


Christliche Archäologie

Ute Verstegen

 <https://orcid.org/0000-0002-6577-5144>

Abstract Digitale Technologien haben die Christliche Archäologie in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert und eröffnen neue Wege der Datenerhebung, Analyse und Vermittlung. Der Beitrag zeigt, wie Methoden aus dem Bereich der Digital Humanities – von GIS und 3D-Modellierung bis hin zu Künstlicher Intelligenz und agentenbasierten Simulationen – archäologische Fragestellungen erweitern und interdisziplinäre Perspektiven ermöglichen. Dabei stehen sowohl methodische Innovationen als auch ethische, epistemologische und praktische Herausforderungen im Fokus. Besonders hervorgehoben wird die Bedeutung digitaler Werkzeuge für die Erforschung religiöser Räume, Bildwelten und materieller Kultur der Spätantike. Digitale Technologien werden in der Christlichen Archäologie nicht nur als technische Hilfsmittel verstanden, sondern als aktive Impulsgeber für neue Fragestellungen, Theorien und Wissensformate. Die digitale Transformation erweist sich damit als treibende Kraft für eine reflektierte, interdisziplinär ausgerichtete und zukunftsfähige Christliche Archäologie mit Verankerungen in der Computational Theology ebenso wie der Digital Archaeology.

Keywords Christliche Archäologie, Antike, Spätantike, Mittelalter, Byzanz, Digital Humanities, Interdisziplinarität, Archäoinformatik, Digital Archaeology, Computational Theology

Digitale Technologien haben die Archäologie in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert – auch in spezialisierten Bereichen wie der Christlichen Archäologie. Moderne Geoinformationssysteme, Datenbanken, Digitalfotografie, 3D-Scanning und -Modellierung sowie Statistik und Machine Learning zählen heute genauso zu den zentralen Methoden wie analoge Verfahren der handschriftlichen Dokumentation und Zeichnung. Sie unterstützen alle Stufen des archäologischen Arbeitsprozesses von der Datenerhebung über die Datenanalyse bis zur Veröffentlichung und Verbreitung der Ergebnisse. Digitale Anwendungen erlauben es heute, Fundorte präzise zu lokalisieren, Funde und Befunde in bislang ungekannter Genauigkeit zu dokumentieren und große Datenmengen effektiv auszuwerten. Zudem eröffnen sie neue Wege, Ergebnisse sowohl der Fachwelt als auch einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Nachfolgend werden die drei genannten Bereiche im Detail beleuchtet – jeweils mit Beispielen aus Forschung und Praxis. Im Fokus des vorliegenden Texts stehen insbesondere Entwicklungen der letzten zehn Jahre, wenngleich auf pionierhafte ältere Arbeiten Bezug genommen wird.

1. Fachdefinition und Kategorien archäologischer Daten

Das Fach Christliche Archäologie untersucht die materielle und visuelle Kultur des Christentums in seinen historischen Kontexten. Der zeitliche und geographische Rahmen der Fachperspektive auf den Untersuchungsgegenstand variiert an den verschiedenen institutionellen Standorten, umfasst in der Regel aber die Jahrhunderte von der Entstehung des Christentums bis zum Ende des Byzantinischen Reichs im 15. Jahrhundert. Neben dezidiert religiös konnotierten Monumenten und Objekten beschäftigt sich Christliche Archäologie auch mit zeitgleichen nicht-religiösen Gegenständen und wird daher auch generalisierend als „Archäologie der Spätantike“ angesprochen oder im Rahmen einer „Archäologie des ersten Jahrtausends“ diskutiert (Veling 2024). Christliche Archäologie ist eine in hohem Maße interdisziplinäre Wissenschaft mit Schnittstellen zur Klassischen Archäologie, Byzantinischen Archäologie und Kunstgeschichte, Frühgeschichtlichen Archäologie, Mittelalterarchäologie, Bauforschung, Geschichte, Kunstgeschichte, Kirchengeschichte und Liturgiewissenschaft. Das Methodenspektrum umfasst sowohl kunsthistorisch-bildwissenschaftliche, bauhistorische wie archäologisch-naturwissenschaftliche und soziologische Methoden. Dementsprechend ist das Spektrum von Dokumentations-, Analyse- und Disseminationsmethoden und -tools für archäologische Daten im digitalen Kontext sehr breit und umfasst Elemente von Archäoinformatik/Digital Archaeology¹, Digital History, Digitaler Kunstgeschichte und Digital Cultural Heritage.

Archäologische Forschungen generieren sehr heterogene Daten, die auf den verschiedenen Kategorien von archäologisch relevanten Zeugnissen (englisch: evidence) der materiellen Kultur beruhen. Die Erforschung dieser materiellen Zeugnisse erfordert jeweils unterschiedliche Dokumentations- und Analysemethoden und Klassifikationssysteme. Bei den zu unterscheidenden Untersuchungsgegenständen handelt es sich um:

- *Materielle Funde*: Dies sind physisch (vollständige oder fragmentiert) erhaltene, bewegliche Einzelobjekte, die durch menschliche Tätigkeit als Artefakte entstanden oder als biologische oder geologische Überreste (engl. biofacts/ecofacts) in einen kulturellen Kontext gelangt sind. Sie bestehen aus organischen oder anorganischen Materialien. Die Erfassung von Funden erfolgt traditionell durch Handzeichnungen, Fotografien und Katalogisierungen, zunehmend aber durch digitale Verfahren wie 3D-Scanning und Photogrammetrie sowie in Datenbanken. Bei der Bestimmung von Funden werden vielfach archäometrische Methoden, d. h. archäologisch-naturwissenschaftliche Verfahren, z. B. zur Materialanalyse und Altersbestimmung angewandt, die eine

1 Zur Benennung als Archäoinformatik, Computational Archaeology, Digital Archaeology und dem Verhältnis zum ‚big tent‘ Digital Humanities vgl. Sokolicek 2024, bes. 191-193.

hohe Anzahl an Messdaten generieren. Dies trifft auch auf paläogenetische, paläobotanische und archäozoologische Untersuchungen des Fundguts zu.

- *Befunde*: Befunde (engl. features und structures) bezeichnen fest mit dem Boden verbundene, ortsfeste Spuren menschlicher Aktivität (z. B. Gruben, Mauern, Wege und andere anthropogene Strukturen und Veränderungen einer Landschaft). Sie sind nicht transportabel, werden dokumentiert und im Zuge oder nach einer Ausgrabung oft zerstört. Neben herkömmlichen Vermessungsmethoden kommen zur Dokumentation Technologien wie Laser-scanning, LiDAR, Geomagnetik, Geoelektrik, geochemische Untersuchungen, aber auch digitale Raumbücher und Bauwerksdatenmodellierung (auch: Building Information Modeling) zum Einsatz.
- *Bild- und Symboldarstellungen* der menschlichen visuellen Kultur in zwei- und dreidimensionaler Ausformung.

Neben den materiellen Überresten spielen auch für die Christliche Archäologie schriftliche Quellen und epigraphische Zeugnisse eine wichtige Rolle. Sie reichen von patristischen und hagiographischen Texten über Verwaltungsdokumente und liturgische Handschriften bis hin zu epigraphischen Zeugnissen unterschiedlicher Art (Bau-, Grab-, Ehreninschriften etc.), werden in diesem Band jedoch in einem eigenen Beitrag vorgestellt (zu digitalen Texteditionen und Textdatenbanken vgl. den Abschnitt zur Alten Kirchengeschichte in diesem Band).

Die Vielfalt der archäologischen Daten erfordert zur Integration eine in hohem Maße vereinheitlichende Systematik zur Kategorisierung und Interpretation, wie sie durch die archäologischen Fächer vor allem seit dem 19. Jahrhundert entwickelt wurde. Digitale Technologien bieten hierbei neue Möglichkeiten, Daten in standardisierten Formaten zu erfassen, zu speichern und auszuwerten. Gleichzeitig ergeben sich Herausforderungen hinsichtlich der Langzeitarchivierung, Datenkompatibilität und Interoperabilität sowie von bildrechtlichen Fragen. Die Chancen computergestützter Datenerhebung und -auswertung wurden in der Archäologie bereits in den 1950er Jahren erkannt und seitdem vor allem zur quantitativen Bearbeitung großer Datenmengen kontinuierlich ausgebaut (Clarke 1971; Fisher 2020; Siegmund 2020: 31–47). Seit 1973 veranstaltet die gleichnamige internationale Organisation jährlich die Tagung „Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology“ (CAA); ein deutscher Ableger existiert seit 2011 mit Vorläufern bis 1981.² Während in der archäologischen Frühmittelalter-Forschung, die in Deutschland eng an die prähistorische Archäologie angebunden ist, computergestützte statistische Auswertungsmethoden schon seit Jahrzehnten eine zentrale Rolle spielen, hat sich die Christliche Archäologie im engeren Sinne erst in jüngerer Zeit verstärkt der Anwendung digitaler Tools und Methoden zugewandt. Die steigende digitale Methodenvielfalt führt dabei einerseits

² <https://caa-international.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025); <https://ag-caa.de/geschichte/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

zu immer stärkeren Spezialisierungen der Fachvertreterinnen und Fachvertreter, andererseits zum Aufbrechen der traditionellen archäologischen Fachrichtungen und zum Entstehen fragestellungsorientierter, projektpraktisch ausgerichteter, multidisziplinärer Teams (Evans/Daly 2006).

2. Datenerhebung

2.1 Fernerkundung und Prospektion

Die digitale Datenerfassung beginnt in der Archäologie oft lange vor der eigentlichen Ausgrabung – durch Surveys, Luftbilddauswertungen und GIS-basierte Prospektion (Sylaiou et al. 2025). Mithilfe von GPS (Global Positioning System) und Satellitendaten lassen sich Fundstellen großräumig kartieren. So werden bspw. im Atlas-Projekt *Tabula Imperii Byzantini* (TIB) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) seit Jahrzehnten systematisch die Geokoordinaten archäologischer Denkmäler erfasst, um sie auf Karten zu lokalisieren (vgl. Külzer et al. 2020).³ Bereits seit 2002 werden die GPS-Daten aller dokumentierten Fundplätze in den Bearbeitungsgebieten der TIB erhoben, so dass diese Geoinformationen mit den veröffentlichten Bänden verknüpft und frei zugänglich publiziert werden können. Bei Geländebegehungen – etwa in entlegenen spätantiken Siedlungslandschaften der Balkanhalbinsel – ermöglicht diese Methode eine präzise Verortung kaum mehr sichtbarer Befunde.

Die digitale Prospektion hat die Archäologie in den letzten Jahrzehnten erheblich verändert. Nicht-invasive Techniken wie Fernerkundung, *LiDAR* und Geophysik ermöglichen es, archäologische Strukturen zu identifizieren, ohne Ausgrabungen durchführen zu müssen. Die *LiDAR*-Technologie (Light Detection and Ranging) wird zunehmend für die Erkundung archäologischer Landschaften genutzt (Vinci et al. 2024; Inomata 2024). Mithilfe von Airborne Laserscanning (ALS) und terrestrischem Laserscanning (TLS) werden aus der Luft (inzwischen per Drohne) oder am Boden Geländedaten erhoben und daraus hochauflösende Geländemodelle erstellt, die selbst unter dichter Vegetation verborgene Strukturen sichtbar machen. Sie können zum Auffinden und zur Analyse von Siedlungs- und Wirtschaftsstrukturen sowie Wegeverläufen genutzt werden. Anwendungen in der Christlichen Archäologie umfassen beispielsweise die Identifizierung frühchristlicher Kirchenanlagen und Klöster in unwegsamem Gelände wie in der Umgebung der frühbyzantinischen Stadt Iustiniana Prima (heute Caričin Grad, Serbien) (Birk et al. 2016). Selbst Entwicklungen zum automatisierten Detektieren von archäologischen Strukturen mittels Künstlicher Intelligenz sind bereits fortgeschritten – so werden *Machine Learning*-Verfahren dazu

3 <https://tib.oeaw.ac.at/> (zuletzt abgerufen am 20.2.2025).

genutzt, archäologische Befunde in großen Fernerkundungs-Datensätzen zu identifizieren (Bickler 2021).

Geophysikalische Prospektionsmethoden wie Georadar (Ground Penetrating Radar, GPR), Geomagnetik und Geoelektrik erlauben es außerdem, unter der Erdoberfläche verborgene archäologische Strukturen zu detektieren. Sie sind im Vorfeld von Ausgrabungen oder zur weiträumigen Erfassung von archäologischen Strukturen wertvolle Hilfsmittel und werden in den letzten Jahrzehnten zunehmend als non-invasive Untersuchungsmethoden genutzt. So hat die großflächige geophysikalische Untersuchung der antiken Metropole Ephesos beispielsweise grundlegend zur Kenntnis der Ausbauphasen der Stadt beigetragen (Groh et al. 2006).

