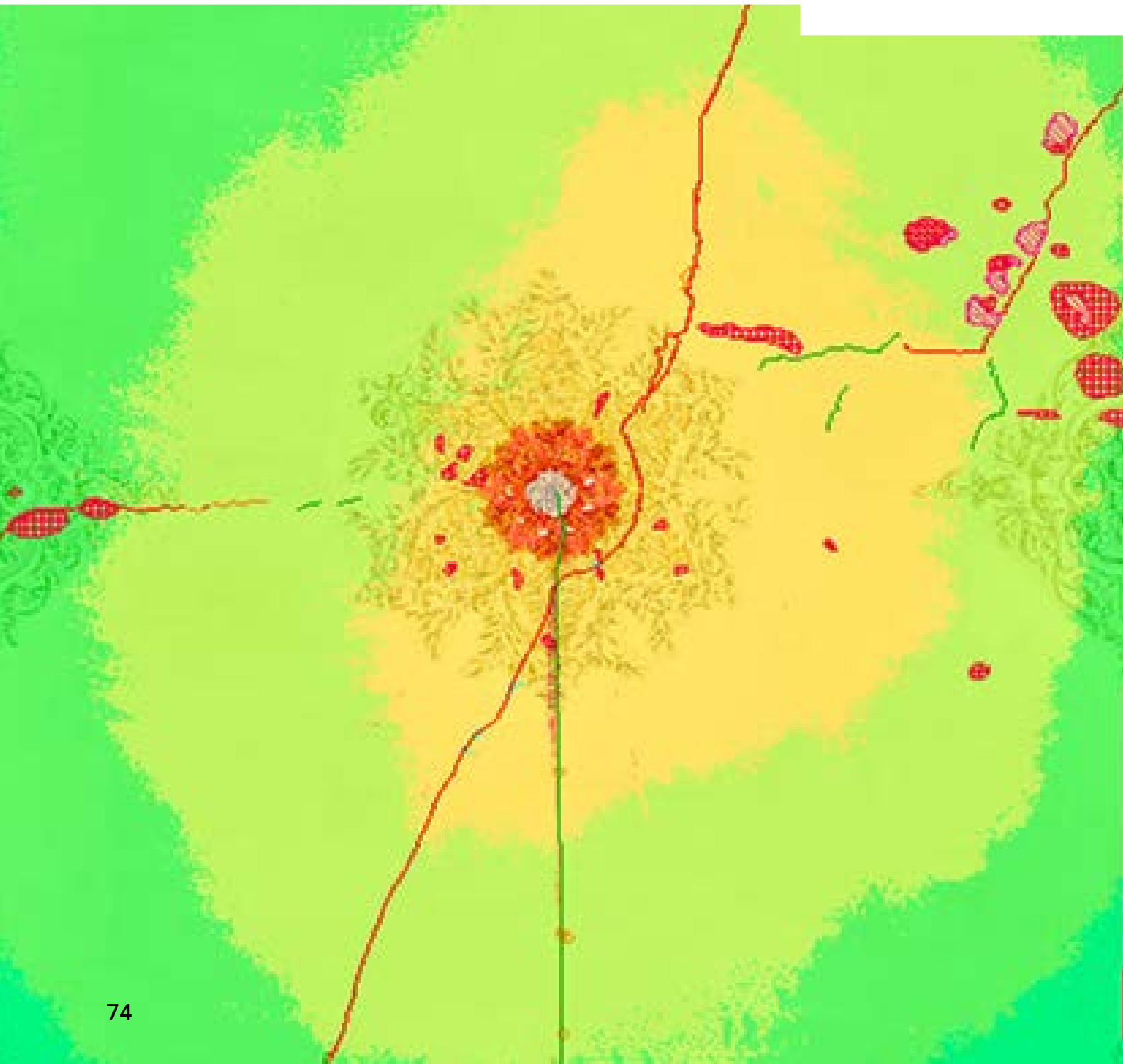


Dokumentation im Wandel der Zeit

Integration verschiedener Dokumentationsmethoden in den Prozess der Kartierung

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter



Dokumentation im Wandel der Zeit

Integration verschiedener Dokumentationsmethoden in den Prozess der Kartierung

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter

Die schnelle Entwicklung von Mess-, Kamera- und PC-Technik sowie digitale Auswertemethoden führen zu einer größeren Kluft zwischen den Dokumentationsfirmen, den Nutzern sowie den Auftraggebern dieser Leistungen. Wie kann man 2D-/3D-Dokumentationsergebnisse all-gemeingültig, unabhängig von aktuellen technologischen Entwicklungen und verschiedener Herangehensweisen der Restauratoren in die digitale Kartierung integrieren?

Hierfür muss man analysieren, wie historische Dokumenta-tionsergebnisse und sich ändernde Dokumentations-methoden gemeinsam übergreifend ausgewertet werden können. Seit 2000 werden Dokumentationsmethoden im Wandel der Zeit in die Software metigo® MAP integriert. Digitale Bildpläne stehen dabei im Vordergrund und stellen eine Alternative zu CAD-Plänen dar. Das Ergebnis verbind-et die fotografische Dokumentation mit exakter Geo-metrie. So können historische Aufnahmen gemeinsam mit heutigen Zustandsdokumentationen aus verschiedenen Spektralbereichen deckungsgleich und maßstabsgerecht ausgewertet werden. 3D-Dokumentation wie texturierte Oberflächenmodelle oder 3D-Laserscanning können importiert, 3D ausgewertet und über Orthoprojektionen mit den vorhandenen 2D-Daten zusammengeführt werden. Der Anwender kann sich für die Kartierung sein Projekt mit Kartierungsthemen anlegen und in Gruppen kombinieren. Bei großen Restaurierungsvorhaben können Projekte in einer Objekthierarchie verwaltet und übergreifend ausge-wertet werden. An Projektbeispielen wird die Zusammen-führung von Dokumentationen aus mehreren Zeiträumen und mit verschiedenen Dokumentationsmethoden dar-gestellt, um Zustandsveränderungen und Restaurierungen zu veranschaulichen.

Bei der Dokumentation von Objekten im Wandel der Zeit treten unterschiedliche Fragestellungen auf. Mit diesem Beitrag finden wir keine allgemein gültigen Antworten und geben keinen Entscheidungsleitfaden für Dokumentations-projekte. Dafür sind die Objekte, Ausgangssituationen, tech-nischen Möglichkeiten, finanziellen Ausstattungen usw. zu unterschiedlich. Aber für neue Dokumentationsprojekte können die Inhalte dieses Artikels verschiedene Aspekte aufzeigen, welche zu berücksichtigen sind und hinterfragt werden wollen.

Documentation in the course of time

Integration of various documentation methods into the mapping process

The rapid development of surveying, imaging and computing technology as well as digital evaluation methods is widening the gap between the documenting companies, the users and the clients of these services. How can 2D-/3D documentation outcomes be integrated into digital mapping in a manner that is universally valid, regardless of current developments in technology and the different approaches of conservators?

To achieve this, it is necessary to analyse how the results of previous documentation and the changing documentation techniques can be evaluated together and universally. Documentation techniques that have undergone changes over time have been integrated into the metigo® MAP software since 2000. The focus lies on digital image plans, which represent an alternative to CAD plans. The result combines photographic records with accurate geometry. This means that historical images can be analysed together with the current condition records covering a broad variety of spectral ranges in a consistent and true-to-scale manner. 3D documentation such as textured surface models or 3D laser scanning can be imported, analysed in 3D and combined with the existing 2D data using orthogonal projections. Users create their mapping projects using mapping topics and combining them in groups. For large conservation projects, the user can manage their projects in an object hierarchy and analyse them comprehensively. Project examples are used to illustrate the combination of documentation from different periods and with varying documentation methods in order to visualise the changes in condition and conservation work.

Qualitätsparameter zur Auswahl und Bewertung von Dokumentationsmethoden

Aufgabe einer jeden fotogrammetrischen Dokumentation ist die objektive maßstabsgerechte Erfassung/Darstellung des Objektes. Die eingesetzten Methoden und Werkzeuge spielen dafür eine untergeordnete Rolle.

Je nach Aufgabenstellung am Objekt müssen die erforderliche Detailauflösung (Pixelgröße am Objekt) abhängig von Bildmaßstab und Bildauflösung und die Herstellungsgenauigkeit vorgegeben werden, damit der nachfolgende Anwender (Architekt, Fachplaner, Restaurator, ausführende Firma) seine eigene grafische/maßliche Auswertung und inhaltliche Interpretation vornehmen kann.¹

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über erforderliche Qualitätsstufen bei der Beauftragung von Dokumentationsleistungen in Abhängigkeit von Anwendungsgebieten sowie Materialbereichen in der Restaurierung (Abb. 1). Die Unterscheidung von 2D- und 3D-Dokumentationsverfahren spielt hierbei keine Rolle.

