

Baudokumentation am KDWT

Sicherung von Qualitätsstandards in der Bauforschung



Abb. 1: Baudokumentation mit photogrammetrischen Verfahren durch UAV-Einsatz [Arera-Rütenik 2017].

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Stefan Breitling
 Laufzeit: seit 2016
 Finanzierung: KDWT-Eigenmittel

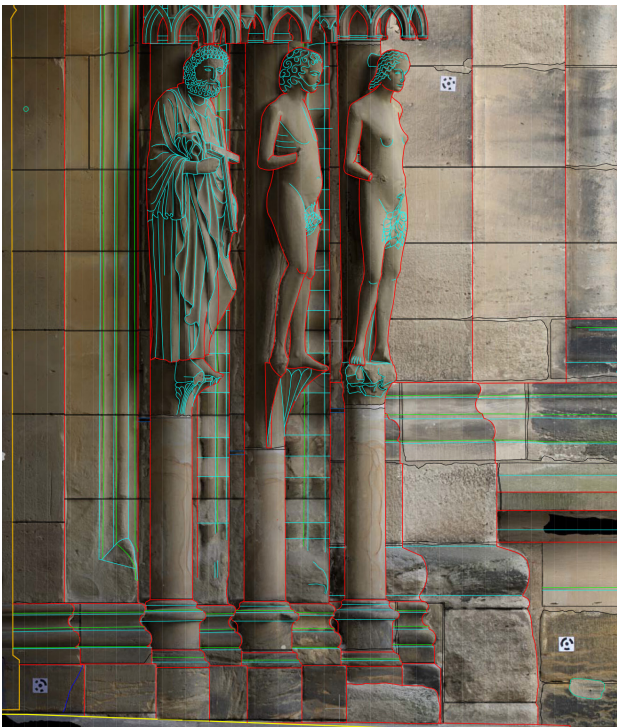


Abb. 2: Das aus einer 3D-Punktwolke berechnete Orthophoto und die überlagerte digitale Strichzeichnung bilden zusammen ein Hybridprodukt [Giese 2015].

In den Denkmalschutzgesetzen der Bundesrepublik Deutschland ist die wissenschaftliche Erforschung der Denkmäler als Auftrag formuliert, den zu erfüllen die Bauforschung mit den ihr eigenen Methoden einen wichtigen Beitrag leistet. ‚Erforschung‘ ist dabei stets historisch wie auch technisch gemeint, denn aus jeder durch die Bauforschung gemachten Beobachtung an einer existierenden Baukonstruktion folgen einerseits kulturhistorische und technikgeschichtliche Einsichten, andererseits aber auch technisches Einschätzungsvermögen. Letzteres ist besonders im Rahmen von Instandsetzungsmaßnahmen gefordert, die nur dann nachhaltig und denkmalgerecht durchgeführt werden können, wenn durch bauforscherische Untersuchungen rechtzeitig auf Ressourcen und Risiken der überlieferten Bausubstanz hingewiesen wird. Bauforschung klärt in diesem Kontext räumliche und konstruktive Zusammenhänge, analysiert die Entwicklungs- und Veränderungsgeschichte von Bauwerken und Ensembles, rekonstruiert die Genese von Bauwerksschäden, richtet den Blick auf die den heutigen Zustand konstituierenden Fragmentierungen, Schichtungen und Überlagerungen, und sie macht den historischen und kulturellen Quellenwert eines Bauwerkes sowie seiner Ausstattung sichtbar und ordnet diese in übergeordnete Entwicklungen ein. Die erkannten Denkmalwerte sind somit sowohl kulturhistorisch-ideeller Natur als auch im wahrsten Sinne des Wortes ‚Wert‘, ein Maßstab für die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Bausubstanz im Rahmen einer zeitgemäßen Nutzung.

