

ERFASSEN, MODELLIEREN, VISUALISIEREN

# VON HANDAUFMASS BIS HIGH TECH III

3D IN DER HISTORISCHEN BAUFORSCHUNG



herausgegeben von

Katja Heine – Klaus Rheidt – Frank Henze – Alexandra Riedel



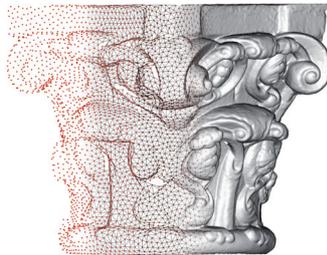
# VON HANDAUFMASS BIS HIGH TECH III



Erfassen, Modellieren, Visualisieren

## VON HANDAUFMASS BIS HIGH TECH III

3D in der historischen Bauforschung



Interdisziplinäres Kolloquium vom 24.–27. Februar 2010  
veranstaltet von den Lehrstühlen Baugeschichte und Vermessungskunde der  
Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus

Herausgegeben von  
Katja Heine, Klaus Rheidt, Frank Henze und Alexandra Riedel



VERLAG PHILIPP VON ZABERN

XII, 274 Seiten mit 332 Abbildungen

Gedruckt mit Unterstützung der Wüstenrot Stiftung, des Fördervereins der BTU Cottbus  
und der Deutschen Stiftung Denkmalschutz

*Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten  
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2011 by Verlag Philipp von Zabern, Darmstadt/Mainz  
ISBN: 978-3-8053-4332-9

Satz und Gestaltung: J. Mähner, Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Ohne  
ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses Buch oder Teile  
daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen oder unter  
Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten und zu verbreiten.

Printed in Germany by Philipp von Zabern  
Printed on fade resistant and archival quality paper (PH 7 neutral) · tcf

# INHALT

Vorwort der Herausgeber	VIII
<b>DATENERFASSUNG UND MODELLIERUNG</b>	
Fredie Kern – Kai-Christian Bruhn Terrestrisches Laserscanning – Eine Quellenkritik	1
Martin Floth – Michael Breuer Optische 3D-Messtechnik für die berührungslose, detaillierte Erfassung von Objektoberflächen in Archäologie und Denkmalpflege	8
Gerold Eßer – Jan Kanngießer – Mathias Ganspöck Der Image Laserscanner – ein Multitalent! Kann der 3D-Laserscanner ein konventionelles Bauaufmaß ersetzen?	14
Gunnar Siedler – Gisbert Sacher – Sebastian Vetter Photogrammetrische Auswertung historischer Fotografien am Potsdamer Stadtschloss	26
Anja Cramer – Guido Heinz – Hartmut Müller – Stefanie Wefers Vom 3D-Laserscan zur archäologischen Publikation – Der byzantinische Mühlenkomplex in Ephesos/Türkei	33
Frank Niemeyer – Matthias Naumann – Görres Grenzdörffer 3D-Daten auf Knopfdruck	37
Oliver Bringmann Quadratur der Punktwolke – Von der Punktwolke zum konsistenten Bauteil-Modell	46
Götz Echtenacher Wissenschaftliche Erkenntnisse durch manuelles Konstruieren von 3D-Modellen	49
Nadine Stelling Nutzung von digitalen Bildern und 3D-Punktwolken für eine kombinierte Datenauswertung	58
André Borrmann – Katja Heine Zukunft und Vergangenheit – 4D-Modellierung als Werkzeug für die Bauplanung und die baugeschichtliche Forschung	65
Filippo Masino – Giorgio Sobrà – Francesco Gabellone – Massimo Limoncelli Research on the Theatre at Hierapolis in Phrygia: An Integrated Approach	72
Günter Pomaska Zur Dokumentation und 3D-Modellierung von Denkmälern mit digitalen fotografischen Verfahren	79
Georgios Toubekis – Michael Jansen Erhalt eines UNESCO Weltkulturerbes: 3D-Laserscan Dokumentation und virtuelle Rekonstruktion des Kleinen Buddhas von Bamiyan	85

## ANALYSE, METHODIK UND VISUALISIERUNG

Jörg Braunes – Torsten Thurow – René Tatarin Mehr als Geometrie – Kombination von Bauwerkserfassung und Bauwerksdiagnostik auf Basis eines digitalen Gebäudemodells	97
Ashish Karmacharya – Christophe Cruz – Frank Boochs – Franck Marzani ArchaeoKM: Realizing Knowledge of the Archaeologists	102
Irmengard Mayer – Peter Ferschin – Ulrike Herbig – Iman Kulitz Das Adlitzgrabenviadukt der Semmeringbahn virtuell dokumentiert	109
Jessica Glabsch – Hans Heister – Otto Heunecke – Wolfgang Liebl – Kay Nichelmann Lasergestützte baugometrische Bestandsaufnahme der Wallfahrtskirche Tuntenhausen für die Bewertung der Standsicherheit	115
Jürgen Giese Mit Laptop, Lot und Laserscanner? Lehrerfahrungen im Fach „Baudokumentation“ an der Universität Bamberg	122
Alexandra Riedel – Frank Henze – Andreas Marbs Paradigmenwechsel in der historischen Bauforschung? Ansätze für eine effektive Nutzung von 3D-Informationen	131
Silke Langenberg – Bernhard Irmeler – Martin Sauerbier Angemessen messen – „Best Demonstrated Practice“	142
Klaus Rheidt – Corinna Rohn Von 3D zu 2D? Moderne Messmethoden im Bauforschungsalltag	151
Tillmann Wallner Technologische Verschwendung im Gebäudeaufmaß	160
Stephan M. Bleichner Das elektronisch virtualisierte Baudenkmal	165
Michael Moser – Klaus Hanke – Kristóf Kovács Ein Konzept zur Texturierung von komplexen 3D-Modellen	174
Dominik Lengyel – Catherine Toulouse Darstellung von unscharfem Wissen in der Rekonstruktion historischer Bauten	182

## PRAKTISCHE ANWENDUNGEN

Günter Hell – Martin Bachmann Der Bankettbau auf dem Karasis – Bauablauf	189
Ursula Quatember – Robert Kalasek Handaufmaß gegen High Tech: Zur Aufnahme eines kassettierten Tonnengewölbes aus Ephesos	195