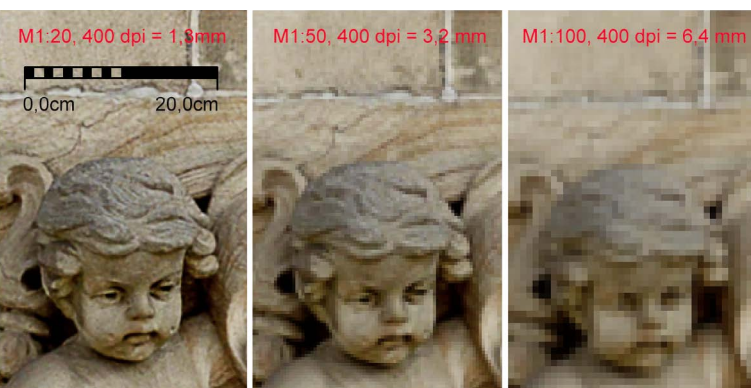
1 Übersicht über die erforderliche Detailauflösung in Abhängigkeit von Anwendungsgebieten, Detailauflösung (Pixelgröße am Objekt) bei 400 dpi und 200 dpi

Auswertegenauigkeit in Abhängigkeit des Bildmaßstabes (0,5 mm x Bildmaßstab)

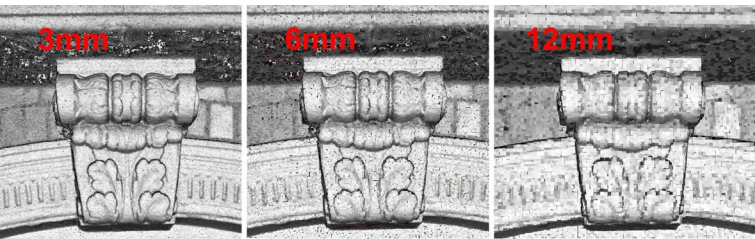
Fachrichtung	1:1	1:2	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100
Pixelgröße 400 dpi	0,06 mm	0,13 mm	0,32 mm	0,63 mm	1,3 mm	3,2 mm	6,3 mm
Pixelgröße 200 dpi	0,13 mm	0,25 mm	0,63 mm	1,3 mm	2,6 mm	6,3 mm	12,7 mm
Genauigkeit	0,5 mm	1,0 mm	2,5 mm	5,0 mm	1,0 cm	2,5 cm	5,0 cm
Architekten/Gutachter					X	X	X
Bauforschung			Detail	steingerecht Detail	steingerecht	allgemeine Übersichten	
Feldarchäologie			Gräber, andere Details	Profile, Ansichten Gräber	Pläne		
Restaurierung	1:1	1:2	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100
Stein				X	X	X	
Wandmalerei/ Stuck			X	X	X		
Holz/Objekte		X	X	X			
Gemälde/Textil/Papier	X	X	X				

Die erforderliche Detailauflösung im Bildplan wird traditionell über Bildauflösung und Bildmaßstab definiert, woraus sich die metrische Größe eines Pixels am Objekt berechnen lässt. Für den Anwender ist es einfacher, über die resultierende Pixelgröße am Objekt abzuschätzen, welche Bildauflösung oder welcher Bildmaßstab für die Dokumentation von Materialien, Fugen, Schäden, Bearbeitungsspuren, Ergänzungen, Restaurierungsmaßnahmen usw. benötigt wird (Abb. 2).

Bei 3D-Dokumentationsverfahren wie Terrestrisches Laserscanning (TLS) oder Structure from Motion (SfM) kommt mit dem Punktabstand zur Definition der geometrischen Abbildungsauflösung der Objektoberfläche ein neuer Qualitätsparameter hinzu. Hierbei gibt es bei der Steuerung des Prozesses zur Generierung der Punktwolke erhebliche Unterschiede. Im TLS erfolgt die Erfassung der Objektoberfläche über mehrere Scanstandpunkte mit einer für die automatisierte Orientierung gewollten Überlappung der Scandaten. Über die technischen Parameter des Laserscanners, die Standpunkt Konfiguration, tachymetrische Messungen von Referenzpunkten sowie die Fehlerprotokolle der Orientierungssoftware lässt sich die Genauigkeit der Objekterfassung gut abschätzen und kontrollieren.



2 Qualitätsparameter Bildmaßstab und Bildauflösung bei 2D-Bildverzerrung, Abwicklung bzw. Orthoprojektion, Detailauflösung bei Naturstein in Abhängigkeit vom Bildmaßstab 1:20, 1:50, 1:100 bei 400 dpi Bildauflösung



3 Qualitätsparameter Punktabstand bei 3D-Laserscanning

verschmolzene, gefilterte und über Voxelgröße projektabhängig ausgedünnte Punktwolke mit 0,3 mm, 0,6 mm und 12 mm Punktabstand

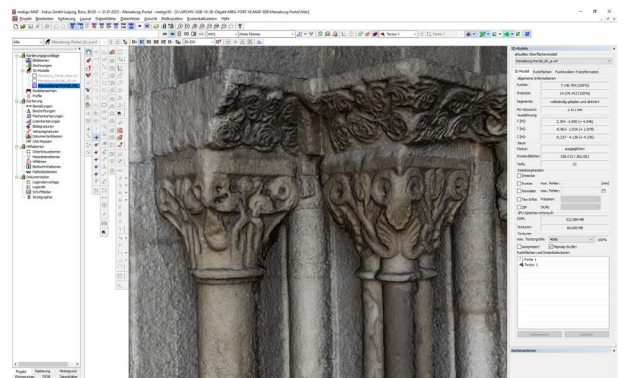
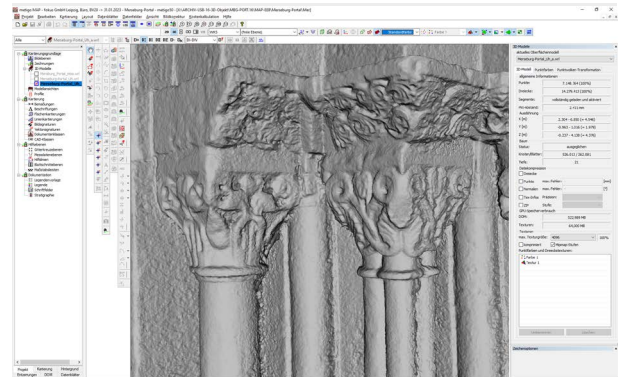
(Hamburg, Hulbe-Haus, Digitale Bildpläne 1:10, 3D Laserscanning als Referenz, 2019)

Abschließend werden die Scandaten zu einer Punktwolke verschmolzen und durch den Anwender auf einen objektbezogenen Punktabstand (Voxelgröße) ausgedünnt, was zu einer enormen Datenreduktion führt (Abb. 3). Die durch die Überlappung resultierenden Mehrfachmessungen werden dabei eliminiert und Ausreisser gefiltert. Prinzipiell ist bei Messstrecken von 10–20 m eine geometrische Objektauflösung von 2–3 mm Punktabstand erreichbar. Bekannte Probleme beim Scannen sind spiegelnde Oberflächen (Spiegel, Wasser), ungenaues Messverhalten an Ecken und Kanten.

Beim SfM-Verfahren kann neben der Punktwolke in der weiteren Auswertung auch ein texturiertes Oberflächenmodell als Ergebnis vorliegen. Dazu wird zuerst die Punktwolke trianguliert. Dann wird die Farbinformation der Ausgangsbilder als Textur auf das Oberflächenmodell gelegt (Abb. 4). Dieser Vorgang erfolgt in einem automatisierten Prozess, in dem der Nutzer indirekt die Texturauflösung, die Bildauswahl und die zu verwendenden Bereiche im Bild für die Texturierung steuern kann. Die Farbanpassung der Bilder und die Zuordnung der Textur – welcher Bereich im Modell mit welchem Bild texturiert wird – erfolgen automatisiert.

Ein großer Vorteil des SfM-Verfahrens ist die Möglichkeit, beliebige Auflösungen hinsichtlich 3D-Struktur und Bildtextur in Abhängigkeit der bereitgestellten Bildauflösung erreichen zu können. So können kleine Objekte, wie Münzen, Siegel, Reliefs, aber auch große Objekte, wie Fassaden, Stadtmauern, Gewölbe, mit diesem Verfahren bearbeitet werden.

Nachteilig ist, dass bei unzureichender Bildauflösung, ungünstiger Aufnahmeconfiguration und homogenen oder spiegelnden Oberflächen die Matchingalgorithmen zu fehlerbehafteten Ergebnissen führen. Die daraus resultierenden Fehler in der 3D-Objektoberfläche und die damit verbundenen Ungenauigkeiten in der Objekttextur haben zum Teil unbefriedigende Dokumentationsergebnisse zur Folge, die speziell für eine Zustandserfassung innerhalb der Restaurierungsdokumentation unbrauchbar erscheinen.