Die Verwaltung der auf verschiedenen Wegen gewonnenen, geolokalisierbaren digitalen Daten erfolgt in Geoinformationssystemen (GIS), beispielsweise der Open Source-Software QGIS (Danthine et al. 2024).⁴ GIS ermöglichen die Erfassung, Analyse und Visualisierung von Fundorten im Kontext ihrer geographischen, topographischen und historischen Gegebenheiten. Während archäologische Karten früher manuell erstellt und nur begrenzt modifizierbar waren, bieten digitale GIS-Systeme heute flexible, skalierbare und interaktive Möglichkeiten zur Untersuchung archäologischer Landschaften. In GIS werden Sammlungen von Rasterdaten, Vektordaten und beschreibend-attributiven Daten kombiniert. Ein Praxisbeispiel für die Zusammenführung komplexer Prospektionsdaten in GIS ist die Kartierung der Chora von Kyrene (Libyen). Hier kombinierte ein italo-libysches Team traditionelle Feldbegehungen mit Differential-GPS, Georadar, hochauflösenden Satellitenbildern und Fernerkundungsdaten (u. a. Infrarot-Aufnahmen) (Abdalrahim Sheriff Saad et al. 2016). Die Fülle an Daten zu den Befunden – von spätantiken Wüstungsorten bis zu Kirchenruinen – wurde anschließend in einem GIS zusammengeführt. Eine ähnlich komplexe, später um die Ausgrabungsdaten erweiterte Datensammlung entstand bei der Untersuchung des spätantiken Pilgerzentrums Resafa in der syrischen Wüstensteppe (Gussone 2016). Solche GIS-gestützten Surveys erleichtern das spätere Auffinden und Dokumentieren auch kleinster Fundplätze und liefern bereits bei der Prospektion erste Hinweise auf Siedlungsmuster, z. B. auf die Verteilung von Wehrarchitektur oder Kirchenanlagen.

2.2 Ausgrabung und Bauaufnahme

Auch bei der eigentlichen Ausgrabung vor Ort haben sich digitale Methoden durchgesetzt. Längst werden Befunde und Funde nicht mehr nur mit Maßband, Handzeichnung und analogem Foto festgehalten, sondern zunehmend mit Tablets und

4 Zu QGIS: <https://www.qgis.org/> (zuletzt abgerufen am 03.06.2025).

Grabungsdatenbanken⁵ erfasst. Spezielle Systeme verbinden Messinstrumente direkt mit GIS. Ein Beispiel ist *TachyGIS*, ein Open-Source-Projekt zur Integration der Werte der Totalstation⁶ in QGIS. Hier erlauben QGIS-Plugins, Funde und Befunde „live“ mit der Totalstation einzumessen und die gemessenen Punkte direkt als GIS-Geodaten zu speichern (Göldner 2021). Solche Ansätze beschleunigen die Datenerfassung im Feld und binden die Grabungsdaten nahtlos in räumliche Informationssysteme ein. Langzeitprojekte wie die Grabungen des DAI oder der ÖAW stehen vor der Herausforderung, die digital erfassten Felddaten der jüngeren Zeit mit der analogen Altdokumentation zu verbinden, was durch Retrodigitalisierung der alten Grabungstagebücher, Pläne und Zeichnungen bewerkstelligt wird.⁷

Zur Erfassung räumlicher Strukturen bei Ausgrabungen und Bauaufnahmen hat sich die digitale 3D-Dokumentation etabliert (Hostettler et al. 2024). High-Tech-Verfahren wie Laserscanning, Structure from Motion (SfM) und Photogrammetrie ermöglichen es, Befunde millimetergenau in drei Dimensionen zu erfassen. Beim Laserscanning werden mittels Laserstrahlen Millionen von Messpunkten erfasst, um eine hochpräzise Punktwolke zu generieren. Photogrammetrie ist eine bildbasierte Methode zur Erstellung von 3D-Modellen. Dabei wird eine große Anzahl hochauflösender Fotografien eines Befunds oder Objekts aus verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen und mittels Spezialsoftware in ein dreidimensionales Modell umgerechnet. Im Gegensatz zum 3D-Laserscan erfordert diese Methode keine Spezialhardware, und sie erzeugt eine hohe Farbtreue der Oberflächen, da die Texturen aus realen Fotos berechnet werden. Häufig werden beide Techniken auch kombiniert. Die gewonnenen Punktwolken und 3D-Modelle dienen anschließend als Grundlage für Zeichnungen, Pläne und virtuelle Rekonstruktionen zerstörter Architektur (siehe unten) (Messemer 2020).

Diese in der Archäologie inzwischen weit verbreiteten Verfahren haben in der Christlichen Archäologie dazu geführt, dass lange Zeit über schwierig zu dokumentierende Befunde wie die unterirdisch gelegenen, schwer zugänglichen und unbelichteten Katakomben genau erfasst und der Forschung zugänglich gemacht werden können. Bahnbrechend hierfür war das unter Leitung von Norbert Zimmermann zwischen 2006 und 2013 durchgeführte Projekt zur Domitilla-Katakombe in Rom, deren über 12 km langes und sich über vier Geschosse erstreckendes Gangsystem vollständig per Laserscan erfasst wurde (siehe Abb. 1 nächste Seite) (Zimmermann 2016). Zugleich konnten auf diese Weise erstmals Befunde in dunkler Umgebung – etwa Wandmalereien und Marmorelemente frühchristlicher Grabanlagen – sichtbar

5 Ein Beispiel im deutschsprachigen Raum ist die durch das Deutsche Archäologische Institut entwickelte Grabungsdatenbank iDAI.field, vgl. <https://field.idai.world/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025). In entlegenen Gegenden kann allerdings noch immer die Herausforderung mangelnder Strom- oder Internetanbindung bestehen.

6 Elektronische Tachymeter zur Vermessung.

7 Vgl. das Olympia-Projekt des DAI: <https://www.dainst.org/forschung/projekte/olympia-grabungsgeschichten-digital/5762>.

gemacht und ihr Bestand digital dokumentiert und als fotorealistische Texturen mit den Punktwolken der Laserscans verbunden werden. In kleinerem Maßstab wurden ähnliche Projekte auch in der Santa Lucia-Katakombe in Syrakus (Sizilien), in der San Gennaro-Katakombe in Neapel und in der jüdischen Vigna Randanini-Katakombe in Rom durchgeführt.⁸

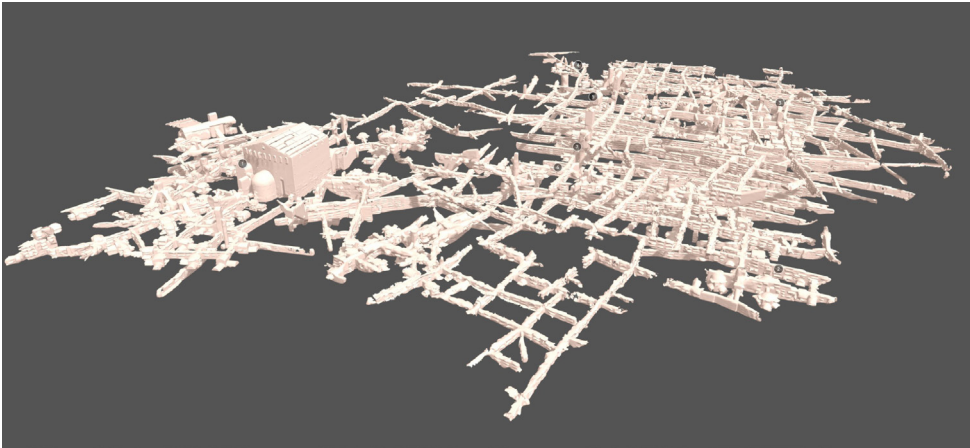


Abb. 1 Digitale Punktwolke der vollständig per Laserscan erfassten Domitilla-Katakombe in Rom. Bildnachweis: Norbert Zimmermann, Deutsches Archäologisches Institut Rom, mit frdl. Genehmigung.

2.3 Digitale Fund- und Objektdokumentation

Die Fundbearbeitung erfolgt entweder direkt in der Grabungsdatenbank oder in einer separaten Mediendatenbank zur Objekterfassung. Zusätzlich zu textlichen Beschreibungen, Zeichnungen und Digitalfotos werden auch zur Funddokumentation vermehrt 3D-Modelle erstellt (siehe Abb. 2a und Abb. 2b nächste Seite). Als Verfahren sind 3D-Scanning, Photogrammetrie und Computertomographie (CT-Scanning) im Einsatz.⁹ CT-Scanning ermöglicht eine zerstörungsfreie Untersuchung von Artefakten

8 Zu Syrakus: Tanasi et al. 2019. Zu Neapel: https://globaldigitalheritage.org/search/?_country=italy&_region=capodimonte-naples (zuletzt abgerufen am 03.06.2025), durchgeführt in Kooperation mit dem ZAMANI project, der Università degli Studi di Napoli „L’Orientale“, der Administration der Catacombe di Napoli sowie Dieter Korol (Westfälische Wilhelms-Universität Münster). – Zur Vigna Randanini: Zimmermann et al. 2022.

9 Auch zur 3D-Digitalisierung von Funden vgl. Hostettler et al. 2024. Bei der Objekterfassung wird häufiger Streifenlichtscanning eingesetzt. Eine Lichtquelle projiziert strukturiertes Licht, beispielsweise in Form von Streifen, auf das zu vermessende Objekt, dessen Verzerrung durch Kameras erfasst und in ein 3D-Modell umgewandelt wird.

und eröffnet neue Möglichkeiten zur Analyse innerer Strukturen. Besonders nützlich ist diese Methode bei Blockbergungen, für korrodierte Metallobjekte, für Behältnisse, deren Inhalt ohne Öffnung analysiert werden soll (z. B. Reliquiare) oder auch für Papyrusrollen und Codices, bei denen die Schriften sichtbar gemacht werden können, ohne die Fragmente zu entfalten (Stelzner 2016). Ein „Laser Aided Profiler“ (LAP) ermöglicht die schnelle Digitalisierung von Keramik durch zweidimensionale Profilzeichnungen am Computer. Diese sind publikationsfähig, in Datenbanken integrierbar und für die Formanalyse nutzbar (Ritter 2022).



Abb. 2a Digitalisierung eines Objekts aus der christlich-archäologischen Sammlung der FAU mit tragbarem 3D-Scanner. Foto: U. Verstegen, 2023. **Abb. 2b** Visualisierung des digitalisierten Objekts auf der Plattform Sketchfab. Screenshot, 2025.

Bei der Objektdokumentation in Museen und Sammlungen wird in derselben Weise vorgegangen. Da die Datenerhebung hier umfangreicher sein kann und beispielsweise Provenienz- und Verwaltungsdaten mit umfasst, gibt es in diesem Bereich ebenfalls spezialisierte Software zur Sammlungsverwaltung wie z. B. MuseumPlus.¹⁰

2.4 Klassifikation und Normdaten

In einem engen Wechselverhältnis zur archäologischen Datenerhebung steht die Klassifikation, d. h. die systematische Einteilung und Benennung von Befunden, Funden oder Phänomenen nach festgelegten Kriterien. Ziel ist, Wissensbestände effizient zu strukturieren und Objekte anhand formaler Eigenschaften zu ordnen und

¹⁰ <https://www.zetcom.com/museumplus-de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

vergleichbar zu machen. Bereits seit dem 19. Jahrhundert werden in der Archäologie formale Klassifikationen (Typologien) für Artefaktgruppen entwickelt, um Einzelartefakte („Typenvertreter“) möglichst präzise bestimmen zu können. Besonders bekannt sind beispielsweise die Keramikklassifikationen für Lampen nach Loeschcke, für Terra Sigillata-Feingeschirr nach Dragendorff oder für spätrömische Amphoren nach Keay (Dragendorff 1895/1896; Loeschcke 1919; Keay 1984). Archäologische Klassifikationssysteme strukturieren dabei nicht nur bereits existierende Daten, sondern beeinflussen auch maßgeblich, welche Daten erhoben und wie sie dokumentiert werden. Datenaufnahmeformulare oder Datenbankstrukturen orientieren sich oft an existierenden Klassifikationen, um eine möglichst konsistente und normierte Erfassung zu gewährleisten.

