

Digitale Paradigmen in der Denkmaldokumentation

Potenziale und Anwendung für die fachliche Praxis

Digital Paradigms in Heritage Documentation: Potentials and Applications for Professional Practice

Digital paradigms, understood as inherent principles, can structure the recording, analysis, and sustainable use of documentary heritage data. Established methods such as photography, Structure from Motion, terrestrial laser scanning, and structured light scanning can be combined to generate precise and efficient information repositories. The key application scenarios and associated digital paradigms are outlined in this brief overview. They include, among others, the consistent assignment of metadata, documented paradata, long-term archiving, data interoperability, and pattern-based analyses. Process-integrated research data and records management further ensure quality-assured data flows and incorporates data-economic principles to prevent data overload. The systematic integration of digitized legacy holdings also enables sustainable, well-organized, and professionally reliable digital heritage documentation.

Die Dokumentation ist eine der grundlegenden Aufgaben der Denkmalpflege. Mit einer wissenschaftlich fundierten, methodisch reflektierten Objekterfassung und einer digitalen Verarbeitung von Bestandsdaten entsteht eine belastbare Informationsbasis, die fachliche Entscheidungen ermöglicht und langfristig den Erhalt des historischen Kulturguts sichert. Aus diesem Grund befindet sich das Spektrum der Denkmaldokumentation stets in einer dynamischen Entwicklung, bei der bewährte Methoden durch digitale Technologien ergänzt werden und somit wesentliche Erweiterungen erfahren.

In der Praxis wird diese Dokumentation nicht ausschließlich von Spezialist:innen durchgeführt. Niedrigschwellige fotografische, zeichnerische oder schriftliche Aufzeichnungen sind immanent. Folglich muss nicht jede Dokumentation vollumfänglich den Maßstäben von Forschungsdaten entsprechen, um ihren Zweck zu erfüllen – entscheidend sind Nachvollziehbarkeit, nachhaltige Sicherung und Kontextualisierung mit weiteren Elementen der Objekterfassung.

In der Praxis kann dies viele Aufgaben umfassen: die wiederkehrende und sachgerechte Erfassung eines Altbestandes, die geometrische Vermessung und digitale Kartierung, die Befundaufnahme und Auswertung,

die planerische Vorbereitung restauratorischer und konservatorischer Eingriffe, das Zustandsmonitoring sowie auch die anschauliche Visualisierung von Denkmälern für die Öffentlichkeit. Ziel ist stets, Bestände, Zustände und Veränderungen nachvollziehbar zu halten, Informationen dauerhaft zu sichern und Ergebnisse für unterschiedliche Akteure verfügbar zu halten. Eine umfassende wissenschaftliche Dokumentation kann letztlich sämtliche verfügbaren Informationen über ein Objekt in sich vereinen. Zugleich erfordert jede Anwendung eine kritische Abwägung von Aufwand und Nutzen.

Digitale Verfahren zur Objekterfassung in der Denkmalpflege

Ein Großteil der Dokumentationen in der Denkmalpflege wird nach wie vor durch historische Archivbestände und Ad-hoc-Aufnahmen am Objekt gebildet. Speziellere digitale Technologien¹ setzen dort an, wo Digitalisate, komplexe Neuerfassungen, Präzision, Vollständigkeit, Reproduzierbarkeit und Weiterverarbeitung fachlich gefragt sind. Die Verknüpfung beider Elemente, realisiert durch nachhaltige Digitalisierungsmaßnahmen, generiert einen durchgängigen Informationsfluss, welcher sich von der Recherche über die Bauaufnahme bis

¹ Vgl. für einen Überblick der digitalen Technologien: Fatma Zehra Çakıcı / Rabia Kaçdi, Systematic analysis of the digital technologies used in the documentation of historical buildings, in: Cultural Heritage and Science, 2023 4(2), S. 69–77, DOI: <https://doi.org/10.58598/cuher.1344379> (13.10.2025).