4 Qualitätsparameter Punktabstand und Texturauflösung bei SfM

oben: geometrische Auflösung ca. 2–3 mm;
 mittig: Texturqualität für Orthoprojektion 1:20 bei 400 dpi;
 unten: Ausgangsbild für SfM als Fotografische Dokumentation mit Bildauflösung ca. 1:10 bei 400 dpi

(Merseburg, Neumarktkirche St. Thomae, Portal, 3D-Objektdokumentation (SfM), 2016)

Aspekte zur Auswahl von Dokumentationsmethoden

Bei der Auswahl der Dokumentationsmethode zum aktuellen Projekt werden die Weichen für die mögliche oder unmögliche Kombinierbarkeit mit bereits vorhandenen historischen Dokumentationen und etwaigen zukünftigen Dokumentationen gestellt. Die hier zu prüfenden Fragen sind dabei sehr verschieden:

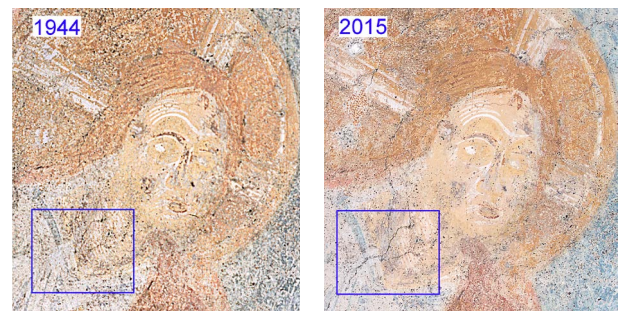
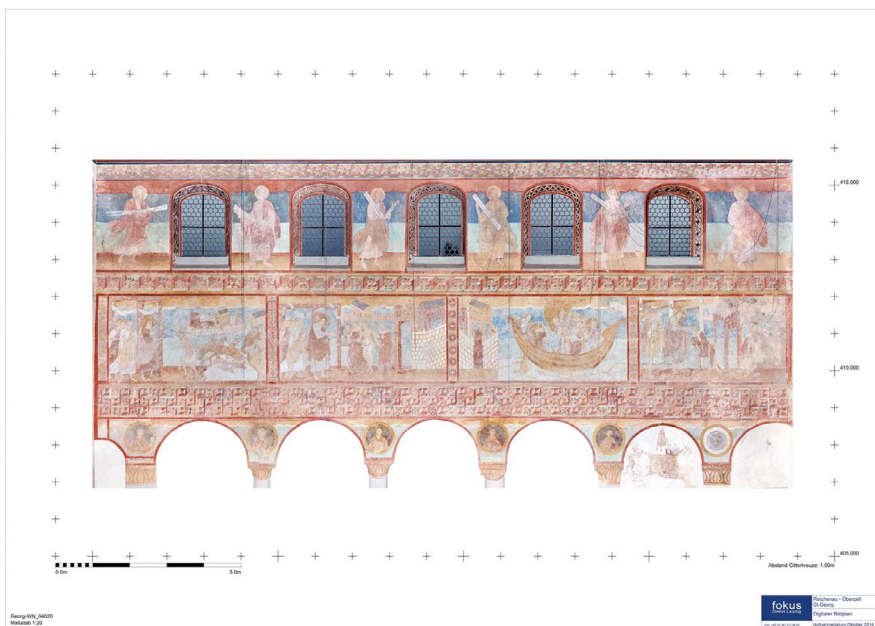
- analog oder digital
- maßstäblich oder unmaßstäblich
- Auswahl der Dokumentationsmethode für die Kartierungsgrundlage
- Qualitätsparameter für die Dokumentation
- vektorbasierte Kartierung oder pixelbasiert in Bildverarbeitungssoftware
- 2D- oder 3D-Kartierung
- Aspekte der Mengenermittlung für die Restaurierungsplanung und Abrechnung
- Sinnhaftigkeit/Wiederholbarkeit des finanziellen Aufwands der Dokumentation für die Voruntersuchung/Dokumentation/Monitoring?

Die Fragestellung, ob aktuelle Dokumentationsprojekte analog oder digital, maßstäblich oder unmaßstäblich erstellt werden oder im Bildverarbeitungsprogramm kartiert werden sollen, ist aus Sicht der Autoren heute nicht mehr zeitgemäß. Aber wenn wir Dokumentationen von vorangegangenen Restaurierungsprojekten integrieren wollen, ist bei der Auswahl der Dokumentationsmethode zu prüfen, inwieweit man diese historischen Dokumentationen integrieren will und kann.

2D-Bildentzerrung

Wird die Objektoberfläche durch eine hinreichend genaue Ebene beschrieben, kann die 2D-Bildentzerrung angewendet werden. Hierbei werden am Objekt gemessene Strecken sowie die Informationen der Objektgeometrie (Rechteck, parallele Linien) benötigt. Alternativ dazu ist die Bildentzerrung mit Koordinaten (Messung der Koordinaten in vorhandener CAD-Zeichnung bzw. skaliertes Planvorlage, Messung von 3D-Koordinaten mit Tachymeter oder Laserscanner) möglich.²

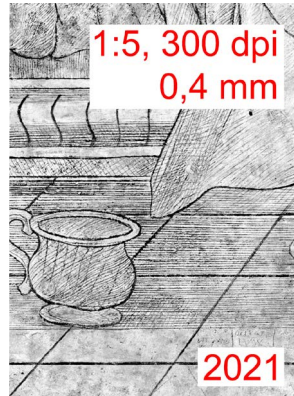
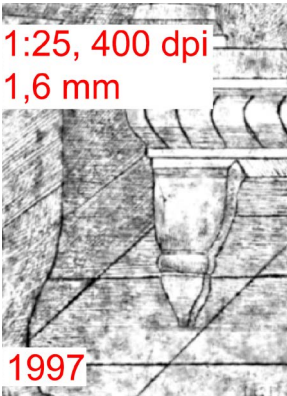
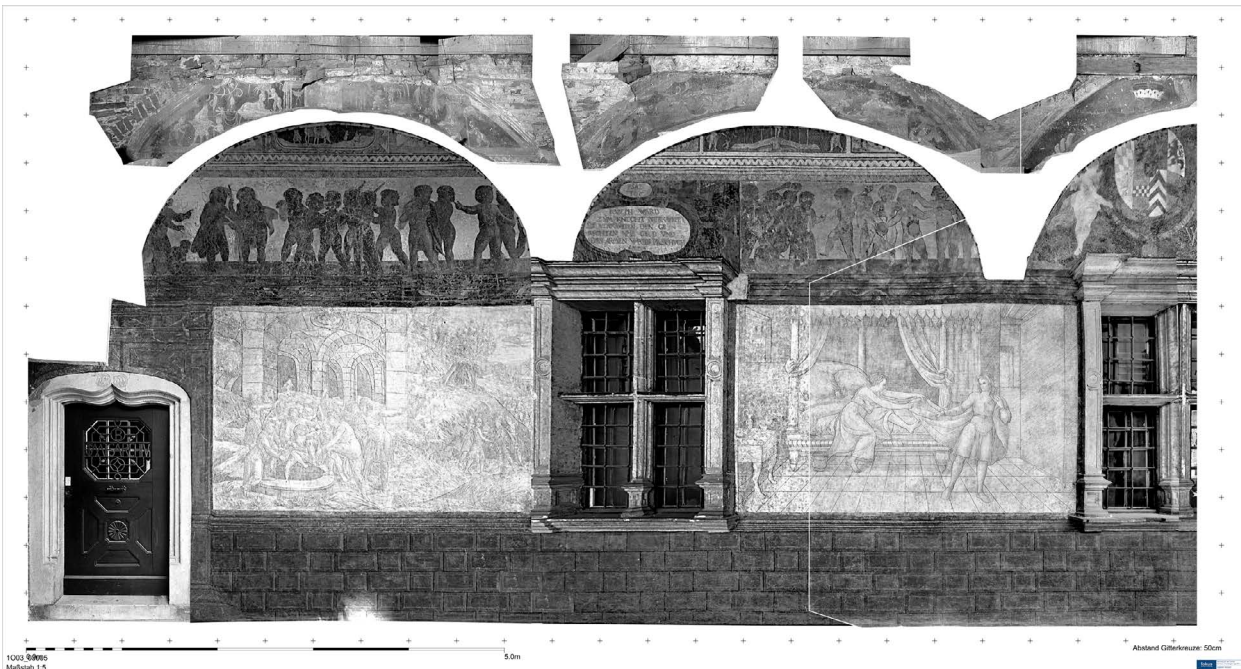
In Abhängigkeit der verwendeten Software können Detailaufnahmen, historische Dokumentationen oder spektrale Aufnahmen mittels Matching von identischen Bildpunkten in Subpixelgenauigkeit passgenau entzerrt werden. Voraussetzung dafür ist ein bereits vorhandener maßstabsgerechter Bildplan als Referenz (Abb. 5).



5 Dokumentation Wandmalerei mit 2D-Bildentzerrung

links: Bildplan Nordwand, 1:5 bei 300 dpi;
 oben: Veränderung Rissverlauf zwischen 1944 und 2015
 1944 – Detail aus Bildplan 1:5 – Farbdiagramm „Führerauftrag
 Monumentalmalerei“ ZIKG-München
 2015 – Detail aus Bildplan 1:5 – Zustandsdokumentation 2014

(Reichenau, Kirche St. Georg, Dokumentation Wandmalerei, Bildpläne 1:5 bei 300 dpi, 2014)



6 Digitalisierung historischer fotografischer Dokumentationen

oben: Segment Bildplan Sgraffito Hoffassade, 1:25 bei 400 dpi;

links: Gegenüberstellung Detail aus Bildplan 1997 – Digitalisierung 4 x 5 Inch Negativ mit Kodak-Photo CD, 6.000 x 4.000 Pixel Scanauflösung 2021 – Digitalisierung 4 x 5 Inch Negativ mit Phase One IQ4, 12175 x 9854 Pixel Scanauflösung

(Neuburg, Schloss, Sgraffito Hoffassade, Bildplan 1:25 bei 400 dpi, 1997)

Bei der Integration vorhandener analoger Bilddokumentationen ist immer auf eine verlustfreie Digitalisierung der vorliegenden Negative und Papierabzüge zu achten. Wenn möglich sollten hochauflösende Scans von 1800 bis 2400 dpi mit Präzisionsscannern direkt vom Original – Glasplatten, Film oder Sicherungsverfilmungen – angefertigt werden. Wenn keine Negative zur Verfügung stehen, können auch Papierabzüge oder alte Lichtdrucke mit 800 bis 1200 dpi gescannt werden.³

Speziell in der Zeit von 1990 bis 2010 wurden viele hochwertige fotografische Restaurierungsdokumentationen mit analogen Kameras durch Mittel- und Großformat-Aufnahmen erstellt und mit den damaligen technischen Möglichkeiten digital ausgewertet. Hier lohnt es sich zu prüfen, zu welchem Zeitpunkt die bereits vorhandenen Digitalisierungen und fotogrammetrischen Auswertungen erstellt wurden und inwieweit eine erneute digitale Auswertung mit den heutigen Möglichkeiten (Leistungsparameter von PC und Scann-Technik) sinnvoll ist (Abb. 6).