Grundlegend für jede bauforscherische Untersuchung sind wissenschaftliche Baudokumentationen, deren Methoden und Ergebnisformen eine Vielfalt aufweisen, die sich gerade in den letzten Jahren sprunghaft entwickelt hat. Ausgangspunkt jeder bauforscherisch verwertbaren Dokumentation ist dabei die Frage nach den je nach Objekt und Fragestellung angepassten Ergebnisformen. Deren Leistungsfähigkeit reicht von der reinen Oberflächenbetrachtung bis hin zur vollständigen Durchdringung der konstruktiven und formalen Details eines Objektes. Erst nach Festlegung der Ergebnisformen kann eine sinnvolle Kombination der eingesetzten Techniken zusammengestellt werden, um einen reibungslosen Arbeitsablauf zu garantieren und die gewünschten

Ergebnisformen möglichst ökonomisch hervorzu- bringen. Aufbauend auf den an der Professur für Bauforschung und Baugeschichte bereits seit lan- gen Jahren bewährten und sowohl technisch wie personell beherrschten Methoden konnte durch die Einrichtung des KDWT das zur Verfügung ste- hende Instrumentarium durch zeitgemäße Tech- niken ergänzt und ausgebaut werden. Das KDWT ist dadurch befähigt, Baudokumentationen mit den unterschiedlichsten Ergebnisformen für Ob- jekte jeder Zeitstellung, Größe und Komplexität zu erstellen.

Ergebnisformen

Drei Kategorien von Ergebnisformen sollen hier unterschieden werden: nicht interpretierende Pro- dukte, interpretierende Produkte und sog. Hybrid- produkte. Nicht interpretierend sind alle Punkt- wolken, und unter diesen werden hier nicht nur die bekannten 3D-Punktwolken verstanden, son- dern auch 2D-Punktwolken, die üblicherweise als digitale Photographien bezeichnet werden. Letzte- re sind für Baudokumentationen vor allem dann interessant, wenn aus ihnen außer den Farbwer- ten auch Geometrieinformationen entnommen werden können. Daher spielen sie vorwiegend in ihrer Sonderform als entzerrtes Bild oder als sog. Orthophoto eine Rolle (Abb. 2). In beiden Ergeb- nisformen wird ein Objekt oder Teile davon ortho- gonal auf eine Ebene projiziert abgebildet, so dass wie bei einer zeichnerischen Darstellung Maße di- rekt abgenommen werden können. Allen Punkt- wolken liegt stets eine automatisierte Herstellung in dem Sinne zugrunde, dass bei der Herstellung zwar die Einhaltung der messtechnisch erforderli- chen Genauigkeit und die möglichst objektive und vollständige Abbildung des Objektes beachtet wer- den muss, nicht aber auch die inhaltlich-analyti- sche Durchdringung des Dargestellten.

Die große Stärke von Punktwolken liegt darin, dass man sich nach vergleichsweise kurzem Aufenthalt am Objekt ein Modell desselben in den Computer holt, in dem Maße an allen Stellen abgenommen werden können, die die Punktwolke abdeckt. Sehr bewährt haben sich beispielsweise 3D-Punktwol- ken von Gewölben, mit deren Hilfe deren Verfor- mungen und somit das Tragverhalten ingenieur- technisch analysiert werden kann. Ebenfalls sehr leistungsfähig sind sog. flächige Deformations- analysen, bei denen die Abweichung eines jeden Punktes der Wolke gegenüber einer Referenzflä- che ermittelt wird. Wo man ohne 3D-Punktwolke eine Vielzahl von Schnitten braucht, um Verfor- mungen auf die Spur zu kommen, genügt nun

eine einzige flächige Auswertung, die aufgrund der 3D-Daten leicht berechnet werden kann.

Allerdings muss man sich auch der Nachteile der Punktwolken bewusst sein, denn die automatisier- te Erfassung unterscheidet nicht zwischen Punk- ten, die für die jeweilige Fragestellung relevant bzw. irrelevant sind. Die Entscheidung über die Relevanz von Maßen und die für die konstruk- tive Durchdringung unabdingbare Lokalisierung von Bauteilabgrenzungen muss der Nutzer selbst durchführen, und er tut dies nicht direkt am Ob- jekt sondern am Computerarbeitsplatz. Er muss sich also sicher sein, Bauteile und ihre Abgren- zungen in der Wolke genauso verlässlich anspre- chen zu können wie am realen Objekt. In der Pra- xis zeigt sich, dass bestimmte Bauteilklassen wie z.B. eine unverputzte Backsteinwand mit hellem Fugenmörtel dafür gut geeignet sind, andere aber wie z.B. ein Dachwerksfußpunkt, der Knoten ei- ner Hängesäule oder eine mit eingefärbtem Fu- genmörtel errichtete Natursteinwand denkbar un- geeignet. Das in der Bauforschung so fruchtbare und dadurch unentbehrliche Vor-Ort-Prinzip darf also bei der Nutzung von Punktwolken nicht zu- gunsten einer ausschließlichen ‚Fernerkundung‘ aufgegeben werden. Nur angemerkt sei ferner, dass die Archivierung und langfristige Nutzbar- keit digitaler Daten ein bislang ungelöstes Prob- lem darstellt.