In einer von Digitalität und Datenintegration geprägten Archäologie sind einheitliche Standards für Klassifikation und Terminologie wichtiger denn je. Denn Forschungsprojekte arbeiten oft kollaborativ und international, was gemeinsame Begriffsdefinitionen voraussetzt, um Daten kompatibel und per Linked Open Data interoperabel zu machen. Hierfür werden kontrollierte Vokabulare und Thesauri genutzt, d. h. festgelegte Listen oder hierarchisch organisierte Systeme von Fachbegriffen, die von der Community erarbeitet und gepflegt werden.¹¹ Sie ermöglichen ein effizientes Datenretrieval und die Verknüpfung von Datenbanken, ohne dass Synonyme oder unterschiedliche Sprachversionen zu Informationsverlust führen. International anerkannte Standards werden häufig von großen Institutionen bereitgestellt und laufend von Fachleuten kuratiert. So hat das Getty Research Institute bereits Ende der 1970er Jahre den *Art & Architecture Thesaurus* (AAT) entwickelt, um Museums- und Kunstbibliotheksbestände konsistent zu klassifizieren.¹² Ein Vorteil solcher kontrollierten Vokabulare und Thesauri ist ihre Mehrsprachigkeit: Viele etablierte Vokabulare bieten heute Äquivalente in mehreren Sprachen und eindeutige IDs für jeden Begriff. Projekte wie *Wortnetz Kultur* (WNK), initiiert vom Landschaftsverband Rheinland, gehen gezielt auf den deutschsprachigen Raum ein und vereinheitlichen dort archäologische und denkmalpflegerische Termini.¹³ Auf europäischer Ebene bündelt *Heritage Data* die in Großbritannien gebräuchlichen Kulturerbe-Vokabulare als Linked Data.¹⁴ Ein wichtiger Trend ist zudem die Nutzung von Normdaten aus der Bibliotheks- und Archivwelt: Die *Gemeinsame Normdatei* (GND)¹⁵ der Deutschen Nationalbibliothek etwa ist ein weithin anerkanntes Vokabular zur eindeutigen Benennung von Personen, Körperschaften, Orten und Sachbegriffen (vgl. auch Gius 2024, 262). Solche Normdaten werden zunehmend auch in archäologischen

11 <https://ianus-fdz.de/it-empfehlungen/projektphasen/dokumentation/kontrollierte-vokabulare-thesauri-und-normdaten/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

12 <https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/aat/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

13 <https://wnk-viewer.lvr.de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

14 <https://www.heritagedata.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

15 https://www.dnb.de/DE/Professionell/Standardisierung/GND/gnd_node.html (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

Informationssystemen verwendet, um z. B. Ausgrabungsleitungen, historische Persönlichkeiten oder geographische Entitäten via ID zu referenzieren und mit anderen Datensätzen zu verknüpfen. Indem archäologische Daten mit Normdatensätzen wie GND, VIAF (Virtual International Authority File) oder ORCID (Forscher-IDs) angereichert werden, erhöht sich deren Nachnutzbarkeit und Maschinenlesbarkeit. Für die archäologische Erforschung der Spätantike wichtige kontrollierte Vokabularsysteme und Datenquellen sind neben den bereits genannten die Vokabular-Services des DAI *iDAI.vocab* / *iDAI.thesaurus* sowie für chronologische Begriffe der internationale Perioden-Gazetteer *PeriodO*¹⁶ sowie *iDAI.ChronOntology*¹⁷ für antike Zeiträume. Als globale Ortsregister (*Gazetteers*) zur eindeutigen Identifikation von Orten über Koordinaten und IDs dienen GeoNames¹⁸, der vor allem moderne Toponyme abdeckt, während der *Getty-TGN*¹⁹ auch historische Ortsnamen verzeichnet. Für antike Stätten betreibt das DAI den *iDAI.gazetteer*²⁰, der antike Orte mit *GeoNames*-IDs verknüpft, und es gibt den community-getragenen *Pleiades-Gazetteer*²¹ speziell für griechisch-römische Ortsnamen.

Neben der Formtypologie von Artefakten ist die Inhaltsklassifikation von Bildern ein wichtiger Bereich – insbesondere für die Christliche Archäologie, wo Symbole und biblische Szenen vielfach wiederkehren. Ein Werkzeug hierfür ist das System *ICONCLASS*,²² ein hierarchisches Dezimalklassifikationssystem speziell für ikonographische Inhalte (vgl. auch Kohle 2024, 133). Iconclass wurde in den 1950er–1970er Jahren in den Niederlanden entwickelt und ist heute international in Museen und Bildarchiven im Einsatz. Jeder Bildinhalt – sei es eine biblische Szene, eine Personifikation oder ein Symbol – ist in Iconclass durch einen alphanumerischen Code und eine Beschreibung erfasst. Für die christliche Ikonographie existieren darin umfangreiche Sektionen (z. B. 73D für Szenen aus der Passion Christi, 11D12 für das Symbol des Kreuzes oder 11H für Heilige). Die von Foto Marburg kuratierte Online-Bilddatenbank *Bildindex der Kunst und Architektur*²³ etwa verwendet (teils auf Iconclass basierende) kontrollierte Schlagworte, um Millionen von Fotografien nach Motiven durchsuchbar zu machen. Ebenfalls mit einem hierarchischen Thesaurus von ikonographischen Schlagworten arbeitet der *Index of Medieval Art*, die Online-Datenbank der Universität Princeton zur mittelalterlichen Kunst.²⁴

Für Forschungsdaten empfiehlt es sich, möglichst auf bestehende Normdaten, Thesauri und kontrollierte Vokabulare wie die genannten zurückzugreifen, statt

16 <https://perio.do/en/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

17 <https://chronontology.dainst.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

18 <https://www.geonames.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

19 <https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/tgn/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

20 <https://gazetteer.dainst.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

21 <https://pleiades.stoa.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

22 <https://iconclass.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

23 <https://www.bildindex.de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

24 <https://theindex.princeton.edu/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

eigene Ad-hoc-Bezeichnungen zu schaffen, und die Daten in anerkannten Datenformaten zu speichern, sofern Standards für die jeweiligen Datentypen definiert sind. Nur so wird eine Interoperabilität und potentielle Nachnutzbarkeit gewährleistet (vgl. auch Schroeder 2024, 420–422).

2.5 Digitale Repositorien, Sammlungsdatenbanken und Metadatenstandards

Der Zugang zu archäologischen Forschungsdaten war lange Zeit durch institutionelle Restriktionen und hohe Kosten für wissenschaftliche Publikationen begrenzt. Die den veröffentlichten Auswertungen zugrunde liegenden Rohdaten blieben meist unpubliziert. Mit der wachsenden Bedeutung von *Open Access* wird die Forderung nach weltweitem freien Zugang zu Forschungsdaten jedoch immer relevanter. Auch viele Fachzeitschriften und Förderinstitutionen verlangen, dass Primärdaten in öffentlichen Repositorien abgelegt werden. Digitale Repositorien spielen deshalb mittlerweile eine zentrale Rolle bei der Speicherung, Publikation und Nachnutzung von archäologischen Forschungsdaten nach den FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable)²⁵ (vgl. auch Apel 2024, 429–431). Sie ermöglichen einerseits eine strukturierte Ablage von Grabungsberichten, Befund- und Funddatensätzen, 3D-Scans, GIS-Daten und anderen wissenschaftlichen Materialien, andererseits auch die Recherche von entsprechenden Primärdaten, um diese in eigene Forschungen einzubetten und für Vergleichsstudien nachzunutzen.

Eines der international anerkanntesten archäologischen Repositorien ist *tDAR* (the Digital Archaeological Record), das von der Digital Antiquity Initiative betrieben wird.²⁶ Es archiviert eine Vielzahl von archäologischen Daten, darunter georeferenzierte Fundkarten, Datensätze aus Surveys und Grabungen sowie Bildmaterial. Eine vergleichbare Plattform in Europa ist *Archaeology Data Service* (ADS), die von der University of York gehostet wird.²⁷ ADS stellt nicht nur Grabungs- und Fundberichte, sondern auch archäologische Thesauri, Metadatenstandards und digitalisierte Sammlungen zur Verfügung. Für den deutschsprachigen Raum übernahm bis 2017 das Forschungsdatenzentrum *IANUS* diese Aufgabe.²⁸ Es bietet eine zentrale Infrastruktur für archäologische und alttumswissenschaftliche Daten, mit dem Ziel, Forschungsdaten langfristig zu erhalten und eine standardisierte Dokumentation zu gewährleisten. Im Rahmen der nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI)²⁹ arbeiten in Deutschland aktuell mehrere Konsortien an Konzepten zum effektiven Forschungsdatenmanagement, zur Dateninteroperabilität, Langzeitarchivierung und

25 <https://www.go-fair.org/fair-principles/> (zuletzt abgerufen am 20.3.2025).

26 <https://core.tdar.org/> (zuletzt abgerufen am 20.3.2025).

27 <https://archaeologydataservice.ac.uk/> (zuletzt abgerufen am 20.3.2025).

28 <https://ianus-fdz.de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

29 <https://www.nfdi.de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

fachbezogenen Datenkompetenz im kulturhistorischen, darunter auch archäologischen Bereich (NFDI4culture, NFDI4memory, NFDI4objects).³⁰ Für visuelle und georeferenzierte Daten gibt es Meta-Plattformen wie die europäische Forschungsdatenplattform *ARIADNE Plus*, die archäologische Datenbanken und Repositorien miteinander verknüpft.³¹ Zusätzlich existieren auf bestimmte Datentypen spezialisierte Repositorien. 3D-Daten von archäologischen Artefakten und Monumenten werden bspw. oft auf Plattformen wie *Sketchfab*³² oder *KOMPAKKT*³³ veröffentlicht, die es ermöglichen, hochauflösende Modelle zu teilen.

Zu erwähnen sind außerdem verschiedene Online-Portale und -Datenbanken von archäologischen Institutionen, Museen und Projekten mit Primärdatensammlungen. Das Wissensportal *iDAI.world* des DAI stellt eine umfassende Sammlung archäologisch relevanter Daten bereit. Die Objektdatenbank *iDAI.objects arachne*³⁴ bildet den Kern des Angebots und erfasst archäologische Objekte und Monumente, die mit Literaturverweisen und standardisierten Ortsbezügen, Datierungsangaben und Schlagworten, aber insbesondere mit digitalen Abbildungen (im Wesentlichen digitalisiertes Material der Fotoarchive der DAI-Abteilungen) und 3D-Modellen verknüpft sind. Durch die bis zu den Kinderschuhen der Fotografie im 19. Jahrhundert zurückreichenden Fotodokumentationen des DAI sind für viele archäologische Monumente rund um das Mittelmeer ältere Erhaltungszustände dokumentiert, die heute durch Naturkatastrophen, Kriege, zweifelhafte Restaurierungsmaßnahmen etc. nicht mehr vor Ort ablesbar sind. Einzelprojekte wie das zwischen 2013 und 2018 durchgeführte *Syrian Heritage Archive Project* erweitern diesen Datenbestand gezielt auf regional besonders gefährdete oder zerstörte historische Kulturdenkmäler hin.³⁵ Um nicht Raubgrabungen Vorschub zu leisten, ist in solchen Fällen ein sensibler Umgang mit Geolokalisierungen notwendig.

Christlich-archäologisch relevante Bestände aus Museums- und Sammlungsdatenbanken lassen sich ebenfalls häufig online abrufen.³⁶ Große Museen wie das British Museum³⁷, der Louvre³⁸, das Metropolitan Museum of Art³⁹, das Museum für Byzantinische Kunst der Staatlichen Museen zu Berlin⁴⁰, das Museum für Byzantini-

30 Dazu zählt auch die Neueinrichtung von Repositorien wie RADAR4culture: <https://radar4culture.radar-service.eu/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

31 <https://ariadne-infrastructure.eu/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

32 <https://sketchfab.com/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

33 <https://kompakkt.de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

34 <https://arachne.dainst.org/> (zuletzt abgerufen am 20.3.2025).

35 <https://arachne.dainst.org/project/syrher> (zuletzt abgerufen am 20.3.2025).

36 Vgl. zu Bilddaten im kulturhistorischen Bereich allgemein Kohle 2024.

37 <https://www.britishmuseum.org/collection/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

38 <https://collections.louvre.fr/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

39 <https://www.metmuseum.org/art/collection> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

40 <https://recherche.smb.museum/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

sche Kultur in Thessaloniki⁴¹, die St. Petersburger Eremitage⁴², die Dumbarton Oaks Sammlungen⁴³ oder auch die Vatikanischen Museen⁴⁴ publizieren die nicht-sensiblen Daten ihrer digitalisierten Bestände in der Regel online. Ergänzt werden die Objektdatenbanken durch virtuelle 360 Grad-Rundgänge, so dass sich viele dieser Objekte virtuell auch in ihren musealen Aufstellungskontexten betrachten lassen. Auch im Sammlungskontext gibt es wiederum Meta-Suchmaschinen für Kulturerbedaten wie die Deutsche Digitale Bibliothek⁴⁵ oder die Europeana⁴⁶, die eine umfangreiche Recherche nach digitalisierten Sammlungsbeständen aus verschiedenen europäischen Ländern ermöglichen. Die Dokumentation christlicher Inschriften aus der Spätantike erfolgt in Projekten wie dem Europeana-Ableger *EAGLE* (Europeana Network of Ancient Greek and Latin Epigraphy), das epigraphische Datenbanken mit digitalen Ressourcen verbindet.⁴⁷ Die Nutzungsbedingungen der Daten und Fotografien sind unterschiedlich geregelt.

