Arbeit. Ergebnis dieser Bauaufnahme sind meist Pläne, also zweidimensionale Zeichnungen des zu erforschenden Objekts²⁸⁰.

Die Anforderungen an die im Zuge der Bauaufnahme erhobenen Daten sind vielfältig, und nicht selten kristallisieren sich im Zuge der wissenschaftlichen Auseinandersetzung neue Fragestellungen heraus, für welche die vorab erstellte Dokumentation idealerweise ausreichende Informationen beinhalten soll. Die Pläne müssen das Gebäude in all seinen Dimensionen und mit sämtlichen Details darstellen. Im Unterschied zur Fotografie sind diese Pläne verzerrungsfreie und maßstabgetreue Abbildungen. Besonderes Augenmerk ist darauf zu legen, dass alle am Bau vorkommenden Maße wenigstens einmal in ihrer wahren Länge vorkommen. Dafür sind Grundrisse in unterschiedlichen Ebenen und mehrere Schnitte nötig. Neben dem Bereitstellen aller Längenmaße und Dimensionen muss die Dokumentation aber auch Aufschluss über

²⁷² Kirbihler 2003, 796 f.

²⁷³ SEG 43, 779; Vgl. Knibbe – Engelmann – İplikçioğlu 1993, 129 Nr. 21, von denen die Inschrift auf eine Priesterin der Artemis und Prytanin bezogen wurde.

²⁷⁴ Xenophon von Ephesos, Ephesiaka 1, 2, 5; vgl. Kirbihler 2003, 796. Zu den Prozessionen s. auch Kap. 1.7.2.

²⁷⁵ IVE 27, Z. 266. Vgl. dazu ausführlich Rogers 1991, 54 f.

²⁷⁶ Engelmann 2001, 37.

²⁷⁷ Besonders männliche Nachkommen wären mit Sicherheit genannt worden. Vgl. dazu etwa auch Nollé 1994, bes. 253: »Die von den städtischen Honoratioren verinnerlichte Adelsideologie des Wertes von langen Ahnenreihen machte die Fortführung der Deszendenz zu einem der wichtigsten Familienziele. Frauen betreten in personellen Notsituationen ihrer Familien die politischen Bühnen der Städte.«

²⁷⁸ Vgl. Rogers 1992, 215–223.

²⁷⁹ So bereits Wörrle 1973, 475 Anm. 28; Scherrer 2006, 55 mit Anm. 53; Scherrer 2008, 49 Anm. 64. Zur Bibliothek s. auch o. mit Anm. ●236●.

²⁸⁰ Allgemein zu Methoden der Bauforschung, insbesondere der Bauaufnahme, s. Gruben 2000, 251–257 mit weiterführender Lit.; Grossmann 2010.

die Materialien und deren Bearbeitung geben. Besonders als Grundlage für eine steingerechte Rekonstruktion ist es wichtig, alle technischen Details exakt und in ausreichend großem Maßstab darzustellen. Diese Dokumentation des Ist-Zustands beinhaltet schließlich nicht nur ein Abbild der Situation vor Ort, sondern auch interpretatorische Ergänzungen der Bauforschung. Erst so bildet sie die Basis für das Zusammenfügen von aus dem Verband geratenen Gebäudeteilen oder die Rekonstruktion von nur noch fragmentarisch erhaltenen Strukturen, wie etwa Einwölbungen, Decken oder Dächern, deren Gestalt sich aus Resten von Auflagern, Kämpfern und der Ausführung der Unterkonstruktion erschließt. Das Planmaterial dient aber nicht alleine der bauforscherischen Arbeit, sondern auch als Basis für die Schadenskartierung der Restaurierung und als Planungsgrundlage für architektonische oder denkmalpflegerische Eingriffe. Zuletzt muss die Bauwerksdokumentation auch optisch unterschiedlichen Anforderungen entsprechen. Zum einen müssen die Pläne gut lesbar und möglichst mit einheitlichen Signaturen versehen sein. Zum anderen soll die Ausgabe in unterschiedlichen Maßstäben möglich sein, die häufig von dem jeweiligen Medium bestimmt werden, in dem sie letztendlich publiziert werden. Schließlich wird die Gestaltung der Pläne auch von ästhetischen Ansprüchen bestimmt, die mitunter recht individuell sein können.

I.3.2 Bauaufnahme

Herkömmliche Bauwerksdokumentationen werden traditionell per Handaufmaß erstellt. Neben Zollstock, Lot und Winkel kommen heute auch Laserdistanzmessgeräte und Tachymeter zum Einsatz. Zur Erstellung von Wandansichten bedient man sich überdies der Fotogrammetrie, die bei ebenen Flächen sehr gute Ergebnisse liefert. Das Resultat sind maßstabsgetreue, zweidimensionale Abbilder des Bestands auf einer bestimmten Anzahl von horizontalen und vertikalen Projektionsebenen.