Völlig andere Eigenschaften haben die interpretie- renden Ergebnisformen. Dies sind vor allem die 2D-Strichzeichnungen, die entweder händisch oder digital erstellt werden können. Deren Stär- ken liegen zunächst in den während des Zeichen- prozesses permanent ablaufenden Vorgängen des Betonens und Weglassens, des Zusammenfüh- rens bruchstückhafter Informationen, des Sicht- barmachens von Unsichtbarem, summa summa- rum also des Interpretierens (Abb. 2). Für ihre Erstellung ist anders als bei den nicht interpre- tierenden Ergebnisformen außer der technischen nun auch inhaltliche Expertise vonnöten. Darü- ber hinaus ist sie eine Ergebnisform, mit der ein Objekt von der Komplexität eines Bauwerkes voll- ständig dargestellt werden kann – und die Voll- ständigigkeit erstreckt sich dabei nicht allein auf schwer zugängliche sondern sogar auf komplett verdeckte Bauteile, deren Existenz beispielsweise dank historischer Pläne oder mit Hilfe spezieller Messtechniken wie der Thermographie oder geo- physikalischer Methoden nachgewiesen ist. Spe- ziell die digitale Strichzeichnung hat ferner den Vorteil, dass sie sich leicht fortschreiben und in Planungsprozesse nahtlos integrieren lässt. Alle

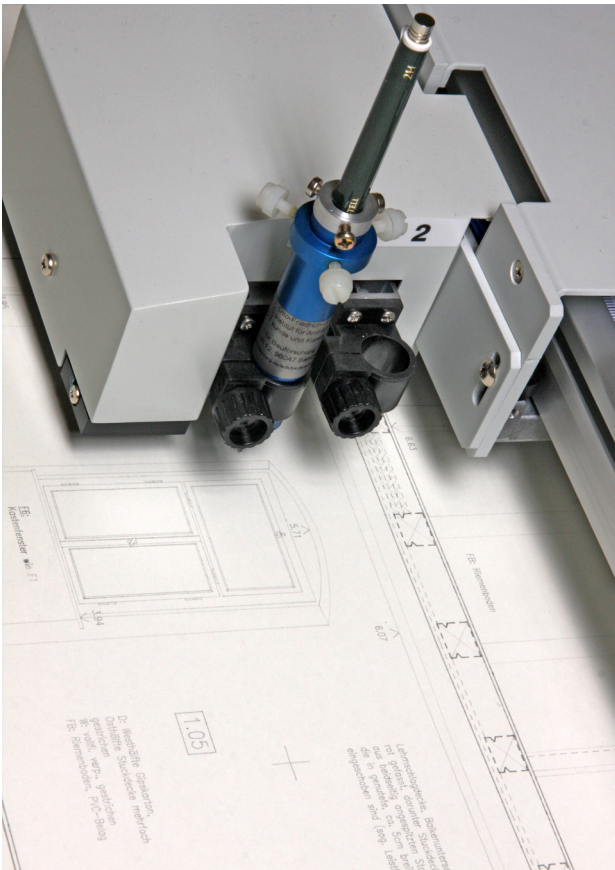


Abb. 3: Mithilfe des Bleistiftplotters werden digitale 2D-Vektorzeichnungen in archivierbare analoge Bleistiftzeichnungen umgewandelt [Giese 2014].



Abb. 4: Am KDWT vorgehaltene Geräte für verschiedene digitale Aufmaßtechniken, die dem jeweiligen Nutzungsszenario entsprechend angewendet und kombiniert werden können [Giese 2018].

diese Merkmale führen dazu, dass sie die am häufigsten eingesetzte Ergebnisform für eine Baudokumentation ist.

