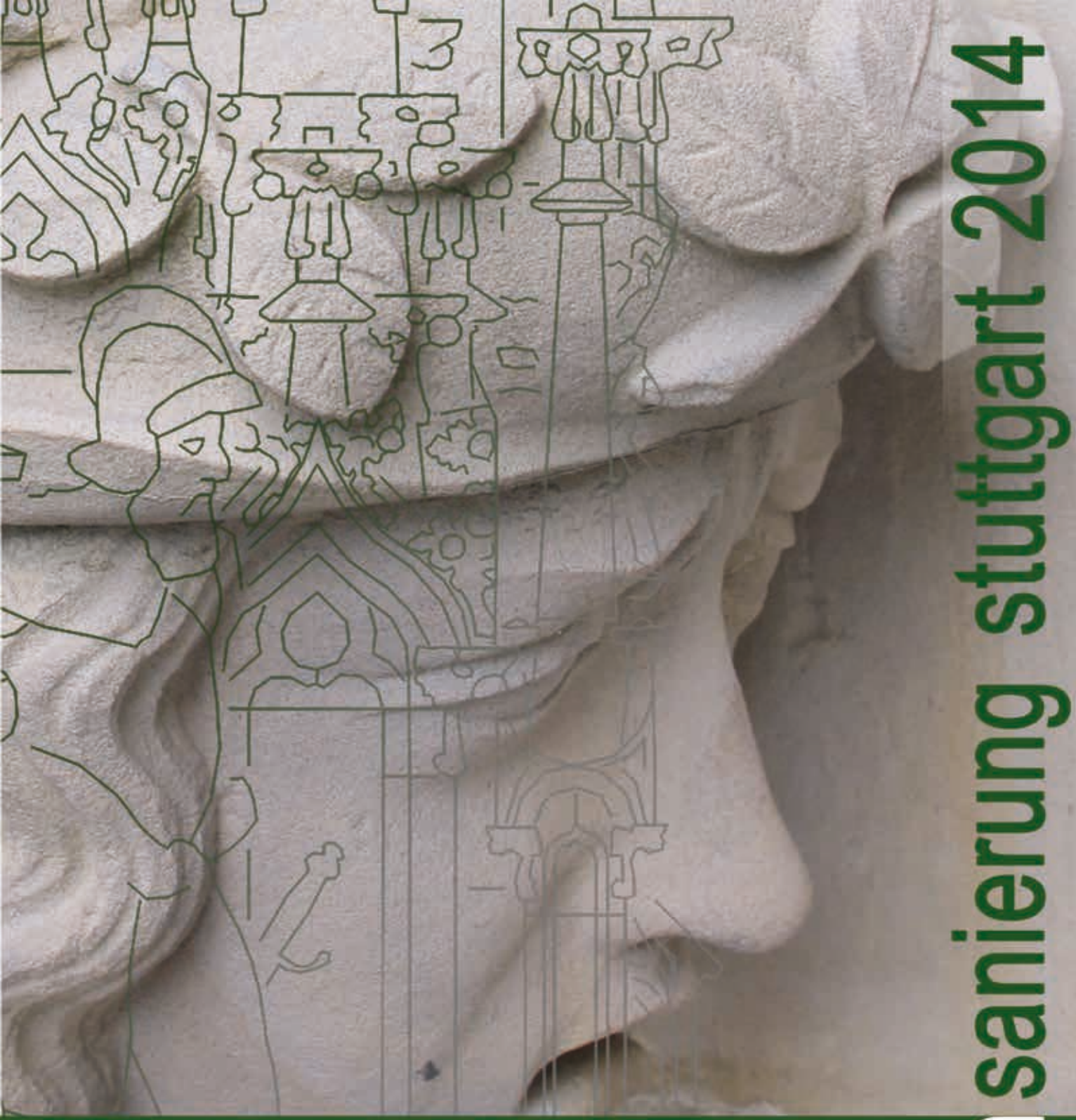


natur stein sanierung stuttgart 2014

Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen

7. März 2014

Fraunhofer IRB Verlag

Gabriele Patitz, Gabriele Grassegger, Otto Wölbert (Hrsg.)

Natursteinsanierung Stuttgart 2014

Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen sowie Sanierungsbeispiele

Tagung am 7. März 2014 in Stuttgart

Herausgeber
Dr.-Ing. Gabriele Patitz
Ingenieurbüro IGP für Bauwerksdiagnostik und Schadensgutachten
Alter Brauhof 11, 76137 Karlsruhe
Telefon: (0721) 3 84 41 98
Telefax: (0721) 3 84 41 99
Email: mail@gabrielepatitz.de
www.gabrielepatitz.de

Prof. Dr. Gabriele Grassegger
Fakultät Bauingenieurwesen, Fachgebiet: Bauchemie und Baustoffkunde
Hochschule für Technik (HFT)
Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

mit Unterstützung des
Landesamtes für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart
FB Restaurierung, Otto Wölbert
Berliner Straße 12, 73726 Esslingen am Neckar

Satz und Layout
Manuela Gantner – punkt, STRICH – Karlsruhe

Druck und Bindung
Fraunhofer IRB Verlag – Stuttgart

Einband
Foto: Bauornamentik am Berner Müster (G. Patitz, Karlsruhe)
Fotogrammetrie: Berner Münster, Ansicht von Osten (Berner Münster-Stiftung, Bern)

1. Auflage
2014 Fraunhofer IRB Verlag,
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

ISBN (Print): 978-3-8167-9167-6
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9168-3

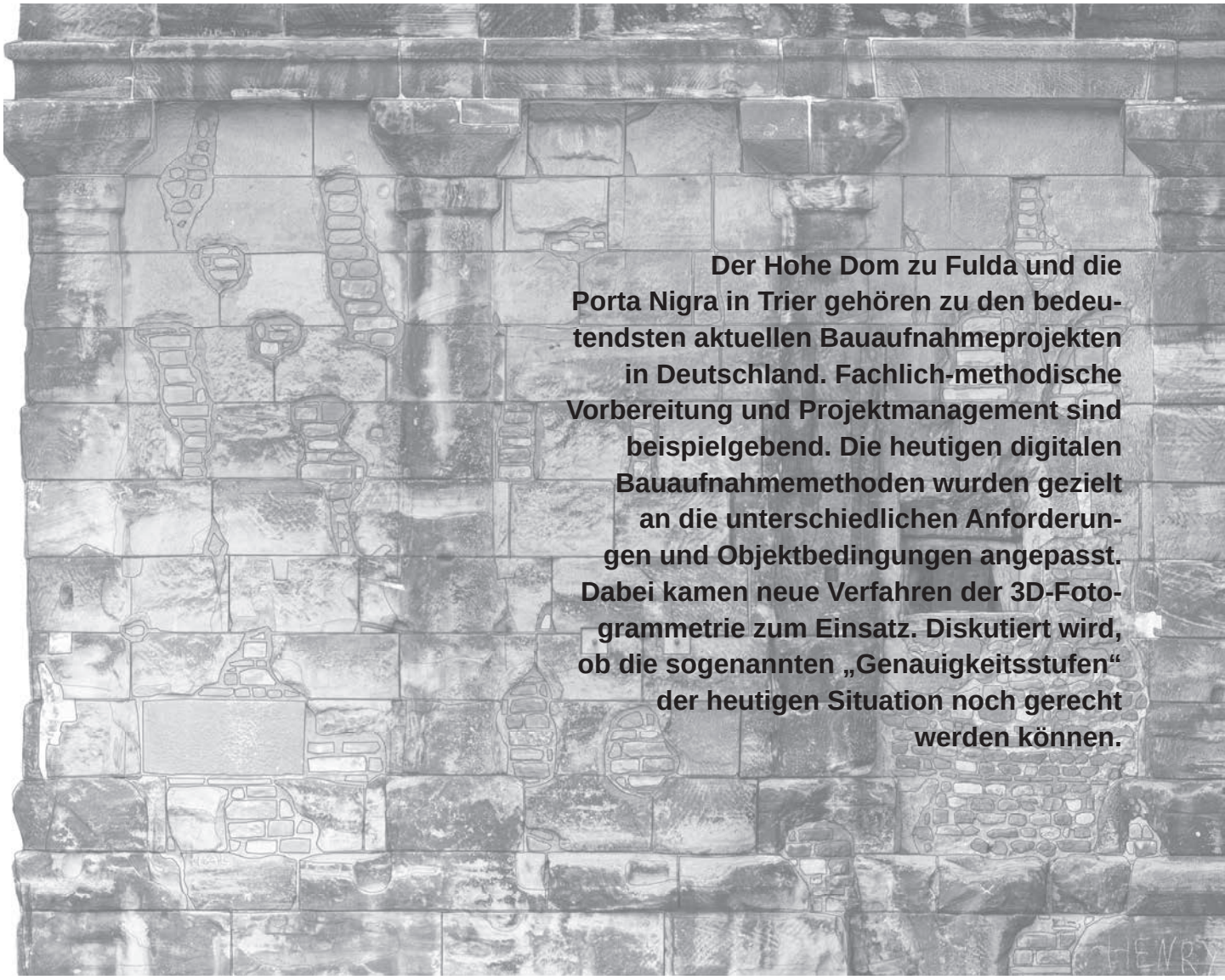
Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung von Frau Prof. Dr. Grassegger und Frau Dr. Patitz unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.
Warenbezeichnungen, Handels- oder Gebrauchsnamen sind nicht als frei im Sinne der Markenschutz- und Warenzeichengesetze zu betrachten. Dies gilt auch dann, wenn sie nicht eigens als geschützte Bezeichnungen gekennzeichnet sind.