Martin Gussone – Hans Heister – Wolfgang Liebl – Ines Oberhollenzer – Dorothée Sack – Heba Shash Laserscanning als Grundlage für Bauforschung und Schadenskartierung in Resafa/Syrien – Objektive Dokumentation oder/und Analyse der Konstruktion?/!	201
Marina Döring-Williams – Hermann Schlimme Aufnahme und Analyse sphärischer Oberflächen: Die Kuppel von Sant’Andrea della Valle in Rom	211
Hansgeorg Bankel – Thomas Strellen Photogrammetrische Vermessung der römischen Stadt Minturnae mit einer GPS-gesteuerten Drohne – Ein Erfahrungsbericht	225
Konrad Berner – Martin Bachmann – Tilman Müller Einsatz und Zweckdienlichkeit dreidimensionaler Aufnahmemethoden in der antiken Stadt des Diogenes von Oinoanda	236
Rainer Barthel – Christian Kayser – Felix Martin Die Venusgrotte von Schloss Linderhof – Ein digitales Aufmaß als Grundlage für Schadensaufnahme und Instandsetzungsplanung	241
Ingrid Adenstedt – Barbara Thuswaldner Der sog. Byzantinische Palast in Ephesos – Vermessung und Rekonstruktion des Tetrakonchos	249
Elke Richter Bauforschung zur ehemaligen Königlichen Hofbibliothek in Berlin	255
Ulrike Fauerbach – Salma Khamis – Martin Sählhof AEgArOn – Ancient Egyptian Architecture Online	262
Barbara Thuswaldner Ruinenpräsentation im virtuellen Raum – Das Oktogon in Ephesos	269

## VORWORT DER HERAUSGEBER

Unter dem Motto „Von Handaufmaß bis High Tech – 3D in der historischen Bauforschung“ diskutierten Fachwissenschaftler aus den Bereichen Bauforschung, Archäologie, Denkmalpflege, Vermessung und Informatik vom 24.–27. Februar 2010 aktuelle Entwicklungen und Probleme der 3D-Erfassung, Modellierung und Präsentation bei der Erforschung historischer Bauten. Nach den ersten beiden Kolloquien 2000 und 2005 machten auch diesmal wieder die hohe Resonanz sowie die über 40 Fachvorträge und Poster deutlich, wie wichtig der regelmäßige Austausch für die fachübergreifende Kooperation der verschiedenen Disziplinen ist. Zusammen mit den zwei bereits erschienenen Tagungsbänden hat sich „Von Handaufmaß bis High Tech“ zu einer festen Plattform für Wissenschaftler und Anwender, Hersteller und Dienstleister entwickelt, und so war es uns erneut ein ganz besonderes Anliegen, alle Vorträge und Präsentationen in gewohnter Weise zusammenzustellen und als Tagungsband zu veröffentlichen.

Bereits vor 10 Jahren wurden in Cottbus die ersten Erfahrungen im Umgang mit 3D-Aufnahmeverfahren und 3D-Modellen vorgestellt und mitunter kontrovers diskutiert. Die Beiträge des vorliegenden Tagungsbandes zeigen, dass diese Techniken längst zu alltäglichen Werkzeugen bei der Bearbeitung baugeschichtlich-archäologischer Projekte geworden sind. Der Einsatz automatisierter Messverfahren wird kaum noch in Frage gestellt, vielmehr steht Bauforschern und Geodäten heute eine große Anzahl unterschiedlicher Technologien und Geräte zur Verfügung, um auf die speziellen Anforderungen der jeweiligen Objekterfassung gezielt zu reagieren. In den Beiträgen zur Datenerfassung werden das Spektrum aktueller Aufnahmeverfahren sowie deren Einsatzmöglichkeiten in der historischen Bauaufnahme umfassend dargestellt. Dabei wird auch deutlich, dass sich mit der zunehmenden Automatisierung der Objekterfassung ein Wandel in der Zusammenarbeit zwischen Bauforschern und Geodäten vollzieht. Auch die Nutzung von 3D-Modellen und virtuellen Rekonstruktionen für die Dokumentation und Veröffentlichung von Forschungsergebnissen ist mittlerweile zu einem festen Bestandteil in Bauforschung und Archäologie geworden. Unterstützt wird diese Entwicklung durch neue Möglichkeiten der webbasierten Präsentation von Multimedia- und 3D-Daten unter Nutzung weitgehend standardisierter Techniken und Formate.

In den Beiträgen zur Modellierung und Methodik im Umgang mit 3D-Daten wird aber auch deutlich, dass die Generierung von 3D-Modellen aus den zumeist sehr großen Punktwolken automatisierter Messverfahren nach wie vor Thema aktueller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist. Die Modellbildung ist und bleibt der aufwändigste Teil innerhalb der 3D-Prozesskette und stellt auch heute noch hohe Anforderungen an die Bearbeiter im Umgang mit den entsprechenden Programmen und Techniken. Die Beiträge zeigen, dass eine effiziente und zielführende Projektbearbeitung nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Bauforschern, Geodäten und Informatikern erreicht werden kann. War vor 10 Jahren noch eine enge Zusammenarbeit zwischen Bauforscher und Vermesser vor Ort wichtige Voraussetzung einer Bauaufnahme komplexer Objekte, so ist die Einbindung unterschiedlicher Fachkompetenzen heute vor allem bei der Verarbeitung und Modellierung der Geometriedaten erforderlich.

Dass „3D“ tatsächlich in der Bauforschung angekommen ist und sich hier mehr und mehr als Werkzeug für Aufnahme, Bearbeitung und Präsentation historischer Bausubstanz etabliert, zeigen nicht zuletzt die Erfahrungen bei der Nutzung von 3D-Techniken in ganz unterschiedlichen Projekten. Die Spanne reicht dabei von der 3D-Dokumentation einzelner Objekte über die virtuelle Rekonstruktion von Bauwerken bis hin zur weitgehend automatisierten Erfassung und Modellierung ganzer Baukomplexe und Stadtanlagen. Allen, die sich mit der wissenschaftlichen Bearbeitung und Rekonstruktion historischer Bauwerke beschäftigen, bietet der vorliegende Tagungsband wesentliche Diskussionsgrundlagen und Entscheidungshilfen. Er gibt einen profunden Überblick über die Entwicklungen sowie den aktuellen Stand der Nutzung von 3D-Techniken in der historischen Bauforschung.

Unseren besonderen Dank möchten wir an dieser Stelle den Personen und Institutionen aussprechen, die mit ihrer Hilfe und Unterstützung die Durchführung des Kolloquiums und die Publikation des vorliegenden Tagungsbandes ermöglicht haben. Der Wüstenrot Stiftung, dem Förderverein der BTU Cottbus, der Deutschen Stiftung Denkmalschutz sowie der Firma Leica Geosystems sei für finanzielle und materielle Unterstützung ganz herzlich gedankt. Cornelia Rublack, Reinhard Märker, Rex Haberland, Anna-Katharina Becker, Harriet Trenkmann und den studentischen Hilfskräften der Lehrstühle für Vermessungskunde und Baugeschichte verdanken wir den reibungslosen Ablauf der Veranstaltung. Johanna Mähner sei für die Erstellung des Tagungsbandes gedankt sowie Barthold Pelzer für das Korrekturat. Und nicht zuletzt gebührt allen Vortragenden, Teilnehmern und Firmen Dank, die mit ihren Beiträgen und Diskussionen zum Gelingen des Kolloquiums beigetragen haben.