Es liegt auf der Hand, dass die eingangs beschriebenen Anforderungen mit dem gewöhnlichen Handaufmaß oft nicht erfüllt werden können. Und auch die Fotogrammetrie ändert nichts an der Problematik, dass die Positionen von Ansichten und Schnittebenen bereits vor Beginn der Forschungsarbeit fixiert werden müssen. Ähnlich verhält es sich mit der Auswahl darzustellender Details, deren Relevanz sich oft erst aus der späteren Arbeit ergibt. Eine vollständige Aufnahme mit sämtlichen Einzelheiten ist aber nur mit großem Zeitaufwand möglich. Immer wieder wird daher erst nach Abschluss der Vermessungsarbeiten vor Ort klar, dass eine Schnittebene an anderer Stelle besser platziert gewesen wäre, oder ein bestimmtes Detail, dem bei der Aufnahme wenig Bedeutung beigemessen wurde, für eine bestimmte Fragestellung nun doch wichtig wäre. Während aber solche Details oder fehlende Schnitte durch Nachmessungen – die freilich aufwendig, aber meist immerhin noch möglich sind – im Bedarfsfall zu ergänzen sind, soll hier noch auf eine weitere Problematik hingewiesen werden, die bei einer Vermessung von Hand berücksichtigt werden muss: Zum einen erfolgt die Aufnahme häufig durch Mitarbeiter/-innen, die noch in der Ausbildung stehen, zum anderen sind, besonders bei großen Projekten, mehrere Zeichner/-innen an ein und demselben Gebäude tätig. Die Ergebnisse sind entsprechend heterogen (Taf. 37, 1–2). Überdies sind selbst bei gut ausgebildeten, sorgfältigen Zeichner/-innen gelegentliche Fehler kaum zu vermeiden und jedenfalls nicht auszuschließen. Schlimmstenfalls ziehen Fehler wie falsch abgelesene Maße falsche Schlussfolgerungen nach sich, die schließlich zu Fehlern in der wissenschaftlichen Auswertung der Befunde führen.

Bei der Aufnahme des ›Hadrianstempels‹ wurde u. a. deshalb eine andere Methode der Bauaufnahme gewählt: Der Einsatz von 3-D-Scannern ermöglichte es, den gesamten Bau detailgetreu zu dokumentieren²⁸¹. Wurden 3-D-Scanner ursprünglich zur großflächigen Aufnahme von Gelände

²⁸¹ Zum 3-D-Scanning am ›Hadrianstempel‹ s. Quatember – Kalasek 2011; Quatember – Thuswaldner u. a. 2012; Quatember – Kalasek 2012. Zu früheren Einsätzen von 3-D-Scannern in Ephesos vgl. Groh – Neubauer 2003, 111–122; Thuswaldner – Kalasek 2008, 95–113; Thuswaldner 2009, 261–281; Adenstedt – Thuswaldner 2011, 249–254.

oder für den industriellen Einsatz entwickelt, entdeckte man die Geräte und ihren Nutzen in den vergangenen Jahren vermehrt für Archäologie und Bauforschung²⁸². In vergleichsweise kurzer Zeit können damit Bauteile, Gebäude oder ganze Ensembles detailgenau vermessen werden. Als Ergebnis steht der Forschung mit einer 3-D-Vermessung leicht zu handhabendes Planmaterial zur Verfügung. Am Bildschirm ist das Arbeiten mit dem dreidimensionalen Modell möglich, das frei bewegt und gedreht werden kann, wodurch räumliche Zusammenhänge sich oft besser erkennen lassen als auf einem zweidimensionalen Bild. Die Lage von Schnitten wird erst im Nachhinein frei gewählt, das nachträgliche Verschieben oder Hinzufügen von Schnitt- und Projektionsebenen ist jederzeit möglich. Besonders wichtig ist hierbei, dass das virtuelle dreidimensionale Modell im Maßstab 1 : 1 vorliegt. Das heißt, ein Maß, das anhand dieses Modells später ermittelt wird, hat die Genauigkeit einer Punktmessung des jeweiligen Scannermodells vor Ort und ist damit meist wesentlich präziser als jedes von Hand genommene Maß im Originalbestand.

Zur Verdeutlichung zwei Beispiele: Bei einem Streifenlichtscanner, wie jenem, der für die Vermessung des ›Hadrianstempels‹ verwendet wurde, entsteht über eine Länge von 1 m eine Längenabweichung von wenigen Zehntelmillimetern. Der Fehler bei einer einzelnen Messung ist damit deutlich geringer als der, der durch die Anwendung eines Maßbandes entsteht, da dessen kleinste Skalaunterteilung 1 mm beträgt. Und selbst bei Verwendung eines Laserscanners aus dem Jahr 2004, wie er beispielsweise für die Aufnahme des Sockels des sog. Oktogons von Ephesos verwendet wurde, und dessen Abweichung bei einer Länge von 10 m ca. 5 mm beträgt, sind die Ergebnisse kaum zu übertreffen. Gerade bei Distanzen von mehreren Metern liegen die Messfehler, die mit Maßbändern entstehen, schnell in einem ähnlichen Bereich, was nicht alleine am nicht sorgfältigen Anlegen durch den Vermesser liegen muss, sondern beispielsweise auch an der Materialausdehnung bei großer Hitze. Überdies soll hier nicht der Vergleich von manuell erfassten Einzelmaßen mit jenen von Scannern im Vordergrund stehen. Vielmehr soll verdeutlicht werden, dass mit dem 3-D-Modell ein weitestgehend vollständiges Abbild des Objekts vorliegt. Es liefert ein homogenes Informationsniveau über die gesamte Objektfläche und bietet damit die Möglichkeit, auf eben diesem Niveau auch im Nachhinein stichhaltige Messungen ohne Genauigkeitsverlust vorzunehmen. Das Handaufmaß hingegen enthält ausschließlich die vor Ort gemessenen Einzelmaße. Obwohl 3-D-Scanning mittlerweile schon bei zahlreichen Projekten eingesetzt wurde, ist gerade dieser Umstand nach wie vor den wenigsten Archäologen und Bauforschern bewusst, weswegen das virtuelle Modell meist nicht für die Forschungsarbeit selbst herangezogen wird. Stattdessen dient es lediglich als Grundlage für die Erstellung zweidimensionaler, maßstäblich verkleinerter Bilder, die nur noch einen Bruchteil der aufgenommenen Informationen enthalten, und mit denen man in der Folge arbeitet.