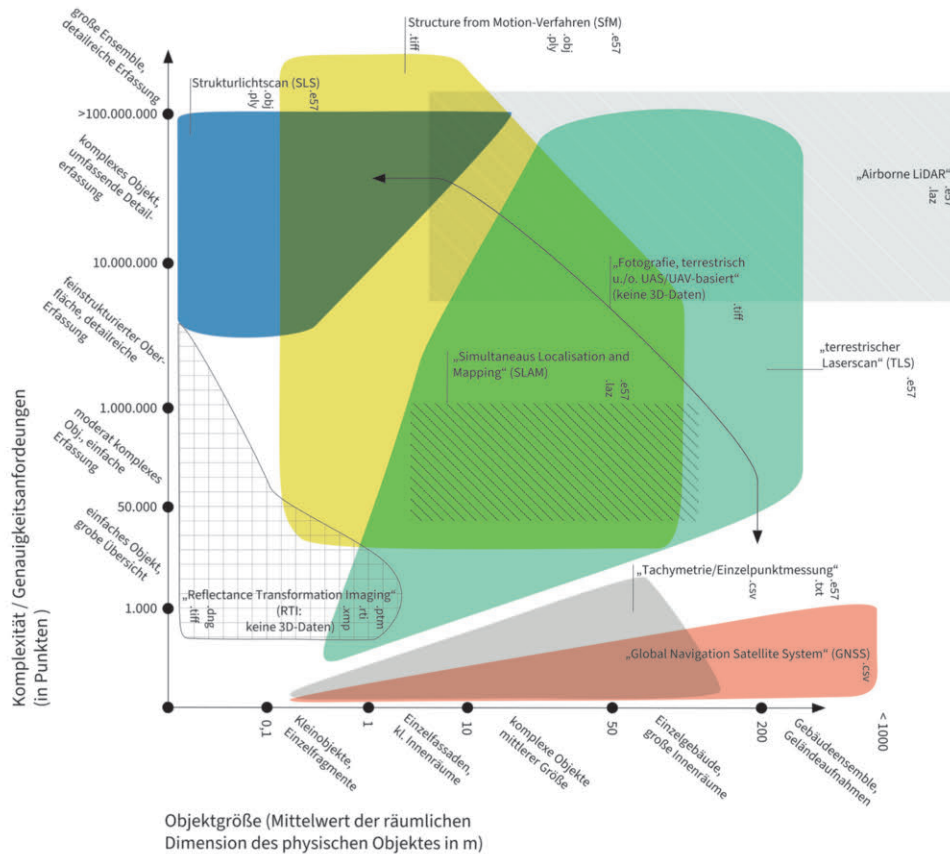


Abb. 1: Idealierte Einordnung ausgewählter digitaler Erfassungsverfahren in der Denkmalpflege, senkrecht sind primäre Langzeitformate angegeben

zu den resultierenden Produkten erstreckt. Auf diese Weise generieren sich aus ehemals analogen und digitalen Ursprüngen gemeinsame Datenkontexte, beispielsweise aus Plänen, Schnitten, Punktwolken, Orthofotos, kalibrierten Messbildern oder 3D-Modellen, welche langfristig die Sicherstellung von objektbezogenen Informationen gewährleisten und sich bedarfsgerecht weiterentwickeln lassen.

Hierbei hängt die Verfahrensauswahl (Abb. 1) von der Fragestellung, der Objektbeschaffenheit, der erforderlichen Detailtiefe und den vorhandenen Ressourcen ab. Idealerweise sollte immer nur das Verfahren angewendet werden, dessen Spezifika genau den Anforderungen entspricht. Ein europäischer Orientierungsrahmen für Qualitätsparameter, Standards und Benchmarks bei der 3D-Digitalisierung von Kulturgütern wurde durch die Europäische Union etabliert.² Die methodische Ausgestaltung der Erfassungsverfahren ist bereits entscheidend, da sie den erkenntnistheoretischen Rahmen vorgibt, in

dem Wissen über das jeweilige Objekt festgehalten werden kann.³ Diese vorgegebenen paradigmatischen Orientierungen können als Leitlinien verstanden werden, die die spezifischen Potenziale der Dokumentation langfristig bestimmen. Sie ermöglichen eine gezielte Nutzung der Aussagekraft und ein dauerhaft nachvollziehbares Verständnis der digitalen Repräsentationen sowie den passgenauen Einsatz der gewonnenen Informationen für die fachliche Praxis. Die wichtigsten digitalen Erfassungsverfahren, die sich in der Baudokumentation bewährt haben, sind im Folgenden angeführt.⁴

Dokumentarische Fotografie

Die Fotografie stellt das Gros nahezu jeder denkmalpflegerischen Dokumentation dar. Besonders wenn Zeit oder Budget begrenzt sind, ist sie geeignet für schnelle Zustands- und Befundaufnahmen oder für die Begleitung von Maßnahmen. Eine standardisierte Aufnahmepraxis ermöglicht es auch, mithilfe der gesammelten

² Vgl. Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage – Mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines – Final study report, hg. Publications Office of the European Union, 2022. DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2759/471776> (13.10.2025).

³ Exemplarische Anwendungsszenarien im Rahmen von restauratorischen Kartierungen: Gunnar Siedler / Sebastian Vetter, Dokumentation im Wandel der Zeit. Integration verschiedener Dokumentationsmethoden in den Prozess der Kartierung, in: CONSERVA. Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, 2024, Heft 1, S. 74–89.

⁴ Zur Betonung der Bauaufnahme werden keine speziellen Verfahren der Bodendenkmalpflege wie die Geomagnetik gelistet.

Daten wichtige Objektparameter festzuhalten und sie so der dokumentarischen Fotografie zuzuordnen. Ihre Stärke liegt in der annähernd sicheren Farbtreue, die durch den Einsatz von Farbkarten und Weißabgleich erreicht werden kann, sowie in der Wiederholbarkeit der Aufnahmekonstellation (Abb. 2). Grenzen entstehen dort, wo ein metrischer Mehrwert erzielt werden soll oder eine dreidimensionale Geometrie erforderlich ist.