Wir freuen uns, dass der dritte Kolloquiumsband ebenfalls im Programm des Verlages Philipp von Zabern erscheint und auch durch die verlegerische Kontinuität eine wertvolle Ergänzung der vorangegangenen Bände darstellt. Zusammen mit den ersten beiden Bänden liegt nun ein umfangreiches Kompendium zur Entwicklung von Arbeitsmethoden und Techniken in der historischen Bauforschung innerhalb der letzten zehn Jahre vor. Das Spektrum der diskutierten Themen reicht von klassischen Aufnahmeverfahren wie Handaufmaß, Tachymetrie und Photogrammetrie, über die Nutzung raumbezogener Informationssysteme bis hin zu Verfahren der automatisierten Erfassung und der Präsentation dreidimensionaler Objektdaten und Modelle. Die Bände bieten einen umfassenden Überblick über die große Bandbreite der unterschiedlichen Aufnahme- und Auswerteverfahren und informieren über technische und inhaltliche Voraussetzungen für die Planung zukünftiger Bauforschungsprojekte. Wir sind uns sicher, dass die Beiträge zum 3. Kolloquium „Von Handaufmaß bis High Tech“ den kritischen Diskurs über Aufwand, Nutzen und Perspektiven neuer technischer Verfahren bei der Datenerfassung, Modellierung und Präsentation in Bauforschung, Archäologie und Denkmalpflege weiter befördern werden.

Katja Heine    Klaus Rheidt    Frank Henze    Alexandra Riedel

Cottbus, im September 2010



# TERRESTRISCHES LASERSCANNING – EINE QUELLENKRITIK

Fredie Kern – Kai-Christian Bruhn

## ZUSAMMENFASSUNG

Die optoelektronische Messtechnologie hat sich im vergangenen Jahrzehnt rasant entwickelt. Ihr Einsatz in der Archäologie und Bauforschung wird entsprechend häufiger und umfangreicher. Gleichzeitig unterstützen diese Technologien einen Transfer in der Befunderfassung von analogen in digitale Formate. Eine Konsequenz daraus ist die Anerkennung der Messergebnisse als Quelle historischer Interpretation. Die in der Archäologie und Bauforschung etablierte Quellenkritik muss demnach auf digitale Messwerte ausgeweitet und auf die Spezifika optoelektronischer Messtechnik eingestellt werden.

In diesem Beitrag sollen die Grundlagen für eine quellenkritische Auseinandersetzung mit digitalen Messwerten am Beispiel des Terrestrischen Laserscannings (TLS) angeregt und diskutiert werden. Ankerpunkt des Beitrags ist die Auseinandersetzung mit dem Begriff „geometrische Messqualität“ und welche Möglichkeiten zur Quantifizierung bestehen, also die Konfrontation der Ergebnisse einer TLS-Vermessung mit den an das Betrachtungsobjekt gestellten Anforderungen, um die geometrische Messqualität als quellenkritische Kategorie zu etablieren.

Eine bewährte Vorgehensweise in der Messtechnik, sich dem Problemkreis Messqualität zu nähern, ist die Bereitstellung standardisierter TLS-Prüfverfahren. Mit diesen werden spezielle anwendungsorientierte Kenngrößen innerhalb eines „worst case“-Szenariums bestimmt. Die Kennwerte, wie Antastabweichung und Auflösungsvermögen, können praxisrelevantere Aussagen liefern als dies bei einer konventionelle Betrachtung der Messgenauigkeit eines Einzelpunktes der Fall ist. Die Qualität einer TLS-Vermessung wird damit zudem bewertbar, womit eine zentrale Voraussetzung zur quellenkritischen Betrachtung von Messergebnissen erreicht ist.

## EINLEITUNG

Der Versuch, die Ergebnisse eines optoelektronischen Messverfahrens einer Quellenkritik zu unterziehen bedarf einer Begründung. Ausgangspunkt unserer Überlegungen sind verschiedene Entwicklungen und Tendenzen der vergangenen Jahre sowie ihre Auswirkungen auf archäologische und bauhistorische Dokumentationsverfahren. Für unsere Fragestellung besonders relevant sind die fortschreitende Spezialisierung optoelektronischer Messverfahren, die zunehmende Digitalisierung von Information und davon abzuleiten die wachsenden Möglichkeiten der Digitalisierung der Dokumentation historischer, materieller Hinterlassenschaften. Diese

Entwicklungen sind unabhängig voneinander zu betrachten. Sie haben sich in dem vergangenen Jahrzehnt nicht bedingt, sondern parallel entwickelt. Messverfahren wie das hier im Mittelpunkt stehende terrestrische Laserscanning (TLS) sind nicht der Grund für die Bemühungen, die Befunddokumentation in digitale Formate zu überführen. Gleichwohl sollen synergetische Effekte nicht in Abrede gestellt werden: Die Ergebnisse von TLS-Messungen sind digital und erleichtern die digitalen Dokumentationsstrategien.

In diesen Entwicklungen ist eine Tendenz zum Gegensätzlichen wahrnehmbar. Moderne Messverfahren und das traditionelle Handaufmaß werden gegenübergestellt und in vermeintliche Opposition zueinander gesetzt, als handele es sich um zwei gleichartige Prozesse. Damit verschiebt sich der Fokus weg von methodischer Diskussion hin zu einem wenig fruchtbaren Austausch schwer begründbarer Meinungen.

Das hier postulierte Phänomen ist in der Forschung zu disziplinübergreifenden Forschungsprojekten wohlbekannt. Karsten Weber etwa bemerkt die Befürchtung, „dass bei der interdisziplinären Zusammenarbeit die Standards der jeweiligen Disziplinen verloren gehen und somit die Qualität der wissenschaftlichen Arbeit sinken kann“ [WEBER 2001, S. 83]. Häufig aber überlagern derartige Befürchtungen, die sich nicht zuletzt auf die Institutionalisierung von Forschungsdisziplinen zurückführen lassen, eine Vielzahl wohl verborgener Gemeinsamkeiten. An dieser Stelle wird versucht, in einem zentralen Aspekt beider Disziplinen derartige Übereinstimmungen aufzuzeigen.

## QUELLENKRITIK UND QUALITÄTSBEURTEILUNG

Sowohl den geisteswissenschaftlicher Methodik verpflichteten Disziplinen der Archäologie und Bauforschung als auch den ingenieurwissenschaftlichen Fächern ist die Systematisierung des kritischen Umgangs mit dem Gegenstand und den Ergebnissen der jeweiligen Untersuchungen bekannt. Der in der historischen Forschung etablierten Quellenkritik entspricht die qualitative Beurteilung von Messergebnissen geodätischer Arbeiten.

Beide methodischen Ansätze zu vereinen, wie es hier versucht werden soll, ist kein bemühter Versuch der Interdisziplinarität, sondern eine Notwendigkeit, die sich aus den angesprochenen Herausforderungen der Digitalisierung von Dokumentationen ergibt.

