

Hochauflösendes Laserscanning und Fotogrammetrie als Grundlage der Restaurierungs- und Objektplanung in der Denkmalpflege

Thomas Knepper¹, Dimitra Sidiropoulou², Jana Dietzsch², Michael Fielauf², Achim Krekeler^{2,*}

- ¹ bgis Kreative Ingenieure GmbH
- ² Krekeler Architekten Generalplaner GmbH
- * Korrespondenz: krekeler@krekeler-architekten.de

1. Einleitung

Die Dokumentation des baulichen Bestandes gehört zu den Grundlagen jedweder Arbeit am Denkmal. Als Hilfestellung, aber auch zur Schaffung einheitlicher Standards für die Erstellung einer Bestandsdokumentation, bieten die Landesdenkmalämter eine Vielzahl von Leitfäden und Arbeitshilfen für in der Denkmalpflege tätige Akteure. Das Brandenburgische Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum verweist dabei auf die "Arbeitsmaterialien zur Denkmalpflege in Brandenburg, Nr.1 bis 3". In den sogenannten "grauen Heften" werden die Anforderungen an eine Dokumentation in der Baudenkmalpflege (Nr. 1), der Gartendenkmalpflege (Nr. 2) und an die Dokumentation restauratorischer Leistungen in der Denkmalpflege (Nr. 3) formuliert.1 Die Darstellungsqualität wird zumeist in Abhängigkeit vom Denkmalwert mit Bezug auf die Genauigkeitsstufen von G. Eckstein (1999) definiert. Die Anforderungen an eine qualitätvolle Bestandsdokumentation aus Heft Nr. 1 beschreiben bis heute gültige Standards. Seit 2002 haben sich jedoch die digitalen Möglichkeiten weiterentwickelt und in der Praxis wächst das Spektrum an sich etablierenden, neuen Methoden -und Verfahren stetig weiter.

Im Büro Krekeler Architekten Generalplaner GmbH, welches sich auf das Bauen im Bestand und Denkmalpflege spezialisiert hat, gehört die Bestandsaufnahme seit der Gründung vor 27 Jahren zum Leistungsspektrum. Seitdem hat sich, wie für viele andere Büros auch, die Methodik der Baudokumentation verändert. So stellte in den frühen 1990er Jahren das Aufmaß mittels Theodolit und Schnurgerüst sowie Bleistiftzeichnungen auf Aluminiumkarton den gängigen Standard dar. Ab Ende der 1990er Jahre wurden erstmals Tachymeter eingesetzt.

Die Aufnahme von Fassaden erfolgte nun meist durch fotogrammetrische Auswertung; die zeichnerische Umsetzung in CAD-Programmen (CAD – engl.: Computer Aided Design). Vor mehr als fünf Jahren fand dann der erste Einsatz des Laserscannings statt. Zunächst nur als ergänzende Disziplin in der 3D-Planung, ist das Laserscanning inzwischen zum regulären Verfahren der Bestandsaufnahme bei allen Büroprojekten geworden.

Aufgrund der rasanten Entwicklung von Technik und Software wird das Aufmaß in vielen Büros inzwischen zumeist in die Hände von spezialisierten Dienstleister:innen gegeben. Im Falle vom Büro Krekeler Architekten Generalplaner übernimmt das Vermessungsbüro bgis kreative Ingenieure das Aufmaß sowie die Ausarbeitung von Planmaterial, wie zum Beispiel Zeichnungen und Bildpläne.

2. Workflow bei Einsatz von Laserscanning und Fotogrammetrie

Denkmalgeschützte Bauten stellen aus vermessungstechnischer Sicht häufig sehr stark strukturierte 3D-Objekte dar. Die Abbildung eines solchen Objektes kann mittels der Erfassung innerhalb eines sogenannten fotogrammetrischen Workflows erfolgen. Dazu wird eine 3D-Pointcloud (Punktwolke) oder ein texturiertes 3D-Mesh (Drahtgittermodell) erzeugt, welche die Basis für die Ableitung aller weiteren Planunterlagen und Bildpläne bilden. Für die Erfassung der Geometrien und Texturen des darzustellenden Objektes werden Multicopter, verschiedenste Digitalkameras sowie terrestrische Laserscanner und Tachymeter mit unterschiedlichen Spezifikationen eingesetzt.