Für den Inhalt der Beiträge und die Rechte an den verwendeten Abbildungen sind die Autoren verantwortlich.

Hoher Dom zu Fulda und Porta Nigra in Trier: Was können heutige Bauaufnahmemethoden leisten und sind die „Genauigkeitsstufen“ noch zeitgemäß?

von Andreas Bruschke



Der Hohe Dom zu Fulda und die Porta Nigra in Trier gehören zu den bedeutendsten aktuellen Bauaufnahmeprojekten in Deutschland. Fachlich-methodische Vorbereitung und Projektmanagement sind beispielgebend. Die heutigen digitalen Bauaufnahmemethoden wurden gezielt an die unterschiedlichen Anforderungen und Objektbedingungen angepasst. Dabei kamen neue Verfahren der 3D-Fotogrammetrie zum Einsatz. Diskutiert wird, ob die sogenannten „Genauigkeitsstufen“ der heutigen Situation noch gerecht werden können.

1 Einleitung

Die Digitalisierung der Vermessung, von der Datenerfassung bis zur Auswertung, und völlig neuartige Technologien haben zu einem umfassenden Wandel in der Bauaufnahme geführt. Neben traditionellen Aufmaßzeichnungen werden auch andere Produkte angeboten. Es hat sich auch die Wirtschaftlichkeit von Bauaufnahmen deutlich erhöht. Akzeptanz und Nachfrage nach Vermessungen von Denkmalen, Gebäuden und Ingenieurbauwerken sind infolge dessen gestiegen. Der Bedarf kommt hauptsächlich aus dem Bereich der Sanierungsplanung und Restaurierung. Letztlich werden aber auch für die Instandhaltung, Wartung und Pflege, also im gesamtem Lebenszyklus der Denkmale und Bauwerke zuverlässige Bestandspläne benötigt.

In diesem Beitrag werden zwei bedeutende Projekte beispielhaft präsentiert. Die Aufgabenstellungen für die Bauaufnahme des Doms in Fulda und der Porta Nigra in Trier leiten sich jeweils aus einem anderen Anlass ab. In beiden Fällen sind aber die Konzepte auf eine umfassende und langfristige Sicht angelegt und deshalb beispielhaft. Anhand dieser Projekte wird der Zusammenhang zwischen unterschiedlichen inhaltlichen Anforderungen und den jeweiligen Vermessungskonzepten diskutiert, die für diese Anwendungen besonders geeignet und praxisrelevant sind. Außerdem gibt es neueste und noch weitgehend unbekannte Entwicklungen vorzustellen.

Neben klaren inhaltlichen Vorgaben wird der Nutzen einer Bauaufnahme für die Sanierungsplanung letztlich auch durch die objekt- und aufgabenbezogenen technologischen Vorgaben entschieden. Mängel, das heißt fehlende oder unkorrekte Informationen zu Baukonstruktionen, Ausstattungen oder denkmalpfegerischen Eigenschaften, maßliche Ungenauigkeiten, die in der Regel erst später während der Baumaßnahme entdeckt werden, können zu Kostensteigerungen und zeitlichen Verzögerungen führen. Es muss die Frage gestellt werden, ob mit der Systematisierung durch die üblichen „Genauigkeitsstufen“ die Aufgabenstellungen für konkrete Projekte noch ausreichend definiert werden können.

2 Ein kurzer Abriss heutiger Technologien

Eine umfassende Beschreibung aller in Frage kommenden Methoden kann in diesem Beitrag nicht gegeben werden, dazu ausführlicher in [1]. In Tabelle 1 (S. 23) eine Übersicht mit Darstellung der wesentlichen Eigenschaften.

Es wird wohl kaum eine Situation geben, in der eine Aufgabe ausschließlich mit einem bestimmten Verfahren wirtschaftlich und gleichzeitig mit hohem Anspruch zu lösen ist. Für eine effektive Bearbeitung bei Sicherung hoher Qualität ist in der Regel der Einsatz mehrerer Methoden erforderlich, die sich gegenseitig ergänzen. Die richtige Auswahl setzt natürlich die Kenntnis der Vorteile und Einsatzgrenzen voraus. Für jede Technik gibt es Geräte mit verschiedenen Genauigkeitsklassen. Zum Beispiel kann man heute Photogrammetrie vielleicht auch mit der Handykamera machen, aber sicher nicht wirtschaftlich und ebenso sicher nicht mit der notwendigen Qualität. Insofern erscheint die Diskussion über Low-cost-Verfahren etwas praxisfern und wenig verständlich.

Ob eine Bauaufnahme teuer oder preiswert ist, ist wahrscheinlich am wenigsten durch die Anschaffungskosten für die Technik bedingt, sondern hauptsächlich durch die Qualifikation des Personals und durch eine langfristig hohe Auslastung der Investitionen. Das ist der Grund für die Notwendigkeit der Spezialisierung und Arbeitsteilung. Bauaufnahmen werden also in der Regel nicht selbst, sondern von spezialisierten Büros als Dienstleistung erbracht. Damit gewinnen die genaue Definition der Aufgabenstellung, Absprachen über spezifische Anforderungen und die Organisation der Zusammenarbeit aller Beteiligten – Architekt, Denkmalpfleger, Restaurator, Vermesser/Photogrammeter und auch Bauherr – eine immer größere Bedeutung. Zum Thema Projektsteuerung und Vermessungskonzepte weiter unten.

3 3D-Fotogrammetrie

Besonders hervorgehoben und hier näher erklärt werden muss eine neue photogrammetrische Technologie, die erst seit kurzen erprobt und eingesetzt wird, zum Beispiel intensiv für die Herstellung von Orthofotos an der Porta Nigra in Trier.

Matching-Verfahren (automatisierte Verfahren der Bildauswertung) ermöglichen die dreidimensionale Rekonstruktion der aufgenommenen Oberflächen. Sie sind unter dem Begriff Structure-from-Motion (SfM) bekannt geworden. Dabei wird mit >Motion< ausgedrückt, dass bei einer Serie sich stark überlappender Bilder zwischen den Bildern eine Bewegung stattgefunden hat. Die automatische Identifizierung von Referenzpunkten aus dem Vergleich von Texturmerkmalen ist die Grundlage für die gegenseitige Orientierung der Aufnahmen und der anschließenden Berechnung. Das Ergebnis ist eine Punktwolke in der

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Tab. 1: Gegenüberstellung der Vermessungsmethoden