Die analoge Strichzeichnung, also die händisch in Bleistift auf Karton oder Folie aufgetragene Zeichnung, hat den Vorteil der nahtlosen Fortschreibung nicht. Jedoch bei der Darstellung von Oberflächenporträts und bei der Herausarbeitung kleinteiliger und unscharfer Befunde hat sie ein höheres analytisches Potenzial als die digitale Vektorzeichnung. Bei Bauteilen, die die Erfassung solcher Details erfordern und die ihre Bedeutung erst nach Erfassung auch der unscheinbarsten Befunde preisgeben – wie sie beispielsweise auf archäologischen Grabungen die Regel sind, hat sie auch im digitalen Zeitalter große Bedeutung.

Die Frage der Archivierung und langfristigen Nutzung von Strichzeichnungen darf als gelöst gelten, da die digitalen Daten in Tinte auf archivfähigem Papier ausgeplottet werden können und händisch erstellte Bleistiftzeichnungen auf dem geeigneten Medium von sich aus archivfähig sind. Derartige Zeichnungen sind somit ein wichtiger Baustein zur Erfüllung des gesellschaftlichen Auftrages an die Denkmalpflege, kulturelles Erbe für nachfolgende Generationen in lesbarer Form zu bewahren.

Die Vorteile digitaler und analoger Strichzeichnungen können sogar miteinander kombiniert werden, dafür steht am KDWT die deutschlandweit einzigartige Technologie des Bleistiftplots zur Verfügung. Dazu wurde ein Schneideplotter so umgerüstet, dass er mit den für händische Zeichnungen als Standard etablierten und zur Darstellung auch feinsten Details geeigneten Fallminenstiften bestückt werden konnte, um digitale Zeichnungen in Bleistift auf Archivkarton auszuplotten (Abb. 3). Mit seiner Hilfe ist es möglich, beispielsweise für ein Sanierungsprojekt zunächst einen rein digitalen Plansatz bis zu einem festgelegten Detaillierungsgrad herzustellen, der anschließend eine zweigleisige Fortschreibung erfährt: Er dient einerseits als Grundlage für den rein digitalen Planungsprozess, andererseits aber auch der baubegleitenden Bauforschung. Diese bedient sich der fertigen Zeichnungen, um diese ohne eigene aufwendige Messungen durch händische Nachtragungen in Dokumentationen zu überführen, die alle Befunde analytisch erfasst und somit auch wissenschaftlichen Ansprüchen genügt.

In die Kategorie der interpretierenden Produkte fallen auch die virtuellen sog. 3D-Volumenmodelle. Diese sind streng zu unterscheiden von den

sog. Oberflächenmodellen, die durch automatisierte Vermaschung von 3D-Punktwolken entstehen. In Volumenmodellen dagegen wird ein Bauwerk Bauteil für Bauteil modelliert, um es dadurch der Verknüpfung mit einem Bauwerksinformationssystem (BIM) zugänglich zu machen. Das analytische Potenzial derartiger Modelle kann bei sorgfältiger Erstellung die Leistungsfähigkeit von Strichzeichnungen übertreffen, jedoch erzwingt die Volumenmodellierung in der Regel eine Generalisierung und Vereinfachung der zugrundeliegenden Daten, sodass Volumenmodelle nicht als primäre sondern nur als sekundäre Ergebnisform einer Baudokumentation taugen. Die in digitalen und analogen Strichzeichnungen bereits erreichten Qualitätsstandards auch auf virtuelle Volumenmodelle zu übertragen, ist eine der Aufgaben, der sich das KDWT stellt.

Durch die überwiegend digitalen Ergebnisformen der Baudokumentation ergeben sich eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten zu sog. Hybridprodukten (Abb. 2). Da die digitale 2D-Strichzeichnung außer dem 3D-Volumenmodell die einzige Ergebnisform ist, die Gebäude vollständig darstellen kann, ist sie in der Regel die Grundlage, in die punktuell andere Ergebnisformen eingebunden werden. Beispielsweise kann der Scan einer Handzeichnung integriert werden, um die darin enthaltene Befunddichte und Aussagekraft nutzbar zu machen. An anderer Stelle kann ein Orthophoto erscheinen, um die in Zeichnungen fehlenden Farbwerte zu erfassen oder um schlichtweg die Umzeichnung der darin enthaltenen Informationen einzusparen. In Zukunft wird auch das 3D-Volumenmodell verstärkt als Rahmen für solche Hybridprodukte dienen.