Die angewandten Workflows eignen sich insbesondere für die Erfassung und Abbildung großer Objekte und Gebäude, die in der Regel viele verschiedene Entzerrungsebenen aufweisen. Abweichend von der herkömmlichen Aufnahme eines klassischen Messbildes wird bei einem fotogrammetrischen Scanning der Fokus nicht auf das Einzelbild gelegt. Im Mittelpunkt steht vielmehr die optimale Anordnung von vielen Einzelbildern. Nur wenn diese Bilder mit einer entsprechenden Überlappung fotografiert werden und das Objekt sehr gut umspannt ist, Ist es möglich, ein gutes und fast lückenloses 3D-Fotogrammetriemodell zu berechnen.

Grundsätzlich werden alle Bauteile und Elemente eines zu dokumentierenden Objektes in einem ersten Schritt mit einem terrestrischen Laserscanner aufgemessen. Die von der bgis eingesetzten Leica RTC360 Laserscanner liefern eine hohe Genauigkeit bei einem sehr geringen Punktrauschen in der Punktwolke. Die 3D-Punktgenauigkeit, bezogen auf das Gesamtobjekt, liegt dabei in der Regel unter 5 mm, wobei der Einzelscan eine Genauigkeit von unter 2 mm aufweist. Damit ist sichergestellt, dass mit dieser Methodik jede Art von Gebäudeobjekt erfasst werden kann. Für die weitere Optimierung und zur Genauigkeitsabschätzung der Punktwolke fließen Passpunkte, die mittels Tachymeter bestimmt werden, in die Berechnung ein. Damit ist si-



Abb. 1: Juleum Helmstedt, referenzierte Laserscanning-Punktwolke. Bild: bgis Kreative Ingenieure

chergestellt, dass für alle Genauigkeitsstufen und Maßstäbe das Laserscanning eingesetzt werden kann. Parallel dazu werden alle abzubildenden Bereiche in einem foto-

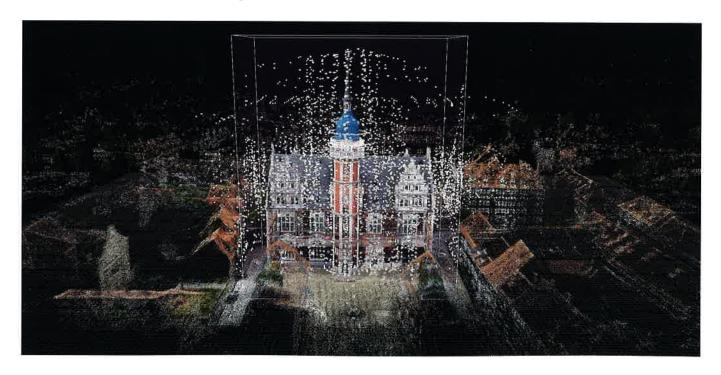


Abb. 2: Juleum Helmstedt, Referenzierung aller Digitalfotos in Fotogrammetrie-Software. Bild: bgis Kreative Ingenieure



Abb. 5: Juleum Helmstedt, verzerrungsfreie Beispielansicht, aus Fotogrammetrie-Software gerendert. Bild: bgis Kreative Ingenieure

wünschten Winkel ein verzerrungsfreies und geometrisch exaktes Orthobild abgeleitet werden kann (Abb. 5).