Methode	Vorteile	Grenzen
Handaufmaß einfache Messmethoden und Hilfsmittel, ein- und zweidimensionale Messung, Höhen	lange Beobachtungsdauer am Objekt, Auftragung vor Ort, gute Nachbarschaftsgenauigkeit, geringe Investitionen, schnelle Erfassung weniger Punkte	hoher Aufwand für Grundlagennetze, Gerüstbau für nicht zugängliche Bereiche, zeitaufwendig bei großer Informationsdichte
Tachymetrie Geodätische 3D-Vermessung, automatische Datenregistrierung, Ergebnis x, y, z-Koordinaten	Möglichkeit der Interpretation und Zeichnen online am Objekt, hohe Messgeschwindigkeit, berührungslose Vermessung, hohe Zuverlässigkeit durch automatisierten Datenfluss, hohe Genauigkeit	fester Gerätestandpunkt erforderlich, verdeckte Sichten nicht messbar
3D-Scanning 3D-Punktwolken durch Laser- oder Streifenscanner	Beschreibung komplizierter Oberflächenformen, berührungslose Vermessung, Ableitung von 3D-Oberflächenmodellen, Visualisierungaufgaben	fester Gerätestandpunkt erforderlich, verdeckte Bereiche nicht messbar, hohe Investitionen in Hard- und Software, Interpretation und Auswertung im Computermodell, Bearbeitung extremer Datenmengen
Photogrammetrie Messung und Auswertung in Bildern, 2D-Auswertung in entzerrten Messbildern, 3D-Vermessung mit Mehrbildphotogrammetrie, Stereophotogrammetrie, 3D-Oberflächen und Orthofotos mit SfM	berührungslose Vermessung, Erfassung nicht zugänglicher Bereiche durch Aufnahmen von Plattformen aus, hoher Dokumentationswert, zeitgleiche und schnelle Erfassung der Messpunkte im Bild, sehr hohe Messgeschwindigkeit, kontinuierliche linienweise Auswertung komplizierter Formen durch Stereoauswertung, Orthofotos und Bildpläne	das Objekt muss fotografierbar sein, Interpretation und Auswertung in Bildern

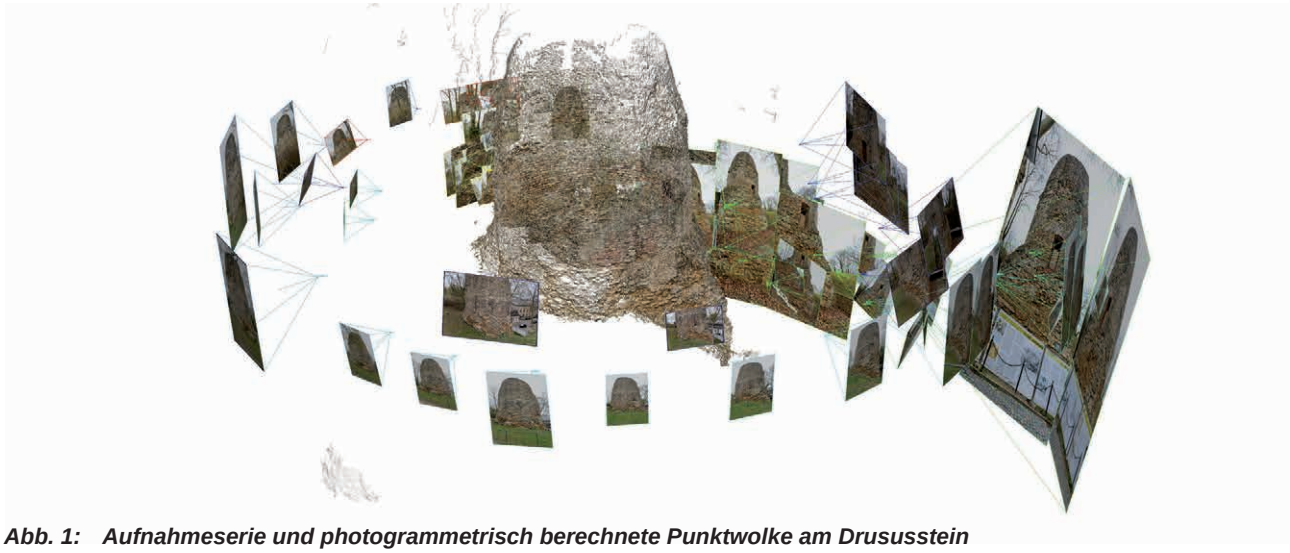


Abb. 1: Aufnahmeserie und photogrammetrisch berechnete Punktwolke am Drususstein

Dichte und Genauigkeit der Auflösung der verwendeten Bilder bzw. eine texturierte 3D-Oberfläche. Abbildung 1 vermittelt einen Eindruck, hier dargestellt ein erster Einsatz am Drususstein in Mainz mit nur einen kleinen Auswahl einer umfangreichen Serie von mehreren 100 Aufnahmen.

Das Verfahren ist durch flexible Aufnahmedispostionen vielseitig einsetzbar, wie die Photogrammetrie grundsätzlich. Durch Aufnahmen von Arbeitsbühnen, Hubschraubern und Multikoptern und beliebige Aufnahmeabstände in Kombination mit variablen Objektivbrennweiten stellt diese Technologie für geeignete

Objekte nicht nur eine Alternative zu 3D-Scannern dar, sondern erschließt neue Aufgabenfelder. Das einzige Aufnahmegerät ist die Digitalkamera – preiswert im Vergleich zu den 3D-Scannern – und verwendbar ohne Stativ, eben von den genannten Aufnahmeplattformen aus. Dieses Verfahren ist erst durch die jetzige Leistungsfähigkeit der heutigen Computertechnik möglich geworden. Parallele Entwicklungen in der Photogrammetrie (Bildmessung) und im Bereich Computer Vision (maschinelle Wahrnehmung von Bildinhalten) haben diese Technik möglich und anwenderrelevant gemacht.

4 Die Bauaufnahme des Hohen Doms zu Fulda

Die geodätische Bestandserfassung des Domes St. Salvator in Fulda wurde durch die MESSBILDSTELLE GmbH gerade rechtzeitig zum Jubiläum im Jahr 2012 fertig gestellt. Die CAD-Zeichnungen waren auf einem Großbildschirm neben den Messbildern von Albrecht Meydenbauer aus den Kampagnen von 1906 und 1919 in der Ausstellung „300 Jahre Dom zu Fulda“ im Vonderau Museum in Fulda zu sehen, siehe auch der Begleitband [2]. Nach der letzten Gesamtrestaurierung in den 90-er Jahren mutet es vielleicht seltsam an, dass eine umfangreiche Vermessung in Auftrag gegeben wurde. Aktuell stehen keine Restaurierungsmaßnahmen an. Es waren aber die laufenden und zukünftigen Instandhaltungsmaßnahmen, die hier den Bedarf nach vollständigen und zusammenhängenden Bestandsplänen entstehen ließen. Jede einzelne Maßnahme lässt sich leichter planen und verwalten, wenn auf zuverlässige Zeichnungen zurückgegriffen werden kann. Schon während der laufenden Vermessungen wurde dringend auf bestimmte Dachstuhlbereiche gewartet, um dort brandschutztechnische Maßnahmen planen zu können. Insgesamt sind für den Dom 57 Grundrisse,

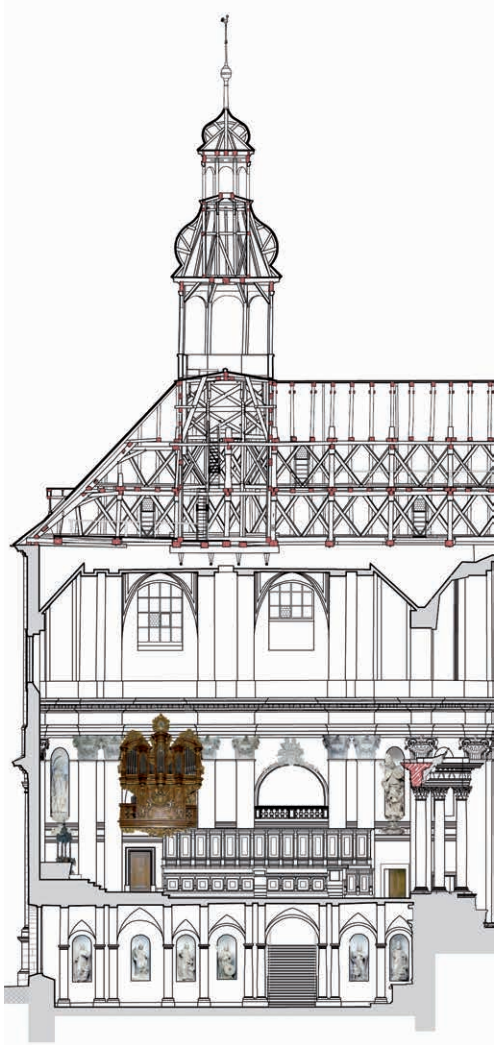


Abb. 2: Hoher Dom in Fulda, Ausschnitt des Längsschnittes mit Bonifatius-Gruft und Hochchor