Es lohnt sich an dieser Stelle, den Bogen etwas weiter zu spannen und die altertumswissenschaftlichen Diszi-

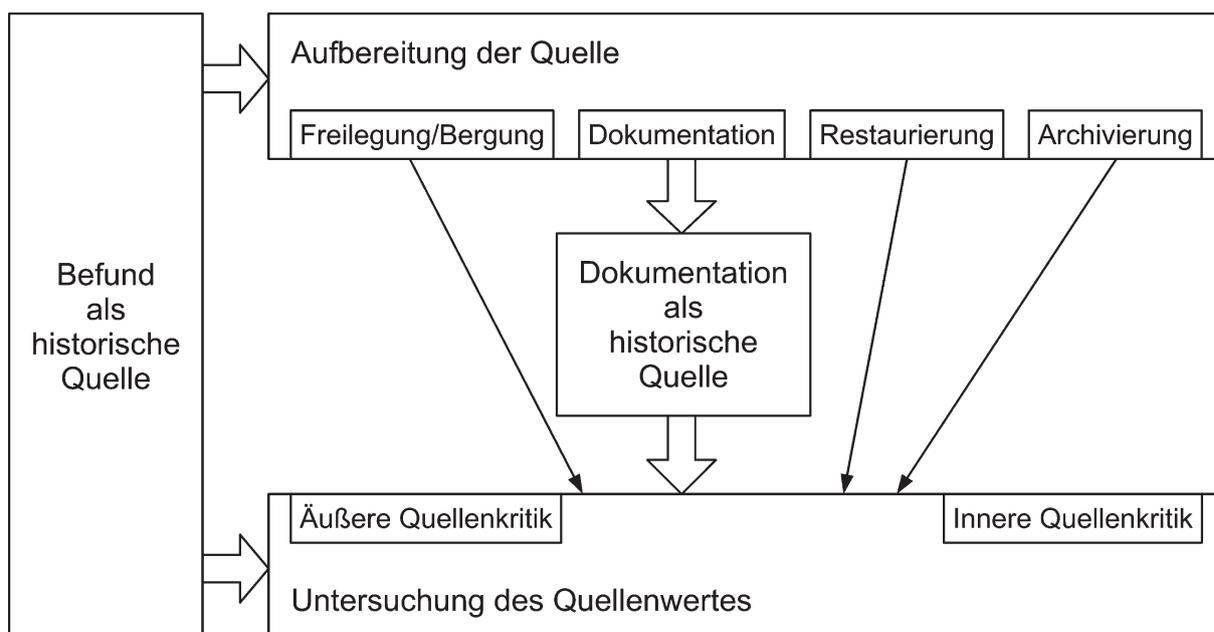


Abb. 1: Schema der quellenkritischen Auseinandersetzung mit archäologischen Befunden nach [EGGERT 2008, S. 105f.]. Ergänzt ist ein entscheidender Schritt, in dem die Dokumentation als Ergebnis der Aufbereitung der Quelle in Nachuntersuchungen zum Gegenstand äußerer und innerer Quellenkritik wird.

plinen als Ganzes in den Fokus zu nehmen. Zuletzt hat Manfred Eggert die quellenkritische Methode der archäologischen Forschung zusammengefasst [EGGERT 2008, S. 105–122]. Seine Konzentration auf die prähistorische Archäologie ist für unsere Fragestellung zu vernachlässigen, denn die grundlegende Argumentation kann Gültigkeit für jede altertumswissenschaftliche Disziplin beanspruchen.

Eggert unterscheidet zunächst die Aufbereitung der Quellen von der Untersuchung des Quellenwertes. Zur Aufbereitung zählt er dabei alle Maßnahmen, die von der Freilegung bis zur Publikation an der Quelle vorgenommen werden. Davon getrennt sieht er die eigentliche Quellenkritik in der Untersuchung des Quellenwertes, die sich der in der Textwissenschaft etablierten Methode der äußeren und inneren Kritik der Quellen bedient [SELLIN 2005, S. 44–53]. Problematisch ist an seiner ausführlichen Diskussion auch der Abhängigkeiten zwischen der Aufbereitung und der Untersuchung, dass in der archäologischen Praxis bereits publiziertes Material und häufig die originale Dokumentation einer kritischen Überprüfung unterzogen werden. Damit werden Fragen der Aufbereitung zentraler Gegenstand der Untersuchung des Quellenwertes (Abb. 1). Diese These ist vor dem Hintergrund konventioneller Dokumentationsverfahren nicht besonders spektakulär, gewinnt aber angesichts der umfassenden Ergänzung dieser Verfahren durch moderne Messtechnik an Brisanz. Es ist absehbar, dass die teilweise ausschließlich digital vorliegenden Ergebnisse insbesondere optoelektronisch gewonnener Dokumentationen in eine kritisch-historische Analyse einfließen werden.

Letztlich geht auch Eggerts quellenkritischer Diskurs auf die grundlegenden Studien von Johann Gustav Droysen zurück, der schon im 19. Jh. festhielt: „Aber es gilt Methoden zu finden, um für dies unmittelbare und subjektive Auffassen – zumal da von Vergangenen uns nur noch Auffassungen anderer oder Fragmente dessen, was einst war, vorliegen – objective Maße und Controlen zu gewinnen, es damit zu begründen, zu berichtigen, zu vertiefen“ [DROYSEN 1868, S. 82]. Für die hier gestellte Frage ließe sich die häufig zusammengefasste Formel Droysens wie folgt verändern: Quellenmäßig haben wir nie mit objektiven Tatsachen sondern immer nur mit Messungen im Sinne einer statistischen Stichprobe von solchen zu tun.

Aus dem Einsatz moderner Messtechnik in der archäologischen Dokumentation ergibt sich somit die Notwendigkeit, die kritischen Verfahren der beteiligten Fachdisziplinen zu verbinden. Bezogen auf die historische Bauforschung gilt dies in besonderer Weise für das immer häufiger eingesetzte Terrestrische Laserscanning. Die Ergebnisse dieses Dokumentationsverfahrens müssen einer quellenkritischen Betrachtung standhalten, um in eine historische Diskussion eingeführt werden zu können.