Im Anschluss werden aus den gerenderten Orthofotoansichten Strichzeichnungen erzeugt und die Messbilder optimiert. Im Fokus dieser Optimierung steht in der Regel die manuelle Nachbearbeitung aller Glasflächen. Insbesondere sehr stark spiegelnde Flächen werden im Rahmen der fotogrammetrischen Berechnung meist nicht geschlossen berechnet und daher im Bild fragmentarisch dargestellt. Diese Bereiche werden mittels Einzelbildentzerrung optimiert. Nach Abschluss aller erforderlichen Arbeitsschritte existiert eine komplette Wandansicht als verzerrungsfreies Messbild. Dieses Messbild kann anschließend als direkte Grundlage für die Ableitung von Strichzeichnungen genutzt werden. Eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Strichzeichnung und Messbild ist damit gegeben. Zur abschließenden zusätzlichen Kontrolle der absoluten Genauigkeit von den Strichzeichnungen und den Messbildern kann auf die Daten des Laserscannings zurückgegriffen werden. Mithilfe dieser Daten ist sichergestellt, dass das berechnete Modell metrisch der geforderten Genauigkeit entspricht.

Für die Planung durch Architekt:innen und Restaurator:innen wird dann ein klassischer Bildplan mit Gitterkreuzen oder Strichzeichnungen in den beauftragten Maßstäben übergeben. Im Falle des Juleum Helmstedt (siehe Abschnitt 3) dienten die an Krekeler Architekten Generalplaner übergebenen Pläne als Grundlage für eine Schadenskartierung.



Abb. 3: Juleum Helmstedt, hochaufgelöstes Drahtgittermodell nach Optimierung. Bild: bgis Kreative Ingenieure



Abb. 4: Juleum Helmstedt, vollständig texturiertes 3D-Mesh. Bild: bgis Kreative Ingenieure

grammetrischen Verfahren mittels digitaler Fotografie aufgenommen. Diese fotografische Erfassung dient als Grundlage für die Berechnung des 3D-Fotogrammetriemodells. Bei der Erfassung des Objektes erfordert die genaue Positionierung des Messgerätes/Laserscanners zum Objekt Erfahrung und höchste Genauigkeit, damit die eingesetzte Software erfolgreich ein 3D-Modell berechnen kann. Zudem sind Schattenwürfe bei der fotografischen Aufnahme der Geometrien nicht erwünscht, sodass die fotografische Erfassung bei diffusen Lichtverhältnissen erfolgen sollte.

Die Postproduktion bei der Berechnung des volltexturierten 3D-Mesh gliedert sich in zwei Hauptbestandteile. Die geometrische Grundlage liefert die 3D-Punktwolke des Laserscannings. Diese entsteht, indem die vor Ort aufgenommenen Einzelscans mit einer entsprechenden Software zueinander ausgerichtet und in einem einheitlichen Koordinatensystem registriert werden. Dieses Koordinatensystem kann ein örtliches, bauwerkbezogenes Modell oder aber ein Modell im jeweiligen Landessystem sein. Nach optimaler Registrierung aller Einzelscans in dem gewählten Bezugssystem entsteht als Ergebnis eine metrische Punktwolke (Abb. 1). Diese Punktwolke dient als Basis für die Ableitung von Strichzeichnungen und

als geometrische Grundlage für die nachfolgende fotogrammetrische Berechnung.

Die Punktwolke sowie alle digitalen Fotos des Objektes werden anschließend in die Fotogrammetrie-Software eingelesen. In dem ersten Berechnungsschritt, dem Alignment der Daten, erfolgt für alle Fotos die Definition der Lage und Ausrichtung im 3D-Raum. Dieser Berechnungsschritt zeigt in der Regel schon, ob die zu erfassende Geometrie optimal aufgenommen wurde (Abb. 2). Nach dem erfolgreichen Alignment wird die Rekonstruktion eines sehr hochaufgelösten 3D-Drahtgittermodells durchgeführt. Das möglichst lückenlose Ergebnis besteht in der Regel aus Millionen von Dreiecken, die das Modell sehr feingliedrig umspannen (Abb. 3). Nach der Optimierung des Geometriemodells erfolgt im letzten Berechnungsschritt die Texturierung jedes einzelnen Dreiecks mit den Objektfarben, die aus den digitalen Fotos abgeleitet werden. Abschließend wird ein komplettes und volltexturiertes 3D-Mesh des abzubildenden Objektes erzeugt (Abb. 4). Aus diesem 3D-Modell werden dann die für die Arbeit der Architekt:innen und Restaurator:innen notwendigen maßstäblichen Messbilder abgeleitet. Hierbei ist ein klarer Vorteil, dass für das gesamte Objekt aus jedem erforderlichen bzw. ge-