Freilich können auch bei der Arbeit mit 3-D-Scannern Fehler nicht ausgeschlossen werden, gegenüber dem Handaufmaß sind diese jedoch meist leichter zu identifizieren. Unerwähnt sollen auch nicht jene Fehler bleiben, die sich aus der Messungenauigkeit der unterschiedlichen Geräte ergeben²⁸³. Sie sind systembedingt und damit von vornherein bekannt und müssen bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden²⁸⁴. Im Folgenden soll nun kurz auf mögliche Fehlerquellen und Messungenauigkeiten bei der Arbeit mit 3-D-Messgeräten eingegangen werden:

Im Normalfall ist es nicht möglich, ein Objekt mit nur einem einzigen Scan flächendeckend aufzunehmen, da – unabhängig von der Scannertechnologie – der Scanner bei einer einzelnen Aufnahme nur jene Flächen erfassen kann, die von der Position des Sensors aus sichtbar sind. Vom Standort aus verdeckte Flächen werden nicht aufgenommen und bilden sog. Verschattungen. Weitere Scanstandorte müssen daher so gewählt werden, dass möglichst alle Oberflächen wenigstens einmal im Blickfeld des Scanners liegen. Am Beginn der Vermessungsarbeit steht daher die Wahl der Scanstandorte sowie die Überlegung, wie das zu scannende Objekt möglichst

²⁸² Allgemein über 3-D-Scanning in Zusammenhang mit kulturellem Erbe: Böhler u. a. 2001; Guarnieri u. a. 2004; Salemi u. a. 2005.

²⁸³ Gordon 2008, bes. 50.

²⁸⁴ Vgl. Dorninger u. a. 2008, 191–204.

verschattungsfrei erfasst werden kann. Die Wahl der Standorte erfolgt nach der Einschätzung der Person, die den Scanner bedient – ist also im Wesentlichen abhängig von deren Erfahrung. Damit zählt dieser Schritt auch zu den fehleranfälligen im Arbeitsprozess.

Systembedingt ist vor allem bei Laserscannern mit Messungenauigkeiten, dem sog. Messrauschen, zu rechnen. Unter ›Messrauschen‹ (auch Standardabweichung) versteht man die durchschnittliche Abweichung der Distanzmessungen für einen Punkt von deren Mittelwert. Das Rauschverhalten ist abhängig von Reflexivität und Entfernung der gescannten Oberfläche²⁸⁵.

Es bestehen somit je nach Messtechnologie mehr oder weniger stark ausgeprägte materialabhängige Messfehler und auch völlige Ausfälle einzelner Messungen²⁸⁶. Sowohl Streifenlichtscanner als auch alle Laserbasierten Systeme nutzen die Reflexivität des Objekts und liefern bei sehr geringer oder sehr hoher Reflexion (schwarze, weiße, glänzende Oberfläche) sowie bei opaken Oberflächen keine, falsche oder verzerrte Messergebnisse²⁸⁷. Bei dem ›Hadrianstempel‹ zeigte sich, dass insbesondere der Laserscanner Schwierigkeiten mit Marmoroberflächen hat, sodass bei einem steilen Einfallswinkel Messfehler von bis zu 1,5 cm entstanden. Bei flacherem Einfallswinkel fallen die Abweichungen geringer aus²⁸⁸.

Schließlich ist auch die Weiterverarbeitung der Daten nicht ganz unproblematisch. Um die Messdaten in eine für die Bauforschung nutzbare Form zu bringen, sind Fachkräfte erforderlich, die über das entsprechende Know-how verfügen. Überdies produzieren moderne Scanner Datenmengen, die häufig sowohl die zur Verfügung stehende Hardware als auch die Software an deren Grenzen stoßen lassen.

Dennoch spricht die erzielbare Genauigkeit der 3-D-Messverfahren unmissverständlich für den Einsatz dieser Technologien. Dabei liegt die geringere Genauigkeit des Handaufmaßes nicht alleine an der höheren Fehleranfälligkeit, sondern bereits am Messinstrument selbst, wie Lutz Schwandner beschreibt²⁸⁹. Er führt aus, wie groß – nämlich bis zu 4 mm auf eine Länge von 2 m – die Abweichungen bei geeichten deutschen Zollstöcken sein können. Bei einer Länge von 10 m ist das bereits deutlich mehr als das ›Rauschen‹ eines Laserscanners mittelmäßiger Qualität²⁹⁰, und das ohne Berücksichtigung der menschlichen Fehlerquellen, wie falsches Ablesen, ungenaues Anlegen etc. Es muss hier aber auch betont werden, dass es bei all den beschriebenen Vorteilen einer 3-D-Datenaufnahme ausschließlich um die Vermessung und die maßstabgetreue Dokumentation geht. Die Beobachtungen und Analysen des Bauforschers, der Bauforscherin am originalen Bestand vor Ort sind für eine fundierte wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Bau freilich nicht zu ersetzen.