Ausschließlich auf christlich-archäologische Artefakte und Monumente spezialisierte Datensammlungen gibt es nur sehr wenige. Ein Beispiel hierfür ist das digitalisierte Foto- und Dokumentenarchiv der 1852 gegründeten Pontificia Commissione di Archeologia sacra, welche für die Erforschung und den Erhalt der Katakomben in Rom und Italien zuständig ist.⁴⁸ Einzelne Leuchtturmprojekte wie 4CARE-SKOS, das die materielle Kultur des frühen Christentums im 4. Jahrhundert in Ägypten dokumentiert, stellen umfassende Datenbanken archäologischer Stätten und Artefakte online bereit.⁴⁹ Zu erwähnen sind auch Projekte wie „Last Statues of Antiquity“⁵⁰ der Universität Oxford oder das „Bildlexikon zur spätantiken Kleidung“⁵¹ an der Universität Bonn, die ihre Forschungsdatenbanken nach Projektende auf eigenen Servern weiterhin öffentlich verfügbar und recherchierbar halten.

Digitale Repositorien und Datenbanken nutzen i.d.R. internationale Metadatenstandards zur Metadatenerfassung. Ein international anerkannter Standard zur Metadatenbeschreibung digitaler Ressourcen ist *Dublin Core*⁵², der aus 15 Kernelementen wie *title*, *creator*, *date* und *provenance* besteht und in vielen digitalen Repositorien zur einheitlichen Katalogisierung archäologischer Daten genutzt wird, beispielsweise in *Archaeology Data Service*. Ein weiterer aus dem Bibliotheksbereich stammender

41 <https://www.mbp.gr/en/collections/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

42 <https://www.hermitagemuseum.org/woa-search/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

43 <https://www.doaks.org/resources/online-collections> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

44 <https://catalogo.museivaticani.va/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

45 <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/> (zuletzt abgerufen am 20.02.2025).

46 <https://www.europeana.eu/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

47 <https://www.eagle-network.eu/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

48 <http://www.archeologiasacra.net/pcas-web/fototeca> (zuletzt abgerufen am 20.3.2025).

49 <https://4care-skos.mf.no/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

50 <http://laststatues.classics.ox.ac.uk/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

51 <https://bildlexikon-kleidung.uni-bonn.de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

52 <https://www.dublincore.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

Metadatenstandard ist *DataCite*.⁵³ Das *CIDOC CRM (Conceptual Reference Model)*⁵⁴ hingegen ist eine Ontologie für Kulturerbe-Daten, die komplexe Zusammenhänge zwischen Objekten, Akteuren, Ereignissen und Orten semantisch modelliert. Sie wird beispielsweise vom DAI in der *iDAI.world*-Plattform verwendet, um archäologische Funde mit historischen Kontexten zu verknüpfen und die semantische Interoperabilität zwischen verschiedenen Datenbanken zu gewährleisten.

Die Nutzung und der Download von archäologischen Repositoriums- und Museumsdaten unterliegen den jeweiligen Nutzungsbedingungen und Lizenzbestimmungen der Plattform bzw. Institution; besonders bei Bildmaterial ist auf die Rechte (z. B. Public Domain/CC0, CC-BY, CC-BY-NC)⁵⁵ zu achten. Für wissenschaftliche oder nicht-kommerzielle Zwecke stellen bspw. viele Museen hochauflösende Digitalisate und strukturierte Metadaten über APIs oder IIIF-Schnittstellen bereit, die zur eigenen Corpuserstellung genutzt werden können.⁵⁶

3. Datenanalyse und -auswertung

3.1 Mathematische und GIS-gestützte statistische Verfahren

Archäologie ist eine Wissenschaft, die seit jeher sehr große Datenmengen über Artefakte, Befunde und in Form von Messungen gesammelt hat. Durch Klassifikationen (siehe oben) werden diese Daten in einem ersten Schritt systematisiert, als zweiter Schritt folgen häufig statistische Auswertungen. Bereits im späten 19. Jahrhundert begannen Archäologen wie der schwedische Prähistoriker Oscar Montelius (1843-1921)⁵⁷, Artefaktgruppen systematisch auszuwerten, um relative Chronologien zu erstellen. Das dabei verwendete Verfahren ist das der *Seriation*. Darunter versteht man die Anordnung von Artefakten (Typenvertretern) aus geschlossenen Fundkomplexen (z. B. Grabinventaren) in einer plausiblen chronologischen Reihenfolge, die anhand von formalen Ähnlichkeiten und Unterschieden vorgenommen wird. Man erstellt dafür eine sogenannte Kombinationstabelle, in der in Zeilen z. B. geschlossene Funde (Gräber, Siedlungsschichten) und in Spalten bestimmte Typen oder Artefaktklassen eingetragen werden. Die Tabelle wird dann per Hand so lange umgeordnet, bis die

53 <https://schema.datacite.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

54 <https://cidoc-crm.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

55 <https://creativecommons.org/share-your-work/licenses/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

56 Bereits besonders lange existiert ein entsprechender Dienst bspw. am Victoria & Albert Museum in London, vgl. <https://www.vam.ac.uk/info/va-websites-terms-conditions> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

57 Vgl. Propylaeum-VITAE: Akteure – Netzwerke – Praktiken, Art. Oscar Montelius: https://sempub.ub.uni-heidelberg.de/propylaeum_vitae/de/wisski/navigate/21530/view (zuletzt abgerufen am: 20.03.2025).

Besetzungsmuster entlang einer Diagonale liegen – d. h. ähnliche Inventare aufeinander folgen und gemeinsam auftretende Typen beieinander liegen. Eine solche diagonalisierte Matrix spiegelt idealerweise eine zeitliche Abfolge wider.

Als ab den 1960er Jahren Computer verfügbar und damit komplexere, quantitative Berechnungen möglich wurden, entwickelten der Prähistoriker Klaus Goldmann und später der Statistiker Peter Ihm computergestützte Algorithmen zur *Seriation*, um große Kombinationstabellen optimal anzuordnen (Clarke 1971; Siegmund 2020, 31–37; Ihm 1978). Mithilfe dieser Programme konnten erstmals enorme Datensätze (Goldmann sortierte rund 4.000 Fundkomplexe) effizient ausgewertet werden. Dieses sogenannte *Korrespondenzanalyse*-Verfahren ist heute weit verbreitet (Müller/Zimmermann 1997). Anders als bei der Seriation können Korrespondenzanalysen die Daten räumlich in einem Koordinatensystem darstellen. Seriation und Korrespondenzanalyse dienen primär der relativen Datierung und sind in Perioden wie der Spätantike und dem Frühmittelalter, wo oftmals keine Datierungsanhalte durch Schriftquellen, Inschriften oder Münzen gegeben sind, unverzichtbar.

Ein verwandtes Konzept ist die *Kombinationsstatistik* zur Ermittlung des gemeinsamen Vorkommens bestimmter Merkmale oder Typen. Sie beruht auf zwei Grundannahmen: (1) Artefaktformen unterliegen modebedingten Veränderungen, und gleichartige Stücke sind ungefähr zeitgleich; (2) Objekte, die regelmäßig gemeinsam in einem geschlossenen Fund (z. B. Grab) vorkommen („vergesellschaftet sind“), stammen ebenfalls aus derselben Zeit. Durch Vergleiche vieler solcher Fundkombinationen in sog. Kombinationsmatrizen lassen sich Muster erkennen und daraus bspw. relative Zeitstellungen ableiten. Eine gute Matrixordnung zeigt die regelhaften Vergesellschaftungen ebenfalls diagonal an.

Neben den chronologischen Ordnungsverfahren spielen klassifikatorische und multivariate Methoden eine zentrale Rolle. So werden etwa mittels *Cluster-Analyse* oder *Hauptkomponentenanalyse* (PCA) Fundstücke nach Form- oder Materialeigenschaften gruppiert, um Typen objektiver zu definieren. In der Archäologie der Spätantike werden z. B. Unmengen an Keramikscherben geborgen – hier hilft die Clusteranalyse, Formenfamilien in der spätrömischen Keramik zu erkennen, zu klassifizieren oder bestehende Klassifikationen zu erweitern. Multivariate Analyseverfahren erlauben es, auf den ersten Blick nicht erkennbare Strukturen in Datensätzen mit vielen Variablen aufzudecken (z. B. welche Kombinationen von Merkmalen typischerweise zusammen auftreten). Ein Beispiel hierfür ist die Analyse der spätantiken Grabsitten entlang der römischen Donaugrenze durch Andrei Soficaru und Joanna Sofaer. Ihre statistische Auswertung der Bestattungspraktiken legt nahe, dass römische und barbarische Traditionen im unteren Donaunraum zwischen dem 4. und 6. Jahrhundert stark miteinander verflochten waren und sich lokale, geschlechtsspezifische sowie kulturell hybride Muster herausbildeten. Durch multivariate Analysen wurden komplexe Überschneidungen sichtbar, die pauschale Vorstellungen von Assimilation oder ethnischer Trennung widerlegen (Soficaru/Sofaer 2021).

Moderne Archäologie nutzt außerdem vermehrt *Bayes'sche Sequenzierung*, beispielsweise für die Kalibrierung und Kombination von Radiokarbonaten. Hierbei werden Messergebnisse mit Expertenwissen (z. B. stratigraphischen Abfolgen) in einem probabilistischen Modell verknüpft, um präzisere Altersabschätzungen zu erhalten. Gerade in Phasen wie der Spätantike, wo die Kalibrierung von einzelnen C14-Messungen häufig aufgrund von Plateaus und Wellen in der Kalibrierkurve nur Zeitspannen mit hohen Unsicherheiten liefert, können solche Modelle helfen, absolute Daten mit relativen Sequenzen in Einklang zu bringen (Weninger 2010).

Schließlich sind räumliche statistische Analysen zu nennen. Durch GIS können etwa räumliche Muster von Fundorten und Fundverteilungen und Beziehungen zwischen diesen sichtbar gemacht werden, die mit traditionellen Methoden schwer zu erfassen wären. Repositorien wie *Mapping Past Societies* (MAPS)⁵⁸ belegen eindrucksvoll, welche Auswertungen GIS-basierte Datenerfassungen gestatten. Verfahren wie die *Nearest-Neighbor-Analyse* prüfen, ob Siedlungen zufällig verteilt oder geclustert sind. *Density Kernels* und *Hot-Spot-Analysen* (heute meist in GIS-Software implementiert) zeigen Konzentrationen von Funden an und erlauben den Vergleich verschiedener Zeitphasen. In der spätantiken Archäologie kann so etwa festgestellt werden, ob sich die Besiedlungsdichte im 5. Jahrhundert deutlich von der des 3. Jahrhunderts unterschied (ein Indikator für Bevölkerungsschwankungen), ob sich Handelsbeziehungen zwischen bestimmten Regionen abschwächten oder intensivierten (z. B. durch Verteilung von Importkeramik) oder ob Gegenden besonders durch Phasen der politischen Instabilität betroffen waren (z. B. durch Kartierung von Hortfunden).

GIS-gestützte Analysen zu Sichtfeldern und Sichtachsen (*Viewshed-Analysen*) bieten der Archäologie der Spätantike neue Möglichkeiten, strategische, symbolische und funktionale Aspekte von Landschaften zu untersuchen. Sie machen sichtbar, welche Straßen, Orte und Landschaftszonen von einem bestimmten Punkt aus einsehbar waren und welche Bedeutung dies bspw. für Kontrolle, Kommunikation oder religiöse Präsenz hatte.⁵⁹ Die Untersuchung von Lukas Schachner zu den Styllitenstandorten im nordsyrischen Kalksteinmassiv war eine der ersten Publikationen, die das große Potential solcher landschaftsarchäologischen Analysen auslotete (Schachner 2010). Untersuchungen zur topographischen Lage und den Sichtfeldern von Kirchen- und Klosterstandorten konnten nachweisen, wie diese als sichtbare Landmarken, spirituelle Grenzposten und soziale Zentralorte gezielt in die Topographie eingebunden waren (Papantoniou et al. 2020). Für Krisenzeiten, etwa während der arabischen-byzantinischen Auseinandersetzungen im 8. bis 10. Jahrhundert, zeigte sich, dass sich in Kappadokien Wegführungen, Bewegungsmuster, Rückzugsräume und Sichtverbindungen veränderten und die Landschaft strategisch umgeformt wurde (Turchetto/Salemi 2017). In der bereits erwähnten Studie zur Region Kyrene wurden die Positionen

58 <https://darmc.harvard.edu/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

59 *Viewshed-Analysen* werden häufiger mit *Least-Cost-Path-Analysen* kombiniert, die Wege und Zugänglichkeiten zwischen Siedlungen oder einzelnen Positionen in der Landschaft modellieren.

spätantiker Festungen und christlicher Kirchen gemeinsam mit Geländemodellen und weiteren Daten ausgewertet, um das Verhältnis der Lage von Wehrbauten zu Kultorten zu verstehen (Abdalahim Sheriff Saad et al. 2016). Das GIS erlaubte dabei, verschiedene Datenschichten zu verknüpfen – von Topographie (Höhenmodelle, Wasserquellen) über Entfernungen (z. B. zu römischen Straßen) bis hin zu archäologischen Funddaten. Die Analyse konnte zeigen, dass Wehrbauten und/oder Kirchen gezielt in Sichtweite wichtiger Routen gebaut wurden und dass sich Siedlungsschwerpunkte vor und nach der Christianisierung verlagerten. Insgesamt erlauben solche GIS-basierten Siedlungs- und Landschaftsanalysen, Räume nicht nur als Kulisse, sondern als aktiv gestaltete und wahrgenommene Umwelten zu analysieren.