Abb. 3: Einsatz einer Arbeitsbühne für Messbildaufnahmen in der Vierungskuppel

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Schnitte und Ansichten entstanden, die letztlich für den Aufbau eines Wartungs- und Pflegekonzeptes genutzt werden sollen.
Als wirtschaftlichste Methode, zumindest für den Innenbereich, hat sich das tachymetrische Aufmaß erwiesen. Es bietet den unschlagbaren Vorteil, dass Architekturdetails und Befunde direkt am Denkmal erkundet und beobachtet werden können. Während der Messung wird unmittelbar am Notebook gezeichnet. Das ermöglicht eine sichere Interpretation z. B. auch der verschiedensten Architekturprofile, die in einer hohen Detailtreue wiedergegeben werden. Gegebenenfalls können Profile händisch aufgemessen und denn gleich in die CAD-Zeichnung übernommen werden. Das für den Maßstab 1:50 beauftragte Aufmaß kann somit für Ausgaben im Maßstab 1:25 oder größer verwendet werden. Die Fülle der barocken Ausstattungen, wie zum Beispiel Altäre und Epitaphe, wurden durch einmontierte entzerrte Bilder dokumentiert. Abbildung 2 zeigt einem Ausschnitt des Längsschnittes durch die Hauptachse mit Blick nach Nord. Die Punktdichte der tachymetrischen Messung gewährleistet eine genaue Wiedergabe von Schiefstellungen und Verformungen, die möglicherweise durch Kriegsschäden bedingt sind oder ältere Ursachen haben. Da in größerer Höhe die Tachymetrie wegen der zu steilen Zielungen nicht mehr einsetzbar ist, wurden die hohe Vierungskuppel innen und natürlich die Außenfassaden durch Stereomessbilder dokumentiert und photogrammetrisch ausgewertet (Abb. 3). Trotz hoher Bildauflösung und bester Aufnahmepositionen wurde zur Kontrolle der genauen Darstellung der Profile und des Fugenverlaufs ein nachträglicher Ortsvergleich durchgeführt. Der geometrisch exakte Zusammenhang aller Bauteile und Vermessungen wurde durch ein Festpunktnetz außen und innen in allen Räumen gewährleistet. Durch dauerhaft vermarkte aber versteckt angebrachte Festpunkte kann die Vermessung bei Bedarf jederzeit ergänzt werden.

Die Qualität der Ergebnisse wurde vom Auftraggeber zielgerichtet durch eine eigene Projektsteuerung organisiert. Die beteiligten Bewerber hatten mit detaillierten und umfangreichen Unterlagen ihre Eignung für diese Aufgabe nachzuweisen. Mit einer präzisen und erschöpfend formulierten Leistungsbeschreibung lagen kontrollierbare Anforderungen vor. Das Aufmaß einer Seitenkapelle wurde als Muster der Dombaukommission vorgelegt und ohne Beanstandungen bestätigt. Zwischenergebnisse waren regelmäßig vorzulegen, eine mehrtägige Endkontrolle bildete den Abschluss.

5 Die Bauaufnahme der Porta Nigra in Trier

Für die Porta Nigra steht im Gegensatz zum Fuldaer Dom eine umfassende Restaurierung an. Natürlich sieht das Bauwerk für den Touristen äußerst stabil aus, doch die Witterung hatte ja unwahrscheinlich viel Zeit, den originalen römischen Partien, den mittelalterlichen Teilen und den späteren Ausbesserungen zuzusetzen. Verschiedenste Schadensbilder sind die Folge. Eine präzise und umfassende Bestandsaufnahme wird aber nicht nur als Grundlage für die Schadenskartierung, der im Zusammenhang stehenden Bauforschung und Erhaltungsplanung gesehen. Darüber hinaus besteht auch die Aufgabe, die neueren archäologischen und bauhistorischen Erkenntnisse der Fachwelt und den Besuchern/-innen zu vermittelt.

Um alle Konstruktionen, Oberflächen und Details an und in der Porta Nigra in der erforderlichen Darstellungstiefe im Maßstab 1:20 erfassen zu können, wurde ein umfassendes Programm aufgestellt. Insgesamt hat die MESSBILDSTELLE GmbH 42 Grundrisse, Vertikalschnitte (vgl. Beispiel Abb. 4) und Fassadenansichten, 152 Wand- und Gewölbeabwicklungen, 155 Wandöffnungen mit Darstellungen von Tür- oder

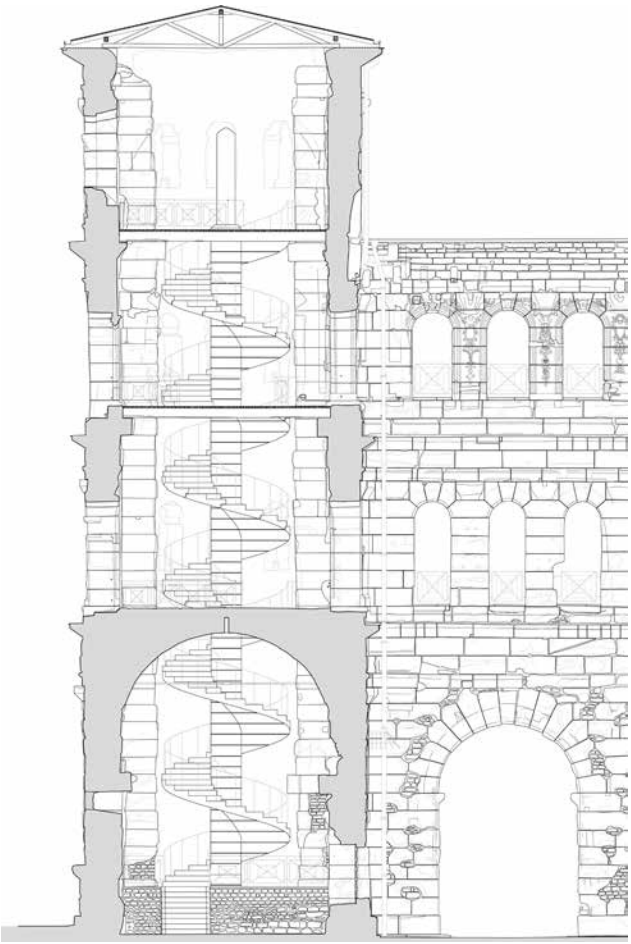


Abb. 4: Porta Nigra, Ausschnitt eines Längsschnittes

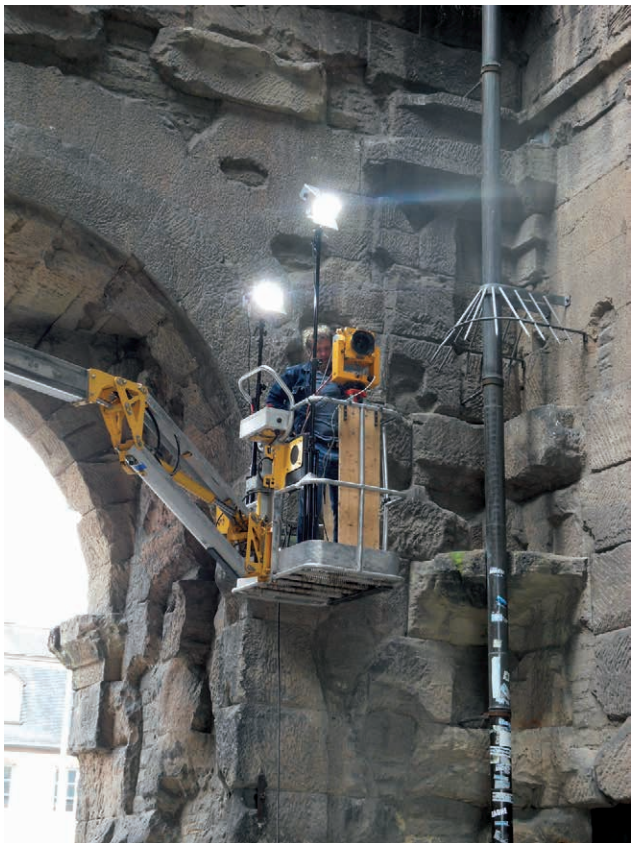


Abb. 5: Aufnahme von Messbildern im Torhof der Porta Nigra

Abb. 6: Tachymeteraufmaß in der Porta Nigra

Abb. 7: Texturiertes 3D-Bild und Orthofoto eines Fensterdetails

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Fensterlaibung, Sturz und Brüstungen bearbeitet. Zusätzlich im Maßstab 1:5 etwa 50 Ornamentdetails, wie Kapitelle und Friese. Sämtliche genannten Pläne sind sowohl in Form von Zeichnungen als auch in Form von Orthofotos anzufertigen.