„Structure from Motion“-Verfahren / Photogrammetrie

Auch das photogrammetrische Prinzip besitzt in der Denkmalpflege eine lange Tradition und hat sich mit modernen Verfahren wie Structure from Motion (SfM) weiterentwickelt. SfM ermöglicht die Erzeugung hochauflösender 3D-Punktwolken, texturierter Oberflächenmodelle (Abb. 3) sowie maßhaltiger Orthomosaiken, die als präzise Kartierungsgrundlage dienen können. Dieses Verfahren eignet sich zudem besonders für die Erstellung detaillierter Erfassungen von Wandansichten, Fassaden, Außenbereichen, Dächern und weiteren Bereichen, die etwa nur mit UAVs (Drohnen) oder Hochstativen zugänglich sind. Die Objektgröße reicht dabei von kleinen Details über Gebäudeteile bis hin zu größeren Ensemble- oder Geländeausschnitten. Die erreichbare Genauigkeit liegt potenziell im Subzentimeter- bis Millimeterbereich.⁵ Für eine verlässliche Anwendung sind dabei eine ausreichende Aufnahmeplanung, vollständige Erfassung der Oberflächen, mit entsprechender Überlappung der Aufnahmen, eine kalibrierte Kamera sowie eingesetzte Passpunkte unerlässlich. Einschränkungen treten bei kleinteilig komplexen Objektformen sowie homogenen, spiegelnden oder transparenten Oberflächen auf. Darüber hinaus können die Datenmengen bei der Aufnahme großer Objekte erheblich ansteigen, was den Umgang mit den erzeugten Daten zusätzlich fordert. Praktisch hat sich SfM auch dort bewährt, wo schwer zugängliche Strukturen ohne den Einsatz hochpreisiger Geräte effizient erfasst werden sollen.

Terrestrisches Laserscanning (TLS)

Zu den effizientesten Formen der digitalen Oberflächenerfassung zählt das TLS. Es ermöglicht eine schnelle, dichte sowie metrisch robuste Dokumentation großer und komplexer Bauvolumina. Es eignet sich besonders für mittlere bis große Objekte – von Innenräumen über



Abb. 2: Münster, Erbdrostenhof, Dokumentarfotografie im Rahmen einer vergleichenden Bestandsaufnahme (1900 und 2024)

einzelne Gebäude bis zu Ensembles – mit Arbeitsdistanzen typischerweise von einigen Metern bis zu mehreren Dutzend Metern in der Einzelaufstellung. TLS bildet die Grundlage für verformungsgerechte Bauaufmaße in 3D sowie abgeleitete Schnitte, Grundrisse und Ansichten und ist unabhängig von Oberflächentexturen einsetzbar. Die erreichbare Punktgenauigkeit liegt häufig im Bereich von zwei bis zehn Millimetern, wobei hohe Punktdichten eine lückenarme Geometrie sichern. Grenzen bestehen bei Texturierung, Datenmengen und Kosten.

Strukturlicht-Scanning (SLS)

Das Strukturlichtverfahren hebt sich insbesondere durch das Potenzial ab, kleine bis mittelgroße Objekte und detailreiche Oberflächen hochauflösend dreidimensional zu erfassen. Dabei wird ein definiertes Lichtmuster auf die Objektoberfläche projiziert und aus den Deformationen dieses Musters die räumliche Geometrie berechnet. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere für figurale Objekte, Profile, Dekorelemente, Inschriften und Werkspuren, bei denen mikrotopographische Genauigkeit gefragt ist. Die Zielauflösung reicht je nach System vom Subzentimeter- bis in den Submillimeterbereich und ermöglicht eine sehr hohe Oberflächendetailtreue, die beispielsweise für Material- und Schadensanalysen, die Replikation, die Vorbereitung von Konservierungsarbeiten sowie das Monitoring unerlässlich ist. Typischerweise erfolgt die Erfassung in geringem Abstand und ist daher vor allem für Kleinobjekte und Detailzonen an Bauwerken

⁵ Hierzu beispielhaft: Roland Linck / Andreas Stele, Structure-from-Motion-Kartierung ultrafeiner Strukturen am Beispiel der Pressbrakatapplikation in der Memminger Frauenkirche, in: *Archaeologia Austriaca*, 2024, Band 108, S. 271–282.



Abb. 3: Modellierungsschritte im „Structure from Motion-Verfahren“ zur digitalen Erfassung der Oberflächenstruktur von Kulturgütern (1: grobe Punktwolke; 2: dichte Punktwolke; 3: Drahtgittermodell; 4: Oberflächenmodell; 5: texturiertes Oberflächenmodell)

geeignet. Einschränkungen ergeben sich durch geringe Reichweite und mangelhafte Texturerfassung.

Kombinierte Verfahren

In der Praxis hat sich die Kombination verschiedener Verfahren bewährt. Durch die Verbindung der Stärken unterschiedlicher Systeme entstehen konsistente digitale (Teil-)Erfassungen mit hoher geometrischer und visueller Qualität. TLS etwa liefert die verlässliche Geometrie für das Gesamtvolumen; SfM oder UAV-Aufnahmen ergänzen diese Geometrie um komplexere Strukturen und präzise Texturen; Strukturlichtverfahren decken die Detailbereiche ab. Die so entstehenden Multiskalenmodelle erlauben es, großmaßstäbliche

Rauminformationen und feine Oberflächeneigenschaften zusammenzutragen (Abb. 4).