Auch *Prädiktionsmodelle* mit Prognosekarten (*predictive modelling*) profitieren von GIS: Unter Einbeziehung bekannter Fundstellen lassen sich mittels statistischer und Machine Learning-basierter Verfahren potenzielle weitere Fundorte im Gelände vorhersagen (Posluschny 2006, bes. 292): Gerade im östlichen Mittelmeerraum, wo große Regionen bislang wenig erforscht sind, hilft dies, die Verbreitung frühbyzantinischer Fundplätze besser einzuschätzen.

Statistische Verfahren zählen damit zu den etablierten Methoden archäologischer Datenanalyse. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, setzt ihr Einsatz jedoch ein vertieftes Verständnis für die Anforderungen an die Daten (Datenqualität, Skalenniveaus, Stichprobengröße, Verzerrungen) voraus. In der Archäologie der Spätantike und des Frühmittelalters haben statistische Analysen ein breites Anwendungsspektrum. Sie reichen von der Zeitbestimmung über die Analyse der wirtschaftlichen Vernetzung bis zur sozialen Interpretation von Fundkomplexen (z. B. im Rahmen von Fragen der Migration und der Ausbildung sozialer Hierarchien). Ihr Potenzial liegt vor allem darin, objektive, messbare und reproduzierbare Ergebnisse zu liefern, die als Grundlage für weitere Deutungen dienen. Gerade in einer Epoche, in der tradierte historische Narrative (Niedergang vs. Kontinuität, „Barbaren“ vs. Römer) die Interpretation beeinflussen, sind quantitative Daten wertvoll, um diese Narrative zu überprüfen oder zu nuancieren.⁶⁰

3.2 3D-Datenanalyse

Neben statistischen und räumlichen Analysen spielt die 3D-Datenverarbeitung eine wachsende Rolle bei der Interpretation. Digitale Punktwolken und 3D-Modelle von Bauwerken können vermessen, virtuell rekonstruiert und analysiert werden. Sie dienen zur Visualisierung verlorener Architektur, aber auch als Forschungswerkzeuge, um Bauphasen zu scheidern, architektonische Details zu untersuchen oder Hypothesen zur ursprünglichen Gestalt und Nutzung zu überprüfen. So tragen 3D-Rekonstruktionen wesentlich dazu bei, Erkenntnisse und Hypothesen zu einem Bauwerk im

60 Vgl. auch die kritische Methodendiskussion bei: Meier 2020.

Raum zu visualisieren. Oft werfen sie im Erstellungsprozess sogar neue Forschungsfragen auf (Lieberwirth/Herzog 2016; Kuroczyński et al. 2019; Messemer 2020; Münster et al. 2024). Als Software werden CAD (Computer Aided Design)-Programme wie AutoCAD oder ArchiCAD sowie komplexere 3D-Modellierungs- und -Animationsprogramme wie 3ds Max, Cinema 4D oder Maya bis hin zu aus dem Gaming-Bereich stammende Simulationssoftware wie Unity und Unreal Engine verwendet. Da sehr hohe Lizenzkosten entstehen können, ist im 3D-Bereich die Open Source-Software Blender⁶¹ beliebt.

Digitale 3D-Rekonstruktionen historischer Bauwerke werden mittlerweile seit über 40 Jahren im wissenschaftlichen Kontext erstellt und nicht nur als Anschauungsobjekte, sondern auch zur Forschung genutzt – diese Entwicklung begann also schon in den 1980er Jahren, hat aber in den letzten zehn Jahren erheblich an Dynamik gewonnen (Messemer 2020, 63–195). Projekte wie *Byzantium 1200* und *Rome Reborn* verdeutlichen diese Ansätze exemplarisch. *Byzantium 1200* ist ein Visualisierungsprojekt, das die urbane Struktur der Stadt Konstantinopel um das Jahr 1200 mittels historischer, archäologischer und literarischer Quellen digital nachbildet.⁶² *Rome Reborn* hingegen rekonstruiert die Stadt Rom um das Jahr 320 n. Chr. und bietet detailreiche Visualisierungen zentraler Bauten wie der Maxentiusbasilika oder des Konstantinsbogens. Stadträumliche Konzepte und Repräsentation von Macht stehen im Fokus der wissenschaftlichen Analyse. Das 1996 am Cultural Virtual Reality Laboratory der University of California (UCLA) gestartete Projekt war in den Versionen 1.0 und 2.0 kostenlos verfügbar und wird seit dem Release der Version 3.0 im Jahr 2018 als kommerzielles Produkt vertrieben, was ihm viel Kritik ehemaliger Beteiligter eingebracht hat.⁶³ Ein für die spätantik-frühbyzantinische Urbanistik interessantes Beispiel ist die 3D-Rekonstruktion von Iustiniana Prima (heute Caričin Grad), einer kurzlebigen Stadtgründung des 6. Jahrhunderts am Geburtsort Kaiser Justinians I. (reg. 527–565) auf dem westlichen Balkan. Digitale Rekonstruktionen der urbanen Struktur, Kirchen, Palastanlagen und Verteidigungsarchitektur erlauben hier Analysen zur Planungsideologie und liturgischen Topographie unter Justinian I (Schreg et al. 2019). Eine der aktuellsten Einzelstudien untersucht am Beispiel des Maxentius-Mausoleums in Rom, wie immersive Analytik die virtuelle Rekonstruktion archäologischer Objekte bereichern kann, und zeigt dies anhand dreier interaktiver 3D-Modelle in einer immersiven VR-Umgebung (Kerle-Malcharek et al. 2025). Ein an dieser Stelle wichtig zu erwähnender Aspekt ist, dass im Rahmen der Weiterentwicklung von Hard- und Software gerade im 3D-Bereich die Modelle schnell veralten und die Qualität älterer Daten als zu niedrig empfunden wird, was ein großes Problem mit der Nachnutzbarkeit von 3D-Daten mit sich bringt.

61 <https://www.blender.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

62 <https://www.byzantium1200.com/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

63 <https://www.flyoverzone.com/rome-reborn-flight-over-rome/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025); vgl. auch Bond 2019.

Ein Forschungsschwerpunkt in der 3D-Analyse liegt auf der Simulation von Raumwahrnehmung, Sichtfeldern und Lichtverhältnissen. Projekte zur Digitalisierung spätantiker und mittelalterlicher Kirchen, etwa durch 3D-Laserscanning oder Virtual Reality (VR), analysieren gezielt liturgische Blickachsen, Raumakustik und Inszenierung sakraler Räume. Durch den Einsatz von Raumakustik-Simulationen wird beispielsweise versucht, die Klanglandschaften (Soundscapes) zu rekonstruieren, die in historischen Kirchenräumen existierten. Dabei wird ein akustisches Modell der Kirche erstellt, das Faktoren wie Hallzeiten, Schallverteilung und Nachhallcharakteristik berücksichtigt. So wurde für die Hagia Sophia eine digitale Rekonstruktion der akustischen Eigenschaften durchgeführt, um zu simulieren, wie byzantinische Hymnen im 6. Jahrhundert in diesem Raum geklungen haben (Pentcheva/Abel 2017). Untersucht werden kann auch, wie die unterschiedliche Positionierung von akustischen Quellen in einem Raum das Klangerleben beeinflusst. Eine weitere Möglichkeit ist die Untersuchung semantisch angereicherter Punktwolken, mit deren Hilfe z. B. Inschriften und ihre Position im Raum kontextualisiert werden können (Lange/Unold 2015). Solche digitalen Rekonstruktionen erlauben eine Annäherung an historische Erfahrungsräume, die mit traditionellen Methoden nur eingeschränkt möglich wäre. Sie verbinden archäologische Daten mit sinnlich-räumlicher Forschung und eröffnen neue Perspektiven auf die Nutzung und Wirkung sakraler Architektur in Spätantike und Mittelalter. Damit wird die digitale Rekonstruktion zu einem eigenständigen methodischen Zugang innerhalb der historischen Wissenschaften.

Ein weiteres, sehr praxisnahes Beispiel der 3D-Datenanalyse ist die virtuelle Zusammenführung von Fragmenten. Mittels 3D-Modellen von Einzelfragmenten zerbrochener Artefakte kann digital geprüft werden, wie diese ‚Puzzleteile‘ ursprünglich zusammengehörten. Dies ist insbesondere bei der Restaurierung zerscherbter Keramik hilfreich (Anichini et al. 2021).⁶⁴ Des Weiteren wird an der digitalen Farbrekonstruktion antiker plastischer Bildwerke geforscht, wobei 3D-Scans und chemische Analysen kombiniert werden, um etwa die Polychromie spätantiker Statuen und Reliefs virtuell zu rekonstruieren oder die Wirkung verschiedener Farbfassungen miteinander zu vergleichen. Ein Projekt, das die Verbindung dieser Verfahren und dessen spektakuläre Umsetzung zeigt, ist die originalgroße Rekonstruktion der 13 m hohen Kolossalstatue Kaiser Konstantins I. (reg. 306-337) aus der Maxentiusbasilika (siehe Abb. 3 nächste Seite).⁶⁵ Diese basiert auf zehn, an verschiedenen Orten im Original erhaltenen Marmorfragmenten, die mithilfe von Photogrammetrie hochauflösend 3D-digitalisiert wurden, sowie auf der Hypothese, dass es sich dabei um die Fragmente einer sitzenden Akrolithstatue handelte, deren nackte Körperpartien aus Marmor und das Gewand aus vergoldeter Bronze bestanden. Die nicht erhaltenen Partien (insbesondere die Gewandpartien) wurden im digitalen 3D-Modell nach römischen

64 Einen hervorragenden Überblick geben Karl et al. 2022.

65 <https://factumfoundation.org/our-projects/3d-sculpting/re-creating-the-colossus-of-constantine/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

Vergleichsstücken modelliert. Aus dem digitalen 3D-Modell wurde schließlich per 3D-Druck eine dreidimensionale Reproduktion erstellt, die den originalen Eindruck von parischem Marmor und vergoldeter Bronze nachempfunden, indem für die sichtbaren Partien Materialien wie Gipsstaub, Polystyrol, Harz, Stuck und Bronzenpulver verwendet wurden, die – wie ehemals vermutlich auch am Original – auf eine verborgene innere Trägerstruktur montiert wurden.



Abb. 3 Rekonstruktion der Kolossalstatue Konstantins I. mithilfe von 3D-Scans der erhaltenen Fragmente und 3D-Druck-Verfahren. Rom, Musei Capitolini, Aufstellung im Garten der Villa Caffarelli. Foto: U. Verstegen, 2024.

3.3 Künstliche Intelligenz und Machine Learning

Ein Meilenstein der jüngsten Zeit ist der Einsatz von Maschinellern Lernen zur Bild- und 3D-Datenanalyse. So gibt es erste Prototypen zur schnellen Klassifikation von Funden mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz (KI). Ein Praxisbeispiel ist das EU-Projekt *ArchAIDE* (2016–2019), in dem eine Anwendung entwickelt wurde, die Keramikscherben vollautomatisch anhand von Fotoaufnahmen bestimmen soll (Anichini et al. 2021). *ArchAIDE* setzt neuronale Netze ein, die entweder Dekormuster oder die Form der Scherbe analysieren, und gleicht diese mit einer Referenzdatenbank ab. Dieses Beispiel verdeutlicht, wie KI-gestützte Tools die Datenanalyse künftig effizienter machen und selbst Nicht-Spezialisten Zugriff auf Expertenwissen ermöglichen werden.

Neben bereits erwähnten Anwendungen, die auch Machine Learning integrieren wie das GIS-basierte *Predictive Modelling* oder das automatisierte Erkennen von archäologischen Fundstellen in Luftbildern, beschäftigen sich erste Forschungsprojekte mit der Anwendung von Computer Vision und *Deep Learning* auf die automatisierte Bildanalyse (Bendschus et al. 2022; Günther et al. 2023). Im Projekt *Iconographics*, das 2019–2022 an der FAU Erlangen-Nürnberg von den Fächern Kunstgeschichte, Klassische Archäologie, Christliche Archäologie und Informatik (Mustererkennung) durchgeführt wurde, wurden neuronale Netze (Convolutional Neural Networks, CNNs) darauf trainiert, in digitalen Reproduktionen historischer Bildwerke der Antike bis Vormoderne automatisch Protagonisten, Objekte (z. B. Kleidungselemente oder Attribute) oder Körperhaltungen zu erkennen (siehe Abb. 4 nächste Seite) mit dem Ziel, Ikonographien automatisiert zu bestimmen – ein Potenzial, das künftig die herkömmliche Bildanalyse maßgeblich unterstützen könnte. Allerdings müssen solche Modelle an die Besonderheiten archäologischer Bildmaterials, wie beschädigte oder fragmentierte Zustände, angepasst werden, was noch eine Herausforderung darstellt (Bendschus et al. 2022). Deep Learning-Modelle können zudem sogenannte Biases (Verzerrungen) enthalten, wenn sie auf unvollständigen, unausgewogenen oder fachfremden Bildcorpora trainiert wurden. Die Balance zwischen technischer Automatisierung und traditioneller geisteswissenschaftlicher Expertise wird entscheidend sein, um die Vorteile von KI in den kommenden Jahren zukunftsweisend und verantwortungsvoll zu nutzen.⁶⁶ Zu erwarten ist beispielsweise, dass Generative KI in der Archäologie zur virtuellen Rekonstruktion fragmentierter Artefakte oder zur Rekonstruktion historischer Landschafts- oder Siedlungsstrukturen verwendet werden wird. Künftig könnte KI auch bei einer automatisierten Fundansprache helfen, wenn der individuelle Wissenshintergrund der bearbeitenden Personen, z. B. aufgrund von zu starker Fragmentierung oder regional untypischen Vorkommens eines Objekts, keine Bestimmung zulässt.