Aufmaßtechniken

Um alle genannten Ergebnisformen der Baudokumentation sowohl geometrisch zuverlässig als auch ökonomisch herzustellen, stehen am KDWT alle gängigen geodätischen Techniken zur Verfügung, also Tachymetrie, Photogrammetrie, Laserscanning und satellitengestützte Vermessung, die bei der Arbeit vor Ort durch händische Messungen ergänzt werden. Grundlegend für jede Bauwerksvermessung ist die Tachymetrie, denn mit ihrer Hilfe werden sowohl zuverlässige Festpunktfelder für die Georeferenzierung eingerichtet als auch hochpräzise Punkterfassungen ermöglicht (Abb. 4). Mit ihrer Hilfe entstehen digitale Strichzeichnungen unmittelbar im Angesicht des Objektes, sodass sie vor allem zur Erfassung schwierig zu interpretierender Bauteile prädes-

iniert ist oder zur Ergänzung und Verifizierung von Auswertungen eingesetzt wird, die auf Verfahren der Fernerkundung beruhen und somit Erfassungslücken oder –unklarheiten haben. Bei großräumigen Objekten wie ganzen Stadtanlagen oder Kulturlandschaften wird das Verfahren durch die zentimetergenaue satellitengestützte Vermessung mittels GNSS ergänzt (Abb. 4).

Von den photogrammetrischen Verfahren wird am KDWT vorwiegend die Structure-from-Motion-Methode (SfM) eingesetzt, bei der aus einer Vielzahl von digitalen Bildern eines Objektes automatisiert eine 3D-Punktwolke berechnet wird, aus der bei Bedarf Orthophotos erstellt werden können. Die Stärke dieses Verfahrens für die Baudokumentation liegt darin, dass der Messsensor – also die Kamera – im Gegensatz zu allen anderen Verfahren sehr mobil ist. Kleine Objekte oder die Sockel von Bauwerken werden dabei aus der Hand fotografiert, für Objekte bis zu 8 m Höhe stehen am KDWT speziell adaptierte, handgeführte Hochstative zur Verfügung (Abb. 4), und für noch größere Höhen kommt ein professionelles UAV (Drohne) zum Einsatz (Abb. 1, 4), für dessen Betrieb das KDWT ebenfalls die technischen und personellen Ressourcen bereithält. Mit dieser Ausstattung ist die millimetergenaue Oberflächenerfassung in beliebiger Höhe und von Objekten beliebiger Größe möglich. Der fliegende Kamerasensor gestattet sogar die Vermessung von Bereichen, die aufgrund der Gerätestandorte mit den Verfahren der Tachymetrie und des Laserscanning nicht einsehbar sind. Für Türme und Fassaden ist das Verfahren damit die erste Wahl. Der terrestrische Laserscanner schließlich stellt vor allem in Innenräumen eine sinnvolle Alternative zur Photogrammetrie dar, da dort die durch den Gerätestandpunkt bedingten sichttoten Bereiche sich weniger gravierend als im Außenbereich auswirken und zudem der Aufwand für die Erstellung gleichmäßig belichteter Photos sehr hoch ist (Abb. 4). Für die Geometrieerfassung liefert das Laserscanning genauso zuverlässige Daten wie die Tachymetrie, für die Beurteilung von Oberflächenstrukturen ist sie aber der Photogrammetrie, die auf einer hochwertigen photographischen Dokumentation beruht, unterlegen.

Durch Ausbau der technischen Kompetenz am KDWT ist das fachlich fundierte, hohe Niveau der Bamberger Baudokumentation auch vor dem Hintergrund einer rasanten technologischen Entwicklung anschlussfähig, und damit werden bestehende Qualitätstandards für die Zukunft gesichert.

(Jürgen Giese)