## QUELLENKRITIK BEIM TERRESTRISCHEN LASERSCANNING

### BAUAUFNAHME ALS GESCHLOSSENER ERKENNTNISPROZESS

Die Bauaufnahme als Dokumentationsverfahren der historischen Bauforschung kann vom ingenieurtechnischen Blickwinkel aus als Prozesskette aufgefasst

werden, in der mehrere Einzelprozesse hintereinander abgearbeitet werden (Abb. 2). Kann am Beginn dieses Prozesses vorausgesetzt werden, dass das Ziel oder die zu erreichenden Ergebnisse in ihrem Inhalt und in ihrer Form feststehen, so steht am Anfang die Aufgabe der Modellbildung oder der Festlegung einer Fragestellung. Daran anschließen werden sich Beobachtungen am Objekt mittels menschlicher, d.h. der Wahrnehmung, und/oder unter Zuhilfenahme technischer Sensorik. Die Wahrnehmung und Sensorik liefert Messinformationen, die das Objekt geometrisch oder physikalisch beschreiben, und Informationen zur Bedeutung der Messinformationen (Semantik). Die so gewonnenen Informationen gilt es zu speichern. Damit ist der Prozess der Dokumentation abgeschlossen. In der herkömmlichen Bauaufnahme wird vielfach die analoge Speicherung in Form von Skizzen oder Kartierung vorgenommen, der gleichzeitig nicht nur eine Dokumentations-, Archivierungs- sondern auch eine Visualisierungsfunktion zugesprochen wird. Die Kartierung ist auch Grundlage zur Darstellung und Visualisierung in anderen Formen, z.B. als Grafik oder Skizze im Rahmen einer wissenschaftlichen Publikation. Die gezielte Darstellung und Visualisierung von Auszügen der gespeicherten Informationen oder in Kombinationen mit anderen Informationen in spezieller Form ermöglicht dann eine Analyse, Interpretation, Deutung oder Erklärung zur eingangs gestellten Fragestellung. Es können sich daraufhin neue Fragestellungen erge-

ben, die den Gesamtprozess erneut in Gang setzen und z.B. andere Messmethoden zur feineren Untersuchung von Teilbereichen des Objektes nötig machen.

Vom Standpunkt eines Bauforschers aus können die Einzelprozesse nicht streng in der oben beschriebenen Reihenfolge abgearbeitet werden, da in der Regel die Eingangsfragestellung und damit auch das Ziel der Untersuchung nicht klar umrissen ist. Für den Ingenieur schwer nachvollziehbar ist die enge Verknüpfung von Erkenntnis- und Dokumentationsprozess. Sobald die Bauforschung ein aussagekräftiges Merkmal im Befund wahrnimmt, kann sich die Fragestellung ändern und eine andere Art der Messwerterfassung erforderlich werden. Eine Variation in der Messtechnologie wiederum kann die Art der Informationsspeicherung verändern; z.B. die Umstellung von der analogen zur digitalen Speicherung und Verwaltung. Analysiert man diese und ähnliche Abläufe in der Bauaufnahme weiter, stellt man fest, dass sämtliche Teilprozesse in starker Wechselbeziehung zueinander stehen, was für den Ingenieur schwer umzusetzen ist, da er beispielsweise aus ökonomischen Gründen bestrebt ist, in festen Ablaufschemata zu denken und zu arbeiten.

Das hier skizzierte Bild beschreibt die Bauaufnahme nicht nur als reine Modellierungsaufgabe, wie es von [WEFERLING 2001] vorgeschlagen wurde, oder als reines Anfertigen von zeichnerischen Baudokumentationen, wie es eine Publikation wie [ECKSTEIN 1999] suggerieren könnte. Bei der Bauaufnahme ist immer

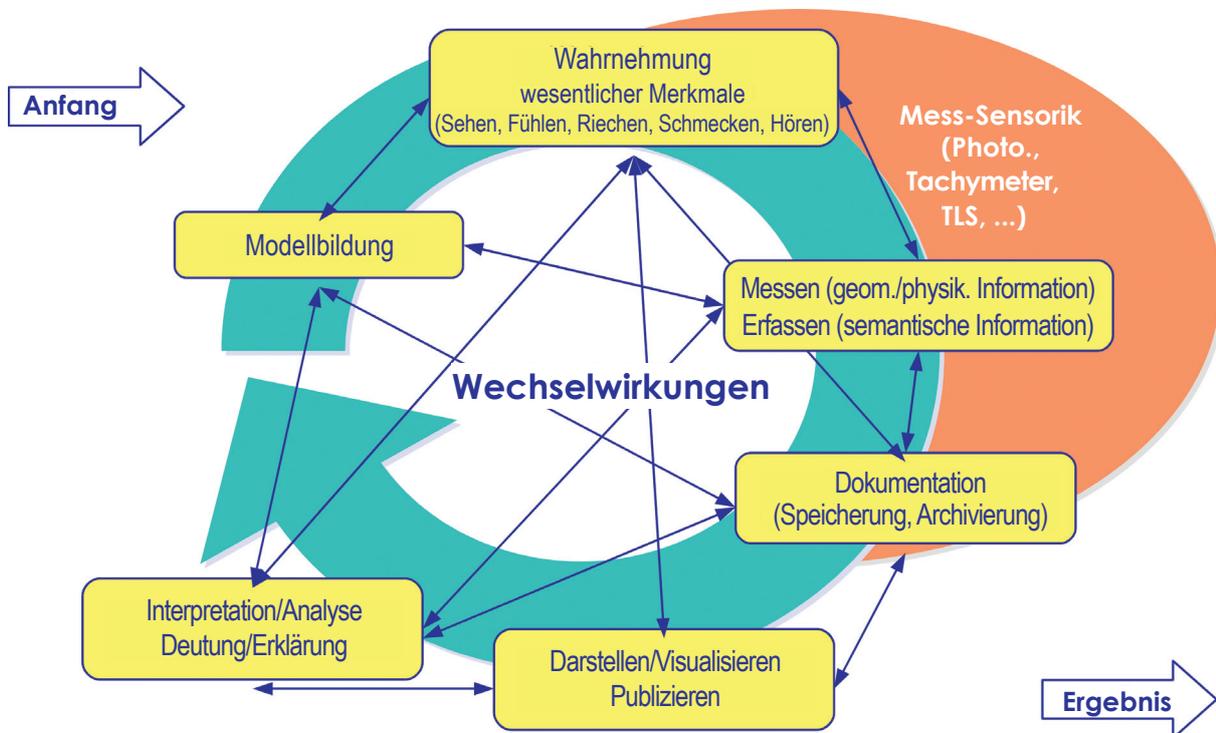


Abb. 2: Die Bauaufnahme stellt sich als komplexer, mehrstufiger Erkenntnisprozess dar, wobei die Einzelphasen miteinander auf vielfältige Weise wechselwirken. Das TLS beeinflusst diesen nur im Bereich der technischen Wahrnehmung wesentlicher Merkmale, der Erfassung geometrischer Informationen und deren Dokumentation.

das Verständnis die treibende und lenkende Kraft und auf dem Weg dorthin sind viele Einzelaufgaben im Verbund zu lösen.

Das fein gewobene Netzwerk der Bauaufnahmeprozesse erfährt durch den Einsatz moderner Messsensorik, wie z.B. photogrammetrische Verfahren, Tachymetrie und Laserscanning, eine unbehagliche Stringenz für den Bauforscher. An die Stelle der subjektiven Wahrnehmung des Bauforschers tritt der vermeintlich „fehlerfreie“, objektiv arbeitende technische Sensor, der die Messinformationen nicht nur sammelt, sondern zugleich digital speichert und per Knopfdruck auf vielfältige Weise visualisieren kann.