Dokumentation von dreidimensionalen Oberflächen in 2D oder 3D?

Bei dreidimensionalen Objektoberflächen steht zu Beginn die Frage, ob auf einem 2D-Bildplan oder einem texturierten 3D-Oberflächenmodell kartiert werden soll. In welchem Umfang können beispielsweise an einer Decke perspektive Abbildungsfehler von Stuckornamentik akzeptiert werden, wenn dadurch mit einer einfachen 2D-Bildverzerrung eine höhere fotografische Abbildungsqualität bei einem deutlich geringeren Aufwand erreicht werden kann. Umgekehrt lässt sich fragen, ob mit dem SfM-Verfahren eine hinreichende Geometrie- und Texturqualität erreicht werden kann, die den Anforderungen einer Kartierungsgrundlage für eine restauratorische Zustandsdokumentation entspricht.

Auf Grund der oft fehlenden Wiederholgenauigkeit bei Erstellung von 3D-Objektdokumentationen mittels SfM-Verfahren lassen sich mehrere 3D-Oberflächenmodelle, welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfasst und erstellt wurden, nur schwer miteinander kombinieren. Alternativ dazu können seit 2019 mehrfach texturierte Oberflächenmodelle durch die fokus GmbH Leipzig als Dienstleistung erstellt und in metigo® MAP ausgewertet werden.⁴ Dabei wird die Geometrie der Oberfläche nur einmal in guter Qualität erfasst, aber mehrere Texturschichten mit unterschiedlichen Bilddokumentationen werden für dieses eine Oberflächenmodell erstellt.

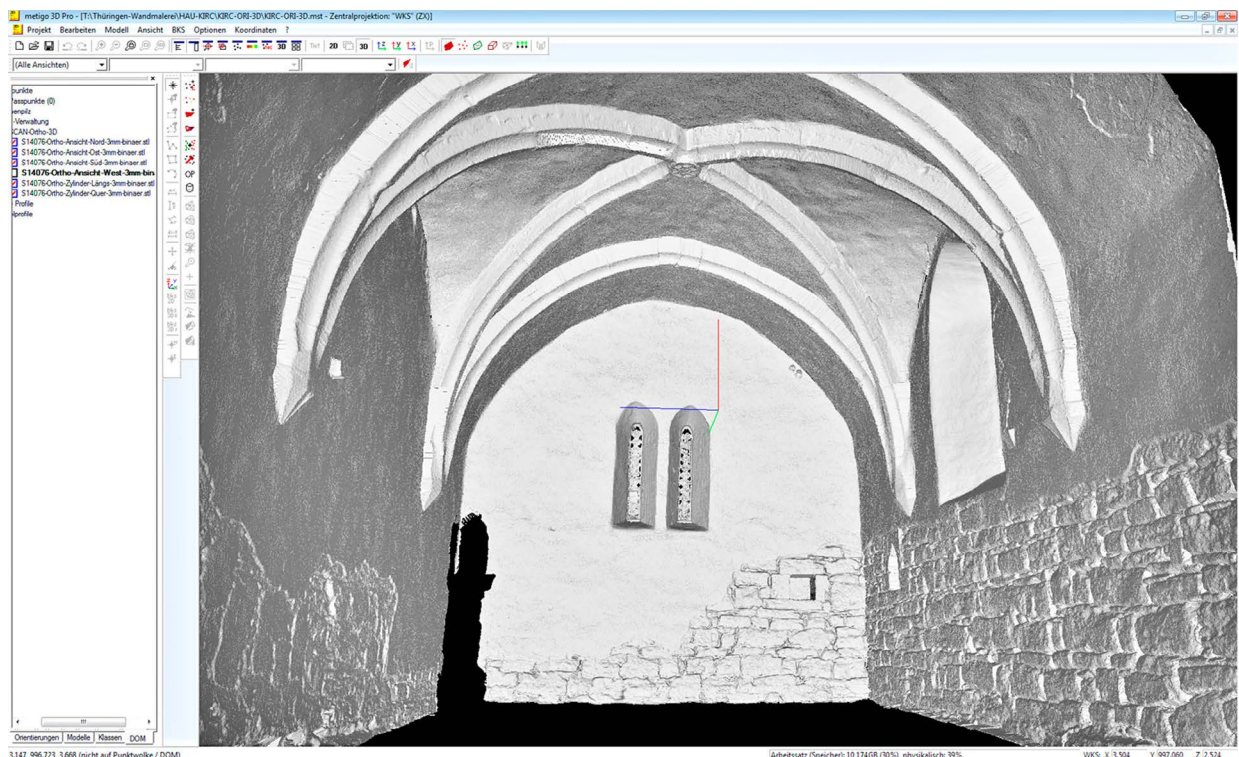
Fallbeispiel 1: Für große Gewölbeoberflächen im Bereich Wandmalerei mit einer Vielzahl von vorhandenen, historischen Dokumentationen empfiehlt sich eine 2D-Projektion der 3D-Oberfläche. Somit können die verschiedenen Daten miteinander kombiniert werden, wobei gleichzeitig die großen Datenmengen im Zweidimensionalen leichter zu verarbeiten sind.

Fallbeispiel 2: Traditionell werden für Skulpturen vier bis acht Ansichtsfotos erstellt, welche zum Beispiel etwa auf eine einheitliche Höhe skaliert werden. Für ein Monitoring von Skulpturen im öffentlichen Raum ist diese Art der Dokumentation zu einem bestimmten Zeitpunkt nur so lange geeignet, wie es dabei keine größere Änderung des Zustandes gibt. Sobald eine neue fotografische Dokumentation erforderlich ist, wird die Kartierung wieder neu begonnen, weil es schwierig ist, die Aufnahmeconfiguration zu wiederholen. Dazu gehören Kamerastandpunkt und Aufnahmerichtung, Sensorgröße, Objektiveneigenschaften (Brennweite, Verzeichnung). Hier wäre die Anwendung des SfM-Verfahrens in Kombination mit 3D-Kartierung langfristig sinnvoll, weil bei Bedarf die Oberflächentextur erneuert oder mit einer Wiederholgenauigkeit von 2–3 mm ein neues texturiertes Oberflächenmodell erstellt werden kann. Eine Fortsetzung der Kartierung ist langfristig möglich.

7a 3D-Orthogonalprojektion der Ausmalung des Gewölbes auf Abwicklungsgeometrie

3D-Ansicht Triangulation
3D-Laserscan;

(Haufeld, Kirche,
Dokumentation Wandmalerei,
1:10, 2014)

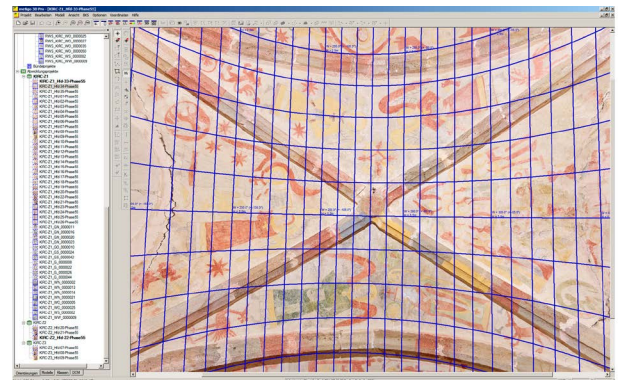


3D-Orthogonalprojektion von Bilddaten auf Projektionsgeometrie

Bei diesem Verfahren werden fotogrammetrisch orientierte Einzelaufnahmen bei gleichzeitiger Korrektur über ein vorhandenes trianguliertes Oberflächenmodell (TLS/SfM mit 2–3 mm Punktabstand) auf eine Objektebene, einen Zylindermantel oder eine Profilabwicklung orthogonal projiziert (Abb. 7). Diese Vorgehensweise ist insbesondere für die hochauflösende Dokumentation im Bereich Wandmalerei interessant. Die aufgrund der geforderten Detailauflösung im Bereich 1:5/1:10 anfallenden Bilddaten lassen sich zum heutigen Zeitpunkt nicht effektiv auf einem triangulierten Oberflächenmodell abbilden.⁵

Die bei der Projektion aller Einzelaufnahmen entstehenden 2D-Bildmontagedateien können mit den Möglichkeiten einer professionellen Bildverarbeitungssoftware manuell nachbearbeitet werden. Dies führt zu einer hohen Ergebnisqualität, bedeutet aber im Vergleich zum automatisierten SfM-Verfahren auch einen erhöhten Arbeitsaufwand.