Bei dem konkreten Beispiel des ›Hadrianstempels‹ spielte neben der erforderlichen Messgenauigkeit vor allem der Zeitfaktor eine wesentliche Rolle, da der Tempelbau eine der bekanntesten Attraktionen in Ephesos ist und eine Einrüstung für mehrere Wochen oder Monate, wie sie bei einer Vermessung per Hand erforderlich gewesen wäre, nicht möglich war. Das 3-D-Scanning bot die Möglichkeit, das gesamte Gebäude innerhalb von drei Wochen zu erfassen²⁹¹. Darüber hinaus erfolgte die Vermessung berührungsfrei und damit besonders schonend für die antike Bausubstanz. Je nach erforderlichem Detaillierungsgrad wurden zwei unterschiedliche Systeme zur Datenaufnahme verwendet (Taf. 38, 1–2)²⁹².

²⁸⁵ Gordon 2008, 32; Wenzel 2008.

²⁸⁶ Vgl. dazu Dorninger – Nothegger 2010, 504–512.

²⁸⁷ Gordon 2008, 104–105.

²⁸⁸ Dorninger – Nothegger 2010, 504–512.

²⁸⁹ Schwandner 1984, 24–25.

²⁹⁰ Böhler – Marbs 2004, 82–89, bes. 86–87 Abb. 4.

²⁹¹ Quatember – Kalasek 2011, 195–200.

²⁹² Eine erste zweiwöchige Kampagne fand im Juli 2009 statt. Zwei Monate später war eine weitere, abschließende Kampagne angesetzt. Ähnlich wurde beispielsweise auch bei der Aufnahme des ›Oktogons‹ von Ephesos verfahren, wo sogar drei unterschiedliche Scanner zum Einsatz kamen. Vgl. Thuswaldner 2009, 261–281, bes. 265; Thuswaldner u. a. 2009, 1–27.

I.3.2.1 LASERSCANNER

Terrestrische Laserscanner kommen im Allgemeinen für die Vermessung größerer Objekte oder Geländeabschnitte zum Einsatz. Es werden dabei zwei Typen unterschieden, sog. Phasenvergleichsscanner oder Puls-Laufzeit-Scanner. Beide Typen zeichnen sich durch hohe Messgeschwindigkeiten aus, moderne Geräte können bis zu einer Million Punkte pro Sekunde erfassen²⁹³. Die Standardabweichung beträgt dabei unter 3 mm. Üblicherweise werden Laserscanner für Messdistanzen zwischen etwa 2 und 70 m eingesetzt, einige Geräte liefern auch bei Distanzen von mehreren hundert Metern noch gute Ergebnisse. Die Einzelpunkte werden durch Polar-messung erfasst, d. h. durch jeweils einen vertikalen und einen horizontalen Winkel sowie eine Entfernung²⁹⁴.

Für die Vermessung des ›Hadrianstempels‹ wurde ein Phasenvergleichsscanner der Firma Zoller & Fröhlich, der IMAGER 5006i, verwendet. Das Gerät misst mit einer Scangeschwindigkeit von maximal 506 000 Punkten pro Sekunde und hat eine maximale Reichweite von 79 m. Nach Angaben des Herstellers beträgt das ›Messrauschen‹ bei einer Distanz von 25 m und einer Oberflächenreflexivität von 20 % rund 2,5 mm. Der Aufnahmebereich erstreckt sich horizontal – so wie bei den meisten 3-D-Laserscannern – über 360°, vertikal über 310°²⁹⁵. Innerhalb einer Woche wurden rund 90 Panoramascans des gesamten Bauwerks aufgenommen. Erfasst werden sollten die Gesamtkubatur, das Bruchsteinmauerwerk des Innenraumes sowie die angrenzenden Strukturen. Die laterale Punktauflösung auf den gescannten Oberflächen beträgt etwa 5–10 mm.

I.3.2.2 STREIFENLICHTSCANNER

Als zweite Technik kam ein sog. Streifenlicht- oder Triangulationsscanner zum Einsatz²⁹⁶. Streifenlichtscanner projizieren ein gerastertes, sich bewegendes Licht-Schatten-Muster auf die zu vermessende Oberfläche und fotografieren diese mit einer hochauflösenden Kamera. Die Umgebung muss während des Scanvorgangs abgedunkelt sein, um ein möglichst kontrastreiches Projektionsmuster zu erhalten. Durch Triangulation errechnet sich aus dem projizierten Rasterbild die Oberflächenkubatur. Mit dem Messverfahren können höchste Genauigkeiten im Zehntelmillimeter-Bereich erzielt werden. Im Unterschied zu Lasermesstechniken ist der Streifenlichtscanner lediglich bei Messdistanzen zwischen etwa 0,5 und 2 m einzusetzen. Auch das Messfenster pro Aufnahme ist mit ca. 0,2–1 m² vergleichsweise klein²⁹⁷. Aus naheliegenden Gründen eignet sich der Streifenlichtscanner für kleinere Objekte. Die am ›Hadrianstempel‹ eingesetzten Scanner stammten von der Breuckmann GmbH: es handelte sich um den Breuckmann smartSCAN-3D und den BreuckmanntriTOS. In einer zweiwöchigen Vermessungskampagne wurden mit diesen Geräten sämtliche losen sowie alle verbauten Originalbauteile aufgenommen. Insgesamt wurden im Zuge dieser Kampagne 1 750 Einzelscans angefertigt, die laterale Auflösung der gescannten Oberflächen beträgt – je nach Gerät – 0,3 mm bzw. 1 mm.