Inwieweit aber können Messungen mit einem Terrestrischen Laserscanner einer historischen Quellenkritik unterzogen werden? Der Ingenieur ist mit den Elementen der Quellenkritik durchaus vertraut, nur nennt er dies Qualitätsbeurteilung. Was also lässt sich über die Qualität von TLS-Messungen übertragen auf eine historische Quellenkritik sagen?

#### ÄUSSERE QUELLENKRITIK

Bei der äußeren Quellenkritik von TLS-Messungen geht es um die Beurteilung der physischen Qualität bzw. um die Art und Beschaffenheit der Quelle. Da lässt sich für das TLS festhalten, dass die Messungen in der physischen Gestalt eines digitalen Datensatzes vorliegen, in dem eine Punktwolke, bestehend aus vielen Millionen Einzelpunkten, gespeichert ist. Die diskrete 3D-Punktwolke beschreibt dabei eine Objektoberfläche in ihrer geometrischen Form. Diese, durchaus als lückenlos zu bewertende, Diskretisierung ist sehr ähnlich derjenigen, die einem Foto beigegeben wird. Wo hingegen ein Foto die Radiometrie, z.B. einer Fasadensicht, vollständig dokumentiert, wird in einer TLS-Punktwolke ihre geometrische Struktur vollständig festgehalten.

Die physische Qualität einer Punktwolke kann mit den in der Metrologie üblichen Begriffen Präzision und Richtigkeit beschrieben werden (Abb. 3) [PFEIFER 2001]. Die Präzision (oder innere Genauigkeit) beschreibt das Messrauschen, die Streuung also der unvermeidlichen und systembedingten zufälligen Messabweichungen [DIN 1319-1], unabhängig von

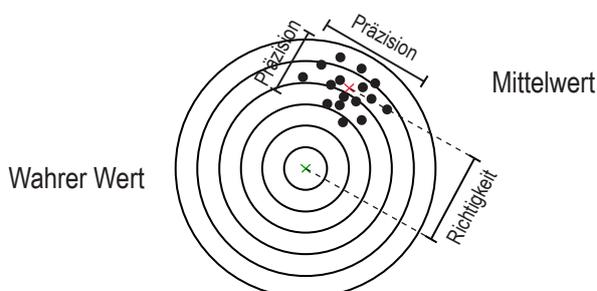


Abb. 3: Anerkannte Begriffe aus der Metrologie zur Beschreibung der physischen Qualität von Messinformationen<sup>1</sup>

einem Vergleich zum richtigen Wert. Inwieweit ein TLS richtige Messwerte, d.h. den Sollwerten entsprechende Geometrien liefert, wird mit der äußeren Genauigkeit oder Zuverlässigkeit beschrieben. Neben den zufälligen Messabweichungen wird die Qualität jeder Messtechnologie durch die Art und Größe von systematischen Messabweichungen gekennzeichnet. Bei einer Messkamera gehören z.B. Objektivverzerrungen und ein fehlerhafter Weißabgleich zu den allseits bekannten systematischen Messabweichungen. Beim TLS sind insbesondere systematische Streckenmessabweichungen an Kanten und flach angeschnittenen Flächen zu beobachten („Kometenschweif“ nach [STAIGER 2003]). Hinzukommen Ablagen, Maßstäbe, Überstrahlungen und Spiegelungen, die vom Material der Oberfläche abhängig sind.

Eine erste einfache Abschätzung der physischen Qualität einer Punktwolke lässt sich anhand der in den Datenblättern der Hersteller angegebenen Qualitätskennwerte vornehmen. Zudem gilt die Gesetzmäßigkeit, dass je geringer die spektrale, also auf die Wellenlänge des Lasers bezogene, Reflektivität einer Objektoberfläche ist, desto höher ist das Signal-Rausch-Verhältnis und desto geringer ist die erzielbare geometrische Qualität; zufällige und systematische Messabweichungen vergrößern sich.

#### INNERE QUELLENKRITIK

Die innere Quellenkritik, auf eine TLS-Punktwolke angewandt, führt zu der Frage nach der Qualitätsbeurteilung der in ihr enthaltenen Informationen. Zu klären ist, inwieweit eine Punktwolke ein Objekt den Anforderungen entsprechend vollständig erfasst, wie aktuell die Messungen sind und wie homogen die Punktwolke bezogen auf das gleichmäßige Abtasten der Oberfläche ist. Die Vollständigkeit und Homogenität einer Punktwolke ist unmittelbar abhängig von der Granularität des gewünschten Geometriemodells. Die Granularität einer Punktwolke ergibt sich insbesondere aus der eingestellten Abtastschrittweite in Kombination mit der Entfernung zum Objekt, also der gewählten Ortsauflösung. Hinzu kommen die beschränkte Auflösungsmöglichkeit der Distanzmessung und die mit der Messentfernung variierende Spotgröße des Laserstrahls auf Grund der Strahldivergenz. Die Wahl einer Ortsauflösung, z.B. alle 3 cm ein Messpunkt auf der Objektoberfläche, entspricht der Wahl eines Bildmaßstabes oder Brennweite bei der Fotografie/Photogrammetrie. Bei einem Foto ist die innere Qualität hauptsächlich durch die „Pixelauflösung“, der Farbtiefe und der spektralen Empfindlichkeit definiert (Abb. 4).

Wie in der Fotografie und der Photogrammetrie ist beim TLS der wesentliche Parameter bezüglich der Informationsqualität der gewählte Modellmaßstab, mit

<sup>1</sup> Siehe hierzu auch den Artikel zum Begriff Messunsicherheit von [KESSEL 1999].