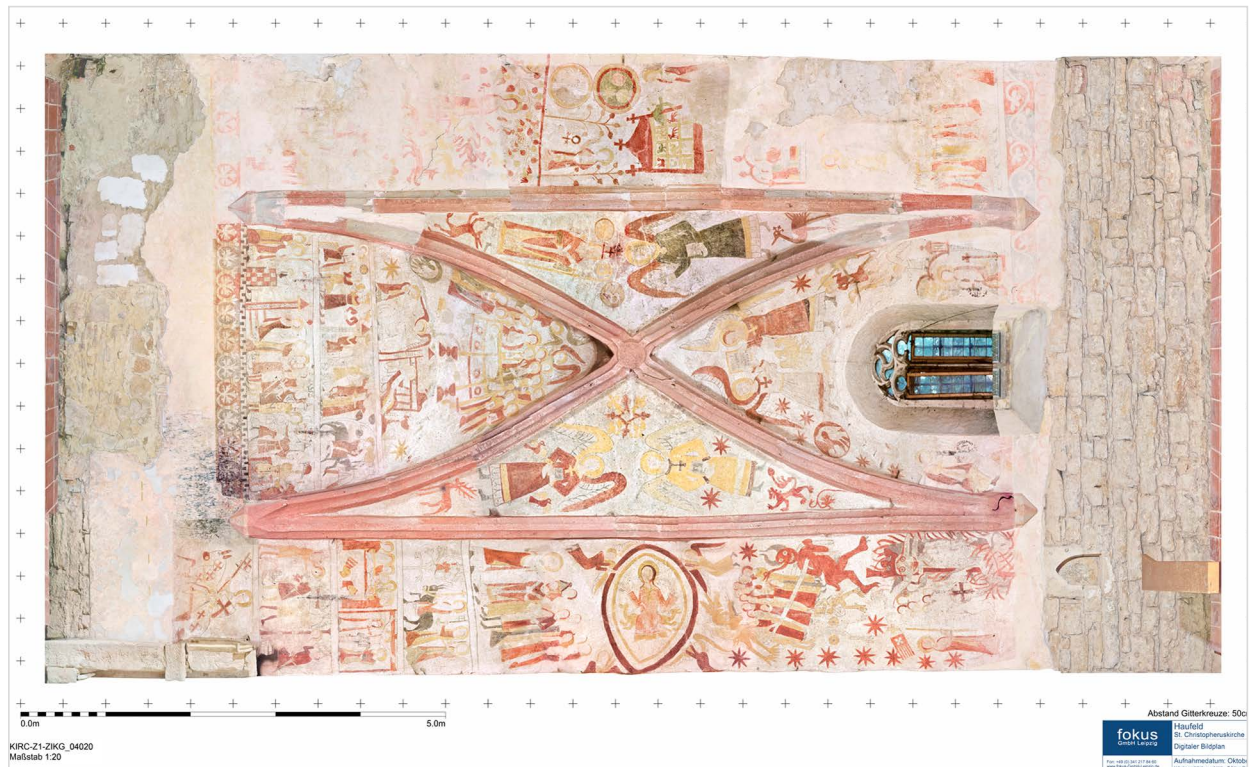
Ein großer Vorteil ist, dass sich auf diesem Wege beliebige Fotodokumentationen aus verschiedenen Zeiträumen in unterschiedlicher Qualität und mit verschiedenen Abbildungsinhalten in einem Kartierungsprojekt maßstabsgerecht und deckungsgleich kombinieren und übergreifend auswerten lassen.



7b 3D-Orthogonalprojektion der Ausmalung des Gewölbes auf Abwicklungsgeometrie

oben: Visualisierung Abwicklungsgeometrie im fotogrammetrisch orientierten Bild;
unten: Bildplan Abwicklung mit Orthoprojektion 1:10, Überlagerung Dokumentation 2014 mit Farbdias ZIKG München 1944

(Haufeld, Kirche, Dokumentation Wandmalerei, 1:10, 2014)

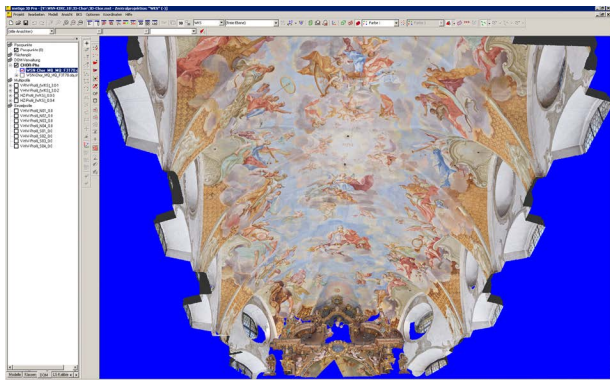


3D-Objektdokumentation als texturiertes Oberflächenmodell

Die Kunst bei der Anwendung des SfM-Verfahrens besteht darin, dass man am besten vorher weiß, wo man es lieber nicht anwenden sollte. Das wären beispielsweise stark strukturierte Oberflächen mit Hinterschneidungen, homogene Farbflächen, stark reflektierende oder durchscheinende Oberflächen (Metalle, Marmor, Porzellan), starke Verschmutzungen, Verdeckungen (Spinnennetze, Sicherungsnetze).

Prinzipiell kann man mit fotografischer Erfahrung und einem erhöhten technischen Aufwand (Beleuchtung, Polarisationsfilter, Kamerakonfiguration, Bildanzahl, Bildauflösung, Bildhintergrund) viele dieser genannten Probleme lösen, muss dann aber auch immer die Wirtschaftlichkeit hinterfragen.

Im Bereich Wandmalerei empfehlen wir den Einsatz vom SfM-Verfahren nur bei einer guten Farbstruktur der Objekt-oberfläche, einer einfachen gliederungsarmen Oberfläche (kein Stuck, keine Gewölberippen) sowie einer begrenzten Objektgröße, die in allen Fällen eine homogene Ausleuchtung erlaubt (Abb. 8).



Es gibt aber auch eine Menge Anwendungsgebiete, wo man mit SfM im Bereich der Restaurierung gute Dokumentationsgrundlagen erstellen kann. Exemplarisch zu nennen sind hier Objekte im großmaßstäbigen Bereich (1:1 bis 1:10) wie Siegel, Münzen, keramische Fundstücke, Skulpturen, Architekturfragmente, Grabsteine. Setzt man für solche Objekte eine DSLR-Kamera mit Vollformatsensor und Sensorauflösung von mindestens 24 MPix ein, kann man bedingt durch die Objektgröße Bildauflösungen im Submillimeterbereich erhalten und durch Sichtbarkeit der Feinstruktur im Material beim Matching gute Ergebnisse erzielen.

Virtuelle Präsentation von 3D-Objektdokumentationen

Kommen bei Dokumentationsprojekten die Verfahren TLS oder SfM zum Einsatz, können die dabei entstehenden 3D-Daten (verschmolzene Punktwolke oder texturiertes Oberflächenmodell) auch für die virtuelle Betrachtung verwendet werden. Denkbare Anwendungsfälle sind aus unserer Sicht beispielsweise die Objektpräsentation für die Öffentlichkeitsarbeit in Museen oder aber der gemeinsame Erfahrungsaustausch und die Interpretation von Zustandsdokumentationen unter Restauratoren auch aus der Ferne.⁶ Wenn SfM-Daten vorhanden sind, kann die Möglichkeit einer öffentlichkeitswirksamen Präsentation ein gutes Argument für eine 3D-Kartierung sein.



8 3D-Objektdokumentation mit SfM, Ausmalung Gewölbe

links: 3D-Ansicht texturiertes Oberflächenmodell;
rechts: Abwicklung Chorgewölbe im Maßstab 1:10;
unten: Detail aus Abwicklung Chorgewölbe im Maßstab 1:10;

(Weissenau, Klosterkirche St. Peter und Paul, Dokumentation Raumfassung 1:5/1:10, 2018)

Aspekte der Kartierung

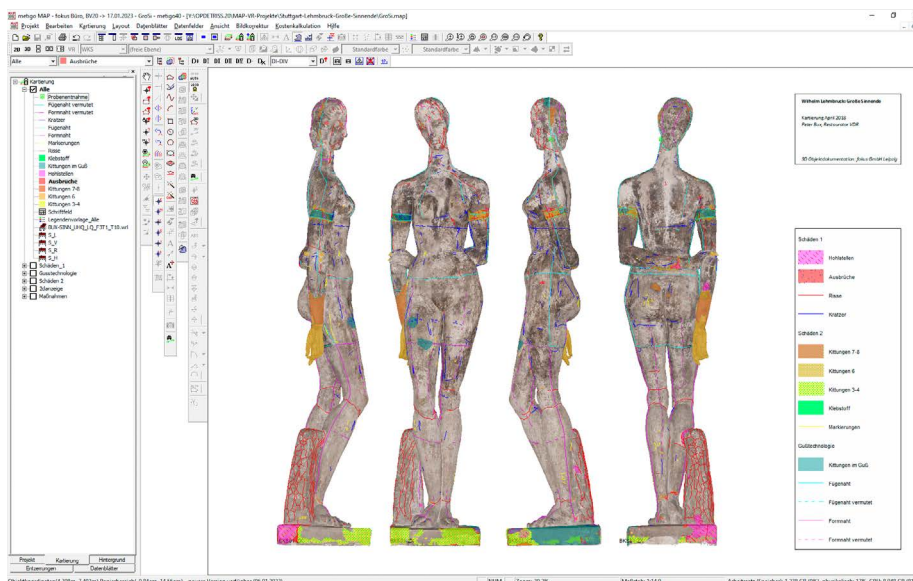
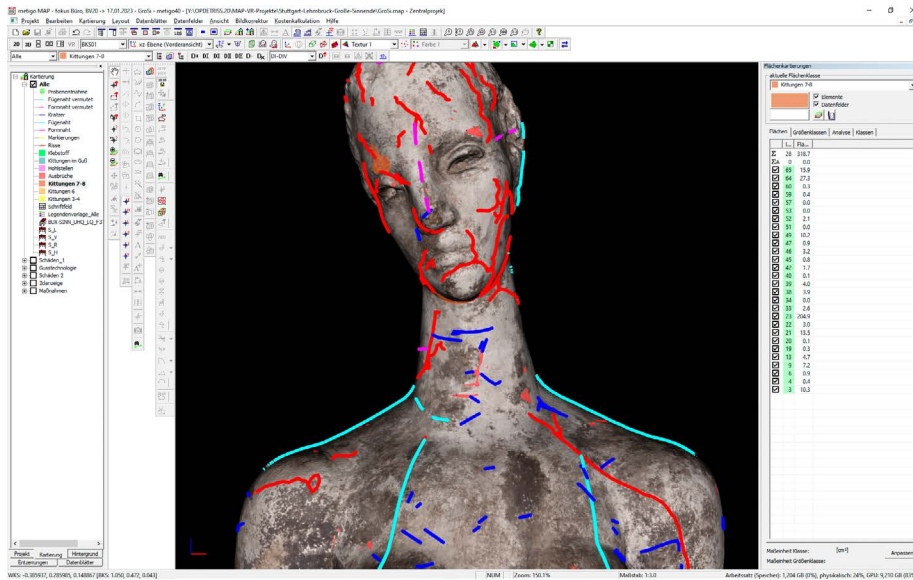
3D-Kartierung auf texturiertem Oberflächenmodell