Auf Grund des hohen Detailierungsgrades und durch die räumliche Interpretation von Stereomessbildern ist hier die Photogrammetrie die Vorzugsmethode. Die Filmnegative der Messbilder sind gleichzeitig Bestandteil der denkmalpflegerischen Langzeitarchivierung. Für die Messbildaufnahme war ausdrücklich bedecktes Wetter vorgeschrieben, „schwarze“ Steine und Schlagschatten würden sich nicht vertragen, in anderen Abschnitten musste mit zusätzlichem Licht gearbeitet werden (Abb. 5: Aufnahmen von großformatigen Stereoaufnahmen mit Kunstlicht im Torhof). Auf jeden Fall ist für eine frontale Sicht auf die Fassaden und zur Vermeidung von Verdeckungen der Einsatz von Arbeitsbühnen unabdingbar. Auch aus diesem Grund waren Laserscanner auszuschließen. Spolien, die Säulen der Zwerggalerie und die Friese der mittelalterlichen Apsis wurden in Arbeitsgemeinschaft durch die Arctron GmbH für den Maßstab 1:5 durch Streifenlichtscans dokumentiert. Allein aus diesem Grund musste die gesamte Apsis eingerüstet werden. Dachkonstruktionen, die Wendelsteine und andere einfache Konstruktionen wurden selbstverständlich tachymetrisch vermessen (Abb. 6).

Die Besonderheit dieses Projektes besteht aber nicht nur in den hohen inhaltlichen Anforderungen. Hier ist erstmalig die oben beschriebene photogrammetrische SfM-Technologie in großem Umfang für die Herstellung von Orthofotos eingesetzt worden. Gesims, Halbsäulen sowie Vor- und Rücksprünge im Mauerwerk machen es praktisch unmöglich, Bildpläne der Oberflächen durch Entzerrungen und Bildmontagen ohne Verschnitt herzustellen. Es muss hier betont werden, dass die Qualität nicht nur durch die Technologie und durch die dafür erforderliche enorme Rechenleistung bedingt ist, sondern vor allem auch durch das Wissen über Bildaufnahme und -bearbeitung.

Das Projektmanagement von Seiten des Auftraggebers ist ähnlich wie im Projekt in Fulda organisiert. In Anbetracht der bevorstehenden Restaurierung ist hier jedoch das gesamte Team, das für die Voruntersuchung, Bauforschung, Dokumentation und Schadensanalyse zuständig ist, bereits zu Projektbeginn bekannt und tauscht sich regelmäßig aus. Zu Abstimmung aller Sparten wurden drei verschiedene typische Flächen vorab musterhaft bearbeitet.

6 Systematisierung der zeichnerischen Bauaufnahme durch Genauigkeitsstufen?

Seit den von Günther Eckstein erstmalig 1986 veröffentlichten „Empfehlungen für Bauaufnahmen“ [3] werden die Anforderungen in die bekannten Genauigkeitsstufen I–IV eingeteilt. Diese Einteilung ist weit verbreitet und hat sich quasi zu einem Standard entwickelt. Sie werden in vielen Publikationen zitiert, zum Beispiel in [4]. Sie werden aber auch regelmäßig in Ausschreibungen als pauschale Spezifikation ohne eine individuelle Anpassung verwendet. Die Anforderungen steigen vom „schematischen Aufmaß“ über „annähernde Wirklichkeitstreue“ zur „Verformungstreue“. Diese Stufe III kann dann noch durch besondere inhaltliche Tiefe zur Stufe IV gesteigert werden.

Traditionell werden aufgrund der Darstellungsmöglichkeiten von Tuschezeichnungen diesen Stufen die Zeichnungsmaßstäbe M 1:100 bis M 1:25 oder größer zugeordnet, gleichzeitig entsprechende pauschale Messgenauigkeiten. In den einleitenden Erläuterungen stellt Eckstein diesen Zusammenhang zwischen Mess- und Darstellungsgenauigkeit her und behandelt die Frage der Generalisierung. Dieser Zusammenhang ist historisch aus dem analogen Zeitalter zu erklären. Dafür gibt es mehrere Begründungen:

- Mit der Genauigkeit, mit der Maße auf einem Papierplan abgriffen werden können, braucht auch nur gemessen werden.
- Genauer benötigte Maße sind direkt zu messen und müssen angeschrieben werden.
- Ein höhere Darstellungstiefe braucht einen größeren Maßstab, sonst laufen die Linien eventuell zusammen.
- Mit händischen Aufmaßmethoden kann man offensichtlich relativ schnell „ungenaue“ Aufmaße (Stufe I und II) erstellen. Ab Stufe III erhöht sich der Aufwand erheblich.

Beschränkt man sich auf den eingeführten Begriff der „Genauigkeitsstufen“, werden Mess- und Darstellungsgenauigkeit nicht unterschieden. Beim händischen Zeichnen können Linien mit einem Abstand von 0,5 mm noch sauber aufgetragen werden. Bei einem Maßstab von 1:100 sind das entsprechend 5 cm am Objekt (Stufe II), bei einem Maßstab von 1:50 ergibt das den Standardwert von 2,5 cm (Stufe III). In Abhängigkeit vom vorab gewählten Zeichenmaßstab würde sich daraus die Darstellungstiefe ergeben. Wird das so pauschal betrachtet, würden also auch wichtige Befunde weggelassen oder für die Aussage entscheidende Architekturformen „geglättet“, weil sie unterhalb dieser Grenze liegen. Das also zur histo-

risch begründeten Abhängigkeit der Genauigkeit vom Maßstab. Leider liegt die Betonung dieser Stufeneinteilung auf dem Begriff „Genauigkeit“ und es hat sich eingebürgert, damit die Anforderungen auf die Genauigkeitsvorgaben und auf Zahlenwerte zu beschränken:

- Stufe II im Maßstab 1:100 mit ± 10 cm
- Stufe III im Maßstab 1:50 mit ± 2,5 cm
- Stufe IV im Maßstab 1:25 mit ± 1 cm

Wie werden aber pauschale Genauigkeitsmaße verstanden? Werden sie dazu verwendet, alles so ungenau zu machen, wie vorgeschrieben? Für die Stufe III würde das heißen, dass z. B. Öffnungsmaße, Wand- und Gewölbestärken, Brüstungshöhen und Balkenquerschnitte etc. auch nur mit 2,5 cm angegeben werden, wie vielleicht auch die Gebäudelänge. Die Genauigkeitsanforderungen sind aber abhängig von der Bauteilgröße, also relativ und deshalb wäre der Bezug zu Bautoleranzen die einzig sinnvolle Lösung. Statt pauschaler Genauigkeitsvorgaben werden also entsprechend der Maßtoleranzen im Bauwesen Messgenauigkeiten relativ zu Bauteilabmessungen benötigt.

Ist also eine Unterscheidung in die traditionellen Genauigkeitsstufen heute noch sinnvoll und geben sie ausreichende Orientierung?

Heute wird nicht mehr auf Karton gezeichnet, sondern am Computer. Der Maßstab und die Genauigkeit stehen nicht mehr in direktem Zusammenhang. Wenn heute tachymetrisch auf der Basis eines Festnetzes gemessen wird, also mit ausreichender Genauigkeit für eine Stufe III, dauert das auch nicht länger. „Ungenauere“ Aufmaße sind dann zwar weniger zuverlässig, aber nicht wirklich billiger. Eine Einsparung durch eine Reduktion der (Genauigkeits-) Ansprüche von Stufe III auf Stufe II ergibt sich also nicht. Der Aufwand würde erst dann geringer, wenn weniger gemessen wird, Messungen durch Annahmen ersetzt werden, kopiert und gespiegelt wird. Ansonsten wird der Aufwand im Wesentlichen durch die Darstellungstiefe, durch inhaltlich differenzierte Anforderungen bestimmt.