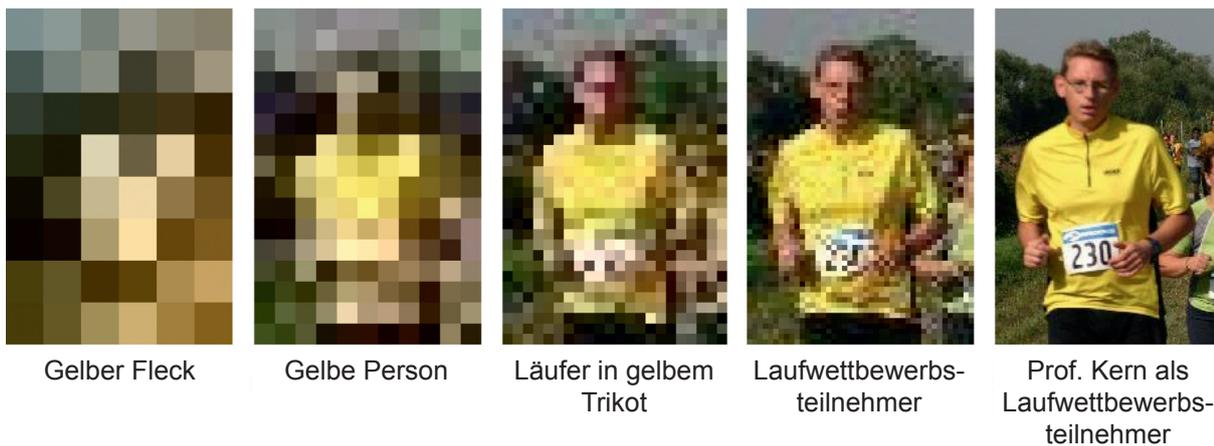


Abb. 4: Informationsqualität verdeutlicht am Beispiel einer Fotografie

dem das Realobjekt abgebildet werden soll. Da in der Regel der Modellmaßstab von der Fragestellung an das Objekt abhängt, ist es theoretisch unzulässig und praktisch schwer zu realisieren, eine für alle denkbaren und zukünftigen Fragestellungen, nutzbare TLS-Punktwolke einmalig und abschließend zu erfassen. Hierbei nimmt das TLS also keine Sonderstellung ein. Es verhält sich diesbezüglich so wie jede andere Messtechnologie einschließlich dem Aufmaß mit Messband, Stift und Lineal. Auch mit dem TLS ist streng genommen keine Informationsgewinnung auf Vorrat möglich, und der Modellmaßstab muss für jedes Dokumentationsprojekt begründet festgelegt werden.

#### TLS-PRÜFRICHTLINIE

Das Problem der Qualitätsbeurteilung von TLS-Systemen und deren Messergebnissen wird zur Zeit unter Hochschulvertretern, Herstellern und Anwendern im Rahmen eines Offenen Forums<sup>2</sup> intensiv diskutiert. Insbesondere der durch den Gebrauch sehr unterschiedlicher Qualitätskennwerte in den Datenblättern der Hersteller schwer durchführbare Vergleich verschiedener Systeme miteinander führte zum Entwurf einer TLS-Prüfrichtlinie mit vereinheitlichten Kennwerten [KERN 2009]. Die TLS-Prüfrichtlinie definiert vier praxisbezogene Kennwerte und Verfahren zu deren Bestimmung [KERN, HUXHAGEN 2009]. Die Antastabweichung dient der quantitativen Beschreibung der inneren Genauigkeit (Präzision), die Abstandsabweichung liefert Aussagen zur Richtigkeit der Messwerte ebenso wie die Kugelradiusabweichung. In der Praxis der Bauaufnahme von besonderem Interesse könnte der Kennwert „Auflösungsvermögen“ sein, mit dem z.B. quantifiziert werden soll, welche minimale Fugenbreite in einer Steinmauer ein TLS-System auflösen kann. Die modernsten Geräte erzielen hierbei Werte von ca. 6 mm (Abb. 5) [HUXHAGEN, KERN, SIEGRIST 2010]. In Anbetracht der Möglichkeit, dass bei diesen Geräten Ortsauflösungen von unter 1 mm eingestellt werden können, sind Feinstrukturen

nicht in der Qualität per TLS erfassbar, wie man vielleicht anhand der Datenblätter vermuten würde.

#### ERGEBNISSE

Die Ergebnisse von Dokumentationsarbeiten müssen einer quellenkritischen Prüfung standhalten. Daraus ergibt sich die Forderung, dass auch die Resultate optoelektronischer Vermessungsarbeiten der quellenkritischen Methode gewachsen sein müssen. Nach der hier exemplarisch versuchten Überprüfung der Ergebnisse des TLS kann ein weitestgehend positives Fazit gezogen werden. Eine Quellenkritik an Punktwolken ist möglich. Gleichzeitig werden aber auch die Voraussetzungen dafür deutlich:

Für die physische Beurteilung der Punktwolke als Quelle ist festzuhalten, dass die äußere Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen entscheidende Qualitätsparameter sind. Hinzu kommt das Material und die Oberfläche der erfassten Objekte, die Auswirkungen auf die Qualität der Messergebnisse haben. All diese Qualitätsparameter also müssen bekannt sein, um eine Punktwolke beurteilen zu können.

Die innere Kritik der Ergebnisse von TLS ist fundamental abhängig vom Faktor der Ortsauflösung und dem Auflösungsvermögen des Messinstrumentes. Es ist unzulässig, eine Punktwolke als vollständige Repräsentation der Geometrie der Objektfläche jenseits der Ortsauflösung anzusehen. Oberhalb der Ortsauflösung darf die geometrische Vollständigkeit, natürlich abgesehen von Verdeckungen, angenommen werden. Die Bestimmung des Kennwertes „Auflösungsvermögen“ ist Teil der im Entwurf befindlichen TLS-Prüfrichtlinie, die sich als eine Ausgangsbasis für das standardisierte Vorgehen in der Bauforschung und Archäologie anbietet.

<sup>2</sup> Offenes Forum Terrestrisches Laserscanning, [www.laserscanning.org](http://www.laserscanning.org). Weitere Informationen zum Thema TLS-Qualitätsbeurteilung sind im TLS-Wiki zu finden, <http://apps.geoinform.fh-mainz.de/wiki/TLS>.

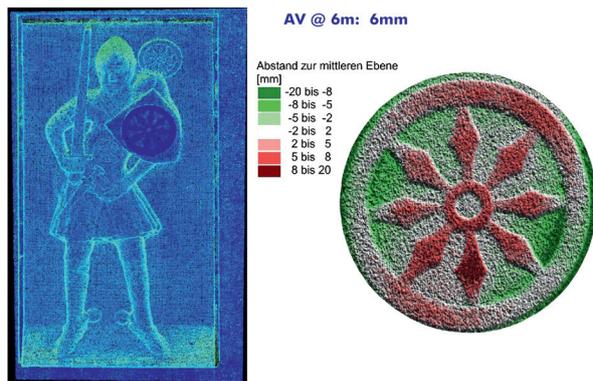


Abb. 5: An einem neuzeitlichen Steinrelief (Kurfürstenzyklus, Mainz) wurde das im Labor bestimmte minimale Auflösungsvermögen von AV=6 mm verifiziert. Die Eintiefung im Zentrum des Wappens beträgt 8 mm (Handaufmaß). Das eingesetzte TLS konnte, wie der Kennwert Auflösungsvermögen es erwarten ließ, diese Feinstruktur anhand der Punktwolke auflösen.

Das TLS ist nur eine unter vielen Methoden für die Dokumentation von Objektgeometrien. Sie kann die vorhandene Dokumentationsmethodik vielfach sinnvoll und gewinnbringend ergänzen. Sie hat sich in das vielschichtige Netzwerk des Erkenntnisprozesses „Baufaufnahme“ zu integrieren und kann diesem zu neuen Impulsen in der historischen Interpretation verhelfen.