Voraussetzung für eine effiziente 3D-Kartierung sind aktuelle Hardware mit leistungsfähiger Spiele-Grafikkarte und SSD-Platte für schnelles Laden und Speichern der SfM-Objektdokumentation. Der Vorteil der 3D-Kartierung ist eine reale Mengenermittlung durch die Kartierung auf der Objektoberfläche. Für die 2D-Druckausgabe werden Modellansichten angelegt mit einer automatischen Prüfung von Sichtbarkeit der kartierten Elemente in den verschiedenen Ansichtsperspektiven (Abb. 9). Dies erlaubt ein effektiveres Arbeiten als bei einer traditionellen 2D-Kartierung in vier bis acht skalierten Ansichtsfotos für das gleiche Objekt.

Im Bereich der 3D-Kartierung wird aktuell der Befehlsumfang für die Zeichenwerkzeuge auf der 3D-Objektoberfläche erheblich erweitert. Im Architekturbereich gibt es mit der Dombauhütte des Kölner Domes seit 2020 eine enge Zu-

sammenarbeit. Ziel ist die Weiterentwicklung der 3D-Kartierungsfunktionalität in metigo® MAP für die Einführung der dreidimensionalen Schadens- und Maßnahmenkartierung basierend auf einem texturierten Oberflächenmodell (SfM) für die Architekturoberfläche am Kölner Dom.⁷

Nachteile der 3D-Kartierung sind momentan noch eine fehlende, allgemein akzeptierte Schnittstelle, um 3D-Kartierungsdaten auszutauschen. Aktuell ist die 3D-Kartierung auf mehrfach texturierten Oberflächenmodellen mit der Möglichkeit von frei definierbaren, transparenten Texturkombinationen (z. B. verschiedene Bilddokumentationen, Spektralaufnahmen, Deformationsanalysen) auf metigo® MAP beschränkt. Allerdings sind auch dafür keine geeigneten Datenaustauschformate bekannt.



9 3D-Kartierung auf texturiertem Oberflächenmodell

oben: 3D-Anzeige im Kartierungsprogramm; unten: Abwicklung der Modellansichten mit Einblendung der Kartierungsdaten

(Große Sinnende, Wilhelm Lehmbruck, Staatsgalerie Stuttgart)

Deformationsanalyse basierend auf 3D-Objektdokumentation

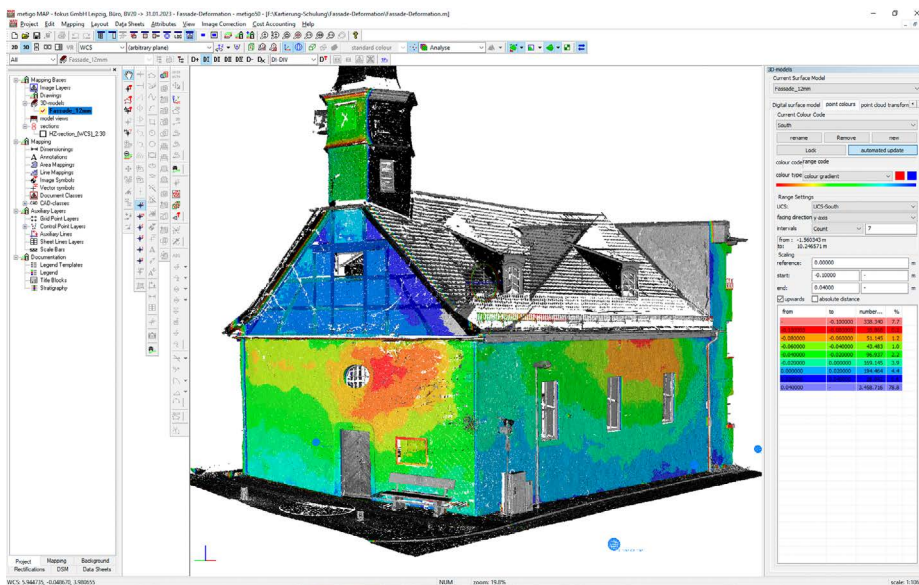
Für fotogrammetrische Objektdokumentationen ist es heutzutage bei Dokumentationsdienstleistern Standard, dass die für 2D-Bildentzerrung, 3D-Bildorientierung oder für CAD-Auswertungen benötigten Referenzinformationen über 3D-Laserscanning erfasst werden.

Als Arbeitsgrundlage werden verschmolzene Punktwolken (PW) mit 3 mm Punktabstand erstellt. Dies erlaubt das Erstellen einer Modellansicht im Maßstab 1:25 bei 200 dpi Auflösung als Grundlage für CAD-Auswertung oder 2D-Bildentzerrung.

Das für die 2D-Bildentzerrung definierte Benutzerkoordinatensystem erlaubt auch die Analyse von geometrischen Veränderungen/Deformationen eines Bauteils auf der Grundlage einer angenommenen Referenzgeometrie. Dabei wird

für die 3D-Punktwolke eine zusätzliche Farbkodierungen angelegt und die Punkte werden nach Abstand zu der Referenzgeometrie eingefärbt. Als Referenzgeometrie können über frei definierbare Benutzerkoordinatensysteme Ebenen (z. B. Wände, Fußböden, Decke) oder Profillinien (z. B. Gewölbe) verwendet werden.

Abschließend kann die Orthogonalprojektion der PW mit kombinierter Intensitäts- und Deformationseinfärbung deckungsgleich mit dem 2D-Bildplan überlagert und für die Zustandsanalyse hinzugezogen werden (Abb. 10).



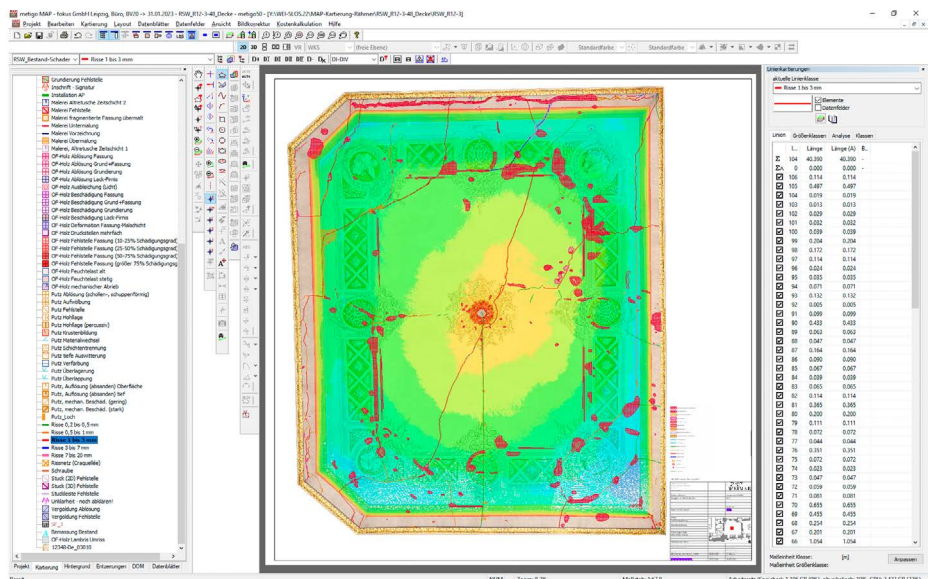
10 Anwendungsbeispiele der Deformationsanalyse basierend auf Laserscandaten

oben: Überlagerung PW mit Intensitätswerten und Deformationseinfärbung

(Bergern, Bad Berka, Kirche „Zum Kripplein Christi“, 3D-Laserscan, Dokumentation Raumfassung, 2022)

unten: Überlagerung 2D-Zustandskartierung Raumdecke mit Orthogonalprojektion PW mit Deformationseinfärbung

(Weimar, Stadtschloss, Fotogrammetrische Dokumentation der Raumfassungen, 2022 fokus GmbH Leipzig, Raum 12.3.48, Digitale Zustandskartierung, 2022)



Zusammenführung von verschiedenen Kartierungsdaten

Prinzipiell ist es mit einem gewissen Mehraufwand möglich, unmaßstäbliche, analoge/digitale Kartierung in den Maßstab zu transformieren, um so eine gemeinsame Auswertung von verschiedenen Kartierungsprojekten zu ermöglichen. Hierbei muss man zwischen pixel- und vektorbasierten Kartierungen unterscheiden. Prinzipiell ist der Austausch von vektorbasierten Kartierungen über die DWG-Schnittstelle heutzutage kein Problem. Problematisch sind eher unsaubere Kartierungsprojekte, nicht eindeutige Signaturzuweisungen oder unterschiedliche Benennungen von gleichen Kartierungsthemen.