3. Laserscanning als Grundlage für die Restaurierungsplanung

Das Juleum bzw. Juleum Novum (Abb. 6), ein mehrgeschossiges Hörsaal- und Bibliotheksgebäude der ehemaligen Universität Helmstedt, wurde zwischen 1592 und 1612 errichtet. Nachdem die letzten Sanierungs- und Konservierungsarbeiten an dem aufwendig gestalteten Bau der Weserrenaissance inzwischen mehr als 30 Jahre zurückliegen, stand eine umfassende Sanierungsplanung an. Die bgis Kreative Ingenieure GmbH führte als Grundlage für diese Sanierungsplanung ein verformungsgerechtes Aufmaß durch, aus dem Ansichten und Bildpläne der Fassaden entstanden. Diese dienten in einem ersten Schritt als Basis für eine Schadenskartierung (Abb. 7).

Im Vorfeld der Kartierung wurden die zu untersuchenden Bauteile, hier die Fassaden, zunächst ganzheitlich betrachtet und die vorhandenen Schäden mithilfe bekannter Fachliteratur in einem Schadbildglossar erfasst.² Mit diesem Wissen konnten anschließend Fassadenbereiche als Grundlage der Schadenskartierung ausgewählt werden, welche die insgesamt am Objekt vorhandenen Schäden qualitativ und quantitativ exemplarisch abbilden. Im Fall des Juleums wurde die komplette Fassade inklusive der Dachflächen kartiert.

Eine Schadenskartierung kann mithilfe analoger und digitaler Hilfsmittel durchgeführt werden. Bei dem Projekt Juleum Helmstedt erfolgte die Erfassung der vorhandenen Schäden vor Ort auf Papier, die anschließende Auswertung digital. Dazu wurde die Fassade zunächst mithilfe eines über die Bildpläne gelegten Rasters in eine Vielzahl von Abschnitten unterteilt. Dies dient einer besseren Lokalisierung der Schäden und ermöglicht eine detaillierte Kartierung auch kleinteiliger Schadensbilder. Nach Ausgabe der Teilabschnitte in Papierform erfolgte die Handkartierung vor Ort am Objekt mittels Hubsteiger. Die Erfahrung aus diesem und weiteren Projekten zeigt, dass auf die handnahe Untersuchung des Bestandes auch bei Vorhandensein hochauflösender Messbilder nicht verzichtet werden kann - zu ähnlich sind einander teilweise die möglichen Schadensbilder, als dass eine klare Unterscheidung bei ausschließlicher Betrachtung am Bildschirm möglich ist.

Im Nachgang an die Schadenserfassung vor Ort erfolgte die Digitalisierung der Ergebnisse. Hierfür kam die Software metigo MAP der fokus GmbH Leipzig zur An-

wendung. Unter Verwendung eines Tablet-PCs vor Ort kann der Schritt der analogen Kartierung auch übersprungen und die vorhandenen Schäden direkt digital erfasst werden. Die Software stellt hierzu entsprechende Bedienoberflächen bereit.