Die Wahl unterschiedlicher Scanner hat mehrere Gründe. Mit dem Wunsch, ein Gebäude optimal in seiner Dreidimensionalität aufzunehmen, ist man derzeit als Vermesser an unterschiedliche Faktoren gebunden. Auf der einen Seite steht der Wunsch, jedes Detail möglichst hochauflösend und damit originalgetreu abzubilden. Schließlich wird durch jede Verringerung der Auflösung die originale Kubatur abstrahiert. Die heute am Markt befindlichen Scanner lassen hier jedoch kaum Wünsche offen, und selbst zarteste Oberflächenstrukturen können mit all ihren Unregelmäßigkeiten mühelos aufgenommen werden. Demgegenüber steht aber die Softwareentwicklung, die mit jener der Scanner bei Weitem nicht Schritt halten kann. Das

²⁹³ Dorninger – Brunner 2010, 495–501, bes. 496.

²⁹⁴ Zur Funktionsweise zusammenfassend Dorninger – Nothegger 2010, 504–512; Niemeier u. a. 2002, 15–26.

²⁹⁵ Wenzel 2008.

²⁹⁶ Georgopoulos u. a. 2010, 250–255; zur Funktionsweise allgemein vgl. auch Park u. a. 2001.

²⁹⁷ Havemeister – Seifert 2003; zur Aufnahme von Skulpturen vgl. auch Bernardini u. a. 2002, 59–67.

heißt, dass mit den zur Verfügung stehenden Scannern zwar höchst detaillierte Aufnahmen möglich sind, die aufgenommenen Daten aber nur in eingeschränktem Maß weiterverarbeitet und analysiert werden können. Der Umgang mit derart großen Punktmengen stellt heute für die Entwickler von Scanner- und 3-D-Software eines der Hauptprobleme dar²⁹⁸. Es ist daher sinnvoll, bereits bei der Aufnahme zu entscheiden, an welchen Stellen auf eine allzu dichte Abdeckung der Oberflächen verzichtet werden kann, und welcher Scanner somit für welche Gebäudeteile geeignet ist.

Bei der Vermessung des ›Hadrianstempels‹ wurde vor diesem Hintergrund wie folgt vorgegangen: Einfache Kubaturen oder bauhistorisch weniger wichtige Bauglieder, wie etwa größere moderne Ergänzungen aus Beton, wurden zugunsten einer vergleichsweise schnellen Vermessung mit großem Aufnahmebereich mit dem Laserscanner aufgenommen. Ebenso wurde mit dem Laserscanner eine Gesamtaufnahme des Tempels erstellt, die schließlich als Referenz diente, um die hochauflösend gescannten Einzelbauteile räumlich einzupassen. Die originalen Einzelbauteile – sowohl lose als auch verbaute Blöcke – mit allen technischen Details und ihrer Ornamentik wurden mit einem Streifenlichtscanner vermessen. Durch das im Vergleich kleine Messfenster ging diese Arbeit deutlich langsamer voran, wobei sehr unterschiedliche Datenmengen entstanden. So kommt die mit dem Laserscanner erfasste Punktwolke des gesamten Tempels mit einem Datenvolumen von 1,2 GB aus, während die Größe eines einzigen mit dem Streifenlichtscanner aufgenommenen Postaments, wie sie vor den Säulen und Pfeilern des Tempels platziert sind, bereits rund 400 MB beträgt (Taf. 24).

I.3.3 Postprocessing

Nach der Datenaufnahme sind mehrere Schritte der Nachverarbeitung erforderlich, um aus den Punktdaten für die Wissenschaft zu verwendende Modelle und Pläne zu generieren²⁹⁹. Gewöhnlich steht am Ende des Postprocessing ein geschlossenes Modell des aufgenommenen Objekts, das – sofern gewünscht – auch über eine fotorealistische Textur verfügt. Um dieses Ziel zu erreichen, sind mehrere Bearbeitungsschritte nötig, die im Folgenden kurz umrissen werden.

Unabhängig vom Scannermodell ist das Ergebnis unmittelbar nach der Messung eine sog. Punktwolke (Taf. 40, 1–2). Diese besteht aus diskreten, d. h. aus voneinander unterscheidbaren, getrennten Punkten im Raum. An jeden Punkt sind Informationen gekoppelt, wie seine räumlichen Koordinaten, die Signalintensität und – je nach Aufnahmetechnik – seine Farbe. Um alle Flächen eines Objekts abzubilden, müssen mehrere Aufnahmen gemacht werden. Man erhält demnach mehrere, vorerst voneinander unabhängige Punktwolken. Im ersten Nachbearbeitungsschritt, der sog. Registrierung³⁰⁰, werden diese Punktwolken in ein gemeinsames Koordinatensystem überführt und schließlich zu einer einzigen Punktwolke verschmolzen. Dies geschieht über Passpunkte, die entweder manuell gewählt oder auch durch den Scanner und dessen Software automatisch erkannt werden.