Andererseits: Ein Aufmaß einer geringeren Stufe, sogenannte Architektenaufmaße, schematische bzw. annähernd wirklichkeitsgetreue Aufmaße lassen sich nachträglich nicht mehr verbessern. Ihre Genauigkeit lässt sich auch nicht nachträglich steigern. Die Computerzeichnung suggeriert eine Genauigkeit, die sie auf Grund der einfachen additiven Vermessung oder als Ergebnis einer Digitalisierung vorhandener analoger „Bestandszeichnungen“ mit Sicherheit nicht hat. Vorhandene Bestandspläne lassen sich oft im Archiv nachverfolgen. Sie haben mehrfaches Umkopieren und Hochzeichnen hinter sich und sind wahrscheinlich aus den historischen Entwurfszeichnungen hervorgegangen. Einfache Aufmaße und das Digitalisieren vorhandener Bestandszeichnungen führen also zu Unsicherheiten und entsprechenden Problemen im Planungsprozess. Oft wird dann doch noch ein „richtiges“ Aufmaß notwendig. Dazu eine klare Ansage von Hädler [5]: „Die Erwartung, aus Altplanbeständen ließen sich durch Scannen und Nachbearbeitung zuverlässige Planungsgrundlagen erstellen, gehört in den Bereich der Legende. Derartige zeichnerische Gebilde sind ungeeignet für denkmalpflegerische Werkplanungen. (…) Für eine denkmalpflegerische Projektierung mit entwurfsbedingten Eingriffen in den Baubestand ist eine formgetreue digitale Plangrundlage der Stufe III unverzichtbar.“

Heute sollten die Fragen nach Genauigkeit und Maßstab anders gestellt werden. Von Geodäten wird der Genauigkeitsbegriff ausschließlich als geometrische Kategorie in Bezug auf die Messgenauigkeit verstanden: der aus der Messanordnung und Fehlerfortpflanzung resultierene Koordinatenfehler Δx, Δy, Δz eines Punktes bzw. der daraus abgeleitete Fehler einer Strecke zwischen zwei Punkten. Die geometrische Qualität wird mit der statistischen Größe der Standardabweichung bzw. dem mittleren Fehler beschrieben. Andererseits wird aber die Aussage einer Bauaufnahme wesentlich von deren Darstellungsgenauigkeit bzw. -tiefe bestimmt. Dazu noch einmal Hädler [5]: „Messgenauigkeit und Darstellungsgenauigkeit sind Faktoren, die immer im gegenseitigen Wechselspiel die Aussageschärfe eines Aufmaßes bestimmen.“ Wesentliche Erkenntnisse gehen durch eine pauschale Generalisierung verloren. Bauhistorisch wichtige Details, Baufugen, Architekturprofile oder Verbindungen von Holzkonstruktionen müssen also mit erfaßt und gegebenenfalls in einem größeren Maßstab dargestellt werden – innerhalb der CAD-Zeichnung, die in Ausschnitten problemlos größer ausgedruckt werden kann (vgl. Abb. 7 und 8).

Hädler definiert als Standard für Restaurierungs- und Umbauplanungen die Stufe III (exaktes und formgetreues Aufmaß) im Maßstab 1:50 mit Darstellungsgenauigkeit innerhalb 2,5 cm. Steigerungen in Stu-

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

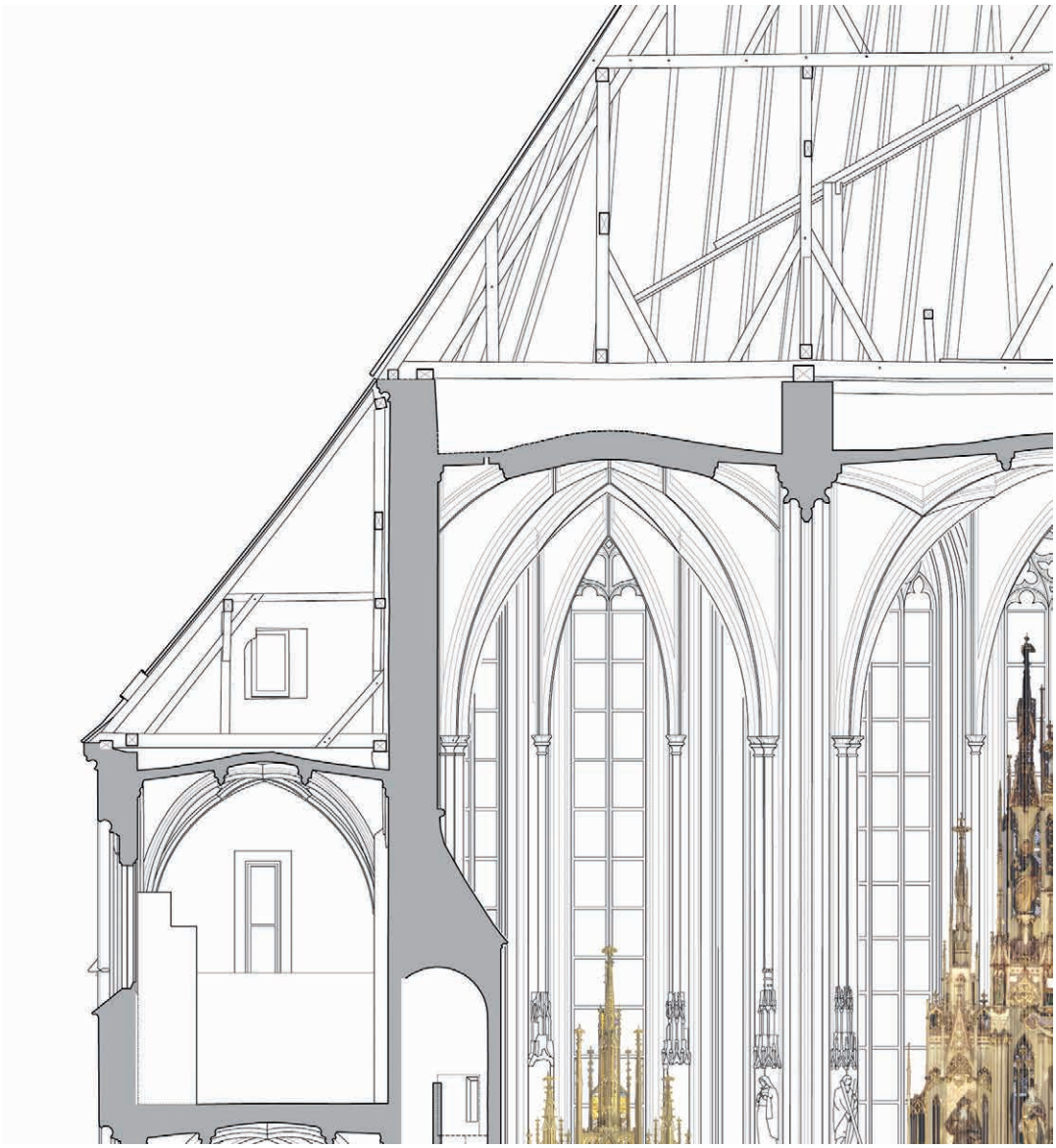


Abb. 8: Stadtpfarrkirche Steyr, Ausschnitt Querschnitt

fe IV und V gehen mit höherem Maßstab (im CAD nicht relevant) und entsprechend höherer Darstellungsgenauigkeit zusammen. Da sich also die Stufen I und II nicht mehr verbessern lassen, für Werkplanungen nicht ausreichend sind und nicht wirklich billiger als tachymetrische Aufmaße und also ungenauer sind, sollten sie doch zukünftig einfach aus dem Anforderungskatalog gestrichen werden.