Der Vorteil einer vektorbasierten Kartierung ist, dass vorhandene Polygone Kartierungsklassen (Layer) neu zugewiesen und über die Signaturzuweisung in der Klassenverwaltung schnell und einfach in eine aktuelle Dokumentationsvorschrift integriert werden können.

Bei pixelbasierten Kartierungen muss man die verwendeten Signaturen analysieren. So können zum Beispiel Vollfarbflächen über Zauberstabfunktionalität automatisiert erkannt werden. Bei Signaturen wie Kreis, Rechteck, Kreuz könnte man die automatisierte Zuweisung zu Vektorsignaturen über den Schwerpunkt realisieren. Bei Liniensignaturen (gepunktet, gestrichelt) treten bei der automatisierten Vektorisierung so viele Fragen auf, dass es schneller ist, solche Objekte manuell nachzukartieren.

Bei der Zusammenführung von Kartierungen mit unterschiedlichen Qualitäten der Kartierungsgrundlage stellt sich oft die Frage, ob es sinnvoll ist, eine grobe Kartierung im Maßstab 1:50 mit einer Kartierung mit Bildplan in besserer Qualität (1:10 bzw. 1:20) zu kombinieren. Sind die auflösungsbedingten Ungenauigkeiten akzeptabel oder will man dafür die historische Kartierung inhaltlicher in höherer Präzision wiederholen.

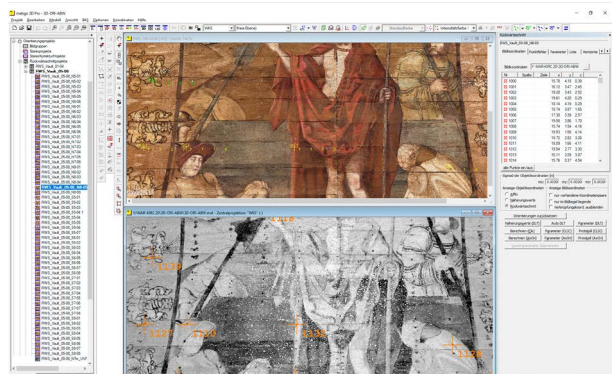
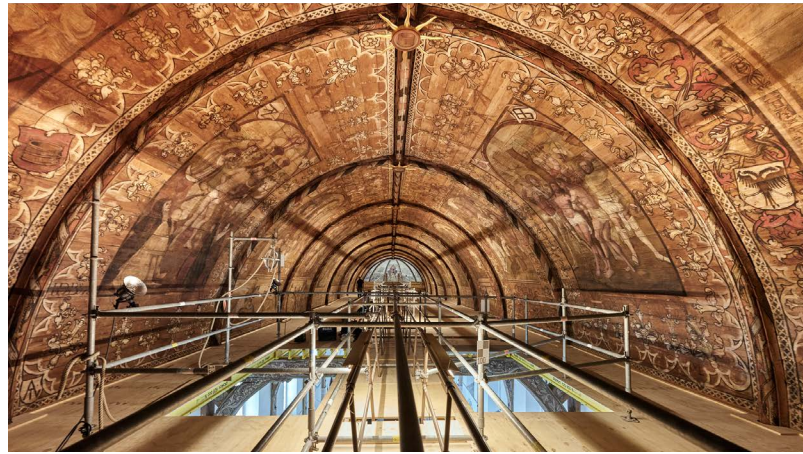
Größere Probleme gibt es bei der Integration von reinen CAD-Kartierungen, welche auf einer Strichzeichnung mit bewusster zeichnerischer Abstraktion der Kartierung ausgeführt wurden. Bei deren Kombination mit aktuellen Bilddaten treten abstraktionsbedingte Ungenauigkeiten (Rissverläufe, Vierungen) auf, welche zum Teil sehr störend wirken können.

Anwendungsbeispiele

Zusammenstellung der Dokumentationen von 1903 bis 2021 an der Grote Kerke, Naarden (Niederlande)

Das Dokumentationsprojekt in Naarden ist ein interessantes Anwendungsbeispiel, wie verschiedene Restaurationsdokumentationen zusammengeführt werden können. Es handelt sich hier um eine Voruntersuchung zur Planung einer Restaurierungsmaßnahme für das vollständige Gewölbe.

Im ersten Schritt erfolgte die Beauftragung der Zustandsdokumentation im Jahre 2020. Über 3D-Laserscanning erfolgte die Erfassung der Gewölbegeometrie als Grundlage für Abwicklungsprofile der einzelnen Gewölbesegmente und als Grundlage für die 3D-Passpunktmessung für die Bildorientierung. Bei der gewünschten Bearbeitungsqualität



11 3D-Abwicklung der Ausmalung der Gewölbe auf Abwicklungsgeometrie

oben: Raumsicht Gewölbe mit Arbeitsgerüst;
mittig: fotogrammetrische Orientierung der Ausgangsbilder basierend auf 3D-Laserscandaten;
unten: Detail aus Bildplan Abwicklung 1:5,

(Naarden, Grote Kerk, Dokumentation Gewölbeausmalung, 1:5, 2020)



(Maßstab 1:5, 300 dpi Auflösung) ist es zum Teil schwierig, im 3D-Laserscan Referenzpunkte mit einer entsprechenden Genauigkeit im Scan zu finden. Bei diesem Projekt war die Vielzahl an sichtbaren Holzschrauben eine gute Lösung. Alternativ dazu müsste man die Passpunktmessung traditionell mit dem Tachymeter durchführen (Abb. 11).

Da vorher der Wunsch nach Integration historischer Restaurierungsdokumentationen bestand, ist dieses Verfahren der einzige Weg, bei dem verschiedenes Bildmaterial später deckungsgleich in die Kartierung integriert werden kann.

Der Auftraggeber übergab uns historische Bilddokumentationen aus drei Dokumentationsphasen.

Die älteste (1903) beschränkt sich auf die fotografische Dokumentation der Bildfelder der einzelnen Gewölbesegmente. 1945 erfolgte die vollständige Erfassung aller Segmente mit je einer großformatigen Bildaufnahme. Nach einem größeren Bauschaden gab es von 1967 bis 1979 eine umfangreiche Restaurierungsmaßnahme, bei der die Segmentfelder abgenommen und vertikal als „Bildtafeln“ für die Restaurierungsarbeiten aufgehängt wurden. D. h. die Bilder der ersten zwei Dokumentationen wurden auf dem

gleichen Weg wie die Dokumentation 2020 fotogrammetrisch orientiert und über das bekannte definierte Gewölbeprofil abgewickelt.

Die Dokumentation 1967–1979 hatte man bereits auf „analogem Wege“ angelegt, sodass hier die perspektivische Verzerrung der Aufnahme durch eine 2D-Bildentzerrung korrigiert werden konnte (Abb. 12).

Aufgrund der relativ kleinen Objektflächen und der großen Bildformate der historischen Aufnahmen konnte auch bei den historischen Aufnahmen der Auswertemaßstab von 1:5 umgesetzt werden. Die Auswertung der historischen Bildaufnahmen erfolgte exemplarisch bei vier von insgesamt 27 Gewölbesegmenten.

Hätte man sich bei diesem Voruntersuchungsprojekt, wie bei vielen anderen solchen Maßnahmen, für eine einfache, „kostengünstige“, unmaßstäbliche, fotografische Dokumentation der Voruntersuchung entschieden, wäre die nachträgliche Zusammenführung mit übergreifender Kartierung der historischen Dokumentationen auch nicht möglich gewesen.

12 Auswertung historischer fotografischer Restaurierungsdokumentationen

links: 1903 und 1945 – 3D-Abwicklung der Ausmalung der Gewölbe auf Abwicklungsgeometrie;
 mittig: 1967–1979 2D-Bildentzerrung der vertikal aufgehängten Gewölbesegmente;
 rechts: 2021 – 3D-Abwicklung der Ausmalung der Gewölbe auf Abwicklungsgeometrie

(Naarden, Grote Kerk, Auswertung historischer Dokumentationen, 1:5, 2021)



Zusammenführung vorhandener Photoshop-Kartierungen der Cäsartapisserien in Bern

In diesem Projekt erstellte die zuständige Restauratorin (M. Piecuch, MA) bei der Abwicklung der Teppiche eine streifenweise Dokumentation des Zustandes inklusive erster restauratorischer Sicherungsarbeiten. Im Ergebnis entstanden 13 Bildreihen à fünf Bilder, die mit DSLR-Kamera (35 MPix) erfasst wurden. Die mit Photoshop ausgeführte, unmaßstäbliche Kartierung wurde nach Kartierungsebenen mit einheitlicher Benennung getrennt abgelegt und konnte so als Mehrebenen-TIFF übergeben werden.