Nach der Registrierung müssen die Punkte vermascht werden. Sie werden dabei durch Geraden miteinander verbunden, sodass ein (möglichst) geschlossenes Netz aus Dreiecken entsteht, das die Objektoberfläche überzieht (›mesh‹, Taf. 40, 1b). Unterschiedliche Software wurde für die Vermaschung entwickelt, mit deren Hilfe dieser Vorgang automatisiert wird. Der Arbeitsschritt ist aber, vor allem bei hochauflösten Punktwolken, besonders ressourcen- und damit auch zeitintensiv. Die entstandenen Dreiecke werden schließlich mit ebenen Flächen gefüllt. Erst im Anschluss an diesen Nachverarbeitungsschritt sind die Modelle sog. Oberflächenmodelle mit undurchsichtigen Hüllflächen (Taf. 40, 1c).

Viele Scanner sind zusätzlich mit einer Digitalkamera ausgestattet, die während oder nach dem Scanvorgang Fotos der Objektoberfläche aufnimmt. Alternativ kann die Objektoberfläche

²⁹⁸ Vgl. Wilke 2002; Wimmer – Scheiblauer 2006, 129–136.

²⁹⁹ Zum Postprocessing vgl. Dorninger – Brunner 2010, 495–501.

³⁰⁰ Vgl. dazu Rusinkiewicz – Levoy 2001, 145–152; Ullrich u. a. 2003, 298–305.

auch separat mit einer kalibrierten Kamera fotografiert werden. Diese Farbinformation wird in einem weiteren Bearbeitungsschritt auf das Objekt aufgebracht, wobei es auch hier unterschiedliche Vorgehensweisen gibt.

Bei diesem Stand der Bearbeitung setzt sich das virtuelle Modell aus einer Anzahl von Dreiecksflächen zusammen, auf welche die Fotoinformation übertragen wird. Das heißt, die aufgenommenen Fotos werden in ihrer vollen Auflösung auf die Dreiecksflächen projiziert. Überlappende Fotoabschnitte werden je nach Software beschnitten oder verlaufend ineinander gerechnet.

Eine weitere Methode, Fototextur auf das 3-D-Modell aufzubringen, erfolgt bereits wesentlich früher im Bearbeitungsprozess und sei hier nur am Rande erwähnt: Dabei wird die Farbinformation bereits auf die Punktwolke aufgetragen, wobei – ebenfalls durch Projektion – jedem Punkt ein bestimmter Farbwert zugewiesen wird. Fotoinformation, die im Zuge dieser Projektion zwischen den Punkten zu liegen kommt, geht damit unvermeidlich verloren, das Ergebnis ist daher deutlich gröber aufgelöst als das zuvor aufgenommene Foto. Häufig kann auf die Fototexturierung aber verzichtet werden, da sie die räumliche Wahrnehmung der Kubatur oft eher stört denn unterstützt.

Nicht in jedem Fall muss der gesamte hier beschriebene Prozess der Nachbearbeitung durchschritten werden. Abhängig vom erwünschten Ergebnis und vor allem dem Zielmaßstab kann bereits die Punktwolke zur Erstellung von Planmaterial herangezogen werden. Dementsprechend wurde auch bei dem ›Hadrianstempel‹ vorgegangen³⁰¹. Die Plandokumentation des ›Hadrianstempels‹ sollte sich in zwei Gruppen gliedern: Zum einen sollte es Pläne des gesamten Gebäudes geben, die den derzeitigen Zustand des Gebäudes dokumentieren. Für diese Pläne war ein Maßstab von 1 : 50 vorgesehen. Zum anderen musste der umfassende Katalog der Einzelbauteile durch Abbildungen der Blöcke im Maßstab 1 : 20 ergänzt werden.

I.3.3.1 PLÄNE DES GESAMTEN GEBÄUDES IM MASSSTAB 1 : 50

Die Bestandspläne des gesamten Gebäudes – Grundriss, Ansichten und Schnitte – sollten für die Bauwerksdokumentation im Maßstab 1 : 50 vorliegen. Für die Erstellung dieser Pläne wurde die Punktwolke ohne weitere Nachbearbeitungsschritte verwendet, d. h., die gescannten Punktdaten wurden nicht vermascht. Wie oben beschrieben, besteht die Punktwolke aber aus Einzelpunkten, die ohne Verbindung frei im Raum liegen. Der Betrachter kann daher zwischen den Punkten hindurchsehen, Vorder- und Rückseite eines Objekts sind gleichermaßen zu sehen. Um die Lesbarkeit zu steigern und um den Ansprüchen eines Bestandsplanes gerecht zu werden, mussten daher sämtliche Punkte, die bei geschlossenen Oberflächen nicht sichtbar wären, manuell aus der Punktwolke entfernt werden – ein Vorgang, der für jede Ansicht, jeden Schnitt sowie jeden Grundriss separat durchgeführt werden musste. Im Anschluss wurden Normalprojektionen angefertigt, die schließlich mit einem CAD-Programm kotiert und gegebenenfalls mit ergänzenden Signaturen versehen wurden (Taf. 41).