Vor diesem Hintergrund schlägt Weferling [6] einen Stufenaufbau für ein Gebäudeaufmaß im Sinne von Bauaufnahmephasen vor, mit Grundlagenmessungen und entsprechenden technologischen Vorgaben zur Sicherung der Genauigkeit von Bauteilabmessungen und des räumlichen Zusammenhangs und mit der Möglichkeit einer projektbegleitenden Nachver-

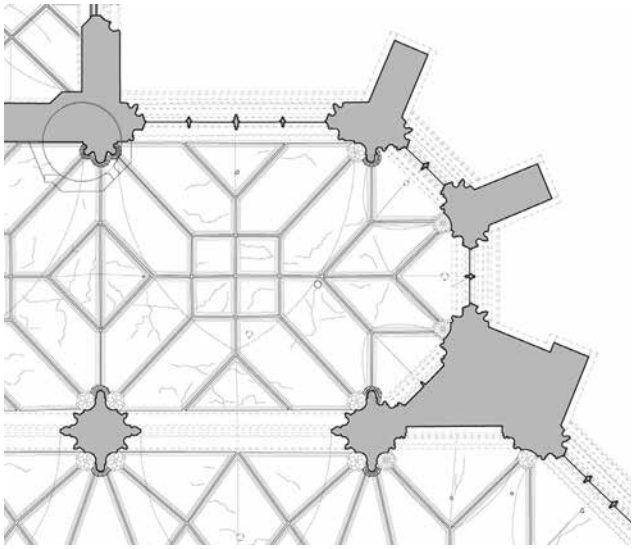


Abb. 9: Stadtpfarrkirche Steyr, Ausschnitt Emporengrundriss mit Gewölbeuntersicht

dichtung und Ergänzung. Er nennt drei Bauaufnahmephasen:

- Grundlegende Tachymetrie auf der Basis eines Grundlagennetzes (das entspricht der Stufe III)
- Informationsverdichtung auf der Grundlage von Phase 1, mehr Detailinformationen und wenn notwendig mit höherer Detailgenauigkeit
- Sonderanwendungen für individuelle Aufgabenstellungen

Hädler [5] geht in der stufenweise Nachverdichtung bis zu einer Stufe V. Dem schließen sich Cramer, Breitling [7] an. In der DIN 1356-6 „Bauaufnahmezeichnungen“ [8] werden lediglich zwei Informationsstufen unterschieden. Die inhaltlichen Anforderungen an die zeichnerische Dokumentation und für Textangaben werden ausführlich aufgelistet, in Mindest- und Zusatzforderungen unterschieden. Informationsstufe II soll auf Informationsstufe I aufbauen. Auf Genauigkeitsvorgaben wird offensichtlich bewußt verzichtet. Die Betonung liegt also auf Information und nicht auf Genauigkeit.

Es müssen also für Bauaufnahmen unbedingt immer sowohl die messtechnischen Genauigkeitsanforderungen als auch die Darstellungstiefe definiert werden. Beides kann scheinbar widersprüchlich sein, lässt sich aber natürlich in der CAD-Zeichnung problemlos vereinigen: Eine formgetreue Bauaufnahme im Maßstab 1:50 mit Messgenauigkeit 2,0 cm und einer Darstellungstiefe z. B. für entscheidende Architekturdetails (Portal- und Fenstergewände, Gesimsprofile etc.) im Maßstab 1:10 oder 1:5, das heißt ohne Generalisierung. Zum Beispiel lassen sich die Profile der Pfeiler, der Portale und Gewölberippen und das Maßwerk der Stadtpfarrkirche in Steyr im Maßstab 1:5 ausgeben (vgl. Abb. 8 und 9). Die Vermessung wurde, wie am Beispiel des Fuldaer Domes beschrieben, im Wesentlichen tachymetrisch vorgenommen. Die Risskartierungen erfolgten photogrammetrisch.

7 Orthofotos und 3D-Scans

Im obigen Abschnitt wurden Bauaufnahmezeichnungen diskutiert, heute also im CAD und nicht mehr auf Karton. Anforderungen an 3D-Scans und Orthofotos wurden bisher nicht systematisch behandelt. Hier ist die Denkweise grundsätzlich anders als bei Zeichnungen.

Bauaufnahmezeichnungen stellen eine bewusste Auswahl auf die wesentlichen Inhalte dar, das heißt eine Interpretation der Befunde mit dem Wissen über historische Baukonstruktionen, Architekturformen, Ausstattungen und Material. Bauaufnahme ist also ein Erkenntnisprozess und vermittelt die Ergebnisse in aussagekräftigen Zeichnungen. Jeder Punkt, jede Linie und jede Flächenkontur setzt eine bewusste Entscheidung vor einem entsprechenden Erfahrungshintergrund voraus. Ihnen können durch die Zeichnungsstruktur oder durch zusätzliche Attribute noch weitere Informationen zugeordnet werden. Punktwolken und Bilder sind dagegen nur „dumme“ Ansammlungen von Pixeln, wenn man davon absieht, dass auch mehr oder weniger aussagekräftig fotografiert werden kann. Da hier entsprechendes Wissen über historische Bauweise und Architektur scheinbar nicht nötig ist, werden diese Aufgaben meist als rein technische Angelegenheit betrachtet. Um so wichtiger, auch hier gewisse Ansprüche zu definieren.

Die Interpretation der Befunde ist von der Bildqualität abhängig, vordergründig vom Abstand der Punkte – einer Punktwolke aus 3D-Scans oder den Pixeln einer Digitalkamera. Ist auch hier eine Auflösung von 2,5 cm (für Zeichnungen als Darstellungsgenauigkeit verstanden) für eine Stufe III vorstellbar? Die Ausgabe auf Tuscheplottern mit Fotopapier ist fotorealistisch, das heißt ohne sichtbare Pixelung, wenn mit mindestens 300 dpi gedruckt wird. Die Größe eines Pixels am Objekt wäre dann zum Beispiel für einen Maßstab von 1:50 (Stufe III) mit ca. 4 mm ausreichend. Bei einer Pixelgröße bzw. einem Punktraster von 2,5 cm könnten also nur Übersichtspläne im Maßstab 1:250 gedruckt werden. Es kann auch formuliert werden, dass für die notwendige Aussageschärfe einer Bauaufnahme im Maßstab 1:50 eine mindestens fünffach höhere fotografische Auflösung als die in den Genauigkeitsstufen genannten Größen erforderlich ist, um die entsprechende Detailerkennbarkeit zu gewährleisten. Entsprechend wäre für Orthofotos z. B. im Maßstab 1:20 / 1:25 eine Objektauflösung von ca. 2 mm erforderlich. Dieser Zusammenhang beschreibt jedoch nur die geometrische Komponente der Bildqualität und gibt Hinweis auf die Wiedergabe kleinster Details. Hinzu kommt noch die optische Abbildungsschärfe. Sie ist abhängig von der Tiefenschärfe (Blendeneinstellung) und der Beugungsschärfe (Linsenfehler – Qualität der Objektive). Teure Digitalkameras mit großen Sensoren nützen also nichts, wenn an den Objektiven gespart wird. Soweit nur unvollständig zu den technischen Zusammenhängen. Früher sprach man nicht umsonst von Lichtbildkunst.

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014

8 Projektmanagement und Anforderungen an Vermessungskonzepte

Die einfachste Methode, um Geld zu sparen, ist die Qualitätssicherung. Welchen Einfluss eine gute Bauaufnahme auf das gesamte Projekt hat, ist beispielhaft an einem der größten Sanierungs- und Revitalisierungsprojekte auf dem profanen Sektor der Denkmalpflege in Österreich, den Häusern am Halleiner Schöndorferplatz demonstriert worden [9]. An diesem Beispiel, wie auch an den oben beschrieben Vermessungen des Fuldaer Domes und der Porta Nigra in Trier, wurden die Anforderungen an die Bauaufnahmen konkret objektbezogen definiert. Das individuelle Vermessungskonzept stellt eine eigene schöpferische Leistung dar und ist erster Baustein des denkmalpflegerischen Projektmanagements [10]. Es erfordert sowohl vermessungstechnischen Hintergrund, als auch natürlich Sachkenntnis in historischer Architektur und Denkmalpflege.

Erfolg muss organisiert werden. In [11] wird detailliert ausgeführt, wie durch metrische Aufnahmen in enger Zusammenarbeit mit Historikern, Konservatoren und Archäologen eine optimale Dokumentation erzielt werden kann. Ziel des Managements ist die Gewährleistung, dass durch die Balance zwischen gewünschter Genauigkeit, Kosten- und Zeitaufwand durch Anwendung geeigneter Methoden die erforderlichen Informationen für das Projekt von allen Seiten von Anfang an richtig verstanden werden. Qualität ist die Eignung für den Verwendungszweck.

Mit dem Leistungsverzeichnis werden kontrollierbare Bedingungen geschaffen. Für technologisch bedingte Zwischenschritte gibt es Kontrollmöglichkeiten. Erste Muster und das Endergebnis werden einer Vor-Ort-Kontrolle unterzogen und förmlich abgenommen. Kenntnisse über das Objekt, räumliche Gliederungen, Dimensionen, Umgebungsbedingungen, Bauzeit, Baugeschichte und Ausstattungsmerkmale sind notwendige Grundlage sowohl für diese Konzepte als auch für die Kalkulation von Angeboten. Das Vermessungskonzept ist die geistige Vorwegnahme des Endergebnisses, des Weges dahin und des Aufwandes der dafür notwendig ist.