66 Zu der Gefahr einer Simplifizierung archäologischer Daten mit dem Ziel ihrer Nutzbarmachung für KI-Anwendungen: Gattiglia 2025.

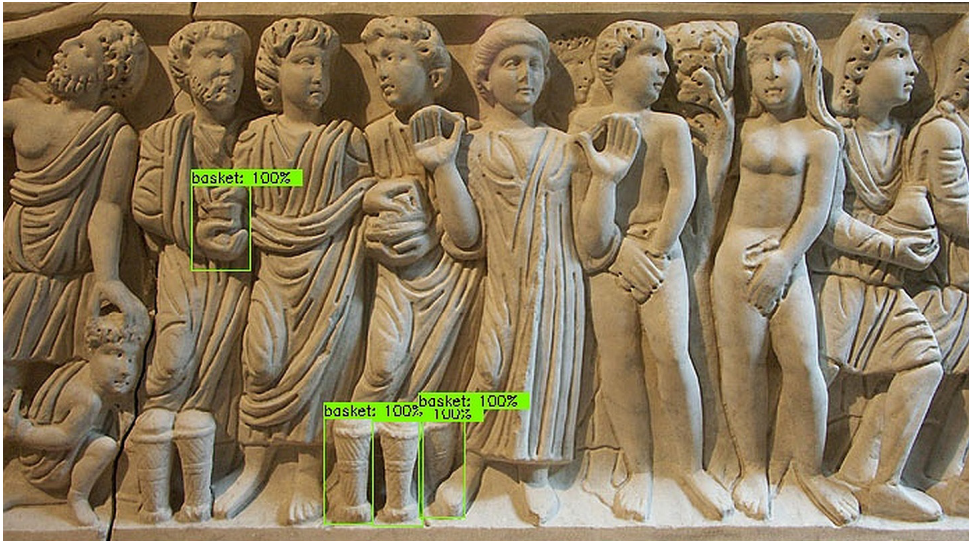


Abb. 4 Test zur automatisierten Objekterkennung auf dem Digitalfoto eines Sarkophags mit Szenen aus dem Alten und Neuen Testament, Projekt Iconographics, LS Christliche Archäologie der FAU. Objekterkennung durchgeführt von: Ronak Kosti und Prathmesh Madhu, 2022.

Diese Entwicklungen werden professionspraktische und wissenschaftstheoretische Implikationen mit sich bringen. So ist zu erwarten, dass sich durch den Einsatz teilautomatisierter Verfahren urheberrechtliche Standards verschieben werden. Grundlegende wissenschaftstheoretische Fragen werden beispielsweise durch die parallele Verwendung des Ähnlichkeitsbegriffs in der archäologischen Forschung und in der KI-gestützten maschinellen Objekterkennung aufgeworfen. Die Analysekatgorie der Ähnlichkeit ist dabei nicht einheitlich definiert, sondern entfaltet **unterschiedliche Bedeutungsdimensionen**, die fachbezogen in jeweils unterschiedlichen epistemischen Kontexten operieren.⁶⁷ Während archäologische und kunsthistorische Klassifikationen Ähnlichkeit nicht als ausschließlich formale, sondern als interpretative, kontextgebundene Kategorie im Rahmen stilistischer, typologischer und motivischer Einordnungen begreifen, operiert Machine Learning mit formalisierten, mathematischen Maßstäben und Wahrscheinlichkeitsoperatoren, die kulturelle Bedeutungen ausblenden. Dies führt zu einer epistemischen Verschiebung vom hermeneutischen Urteil hin zur datenbasierten Mustererkennung. Dabei verlagert sich die Autorität über Klassifikationen potenziell vom forschenden Subjekt auf neuronale Systeme, deren Entscheidungen, wie bereits erwähnt, nicht notwendigerweise transparent sind. Für die Archäologie bietet sich die Chance, beide Ansätze methodisch reflektiert zu kombinieren und die Bedingungen der Ähnlichkeitszuschreibung selbst als erkenntnisleitende Praxis zu begreifen.

67 Vgl. die Tagung „Ähnlichkeit als Methode“ 2023 in Wolfenbüttel.

3.4 Agentenbasierte Modellierung und Netzwerkanalyse

Ein bislang wenig genutzter, innovativer Ansatz in der digitalen Archäologie ist der Einsatz von agentenbasierten Simulationen (Wurzer et al. 2015; Graham 2020; Romanowska et al. 2021). Die agentenbasierte Modellierung (ABM) ist eine in den Sozialwissenschaften entwickelte, computergestützte Methode, bei der individuelle Einheiten, sogenannte Agenten, mit spezifischen Verhaltensregeln ausgestattet werden, um komplexe Systeme und deren emergentes Verhalten zu simulieren. Seit ca. 30 Jahren wird ABM auch zur Rekonstruktion von „past human behavior“, etwa in Bezug auf Siedlungsstrategien, Ressourcennutzung, Handel, Populationsdynamiken oder Krisenbewältigung eingesetzt. Für die Archäologie der Spätantike kann ABM genutzt werden, um soziale, wirtschaftliche und räumliche Dynamiken dieser Epoche besser zu verstehen. 2024 untersuchte eine Studie mithilfe von ABM, wie sich die Klimaveränderungen während der sog. Kleinen Eiszeit der Spätantike (Late Antique Little Ice Age, LALIA) auf die landwirtschaftliche Produktivität und Wirtschaft Südgalliens auswirkten (Bernigaud et al. 2024).

Die ebenfalls aus der soziologischen Forschung stammenden Netzwerkanalysen ermöglichen es, komplexe Beziehungsgeflechte zwischen Personen, Orten oder Objekten sichtbar zu machen und quantifizierbar zu analysieren (vgl. Burge 2024). In der Archäologie werden sie beispielsweise genutzt, um Handelsverbindungen, soziale Strukturen oder Kommunikationswege anhand materieller Funde oder schriftlicher Quellen zu rekonstruieren. Dabei helfen sie, zentrale Akteure oder Knotenpunkte zu identifizieren und überregionale Interaktionen besser zu verstehen. Allerdings bergen historische Netzwerkanalysen das Risiko, aufgrund von lückenhafter Datenbasis eine zu starke Reduktion komplexer historischer Prozesse auf abstrakte, simplifizierende Modelle vorzunehmen. Das Potential von Netzwerkanalysen wird seit einigen Jahren intensiv durch den Byzantinisten Johannes Preiser-Kapeller (ÖAW) ausgelotet (Preiser-Kapeller/Daim 2015; Preiser-Kapeller/Werther 2018).

3.5 Naturwissenschaftlicher Paradigmenwechsel

In den letzten zwei Jahrzehnten hat die interdisziplinäre Archäologieforschung zur Spätantike einen tiefgreifenden epistemischen Umbruch erfahren. Die systematische Einbeziehung paläogenetischer Daten, hochauflösender Klimarekonstruktionen sowie Strontiumisotopenanalysen hat etablierte narrative Modelle zur Bevölkerungsdynamik, Mobilität und Resilienz grundlegend infrage gestellt. Während die Analyse menschlicher historischer DNA (ancient human DNA, aDNA) genetische Kontinuitäten und Migrationsprozesse mit bislang unerreichter Genauigkeit sichtbar macht, erlauben Strontiumisotopenuntersuchungen eine differenzierte Bestimmung individueller geographischer Herkunft und Ernährungsgewohnheiten auf der Grundlage der geochemischen Signatur in Zahnschmelz und Knochen (Formichella et al. 2024;

Velte 2024). Ergänzt durch paläoklimatologische Daten (McCormick et al. 2012) und Analysen mikrobieller sedimentärer DNA (*sedDNA*) (Wang et al. 2025), die Umweltveränderungen als potenzielle Stressfaktoren oder Katalysatoren gesellschaftlicher Umbrüche identifizieren, entsteht ein vielschichtiges Bild historischer Lebenswelten und Mensch-Umwelt-Beziehungen.

Ein prägnantes Beispiel für diese multiperspektivische Herangehensweise bietet die Erforschung der sogenannten Justinianischen Pest, die als erste historisch überlieferte Pandemie zwischen 541 und etwa 750 n. Chr. greifbar ist. Umfangreiche paläogenetische Analysen konnten nachweisen, dass der Erreger dieser Pandemie das Bakterium *Yersinia pestis* war, das weiträumig in Bestattungen dieser Zeit nachzuweisen ist (Keller et al. 2019). Gleichzeitig legen Klimadaten nahe, dass infolge einer plötzlichen, durch Vulkanausbrüche verursachten Abkühlung ab 535/536 n. Chr. eine Periode kühleren Klimas (LALIA⁶⁸) einsetze, die zu Missernten und einer allgemeinen Schwächung der Bevölkerung führte, was die Ausbreitung der Seuche begünstigt haben könnte (Büntgen et al. 2016).

Eine solche multiperspektivische, große Mengen naturwissenschaftlicher Daten integrierende Archäologie kann die historische Bedeutung von heute zentralen Zukunftsfragen wie Klimaresilienz und gesellschaftlichen Wandel adressieren (Izdebski et al. 2024). Für die Christliche Archäologie eröffnet eine solche interdisziplinäre Umweltforschung neue Perspektiven darauf, wie Umweltveränderungen religiöse Praktiken, Raumordnungen und Symbolsysteme beeinflusst haben. Digitale naturwissenschaftliche Daten können helfen, klimatische oder ökologische Umbrüche mit der Entstehung oder Transformation religiöser Bewegungen, Heiligtümer oder Rituale in Verbindung zu setzen (vgl. Zanchetta et al. 2021). So wird sichtbar, wie Religionen auf Krisen reagierten oder selbst zum Umgang mit Umweltveränderungen beitrugen.

Die rasante Entwicklung der paläogenetischen Forschung führt außerdem zu neuartigen, allein auf naturwissenschaftlichen Daten beruhenden Aussagedimensionen über historische Individuen. Eine 2023 in „Nature“ publizierte Studie zeigt, dass mit einer neu entwickelten, nicht-destruktiven Methode aDNA nicht etwa aus menschlichen Skelettresten, sondern aus einem Einzelfund (einem zwischen 19.000 und 25.000 Jahre alten Hirschzahn-Anhänger) extrahiert werden konnte. Hierdurch ließ sich erstmals eine direkte Verbindung zwischen einem Artefakt und einer spezifischen Person herstellen, ohne dass ein archäologischer Fundkontext oder textliche Indizien dafür zugrunde lagen (Essel et al. 2023). Dies eröffnet neue Möglichkeiten, kulturelle und genetische Spuren miteinander zu verknüpfen, ohne wertvolle Objekte zu beschädigen. Um aussagekräftige Ergebnisse zu gewährleisten, ist jedoch während des gesamten Prozesses von Ausgrabung und Analyse eine sorgfältige Handhabung der Funde notwendig, um DNA-Kontamination durch Berührung zu vermeiden.

68 In weiterem Rahmen wird die bereits vor 535/36 n. Chr. einsetzende, kühlere Klimaperiode als „frühmittelalterliches Pessimum“ bezeichnet.

Solche methodischen Erweiterungen und stärkeren Gewichtungen naturwissenschaftlicher Ergebnisse markieren einen Paradigmenwechsel in der Archäologie historischer Perioden, die traditionell stark von der Zusammenschau archäologischer Zeugnisse und schriftlicher Quellen geprägt waren. Sie führen zu einem datenbasierten, multiperspektivischen Zugriff auf die Vergangenheit, der dabei ist, traditionelle, oft textzentrierte Deutungsmuster nachhaltig zu hinterfragen und zu transformieren. Aus einer geisteswissenschaftlichen Perspektive ist die Archäologie gefordert, sich in diesem Diskursrahmen neu zu positionieren und deutlich zu machen, welche genuinen, eigenen Fachkompetenzen in die Diskussion eingebracht werden können. Religionsbezogene Fragestellungen, wie sie die Christliche Archäologie bearbeitet, gehören darunter genau zu denjenigen Themen, die seitens der Geo- und Naturwissenschaften nicht allein adressiert werden können.