Mobile Laserscanning-Systeme, die auf dem Prinzip von Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) basieren, erweitern das methodische Spektrum um eine flexible, GPS-unabhängige Erfassungsoption. Zwar erreichen SLAM-Systeme keine Subzentimeterpräzision, erlauben aber eine zügige Generierung von Punktwolken. In Kombination mit hochpräzisen Scans können sie als Ergänzung dienen und unterstützen Vorerkundung, Bestandsaufnahme sowie integrale Vergleichsmessungen.

Analytische Bildgebung (CT, RTI, Thermal-, Multispektralaufnahme)

Moderne Bildgebungsverfahren erfassen auch physikalische und materialkundliche Charakteristika von Objekten. Die Computertomographie (CT) ermöglicht beispielsweise die zerstörungsfreie Darstellung innerer Strukturen wie Materialschichten, Hohlräume und Fügungen, was für Untersuchungen mobilen Kulturguts bedeutsam sein kann. Allerdings sind CT-Anwendungen durch Kosten, logistische Herausforderungen und Objektgröße limitiert. Reflectance Transformation Imaging (RTI) hebt feinste Oberflächenmerkmale wie Ritzungen oder Werkspuren durch variable virtuelle Lichtführung hervor und eignet sich besonders für epigraphische Befunde, liefert jedoch keine Volumeninformationen. Ergänzend kann die Thermographie verborgene Strukturen oder Materialunterschiede sichtbar machen, etwa Holz unter Putz, während Multispektralaufnahmen Oberflächen- und Materialeigenschaften jenseits des sichtbaren Spektrums (etwa UV- oder Nahinfrarotbereiche) aufdecken, beispielsweise Schichten oder Retuschen. Diese Verfahren erweitern das Verständnis von Objekten über deren Oberflächen hinaus.

Von Oberflächen zu Plänen und Visualisierungen

Aus erfassten und weiterverarbeiteten 3D-Daten (z. B. Punktwolken, Mesh, texturiertes 3D-Modell) können verformungsgerechte Ableitungen wie Orthofotos, Schnitte, Grundrisse und anschauliche Visualisierungen entstehen, die nicht nur Zustandsanalyse und Maßnahmenplanung erleichtern, sondern auch gezieltes Monitoring sowie sachgerechte Vermittlung ermöglichen.⁶ Insbesondere die wiederholte Durchführung von UAV- oder SfM-Befliegungen sowie Strukturlicht-

⁶ Eine umfassende Behandlung der digitalen Rekonstruktionsmethoden bietet: Sander Münster et al., Handbook of Digital 3D Reconstruction of Historical Architecture, Synthesis Lectures on Engineers, Technology, & Society Vol. 28, 2024.

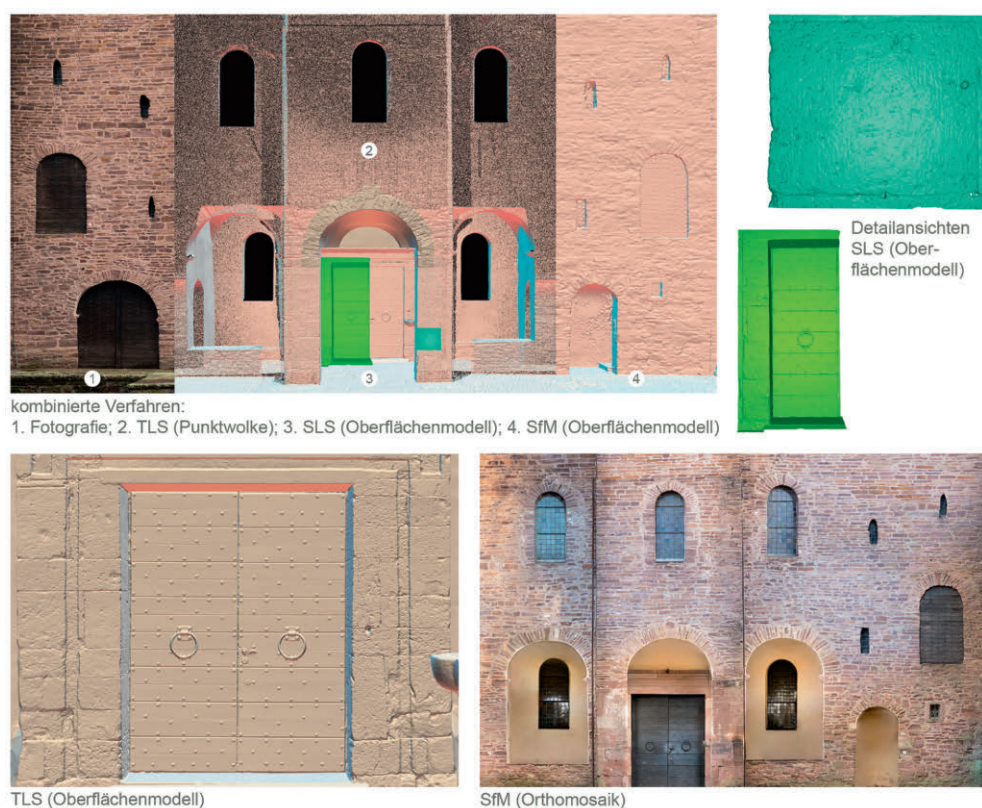


Abb. 4: Höxter, Kloster Corvey, Westwerk, Überblicksdarstellung kombinierter Erfassungsverfahren