## AUSBLICK

Die Digitalisierung der bauhistorischen und archäologischen Dokumentation eröffnet neue Wege auch der Verbreitung und Publikation der Ergebnisse. Eine ganze Reihe wissenschaftlicher Disziplinen hat daher die Publikation auch der primären Forschungsdaten, etwa von Messwerten und Datenbankinhalten, eingeführt und das Gremium der „European Heads of Research Councils“ hält diesen Schritt für unverzichtbar. Unter Punkt acht der Anforderungen an ein angestrebtes „globally competitive European Research Area“ ist eindeutig formuliert: „Open access to the output of publicly funded research and permanent access to primary quality assured research data“ [ESF-EUROHORCS 2007, S. 2]. Ähnliche Initiativen sind auch auf nationaler Ebene etabliert. Die „Schwerpunktinitiative Digitale Information der Allianz der deutschen Wissenschaftsorganisationen“ verabschiedet voraussichtlich noch 2010 „Grundsätze zum Umgang mit Forschungsdaten“<sup>3</sup>.

Die altertumswissenschaftlichen Disziplinen werden sich diesen Forderungen nicht entziehen können. Sie müssen sich darauf einstellen, dass zukünftige Publikationen von Forschungsergebnissen die Offenlegung nicht nur der Resultate der wissenschaftlichen Auswertung und Interpretation, sondern aller erfassten Informationen, insbesondere auch der originären Messwerte, erfordert. Es muss zukünftigen Forschungsprojekten möglich sein, Fragen an den Datenbestand zu stellen,

die gegenwärtig keine Berücksichtigung finden. Die damit zusammenhängende, viel diskutierte Problematik der Datenformate, der Langzeitarchivierung und der Interoperabilität digitaler Datenbestände können hier nicht erörtert werden. Vielmehr soll unser Beitrag zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit den technischen Grundlagen digitaler, optoelektronischer Messverfahren in Dokumentationsarbeiten und deren Überprüfung auf die Möglichkeit der kritischen Bewertung der gewonnenen Ergebnisse anregen. Nur als Ergebnis einer breiten interdisziplinären Diskussion könnten eines Tages auf ihre Qualität überprüfbare, primäre Forschungsdaten auch von der Altertumsforschung zur Verfügung gestellt werden.

<sup>3</sup> <http://www.allianzinitiative.de/de/handlungsfelder/forschungsdaten/> (28.3.2010)

### Anschrift:

Prof. Dr.-Ing. Fredie Kern, Prof. Dr. phil Kai-Christian Bruhn. i3mainz – Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik, Fachhochschule Mainz, Lucy-Hillebrand-Straße 2, 55128 Mainz.

E-Mail: kern@fh-mainz.de, bruhn@fh-mainz.de

### Abbildungsnachweis:

Abb. 1: K.-C. Bruhn, Abb. 2–5: F. Kern

### Literatur:

- DROYSEN, J.G. (1868): Grundriss der Historik, Veit & Comp., Leipzig.  
 ECKSTEIN, G. (1999): Empfehlungen für Baudokumentationen, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Arbeitsheft 7, Konrad Theiss Verlag, Stuttgart.  
 EGGERT, M. K. H. (2008): Prähistorische Archäologie: Konzepte und Methoden, A. Francke Verlag, Tübingen, Basel.  
 ESF-EUROHORCS (2007), The EUROHORCS and ESF Vision on a Globally Competitive ERA and their Road Map for Actions to Help Build It, ESF-EUROHORCS Science Policy Briefing 29, November 2007. URL: [http://www.eurohorcs.org/SiteCollectionDocuments/EUROHORCS\\_ESF\\_ERA\\_RoadMap.pdf](http://www.eurohorcs.org/SiteCollectionDocuments/EUROHORCS_ESF_ERA_RoadMap.pdf) (24.3.2010)  
 HUXHAGEN, U., KERN, F., SIEGRIST, B. (2010): Proposal for a Full Testing Procedure for Terrestrial Laser Scanners (TLS). Journal of Applied Geodesy, im Druck.  
 KERN, F., HUXHAGEN, U. (2008): Zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern (TLS). In:

- Niemeier, W., Schäfer, M. (Hrsg.): *Terrestrisches Laser-Scanning (TLS 2008)*, DVW-Schriftenreihe Band 54, Wißner-Verlag, Augsburg, S. 111–124.
- KERN, F. (2009): Richtlinie zur Abnahme und Überwachung von Terrestrischen Laserscanner-Systemen. Entwurf 1.0.0. URL: <http://www.laserscanning.org> (28.03.2010).
- KESSEL, W. (1999), Meßunsicherheit, ein wichtiges Element der Qualitätssicherung, URL: <http://www.ptb.de/de/publikationen/download/pdf/kessel.pdf> (28.03.2010).
- PFEIFER, T. (2001): *Fertigungsmesstechnik*, Oldenbourg, München, 2. Aufl.
- SELLIN, V. (2005): *Einführung in die Geschichtswissenschaft*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- STAIGER, R. (2003): *Terrestrial Laser Scanning, Technology, Systems and Applications*. In: *Proceedings 2<sup>nd</sup> FIG Regional Conference, Marrakech, December 2–5 2003, Session TS12*, URL: [http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS12/TS12\\_3\\_staiger.pdf](http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS12/TS12_3_staiger.pdf) (15.09.2010).
- WEBER, K. (2001): Falsifizierbarkeit als Kriterium erfolgreicher interdisziplinärer Forschung. In: Russ, H.: *Realismus, Disziplin, Interdisziplinarität*, S. 83–107.
- WEFERLING, U. (2002): *Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe*, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Dissertationen, Heft Nr. 561, München.
- DIN 1319-1 (1995): *Grundlagen der Messtechnik – Teil 1: Grundbegriffe*. In: *Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN-Taschenbuch 303, Längenprüftechnik 1, Grundnormen*. 2. Aufl., Beuth, Berlin, 2008.







Aus der Arbeit von Bauforschern, Archäologen und Denkmalpflegern ist die dreidimensionale Erfassung, Modellierung und Darstellung von Bauwerken, Siedlungen und Fundstücken heute kaum noch wegzudenken. Hierzu haben moderne Vermessungsinstrumente und leistungsfähige Software wesentlich beigetragen. Die wissenschaftlich fundierte 3D-Modellierung ist aber immer noch sehr zeitaufwändig. Wann dieser Aufwand gerechtfertigt ist und ob er zum gewünschten Ziel führt, wurde auf dem dritten Kolloquium „Von Handaufmaß bis High Tech III – 3D in der historischen Bauforschung“ im Februar 2010 an der BTU Cottbus intensiv diskutiert. Die Beiträge geben einen fundierten Überblick über Methoden, Anwendungsmöglichkeiten und Meinungen zur gesamten Problematik der 3D-Anwendungen in Bauforschung, Archäologie und Denkmalpflege.

XII, 274 Seiten mit 332 Abbildungen



VERLAG PHILIPP VON ZABERN

ISBN: 978-3-8053-4332-9



9 783805 343329