I.3.3.2 BAUTEILDOKUMENTATION IM MASSSTAB 1 : 20

Die Ansichten der Einzelbauteile wurden anhand der mit dem Streifenlichtscanner aufgenommenen Daten angefertigt. Die zugrundeliegenden virtuellen 3-D-Modelle sind in diesem Fall vollständig vermaschte Oberflächenmodelle, wobei der Vorgang des Vermaschens im konkreten Fall bereits vor der Registrierung abgeschlossen war – ein Vorteil, der sich aus der Arbeit mit den von der Firma Breuckmann stammenden Scannern ergab, in deren Software ein Algorithmus zur Vermaschung bereits implementiert ist. Die Registrierung der einzelnen Scans geschieht zwar auch hier über manuell gesetzte Passpunkte, doch auch dieser Arbeitsschritt erfolgt bei

³⁰¹ Der Zielmaßstab der Pläne orientiert sich häufig auch an dem Druckformat der geplanten Publikation. Die Pläne haben daher eher illustrierenden Charakter, weil – daran sei hier noch einmal erinnert – die dreidimensionale Punktwolke idealerweise den zweidimensionalen Plan als Arbeitsgrundlage ersetzen kann.

den verwendeten Scannermodellen bereits während des Scanvorgangs. Damit standen die für die Bauteildokumentation notwendigen 3-D-Modelle schon unmittelbar nach der Scankampagne vor Ort zur Verfügung. Von diesen Modellen wurden Orthogonalansichten erstellt, die, wie auch die Gebäudepläne, im Anschluss kotiert und beschriftet wurden (s. Taf. 216–320 zum Bauteilkatalog).

I.3.3.3 DAS 3-D-MODELL

An dieser Stelle darf jedoch nicht vergessen werden, dass die hier beschriebene Verwendung der 3-D-Daten als Grundlage für Pläne eine erhebliche Reduktion der ursprünglich erfassten Daten darstellt. Die Erstellung von Plänen in Papierform bedeutet eine Rückführung der in drei Dimensionen dokumentierten Bauwerksflächen in die Zweidimensionalität. Die Messergebnisse sind dadurch druckfähig und bilden die gewohnte Beilage für schriftliche Publikationen, ein Teil der ursprünglich erhaltenen Informationen geht dabei aber notgedrungen verloren. Für die exakte Analyse der Kubatur oder die steingerechte Rekonstruktion eines Gebäudes, dessen Bauteile dreidimensional aufgenommen wurden, empfiehlt es sich jedoch, die virtuellen 3-D-Modelle für diese Arbeit zu nutzen³⁰². Die Pläne können in ihrer zweidimensionalen Form einen schnellen Überblick über das Gebäude vermitteln und überdies mit zusätzlichen Inhalten ergänzt werden. Sie stellen eine Art Filterung der vorhandenen Informationen dar. Für eine bessere Verständlichkeit werden dabei Teilaspekte weggelassen, stattdessen werden in Form von Beschriftungen oder Signaturen Interpretationen hinzugefügt. Die eigentliche Dokumentation bleibt jedoch das virtuelle Modell, das die aufgenommenen Baukörper und Bauwerksteile in ihrer wahren Größe und in all ihren Dimensionen abbildet. Die Modelle stellen sämtliche Abmessungen bereit, selbst wenn deren Bedeutung sich erst in späteren Arbeitsschritten der wissenschaftlichen Analyse des Bauwerks zeigt.

Die exakte Dokumentation der Bauteile sowie die Möglichkeit, steingerechte Rekonstruktionen im virtuellen Raum zusammenfügen zu können, sind damit zwei zentrale Themen, die den Einsatz von 3-D-Scannern für die Archäologie interessant machen. Darüber hinaus ermöglichen die 3-D-Modelle eine zeitgemäße Visualisierung von antiken Architekturen und ihren Rekonstruktionen. Damit kann Besucherinnen und Besuchern ein virtueller Spaziergang durch Räume oder ganze Straßenzüge ermöglicht werden, der nicht an den Ort gebunden ist und eine das Objekt schonende umfassende Besichtigung ermöglicht. Diese Besichtigung kann entweder interaktiv erfolgen, indem eine Person durch das Bewegen eines Steuerungsgeräts, wie etwa einer Maus oder eines Joysticks, die Bewegungen im Modell vorgibt.

Im Fall des »Hadrianstempels« wurde ein Video erstellt, das einen solchen Spaziergang durch und um das Modell des Gebäudes simuliert, der Weg, den der Betrachter geht, ist dabei durch die Kameraführung vorgegeben (Taf. 42).

Grundlage für den interaktiven Rundgang wie auch für die Fahrt mit der Kamera ist ein geschlossenes Oberflächenmodell, um eine möglichst fotorealistische Darstellung zu erzielen. Im Unterschied zu dem Punktmodell kann das geschlossene Oberflächenmodell bei entsprechend gesetzten Lichtquellen Schatten werfen. Überdies sind aus Sicht der Kamera verdeckte Objektteile nicht zu sehen, was die räumliche Wahrnehmung deutlich verbessert. Zudem kann die Objektoberfläche mit unterschiedlichen Texturen und Eigenschaften versehen werden, wie etwa Farben, aber auch Rauheit, Transparenz, Spiegelung oder Reflexivität. Erst durch diese Eigenschaften gewinnt das Modell jene realitätsnahe Oberfläche, durch die wir Stein, Metall Glas usw. überhaupt erst als solche wahrnehmen und erkennen.