Scans ermöglichen es, weitergehende differenzielle Veränderungen indikativ zu visualisieren und somit ein effektives Monitoring zu fördern (Abb. 5). TLS-basierte verformungsgerechte Bestandspläne wiederum leisten einen wichtigen Beitrag zur Stützung von Planungs- und Genehmigungsprozessen. Die Kombination von TLS-Geometrie mit photogrammetrischer Textur und Strukturlichtdetails ermöglicht die Erstellung konsistenter Modelle, die unterschiedliche Detailebenen optimal vereinen. Eine praxisorientierte Anwendung zeigt der HBIM-Ansatz („Heritage Building Information Modelling“), der Datenerfassung, Datenlebenszyklus, Dateninteroperabilität und nachhaltige Datenverwaltung strukturiert integriert.⁷ Im Katastrophenfall können zudem Fotografie und SfM als niedrigschwellige Notdokumentation dienen, die bei Bedarf durch TLS ergänzt wird. Dabei sollen in sämtlichen Abläufen definierte Metadaten-Minimalstandards die Nachnutzbarkeit der Daten sichern und die Anschlussfähigkeit über verschiedene Anwendungen und Zeiträume hinweg gewährleisten. Digitalisierte Altdokumentationen bilden in diesem Zusammenhang jeweils das Ausgangsmaterial.

In der Praxis wird deutlich, dass historische Quellen und digitale Erfassungsverfahren eine fachlich fundierte, belastbare und zukunftsfähige Denkmaldokumentation befördern können.

Digitale Paradigmen: Prinzipien für die nachhaltige Organisation und Nutzung dokumentarischer Daten in der Denkmalpflege

Aus den Neuerungen und Perspektiven, die digitale Verfahren in Bezug auf Nutzung, Datenlebenszyklen und datenbankgestützte Prozesse mit sich bringen, erscheinen in einer ganzheitlichen Betrachtung digitale Paradigmen in der Denkmaldokumentation. Diese ausgewählten⁸ grundlegenden Prinzipien ergeben sich als notwendige Konsequenz, wenn digitale Dokumentationen zukunftssicher konzipiert und genutzt werden sollen. Sie strukturieren Erhebung, Aufbau und Umgang mit den erhobenen Daten, sichern deren nachhaltige Verfügbarkeit über die Zeit und fördern eine verlässliche Nutzung im Kontext der Denkmalpflege.

⁷ Beispielhaft: Piotr Kuroczyński / Karol Argasiński, Implementing HBIM for Cultural Heritage Preservation – From Documentation to Sustainable Management, in: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2025, Vol. X-M-2, S. 175–184. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-M-2-2025-175-2025>, 2025.

⁸ Für detailliertere Informationen, spezifische Handlungsempfehlungen sowie vertiefende Leitfäden zu den genannten Aspekten wird auf die angegebene weiterführende Literatur und die entsprechenden Verweise verwiesen.

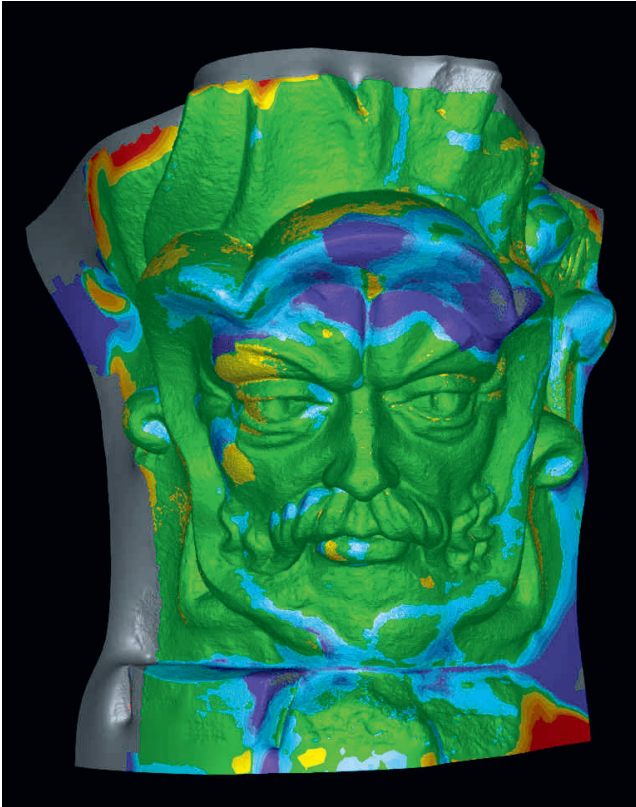


Abb. 5: Münster, Schloss, Indikatives Monitoring eines Kalksandsteinelementes durch Abgleich zweier 3D-Oberflächenmodelle (Distance Map), Veränderungen sind farblich gekennzeichnet