4. Dissemination

Die digitale Transformation hat in der Archäologie nicht nur die Methoden der Datenerhebung und -analyse verändert, sondern auch die Art und Weise, wie Forschungsergebnisse veröffentlicht und zugänglich gemacht werden. Die wissenschaftliche Kommunikation ist heute nicht mehr auf gedruckte Monographien und Fachartikel beschränkt, sondern erfolgt zunehmend über Open-Access-Publikationen und in digitalen Repositorien unter Einbeziehung von ergänzenden Materialien wie interaktiven Karten und 3D-Modellen. Diese Entwicklungen ermöglichen eine weitere Verbreitung archäologischer Erkenntnisse und eröffnen neue Wege für interdisziplinäre Zusammenarbeit sowie die Beteiligung der Öffentlichkeit an Forschungsprozessen. Gleichzeitig stellen sie die Wissenschaft vor Herausforderungen im Bereich der Langzeitarchivierung, Datenqualität und ethischen Nutzung digitaler Ressourcen.

4.1 Digitale Publikationsformate

Mit der Digitalisierung wandeln sich in der Archäologie wie in vielen Geisteswissenschaften zunehmend auch die Publikationsformate zur Präsentation der Forschungsergebnisse. Neben digitalen Repositorien zur Forschungsdatenarchivierung (siehe oben) erscheinen immer mehr Publikationen in digitalen Zeitschriften und auf Online-Plattformen. Innovative Formate ermöglichen dabei Publikationsformen, beispielsweise von interaktiven Karten, Datenbanken und 3D-Modellen, die in gedruckten Publikationen nicht möglich waren.

Ein wichtiger digitaler Publikationsort für christlich-archäologische Forschungsergebnisse sind die Publikationsplattformen der Fachinformationsdienste

„Propylaeum“ und „arthistoricum“ an der Universitätsbibliothek Heidelberg.⁶⁹ Sie sind auch deshalb von Bedeutung, weil zahlreiche ältere Fachpublikationen und -journale retrodigitalisiert wurden und hier ebenfalls als Volltexte bereitgestellt und recherchierbar sind.⁷⁰ Die großen Forschungsinstitutionen wie das DAI und die ÖAW unterhalten eigene Publikationsplattformen für Open Access-Veröffentlichungen und digitale Fachzeitschriften.⁷¹ Einige für die Christliche Archäologie zentrale Fachzeitschriften wie die *Dumbarton Oaks Papers*⁷² erscheinen inzwischen auch online und mit Open Access-Zugriff, jedoch hat sich dies noch nicht bei allen Fachjournalen durchgesetzt.

4.2 Virtual Reality und Augmented Reality-Anwendungen

Bereits in den 1990er Jahren prägte Paul Reilly als Pionier auf diesem Feld den Begriff der „virtual archaeology“ (Reilly 1991). Neben der wissenschaftlichen Analyse hat die Vermittlung archäologischer Forschungsergebnisse an eine breitere Öffentlichkeit mittels Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) seitdem eine immer größere Rolle eingenommen und macht archäologische Stätten und Kulturlandschaften in Ausstellungen, vor Ort im Gelände oder online erlebbar (Rodriguez-Garcia et al. 2024). Bei AR-Anwendungen können Benutzer*innen über ihr Smartphone oder mittels AR-Brillen bestehende Architekturen mit digitalen Inhalten überlagern lassen, um zu sehen, wie ein Ort oder Raum in der Vergangenheit ausgesehen haben könnte. Solche interaktiven Präsentationsformen sind heute außerordentlich zahlreich und tragen dazu bei, archäologische Forschung einem breiten Publikum zugänglich zu machen.

Aktuelle Trends im VR-/AR-Sektor unterscheiden sich in Abhängigkeit vom Anwendungsbereich: Museale Anwendungen setzen häufig auf hochdetaillierte, visuell eindrucksvolle, aber weniger interaktive Erfahrungen, die Besucher*innen gezielt durch vorgegebene Inhalte führen. Bildungsanwendungen hingegen bevorzugen explorative und interaktive Umgebungen, bei denen Nutzer*innen sich frei durch virtuelle Rekonstruktionen bewegen und mit Objekten interagieren können. Dieser Trend geht einher mit dem Versuch, durch höhere Interaktivität das Lernengagement zu steigern (Rodriguez-Garcia et al. 2024).

Im Bereich der Hochschullehre wird seit 2020 an der Universität Freiburg in der Abteilung für Byzantinische Archäologie unter Leitung von Fabian Stroth im Projekt

69 <https://www.propylaeum.de/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025); <https://www.arthistoricum.net/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

70 <https://www.arthistoricum.net/themen/textquellen/frbyku> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

71 <https://publications.dainst.org/journals/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025). - <https://verlag.oeaw.ac.at/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

72 <https://dopapers.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

MARBLE (*Mixed and Augmented Reality in Blended Learning Environments*) die Nutzung von Augmented Reality-Technologien (AR) anwendungsorientiert erprobt (Günther et al. 2023, bes. 59–60). Durch den Einsatz von AR-Brillen (Microsoft HoloLens 2) mit transparenten Displays werden reale Umgebungen mit virtuellen Inhalten überlagert. Dadurch lassen sich nicht-reale Objekte direkt im Sichtfeld der Studierenden verorten und mit ihrer physischen Interaktion kombinieren, so dass analoge und digitale Lehrformen effektiv miteinander verschmelzen. Ebenfalls seit 2020 wird am Lehrstuhl Christliche Archäologie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) unter Leitung von Ute Verstegen im Rahmen des Projekts „*Virtual excursions*“ ein digitales Lehrangebot entwickelt, das 360°-Videos in die Lehre integriert (Verstegen et al. 2022). Dafür wurden mit digitalen 360°-Kameras umfassende Aufnahmen von Monumenten und archäologischen Stätten erstellt, die das Erleben realer Exkursionen simulieren, Erläuterungen von Expert*innen integrieren und im Anschluss digital aufbereitet und z. B. um Grundrisse ergänzt wurden (siehe Abb. 5 nächste Seite). Durch die Nutzung der 360°-Videos können Lernende individuell oder in Gruppen virtuelle Exkursionen unternehmen und so ein tieferes Verständnis für räumliche Zusammenhänge und historische Kontexte entwickeln. Insbesondere ermöglicht diese Technologie, Studierenden durch die Nutzung von VR-Brillen immersive Einblicke in archäologische Stätten zu gewähren, die sonst schwer zugänglich wären (z. B. wegen kriegerischer Auseinandersetzungen, Museumsschließungen oder schlicht zu hoher Reisekosten). Die Projektevaluation zeigte, dass die verschiedenen, mit 360°-Videos möglichen Lehrszenarien nicht nur die Vermittlung von Fachwissen unterstützen, sondern auch die Motivation der Studierenden steigern und das selbstgesteuerte Lernen fördern. Auch an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn arbeitet die Abteilung Christliche Archäologie gemeinsam mit dem Bonn Center for Digital Humanities jüngst an Projekten zum Einsatz von VR mit 3D-Modellen in der Lehre.⁷³

73 <https://www.iak.uni-bonn.de/christliche-archaeologie/de/forschung/lehrprojekte-1/die-krypta-von-san-marco-in-venedig> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

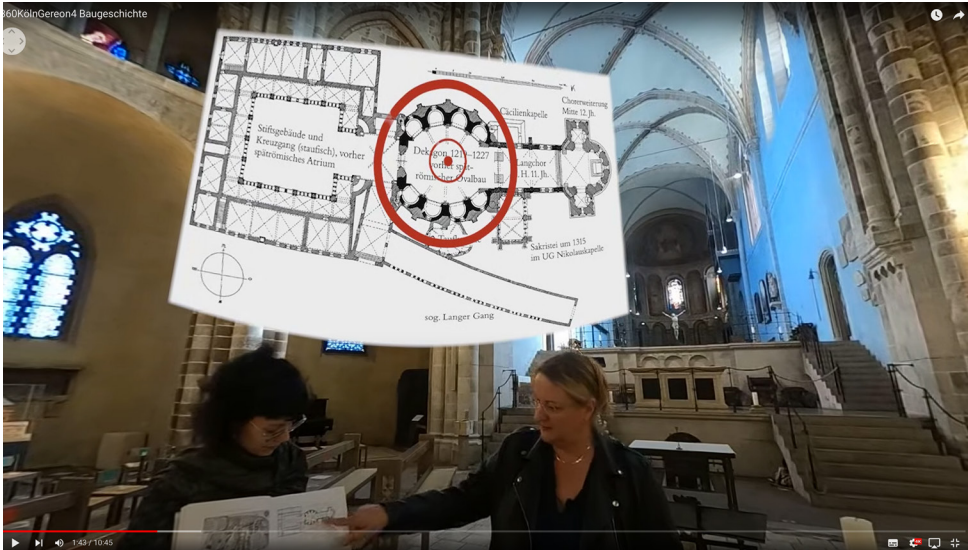


Abb. 5 Ute Versteegen (rechts) erläutert im Rahmen einer virtuellen Exkursion den Kirchenbau St. Gereon in Köln. Screenshot aus einem nachbearbeiteten 360°-Video mit integriertem Grundriss (Video: Falk Nicol, Alissa Dittes, Luis Fensel).

4.3 Videos und MOOCs

In der christlich-archäologischen Lehre und Wissenschaftskommunikation gewinnen neben VR- und AR-Anwendungen auch videogestützte Formate generell zunehmend an Bedeutung. Besonders während der COVID-19-Pandemie wurden solche digitalen Formate intensiv weiterentwickelt und ihre Einsatzmöglichkeiten als Wissensquellen sind vielfältig (Versteegen 2024). Der Lehrstuhl für Christliche Archäologie der FAU betreibt seit 2019 beispielsweise den eigenen YouTube-Kanal „INVESTIGATIO CA“⁷⁴, auf dem selbst erstellte Videomaterialien verschiedener Formate und Längen als Open Educational Resources veröffentlicht werden. Darüber hinaus wird für Einführungsveranstaltungen das Inverted Classroom-Modell genutzt, bei dem Studierende sich u. a. mithilfe dieser Videos eigenständig auf Präsenzveranstaltungen vorbereiten (Mührenberg/Versteegen 2022). Insbesondere die nur wenige Minuten langen Kurzvideos (Micro-Teaching-Videos, „Erklärvideos“), die zentrale Fachtermini und Sachverhalte erläutern, orientieren sich ästhetisch und sprachlich an populären YouTube-Formaten und bedienen damit Sehgewohnheiten einer jüngeren Zielgruppe. Themen, die auch in Schullehrplänen enthalten sind (z. B. antike Säulenordnungen) erreichen bei diesen Videos besonders hohe Klickzahlen.

74 <https://www.youtube.com/@investigatioca4638> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

Einen anderen, niederschweligen, flexiblen Zugang zu archäologischem Wissen bieten Massive Open Online Courses (MOOCs). Sie adressieren sowohl ein akademisches als auch ein breiteres, interessiertes Publikum und werden auf Plattformen wie Coursera bereitgestellt.⁷⁵ Zwar gibt es bislang keine Kurse, die ausschließlich christlich-archäologische Inhalte thematisieren, jedoch enthalten viele MOOCs bspw. zur römischen Archäologie auch Wissensinhalte zur Spätantike und natürlich zur Archäologie allgemein.

4.4 Künstliche Intelligenz und Machine Learning

Auch wenn KI-Anwendungen erst seit wenigen Jahren im Consumer-Bereich Einzug gehalten haben, wurden bereits erstaunlich viele unterschiedliche Ansätze erprobt, um KI in Vermittlungskontexten einzusetzen. Museen setzen sich intensiv damit auseinander, wie verschiedene Projekte, Konferenzen und Publikationen belegen.⁷⁶ Zu den zentralen Einsatzfeldern zählen Verfahren wie personalisierte Führungen, Chatbots und KI-gestütztes digitales Kuratieren. Auch sprachbasierte KI wird verstärkt für die Vermittlung von musealen Inhalten eingesetzt. So entwickelte das Städel-Museum 2021 mit dem Projekt *CHIM* einen Chatbot, der auf mündliche Fragen zu Ausstellungsobjekten antwortet und Hintergrundwissen auf dialogische Weise vermittelt. Das Projekt *With AI to Art!* in der Hamburger Kunsthalle erweiterte 2022/23 diesen Ansatz um KI-gestützte Charaktere wie Helena von Troja, mit denen Besuchende über vergangene Epochen kommunizieren konnten. Experimentiert wird außerdem mit der Präsentation von digitalen 3D-„Zwillingen“ von Museumsobjekten in Ausstellungen außerhalb der Sammlungen, in denen die Originale gezeigt werden. Insgesamt lässt sich beobachten, dass KI nicht nur bestehende museale Praktiken unterstützt, sondern auch neue Formen von Partizipation, Kontextualisierung und Wissensvermittlung hervorbringt, indem komplexe Informationen individuell aufbereitet, historische Narrative publikumsnah transportiert und neue digitale Zugangsmöglichkeiten geschaffen werden. Vielen Projekten scheint aber noch keine sonderliche Langlebigkeit zu bescheinigen zu sein. Der Erfolg von KI-erzeugten Videos zum antiken Rom oder zum Thema „Historical Figures brought to life with AI“⁷⁷ oder „Face to Face with Ancient Egyptians“⁷⁸ (siehe Abb. 6 nächste Seite), die Hunderttausende Aufrufe auf *YouTube* und rege, teils durchaus konstruktiv-kritische Reaktionen und damit eine hohe Aufmerksamkeit bei einem historisch interessierten Publikum generieren, lässt

75 <https://www.coursera.org/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

76 <https://www.herder-institut.de/event/conference-artificial-intelligence-in-archives-and-collections/> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025); Thiel/Bernhardt 2024. Zu den im Folgenden genannten Beispielen finden sich jeweils Aufsätze in dieser Publikation.