Zur Erstellung der digitalen Schadenskartierung wird in der Software ein sogenanntes Projekt angelegt, in welches das hochauflösende Messbild als Hintergrund importiert wird. Wesentlicher Bestandteil der Nutzung von metigo MAP ist das Anlegen von Kartierungsklassen, die im Fall des Juleums den Schadensphänomenen entsprechen. Jeder Kartierungsklasse wird anhand der Eigenschaften des zugehörigen Schadensphänomens eine Signatur zugewiesen. Die Software ermöglicht Linienkartierungen (zum Beispiel für Risse), Flächenkartierungen (zum Beispiel für Verfärbungen), Vektorsignaturen (zum Beispiel für Fremdteile) und Variationen dieser durch unterschiedliche Linien- bzw. Schraffurtypen, Farbtöne sowie Linienstärken. Für die Schadenskartierung des Juleums Helmstedt wurden die Kartierungsvorgaben des Niedersächsischen Landesamtes für Denkmalpflege mit definierten Symbolen, Linien, Schraffuren und RAL-Farbtönen verwendet.3 Über eine umfangreiche Werkzeugpalette können die Schadensphänomene anschließend innerhalb der angelegten Kartierungsklassen sichtbar gemacht werden. Die Software ermöglicht somit eine schnelle und flexible Digitalisierung und spätere Bearbeitung der Kartierung. Das Endergebnis der Kartierung bildet nach Export in das DWG-Format und finaler Bearbeitung des Layouts mithilfe eines CAD-Programmes den Bildplan, der sowohl das Messbild als auch die Schadenskartierung enthält (Abb. 7). Optional kann die Kartierung in diesem letzten Schritt noch um weitere objekt- bzw. projektspezifische Informationen ergänzt werden.

Nach Fertigstellung der digitalen Kartierung können die entsprechenden Daten der Schadensklassen (Flächen, Längen, Anzahl) zusätzlich in Excel exportiert und zur Ermittlung der Mengen und Kosten genutzt werden. Werden an dem baulichen Bestand nur exemplarische Teilbereiche kartiert, zum Beispiel aufgrund der Erreichbarkeit oder der Objektgröße, können die von der Software ausgegebenen Daten ebenso als Grundlage für eine Mengenhochrechnung auf die gesamte Fassadenfläche dienen (Abb. 8).

Insbesondere bei einem mit Schmuckgiebeln reich verzierten Gebäude wie dem Juleum Helmstedt kann eine 2D-Kartierung an ihre Grenzen stoßen. Hinter-

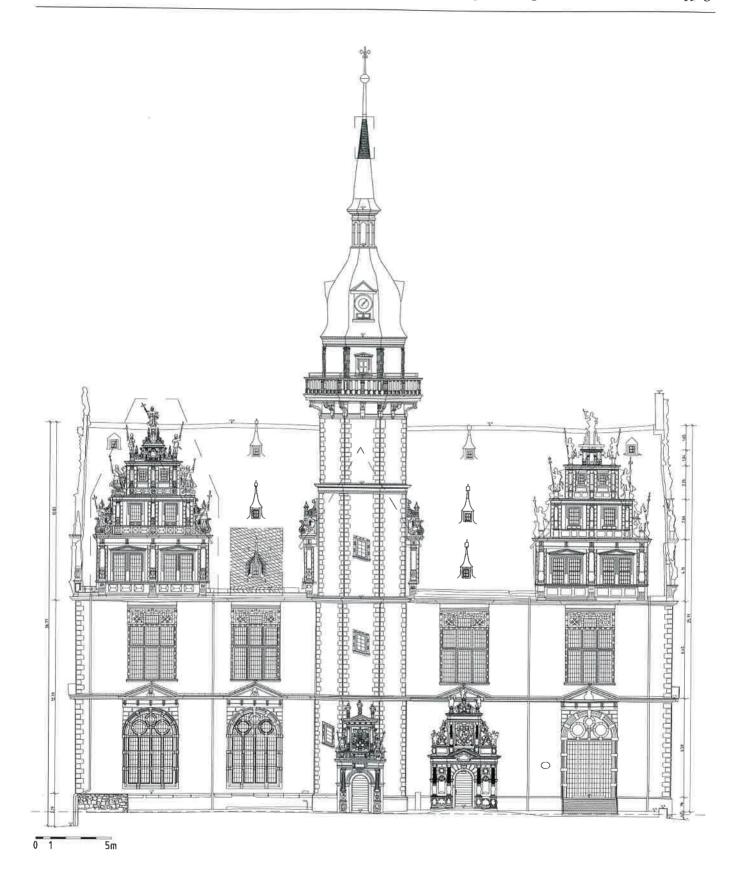


Abb. 6: Ansicht Juleum Südseite. Bild: Krekeler Architekten Generalplaner