Ein zentraler Faktor in diesem Zusammenhang bildet aktuell das NFDI4Objects-Konsortium, welches unter anderem Standards für die Denkmalpflege entwickelt und bereitstellt.⁹

Konsequente Metadatenvergabe – Strukturierte Beschreibung zur sicheren Auffindbarkeit und Kontextualisierung

Die einheitlich vorgegebene und konsequente Vergabe von Metadaten ist von erheblicher Bedeutung, da nur strukturierte Beschreibungen die zuverlässige Auffindbarkeit, Kontextualisierung und Verarbeitung von Informationen in der fachlichen Praxis gewährleisten.

Sie ermöglichen eine konsistente verfahrensübergreifende Dokumentation sowie effiziente Recherche über unterschiedliche Systeme und Plattformen hinweg. Pflichtfelder wie Objektbezeichnung, geografische Lage, Erfassungsdatum, angewandte Methode, Urheber, Lizenz sowie Herkunftsnachweis sind für die Datenqualität unerlässlich. Durch die Nutzung von Normdaten und kontrollierter Vokabulare wie „Das Bamberger Vokabular für historische Architektur“¹⁰ sowie standardisierter Klassifikationen werden die Vergleichbarkeit und Einheitlichkeit der Daten zwangsläufig erhöht.¹¹ Persistente Identifikatoren wie Persistent Identifier (PID) oder Digital Object Identifier (DOI) gewährleisten eine dauerhafte, maschinenlesbare Referenzierbarkeit der digitalen Ressourcen. Als Beispiel für einen etablierten Metadatenstandard in der Denkmalpflege kann LIDO (Lightweight Information Describing Objects) genannt werden.

Erhebung von Paradata: Dokumentation von Erhebungs- und Bearbeitungsprozessen zur Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit

Vor allem für Forschungszwecke ist die Erhaltung von Paradata unverzichtbar, da sie als Dokumentation der Dokumentation die Entstehungsprozesse, Interpretationsentscheidungen und die Qualität der Daten transparent machen und damit ihre Nachvollziehbarkeit, Überprüfbarkeit und wissenschaftliche Integrität verbessern. Dazu zählen etwa Geräte-, Aufnahme-, Registrierparameter und Qualitätsmetriken. Einheitliche Protokolle unterstützen die Reproduzierbarkeit. Durch klar referenzierte Ableitungen – etwa die Zuordnung eines Orthomosaiks zu einem spezifischen Datenstand und der verwendeten Softwareversion – können Fehlinterpretationen vermieden werden. In Kombination mit durchdachten Datenmanagementsystemen ermöglichen Paradata Transparenz, Reproduzierbarkeit und beweisfähige Dokumentation.

⁹ NFDI4Objects – Nationale Forschungsdateninfrastruktur für die Kulturerbe-Domain mit Schwerpunkt auf Denkmalpflege, Archäologie und Bauforschung, <https://nfdi4objects.net> (13.10.2025).

¹⁰ Das Bamberger Vokabular für historische Architektur: <https://hist-arch-vocab.org/> (13.10.2025).

¹¹ Beispielhaft ist DANTE, ein von der Verbundzentrale des Gemeinsamen Bibliotheksverbundes (GBV) betriebener Webservice zur Bereitstellung und Integration von Normdaten und terminologischen Vokabularen, der auch als zentraler Baustein im NFDI4Objects-Konsortium zur Unterstützung disziplinspezifischer Ontologien und Vokabulare verwendet wird, <https://dante.gbv.de/search> (13.10.2025).

Anwendung einer zukunftsorientierten Strategie zur Langzeitarchivierung – Prinzipien für dauerhafte Verfügbarkeit und Integrität digitaler Daten

Langzeitarchivierung ist für die Denkmaldokumentation essenziell, da sie die dauerhafte Verfügbarkeit, Lesbarkeit und Integrität von Dokumentationsdaten und damit den langfristigen Zugang zum kulturellen Erbe für zukünftige Generationen sicherstellt.¹² Sie verbindet bewährte analoge Archivprinzipien mit spezifischen Anforderungen digitaler Datenerhaltung, ergänzt durch Formatpflege, Migration und Redundanz und garantiert so die nachhaltige Nutzung und Erhaltung von Denkmalinformationen über Zeit. Für die nachhaltige Archivierung und Interoperabilität digitaler Dokumentationen in der Denkmalpflege empfehlen sich offene, standardisierte Dateiformate (z. B. .e57 und .laz für Punktwolken, .ply und .obj für Oberflächenmodelle, .tiff für Fotografien/Orthofotos), die eine langfristige Lesbarkeit sowie eine verfahrensübergreifende und plattformunabhängige Nutzung sicherstellen.¹³ Mehrfach redundante, geographisch getrennte Speicherkopien sowie die Anwendung von regelmäßigen Integritätsprüfungen sichern die Verfügbarkeit und Authentizität der digitalen Informationen über Jahrzehnte. Institutionelle Kooperationen und klare Verantwortlichkeiten sind hierbei für den dauerhaften Zugang und die Sicherung der Daten ebenso wesentlich wie technologische Lösungen.