Eckstein fragt letztlich selbst, ob eine Klassifizierung der Bauaufnahme notwendig ist [12]. Er befürwortet diese Abstufung weiterhin. Nun bringt aber eine größere „Ungenauigkeit“ keine oder nur marginale Einsparungen und eine eventuell doch noch nötige Verbesserung wäre später nicht mehr möglich. Außerdem verhindern solche pauschal angewendete Einstufungen die konkrete objektbezogene Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung für eine Bauaufnahme. Dazu auch die klare Position des English Heritage [11]: Eine Standardspezifikation kann nicht alle Eventualitäten, Besonderheiten und örtlichen Bedingungen berücksichtigen, die für den Erfolg notwendig sind. Die Ziele und Aufgaben sind so in Projektbeschreibungen niederzulegen, dass der Anbieter die Bedingungen für das konkrete Objekt klar erkennen kann, schließlich soll ja letztlich auch eine Qualitätskontrolle und Abnahme seiner Leistungen entsprechend der vereinbarten Kriterien erfolgen können.

Eine Basis (vgl. Bauaufnahmephase 1 nach Weferling [6]), die den Anforderungen der Genauigkeitsstufe III entspricht, die in bestimmten Abschnitten detaillierter ausgeführt bzw. nachträglich verdichtet werden kann, sollte heute als Standard angesehen werden. Einen guten Ansatz bildet die DIN 1356-6, die eine schrittweise Informationsverdichtung zum Kern hat, Mindestanforderungen festlegt und Freiraum für objektspezifische Fragestellungen lässt [8].

Im Ergebnis dieser Diskussion und aus einschlägigen Praxiserfahrungen sind folgende Punkte festzuhalten:

- Die Genauigkeitsstufen I und II (nach Eckstein) lassen sich nicht nachverdichten oder „verbessern“.
- Vorhandene (analoge und digitale) Bestandspläne sind ohne Nachweis der Messungsgrundlage und der verwendeten Messmethode nicht für Werkplanungen geeignet.
- Bei Eingriffen in den Bestand eines Denkmals ist ein formgetreues Aufmass mindestens der Genauigkeitsstufe III unverzichtbar (entspricht etwa Informationsstufe II nach DIN).
- Eine Bearbeitung kann dann in mehreren (eventuell zeitlich aufeinander folgenden) Phasen geschehen (Nachverdichtung).
- Darstellungsgenauigkeit, -tiefe, bzw. Informationsdichte sind individuell und differenziert festzulegen. Sie stehen im Zusammenhang mit der konkreten Sanierungsaufgabe.
- Es können auch gleichzeitig verschiedene Abschnitte (Bauteile, Ausstattungsteile) mit unterschiedlicher Informationsdichte aufgenommen werden (vgl. Abb. 2 Dom in Fulda).
- Pauschale Vorgaben einer Genauigkeit sind für die Bauaufnahme eines konkreten Objektes nicht ausreichend. Die Genauigkeitsanforderungen sind relativ zur Bauteilgröße und stehen im Zusammenhang mit Maßtoleranzen.

- Standardspezifikationen berücksichtigen nicht die Besonderheiten eines konkreten Objektes. Es ist eine differenzierte Vorgehensweise notwendig, ein individuelles Vermessungskonzept.

Um ein Projekt erfolgreich zum Ziel zu führen, ist es notwendig, die Anforderungen objektspezifisch zu klären und zu beschreiben. Verschiedene Fragen sind zu beantworten:

- Welcher Zweck wird mit der Bauaufnahme verfolgt? (u. a. bauhistorische Forschungen, Kartierungsgrundlage, Werk- und Sanierungsplanung, statische Gutachten)
- Differenzierte inhaltliche Anforderungen beschreiben die Qualität der benötigten Informationen wie Baukonstruktion (mit oder ohne Freilegungen), Baukanten und Öffnungen, Architekturformen, Bauplastik, Werksteine mit Fugen, Ausstattungselemente, Oberflächen, Materialangaben, Zustand, Schäden, Verformungen, Detailierungsgrad / Tiefe der Darstellung/Detailauflösung. Eventuell sind Muster notwendig, die Variationen zeigen und definieren können.
- Wie sollen die Ergebnisse genutzt werden? Technische Produkteigenschaften: Zeichnungen, Orthofotos, analoge und digitale Ausgabe, CAD-Struktur, Ausgabemedium und -maßstab
- Welche Maßnahmen ergeben sich aus den Objektbedingungen? (Sicherheitskonzept, Einsatz von Gerüsten, Arbeitsbühnen, Stromanschluss, Ausleuchtung, Behinderungen durch Bewuchs)
- Welche Vermessungstechniken bzw. welche technologische Rahmenbedingungen müssen – eventuell für verschiedene Situationen unterschiedlich – festgelegt werden? (Grundlagenmessung, der Einsatz bestimmter Messmethoden, Dichte der Messpunkte, Messanordnung, Aufnahmedisposition für Messbilder und Scans, Bildmaßstab bzw. -auflösung, Messgenauigkeit relativ und absolut, Messung und Auftragen am Objekt, Nachweisführung)

Eckstein hatte seine „Genauigkeitsstufen“ als Hilfe für die Konzeption konkreter Projekte gedacht. Die Welt der Vermesser hat sich seitdem offensichtlich stark geändert. Mit neuen Techniken ergeben sich andere Möglichkeiten. Keine Systematik, dafür aber strukturierte Checklisten für Bauaufnahmen werden dem Projektmanagement helfen können.

Literatur

[1] Bruschke, A.: Bauaufnahme in der Denkmalpflege – Anforderungen und Methoden, in BAUSUBSTANZ, Heft 1 und 2/2013, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart

[2] Stasch, G. K.: 300 Jahre Dom zu Fulda und sein Architekt Johann A. Dientzenhofer (1663–1726). Michael Imhof Verlag, Petersberg 2012

[3] Eckstein, G.: Empfehlungen für Baudokumentationen, Arbeitsheft 7, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Konrad Theiss Verlag Stuttgart, aktuelle Auflage 2003

[4] Anforderungen an eine Bestandsdokumentation in der Baudenkmalpflege, Arbeitsmaterialien zur Denkmalpflege in Brandenburg, Nr. 1, Hrsg: Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege, Imhof Verlag, Petersberg, 2002

[5] Hädler, H.: Sanierungsvoruntersuchung und Bauforschung als Teil des Planungsprozesses, in Architekten in der Denkmalpflege, Hrsg.: H. Thomas, Rudolf Müller Verlag, Köln 2004

[6] Weferling, U.: Randbedingungen und Anwendungspotentiale moderner Bauaufnahmemethoden – ein Plädoyer für eine mehrstufige, projektbegleitende Bauaufnahme, in Bauaufnahme in der Denkmalpflege, Hrsg.: A. Bruschke, Fraunhofer IRB-Verlag, 2005

[7] Cramer, J., Breitling, St.: Architektur im Bestand – Planung Entwurf Ausführung, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin, 2007

[8] DIN 1356-6:2006-05 Bauzeichnungen – Teil 6: Bauaufnahmezeichnungen

[9] Ronald Gobiet und Heimat Österreich (Hrsg.): HÄUSER AM SCHÖNDORFER PLATZ – ERHALTEN UND ERNEUERN IN HALLEIN, Salzburger Beiträge zur Kunst und Denkmalpflege Band IV, Verlag Anton Pustet Salzburg – Wien, 2008

[10] Fuchsberger, H.: Qualitätssicherung in der Bestandsaufnahme – das Beispiel Schöndorfer Platz in Hallein, in Bauaufnahme in der Denkmalpflege, Hrsg.: A. Bruschke, Fraunhofer IRB-Verlag, 2005

[11] Measured and Drawn – Techniques and practice for the metric survey of historic buildings, Published by English Heritage, 2. Ausgabe, 2009

[12] Eckstein, G.: Die Bestandsaufnahme – Beobachten, Messen, Analysieren, Dokumentieren, in Bauaufnahme in der Denkmalpflege, Hrsg.: A. Bruschke, Fraunhofer IRB-Verlag, 2005

Abbildungsverzeichnis

Alle Abbildungen sind vom Verfasser.

Auszug aus dem Tagungsband zur Fachtagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2014“, ISBN 978-3-8167-9167-6, Hrsg. Patitz, Grassegger, Wölbert, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2014