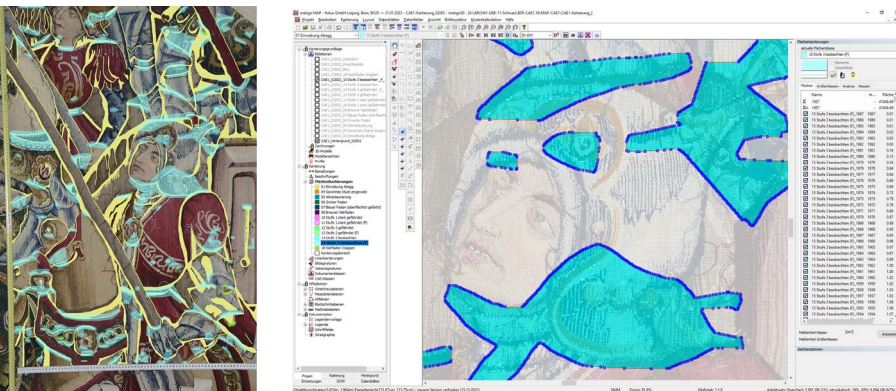
Nach den ersten Sicherungsmaßnahmen wurden am Teppich im komplett ausgerollten Zustand Referenzpunkte für die Bildentzerrung mit Tachymeter eingemessen. Das verwendete Kameraobjektiv wurde auf Verzeichnung kalibriert und die Korrektur auf alle 65 Bildstapel angewendet. Die 65 Mehrebenen-TIFFs wurden als Bildstapel in metigo® MAP importiert und stapelweise auf die tachymetrisch gemessenen Koordinaten entzerrt. Auf diese Weise wurde eine Gesamtmontage im Maßstab 1:2 erstellt.

In jedem Stapel gibt es drei fotografische Ebenen – Unterlicht, Auflicht, Dokumentation mit Stützbändern, welche entfernt wurden. Aus Kostengründen wurde nur für die Auflichtebene eine manuelle Bildmontage im Photoshop mit Farbanpassung, Anpassung von Helligkeiten, Korrektur von Montagekanten durchgeführt. Alle anderen Bild- und Kartierungsebenen wurden auf je eine Bildebene zusammengeschrieben. Anschließend erfolgte die Vektorisierung der Kartierungsebenen in metigo® MAP (Abb. 13).

Als Ergebnis wurden sowohl der Bildplan als Montage im Maßstab 1:2 als auch ein aufbereitetes Kartierungsprojekt zu einer möglichen Fortsetzung der Kartierung übergeben. Im Rahmen dieses Projektes wurden insgesamt vier Tapisserien auf diese Weise bearbeitet.

Gunnar Siedler
Dipl.-Ingenieur
Sebastian Vetter
Dipl.-Informatiker (FH)

fokus GmbH Leipzig
Lauchstädter Str. 20
04229 Leipzig
home@fokus-gmbh-leipzig.de



13 Zusammenführung vorhandener Photoshop-Kartierungen

links: Segment 5D, Photoshop-Kartierung als Mehrebenen-TIFF; rechts: Vektorisierung eines flächenhaften Kartierungsthemas in metigo® MAP; unten: Gesamtmontage der Cäsaritapisserie I mit statistischer Auswertung der vektorisierten Kartierung gefährdeter Bereiche

(Bern, Historisches Museum, Dokumentation Cäsaritapisserien, 1:2, 2013–2016)



Anmerkungen

- 1 SIEDLER/VETTER/KAMINSKY 2020
- 2 SIEDLER/VETTER 2019
- 3 SIEDLER/VETTER 2018
- 4 SIEDLER/VETTER 2022
- 5 SIEDLER/VETTER 2022
- 6 SIEDLER/VETTER 2019
- 7 SIEDLER/VETTER 2018

Literatur

LIU 2017:

Shengbo Liu, Qualitäts- und Genauigkeitsanalyse der Generierung von 3D-Oberflächenmodellen mittels Structure from Motion (SfM) und Stereo- Photogrammetrie, Masterarbeit Hochschule Anhalt, Dessau 2017 (unveröffentlicht)

SIEDLER/VETTER 2018:

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, Qualitätskriterien bei der Ausschreibung photogrammetrischer Leistungen. In: Gabriele Grassegger, Gabriele Patitz, Otto Wölbest (Hrsg.), Natursteinsanierung Stuttgart 2018. Stuttgart 2018, S. 7–22

SIEDLER/VETTER 2019:

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, 3D-Documentation of mural paintings and 3D mapping. In: Ewan Hyslop, Christa Gerdwilker, Vanesa Gonzalez (Hrsg.), Monuments in Monuments, Conference proceedings. Stirling 2019, S. 65–78

SIEDLER/VETTER/KAMINSKY 2020:

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, Jens Kaminsky, Data Acquisition, Management and Evaluation for stone conservation projects with digital mapping. In: Siegfried Siegesmund, Bernhard Middendorf (Hrsg.), Monument Future – Decay and Conservation of Stone, Proceedings of the 14th international congress on the deterioration and conservation of Stone. Halle (Saale) 2020, S. 987–992

SIEDLER/VETTER 2022:

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, Digitale Kartierung – Ein Entwicklungsprozess im Wandel von Dokumentations- und Auswertemethoden. In: Gabriele Patitz, Karin Schinken (Hrsg.), Natursteinsanierung Karlsruhe 2022. Stuttgart 2022, S. 7–19

Weiterführende Literatur

GODDING/ SACHER/ SIEDLER 1992:

Robert Godding, Gisbert Sacher, Gunnar Siedler, Einsatz von digitalen Aufnahmesystemen zur Gewinnung von Multispektralaufnahmen für die Erkundung von Bauwerkschäden ISPRS Commission V. New York 1992, S. 794–798

HEMMELEB/SIEDLER/SACHER 2000:

Matthias Hemmleb, Gunnar Siedler, Gisbert Sacher, Digitale Bildverzerrungen und -abwicklungen für die Anwendung in Denkmalpflege, Bauforschung und Restaurierung. In: Ulrich Weferling, Katja Heine, Ulrike Wulf (Hrsg.), Messen, Modellieren, Darstellen, Von Handaufmaß bis High Tech, Interdisziplinäres Kolloquium, TU Cottbus, 23.–26.02.2000. Mainz 2001, S. 74–82

HEMMELEB/SIEDLER/SACHER 2001:

Matthias Hemmleb, Gunnar Siedler, Gisbert Sacher, Documentation of the basilica of Maxentius in Rome – methods for providing foundations for monument research. In: Jörg Albertz (Hrsg.), Proceedings of the XVIII. International Symposium of CIPA 2001 Potsdam, 18.–21.09.2001. Berlin 2002, S. 114–120

HENZE/SIEDLER/VETTER 2006:

Frank Henze, Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, Integration automatisierter Verfahren der digitalen Bildverarbeitung in einem Stereoauswertesystem. In: Eckhardt Seyfert (Hrsg.), Geoinformatik und Erdbeobachtung, 26. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 11.–13.09.2006 Berlin, Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e. V., Bd. 15. Potsdam 2006, S. 239–246

SACHER/SIEDLER/VETTER 2017:

Gisbert Sacher, Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, Die hochauflösende photogrammetrische Dokumentation des Wandmalereizyklus im Mittelschiff. In: Dörthe Jakobs, Harald Garrecht (Hrsg.), UNESCO-Weltkulturerbe Reichenau, Die Wandmalereien in der Kirche St. Georg, Interdisziplinarität als Schlüssel zu einer nachhaltigen Denkmalpflege, Tagungsband des DBU-Abschlusskolloquiums, 22.–24.03.2017, Regierungspräsidium Stuttgart, Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsheft 33. Stuttgart/Ostfildern 2017, S. 73–80

SIEDLER/VETTER 2013:

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, Moderne Methoden der Dokumentation für die Restaurierung. Digitale Kartierung und automatisierte 3D-Objektdokumentation mit der Software metigo®. In: Gabriele Grassegger, Gabriele Patitz (Hrsg.), Natursteinsanierung Stuttgart 2013. Stuttgart 2013, S. 77–87

SIEDLER/VETTER 2021:

Gunnar Siedler, Sebastian Vetter, Photogrammetrische Auswertung historischer Aufnahmen – vom 2D Bildplan zum texturierten 3D-Modell. In: Ursula Schädler-Saub und Angela Weyer (Hrsg.), Das Fragment im Digitalen Zeitalter, Möglichkeiten und Grenzen neuer Techniken in der Restaurierung, Internationale Tagung der HAWK (Fakultät Bauen und Erhalten und Hornemann Institut), 07.–08.05.2021, Tagungsband. Berlin 2021, S. 163–179

VETTER 2005:

Sebastian Vetter, Generierung digitaler Oberflächenmodelle (DOM) im Bereich der Architekturphotogrammetrie, Diplomarbeit HTWK Leipzig. Leipzig 2005 (unveröffentlicht)

Abbildungsnachweis

Abb. 1–3, 5–8, 11–13:

fokus GmbH Leipzig

Abb. 4:

LIU 2017, fokus GmbH Leipzig

Abb. 9:

Restaurator Peter Bux, Leipzig, fokus GmbH Leipzig

Abb. 10:

Dipl.-Rest. Uwe Rähmer, Großbröhrsdorf, fokus GmbH Leipzig

Titel:

Detail aus Abb. 10

Lizenz

Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0 veröffentlicht.