Dateninteroperabilität sichert systemübergreifendes Arbeiten – Gewährleistung der Kompatibilität heterogener Erfassungs- und Auswertesysteme

Dateninteroperabilität setzt die konsequente Dokumentation gemeinsamer Koordinatensysteme, Passpunkte, Transformationsparameter, Genauigkeitsangaben und das Arbeiten in reversiblen Layern/Ebenen voraus. Dies ermöglicht die Kombination und den Austausch von Erfassungsergebnissen aus unterschiedlichen Verfahren wie TLS-Punktwolken, SfM-Modellen, UAV-Befliegungen und historischen Plänen in gemeinsamen Rahmenmodellen (Abb. 6) und Softwareumgebungen. Offene, standardisierte Formate wie E57 (Punktwolken), IFC (Gebäudemodelle) und GeoTIFF (Georaster) sowie

verbindliche Metadatenstandards unterstützen diese nahtlose Zusammenarbeit und gewährleisten die Kompatibilität heterogener Datenquellen in der digitalen Denkmaldokumentation.

Perspektiven für Mustererkennungen schaffen – Systematische Identifikation und Nutzung wiederkehrender Strukturen verbessert Analyse- und Entscheidungsprozesse durch fundiertes Wissen aus vergleichenden Daten

Die Mustererkennung in der Denkmaldokumentation profitiert von wiederholbaren Messstrategien beispielsweise hinsichtlich Raster, Maßstab, Blickwinkel und Lichtführung, die typische Strukturen wie Rissbilder, Expositionsschäden, Setzungen, Bauphasenfolgen und Werkspuren sichtbar machen. Differenzanalysen, standardisierte Labels sowie kontextuelle Hinweise unterstützen die Hypothesenbildung und Priorisierung von Maßnahmen bei gleichzeitiger transparenter Dokumentation von Unsicherheiten und Rahmenbedingungen. Eine Vorbereitung der Dokumentationen für KI-gestützte Analysen zur automatisierten Mustererkennung kann durch standardisierte Erfassung, prozessbezogene Anreicherung und objektbezogene Vorhaltung der Daten erfolgen, was langfristig eine entscheidende Rolle bei der gezielten Analyse und nachhaltigen Bewahrung von Kulturgut spielen wird.

Prozessintegriertes Forschungs- und Verwaltungsdatenmanagement – Organisierte Steuerung des Datenlebenszyklus

Das prozessintegrierte Forschungs- und Verwaltungsdatenmanagement muss ein umfassendes Leitprinzip zur systematischen Steuerung des gesamten Lebenszyklus digitaler Informationen – von der Planung und Erhebung über Anreicherung, Archivierung bis zur Veröffentlichung und Nachnutzung bilden. Es stellt sicher, dass Daten konsistent, auffindbar, reproduzierbar und zitierfähig vorgehalten werden. Ergänzend sollte es das Prinzip der datenökonomischen Erfassung integrieren, das eine bewusste Begrenzung und Priorisierung der gesammelten Datenmengen fordert. So zeigt sich etwa im SfM exemplarisch, dass, um Speicheraufwand

12 Weiterführend: Nicola Amico / Achille Felicetti, 3D Data Long-Term Preservation in Cultural Heritage, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.04507> (13.10.2025).

13 Vgl. IANUS (Hg.), FDM-Empfehlungen für den nachhaltigen Umgang mit digitalen Daten in den Altertumswissenschaften, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.13149/000.111000-a> (13.10.2025).

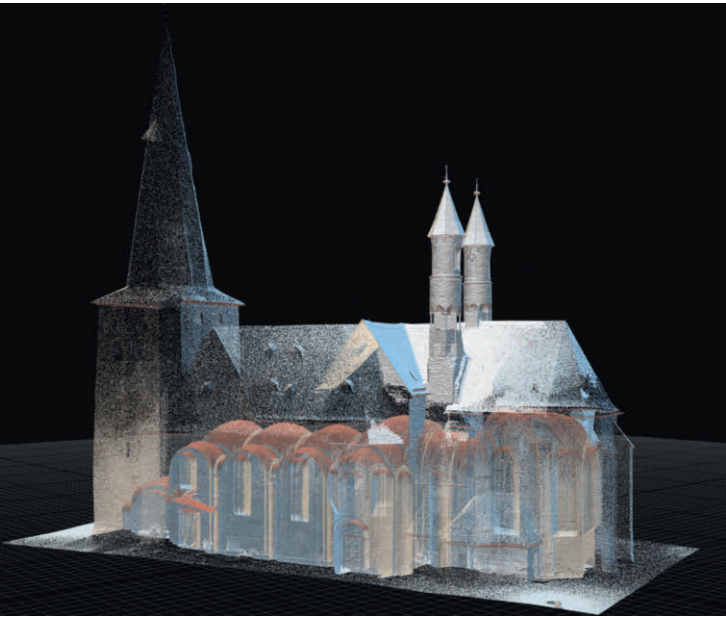


Abb. 6: Plettenberg, Christuskirche, kombinierte Punktwolke (außen SfM – Structure from Motion, innen TLS – Terrestrisches Laserscanning)