Mit der Erstellung des Videos zum »Hadrianstempels« wurden mehrere Ziele verfolgt: Zunächst sollte der Tempel in seiner derzeitigen Gestalt gezeigt werden. Die Kamerafahrt sowie die Positionen der Lichtquellen wurden so gewählt, dass einerseits eine langsame Annäherung an das

³⁰² So wurde z. B. bei dem bereits erwähnten »Oktogon« vorgegangen, s. Thuswaldner 2009, 261–281.

Objekt durch den Betrachter ermöglicht wird, der zuerst einen Überblick gewinnt und dessen Auge schließlich auf bestimmte Details oder besonders attraktive Blickwinkel auf das Gebäude gelenkt wird. Zudem bieten das 3-D-Modell und das Medium Video auch die Möglichkeit, Rekonstruktionen und Ergänzungen zu veranschaulichen. Im Video wird das Gebäude um die aus dem Verband geratene Bauteile ergänzt. Virtuelle Laserstrahlen modellieren schließlich die Fluchten des ursprünglichen Giebels in den Raum.

Wurde oben davon gesprochen, dass aus dem 3-D-Modell generierte, zweidimensionale Pläne nur noch einen Bruchteil der Informationen enthalten, die mithilfe der Scanner aufgenommen wurden, so muss auch hier darauf hingewiesen werden, dass auch das Video nur einen kleinen Teil der Ausgangsdaten enthält. Gegenüber dem originalen Modell, das die Bauteile mit rund 51 Millionen Einzelpunkten abbildet, setzt sich das stark reduzierte Oberflächenmodell des Videos aus nur noch 400 000 Dreiecksflächen zusammen. Verglichen mit der ursprünglichen Auflösung wurde das Modell damit auf lediglich 1 % der Ausgangsdaten reduziert.

Diese Reduktion ist einerseits erforderlich, weil man sonst rasch an die Grenzen der Rechnerleistung stößt. Andererseits hat sich jedoch nach umfangreichen Tests mit Animationssoftware gezeigt, dass der visuelle Eindruck stark durch die Gestaltung der Oberflächen beeinflusst wird. Als besonders zweckmäßig erwies sich die Kombination aus geometrisch stark reduzierten Modellen und dem Einsatz mehrschichtiger Texturen.

I.3.4 Zusammenfassung

Der Einsatz von 3-D-Erfassungstechnologien für die Vermessung des ›Hadrianstempels‹ kann zusammenfassend als positiv beurteilt werden. Die entstandenen Pläne und Abbildungen entsprechen den Anforderungen der Bauforschung und können über die Erstellung von Bestandsplänen hinaus flexibel eingesetzt werden. Bereits mit der Punktwolke steht ein Modell der gesamten Oberfläche zu Verfügung, in dem präzise gemessen werden kann. Überdies können sowohl die orthogonalen Ansichten als auch die dreidimensionalen Modelle der Baublöcke auch für Rekonstruktionsversuche und Architekturproben herangezogen werden.

Schließlich sind wohl die Hersteller der Scanner und die Entwickler der Software auf der einen Seite ebenso wie die Bauforscher und Archäologen als Anwender auf der anderen Seite gefordert, durch Zusammenarbeit und Informationsaustausch Programme zu entwickeln, die den Umgang mit den zwar hochpräzisen, aber vielfach noch zu großen Mengen von Daten möglich machen.

Barbara Thuswaldner – Robert Kalasek

I.4 DER ›HADRIANSTEMPEL‹ IN DER RÖMISCHEN KAISERZEIT: BAUBESCHREIBUNG UND REKONSTRUKTION

I.4.1 Einleitung und Überblick über die Bauphasen

Der ›Hadrianstempel‹ liegt an der Nordseite der schräg zum ephesischen Straßenraster verlaufenden Kuretenstraße und ist auf diese hin ausgerichtet (Taf. 2). Das Gebäude ist in den Komplex des Variusbades integriert und wurde gleichzeitig und in Verbindung mit diesem errichtet. Sein asymmetrischer Grundriss ist im Wesentlichen als eine Variante des tetrastylen Prostylos gestaltet: Er besitzt einen querrchteckigen Innenraum, dem ein ebensolcher, aus der Gebäudeachse leicht nach Osten versetzter Vorraum vorgelagert ist. Die als Anten vorgezogenen Seitenwände des Pronaos waren ursprünglich an beiden Seiten mit Pilastern abgeschlossen. Die Straßenfront war von einem ›syrischen Giebel‹ dominiert, der außen von zwei Pfeilern und zentral von zwei Säulen getragen wurde (Taf. 3). An den horizontalen Architraven und dem Bogen ist die zwei- und dreizeilige Stifterinschrift angebracht³⁰³. An der Ostseite war der Tempel mit dem Stiegen-

³⁰³ Zur Inschrift s. Kap. I.2.1.