zu minimieren, neben den Ausgangsfotos und dem angeforderten Dokumentationsprodukt lediglich die daraus generierte Punktwolke archiviert werden sollte, da sie die maßhaltige 3D-Repräsentation des Objekts darstellt. Durch diese ganzheitliche Perspektive auf Datenqualität und -quantität wird eine nachhaltige, strukturierte und effiziente Verwaltung digitaler Denkmalinformationen im fachlichen und rechtlichen Kontext ermöglicht.

Gewährleistung von Zugänglichkeit – Steuerung von Datenzugang, Schutz, Transparenz und Qualitätssicherung

Für die Gewährleistung von Zugänglichkeit sollten gestufte Zugriffsmodelle (öffentlich, registriert, fachintern) eingeführt, vorab definierte Lizenzregelungen etabliert und offene Metadaten mit gezielter Maskierung sensibler Informationen wie exakter Koordinaten verwendet werden; dabei sollten die FAIR-Prinzipien (Findability, Accessibility, Interoperability, Reusability) umgesetzt werden, um die Schutzrechte an Dokumentationen und deren Bestandteilen konsequent zu wahren. Transparenz, Reproduzierbarkeit und Qualitätsmanagement ergänzen diese Prinzipien, indem sie durch nachvollziehbare Dokumentation der Erfassungs- und Verarbeitungsprozesse sowie durch Qualitätsmetriken das Vertrauen in die digitale Datenbasis stärken und die Validität der Informationen für Nutzer und Gutachter sichern.

Potenziale effizienter und modularer Arbeitsprozesse in der Denkmaldokumentation

Effiziente und modulare Arbeitsprinzipien in der Denkmaldokumentation lassen sich über alle Prozesse hinweg etablieren. So können bereits vor der Datenerhebung Ziele, Genauigkeitsklassen, Abgabestandards, Lizenzbestimmungen und ein standardisierter Datenmanagementplan definiert werden (vgl. Metadaten und Paradata). Während der Erhebung sollten einheitliche Protokolle zu Scan- und Fotostandorten, definierte Passpunkte, ein konsistentes Benennungssystem und regelmäßige Qualitätskontrollen die Datenqualität sichern. Die Nachbearbeitung umfasst idealerweise Registrierung, abschließende Qualitätsprüfungen, die Erzeugung von Ableitungen sowie die Ergänzung und Versionierung von Metadaten und Paradata. Standardisierte Austauschformate gewährleisten im weiteren Prozess die Integration in GIS-, CAD- und HBIM-Umgebungen, während die abschließende Archivierung Formate, Prüfsummen, Speicherredundanz und Migrationszyklen dokumentiert (vgl. Langzeitarchivierung).

Für Metadaten und Paradata müssen verbindliche Pflichtfelder wie Titel, Ort, Datum, Auftrag, Erfassungsmethode, Genauigkeitsklasse und Lizenz vorgegeben und vergeben werden. Diese wird durch ergänzende Informationen zu Geräten, Aufnahmeparametern, Registrierungsverfahren, Qualitätskennzahlen und Versionshistorie vervollständigt (vgl. Metadaten und Paradata). Die konsequente Umsetzung dieser Anforderungen kann durch standardisierte Leitfäden, Vorlagen, Checklisten sowie vertragliche Rahmenbedingungen, insbesondere bei externer Vergabe, unterstützt werden. Dateninteroperabilität kann durch festgesetzte Exportpakete, dokumentierte Metadaten-Mappings und regelmäßige Tests in Zielsystemen sichergestellt werden (vgl. Dateninteroperabilität). Monitoringprozesse basieren bereits jetzt auf wiederholbaren Parametern, definierten Schwellenwerten und differenzierten Differenzkarten zur systematischen Verlaufsanalyse. Weitergehend kann die Mustererkennung potenziell klassifizierte Oberflächenerfassungen in Kombination mit Material- und Expositionsdaten nutzen, um Objektgruppen automatisiert erkennen zu lassen und präventive Maßnahmen gezielt zu priorisieren (vgl. Mustererkennung).

In der Zusammenschau skaliert die Denkmaldokumentation die Stärken traditioneller Methoden, indem

Fotografie, CAD, SfM, TLS und SLS bedarfsorientiert und standardisiert kombiniert werden können. Auch Digitalisate von analogen Altbeständen sollten konsequent an den vorgestellten Orientierungen ausgerichtet sein, um deren nachhaltige Erhaltung, Anschlussfähigkeit und fachlich fundierte Nutzung sicherzustellen.

So entstehen belastbare Informationsbestände ohne unnötige Datenlast. Digitale Paradigmen können damit vor allem eines sein: ein gut organisiertes, maßvolles und konsequentes Angebot moderner Mittel zur Ergänzung bewährter Fachtraditionen in der Denkmaldokumentation.