77 Vgl. den YouTube-Channel EquatorAI: <https://www.youtube.com/@EquatorAI> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

78 <https://www.youtube.com/watch?v=cO6vYnLXNTM> (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).

erwarten, dass bild- und videobasierte KI-Anwendungen auch in der musealen Vermittlung bald verstärkt auftreten werden.

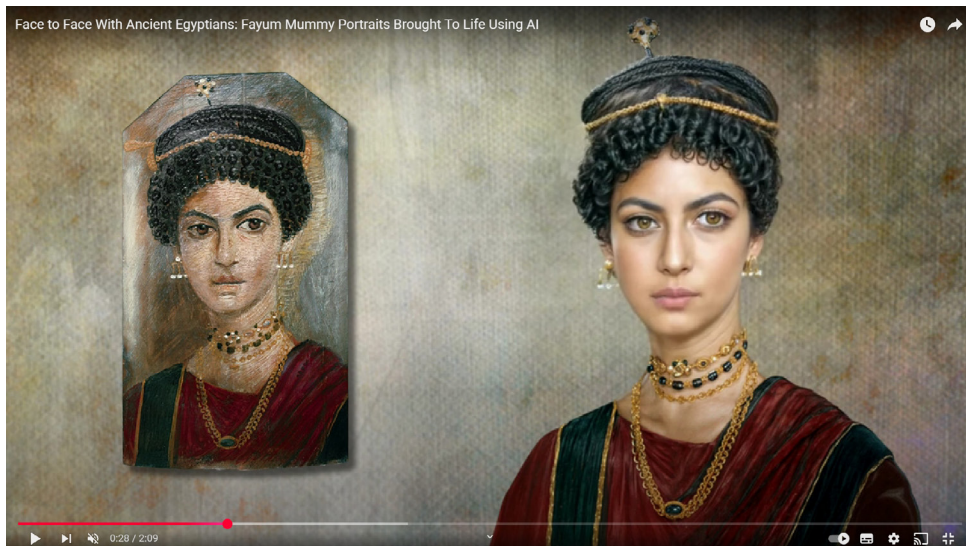


Abb. 6 Screenshot aus dem YouTube-Video „Face to face with ancient Egyptians“ auf dem YouTube-Kanal Equator AI. Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=cO6vYnlXNTM> (20.03.2025), 00:28 min.

5. Fazit: Chancen und Herausforderungen der Christlichen Archäologie im Kontext einer Digital Archaeology

Im Kontext der Digital Archaeology steht die Christliche Archäologie vor weitreichenden Chancen und komplexen Herausforderungen. Einerseits eröffnen technologische Innovationen wie Künstliche Intelligenz, Big Data, Virtual und Augmented Reality sowie Citizen Science neue Perspektiven für die Dokumentation, Erforschung und Vermittlung des Kulturellen Erbes. Virtuelle Rekonstruktionen frühchristlicher Kirchenbauten und Begräbnisstätten etwa ermöglichen völlig neuartige, immersive, multisensorische Zugänge zu vormals schwer zugänglichen oder vorstellbaren Räumen. Gleichzeitig erfordern diese Entwicklungen eine kritische Reflexion über Datenqualität, Datenstandards, nachhaltige Archivierung und nicht zuletzt ethische Fragen (Dennis 2020; Watrall/Goldstein 2022).

Trotz nationaler und internationaler Initiativen bestehen weiterhin grundlegende Probleme in der Standardisierung, Interoperabilität und Langzeitarchivierung archäologischer Daten. Viele Softwareanwendungen weisen proprietäre, schnell

wechselnde Formate auf, Datenrepositorien beruhen auf uneinheitlichen Metadatenstandards. Zudem ist zu bedenken, dass auch vermeintlich abschließende Klassifikationssysteme von einer Fachcommunity weiterentwickelt und mit älteren Versionen kompatibel gehalten werden müssen. Auch noch so detailliert ausgearbeitete Klassifikationssysteme helfen nicht, wenn Fundansprachen in einer Datenbank vage oder unbestimmt bleiben. Im Rahmen einer postkolonialen Archäologie muss außerdem kritisch reflektiert werden, ob für archäologische Projekte außerhalb Europas und Nordamerikas Klassifikationssysteme übernommen werden sollen, die für europäische Kontexte entwickelt wurden und die lokale Wissenssysteme unberücksichtigt lassen. Dies führt zu ethischen Spannungen, da kulturelle Vielfalt missachtet und epistemische Ungerechtigkeit gefördert werden kann (Lampe 2021).

Etlche digitale Werkzeuge und Algorithmen (z. B. für Mustererkennung oder Simulationen) funktionieren auf eine Weise, die für Archäolog*innen schwer nachvollziehbar ist. Wenn beispielsweise maschinelles Lernen zur Interpretation von Fundverteilungen oder Deep Learning zur Objekterkennung eingesetzt wird, ist oft nicht klar, wie ein Algorithmus oder Neuronales Netz zu bestimmten Ergebnissen gekommen ist („black box“). Dies erschwert es, die wissenschaftliche Verantwortung für die Resultate zu übernehmen oder diese kritisch zu hinterfragen.

Hinzu treten ethische Fragen der Repräsentation, der digitalen Zugänglichkeit und des geistigen Eigentums, insbesondere im Umgang mit sensiblen Daten aus dem Bereich des Kulturellen Erbes. Im Kulturgutbereich kann es beispielsweise herausfordernd sein, zwischen der Einhaltung der FAIR-Prinzipien und dem Kulturgüterschutz abzuwägen. Plattformen mit offenen Geodaten stellen GPS-Koordinaten von archäologischen Stätten bereit, was zu Plünderungen und Zerstörung durch Raubgrabungen führen kann. Das Christentum ist eine für die Spätantike zentrale Religion, jedoch nicht nur. Viele Forschungen, Bauaufnahmen und virtuelle Rekonstruktionen betreffen sakrale Räume, die auch heute noch für religiöse Glaubensgemeinschaften Bedeutung besitzen. Hier stellt sich die Frage, wie eine Balance zwischen wissenschaftlicher Dokumentation und spiritueller Respekt gefunden werden kann.

Nicht zuletzt eröffnet die Integration naturwissenschaftlicher Daten aus Bereichen wie Paläoökologie, Paläoklimatologie oder Archäogenetik zukunftsweisende neue Zugänge zu Fragen nach der Wechselwirkung von Umweltveränderungen, Migration und religiösem Wandel. Durch die Berücksichtigung dieser Daten kann die Christliche Archäologie als Teil einer Archäologie der Spätantike zur Deutung langfristiger Transformationsprozesse im Umgang mit Krisen und Mobilität beitragen. Die Herausforderung der kommenden Jahre wird darin bestehen, technologische Innovationen und naturwissenschaftliche Daten mit geisteswissenschaftlicher Expertise zu verknüpfen und sicherzustellen, dass digitale Methoden nicht nur als Werkzeuge, sondern als integraler Bestandteil der archäologischen Forschung verstanden werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Digitalisierung nicht nur neue Möglichkeiten eröffnet, sondern auch dazu beiträgt, das Kulturelle Erbe verantwortungsvoll zu bewahren und für zukünftige Generationen zugänglich zu machen. Die

Zukunft des Fachs wird in einer hochgradig interdisziplinären, ethisch reflektierten und technisch fundierten Forschungspraxis liegen, die digitale Methoden nicht nur als Werkzeuge, sondern als erkenntnistheoretische Impulse versteht.

Literaturverzeichnis

- Abdalahim Sheriff Saad, A./Farag Abdel Hati, S./Antonelli, Sonia/Menozzi, Oliva/Petraccia, Veronica/Somma, Maria C. 2016: GIS of the chora of Cyrene. Fortifications and Christian buildings in Late Antiquity. In: *Libyan Studies* 47: 31–66. DOI: 10.1017/lis.2016.7.
- Apel, Jochen 2024: Forschungsdatenmanagement. In: Nunn, Christopher A./van Oorschot, Frederike (Hg.): *Kompendium Computational Theology 1. Forschungspraktiken in den Digital Humanities*. Heidelberg, heiBooks: 427–440. DOI: 10.11588/heibooks.1459.c21925.
- Anichini, Francesca/Dershowitz, Nachum/Dubbini, Nevio/Gattiglia, Gabriele/Itkin, Barak/Wolf, Lior 2021: The automatic recognition of ceramics from only one photo. The ArchAIDE app. In: *Journal of Archaeological Science: Reports* 36. DOI: 10.1016/j.jasrep.2020.102788.
- Bendschus, Torsten/Mührenberg, Lara/Reinhardt, Corinna/Kosti, Ronak/Madhu, Prathmesh/Verstegen, Ute 2022: Computer Vision und Deep Learning aus der Perspektive der archäologischen Bildanalyse. In: Dieckmann, Lisa/Pfleging, Bettina/Schelbert, Georg/Wübbena, Thorsten (Hg.): *4D. Dimensionen | Disziplinen | Digitalität | Daten. Computing in Art and Architecture 6*. Heidelberg, arthistoricum.net. DOI: 10.11588/arthistoricum.1100.c15427.
- Bernigaud, Nicolas/Bondeau, Alberte/Guiot, Joël/Bertoncello, Frédérique/Ouriachi, Marie-Jeanne/Bouby, Laurent/Leveau, Philippe/Bernard, Loup/Isoardi, Delphine 2024: The impact of climate change on the agriculture and the economy of Southern Gaul: New perspectives of agent-based modelling. In: *PLOSone* 19 (3). DOI: 10.1371/journal.pone.0298895.
- Bickler, Simon H. 2021: Machine Learning Arrives in Archaeology. In: *Advances in Archaeological Practice* 9 (2): 186–191. DOI: 10.1017/aap.2021.6.
- Birk, Jago J./Bugarski, Ivan/Fiedler, Sabine/Ivanišević, Vujadin/Kroll, Henriette/Marković, Nemanja/Reuter, Anna/Röhl, Constanze/Schreg, Rainer/Stamenković, Aleksander/Stamenković, Sonja/Steinborn, Miriam 2016: An imperial town in a time of transition: Life, environment, and decline of early Byzantine Caričin Grad. In: Gert-Jan Burgers/Kluiving, Sjoerd/Pelgrom, Jeremia et al. (Hg.): *LAC 2014 Proceedings*: 1–11. DOI: 10.5463/lac.2014.4.
- Bond, Sarah E. 2019: A Virtual Reality App that Reconstructs Ancient Rome May Have Exploited Its Developers. In: *Hyperallergic*, 19.02.2019. <https://hyperallergic.com>.

- com/480239/a-virtual-reality-app-that-reconstructs-ancient-rome-may-have-exploited-its-developers/ (zuletzt abgerufen am 20.03.2025).
- Büntgen, Ulf/Myglan, Vladimir S./Ljungqvist, Fredrik C. et al. 2016: Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD. *Nature Geoscience*, 9 (3): 231–236. DOI: 10.1038/ngeo2652.
- Burge, Caitlin 2024: Netzwerkanalyse. In: Nunn, Christopher A./van Oorschot, Frederike (Hg.): *Kompendium Computational Theology 1. Forschungspraktiken in den Digital Humanities*. Heidelberg, heiBooks: 221–233. DOI: 10.11588/heidbooks.1459.c21913.
- Clarke, David L. 1971: *Analytical archaeology*. London, Methuen.
- Danthine, Brigit/Hiebel, Gerald/Rampl, Gerhard 2024: Geoinformationssysteme (GIS) in den Geschichtswissenschaften. In: Antenhofer, Christina/Kühberger, Christoph/Strohmeier, Arno (Hg.): *Digital Humanities in den Geschichtswissenschaften*. Böhlau, Wien: 165–190.
- Dennis, L. Meghan 2020: Digital Archaeological Ethics. Successes and Failures in Disciplinary Attention. In: *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 3 (1): 210–218. DOI: 10.5334/jcaa.24.
- Dragendorff, Hans 1895/1896: Terra sigillata. Ein Beitrag zur Geschichte der griechischen und römischen Keramik. In: *Bonner Jahrbücher. Jahrbücher des Vereins von Altertumsfreunden im Rheinlande* 96/97: 18–155. DOI: 10.11588/bjb.1895.0.31276.
- Essel, Elena/Zavala, Elena. I./Schulz-Kornas, Ellen et al. 2023. Ancient human DNA recovered from a Palaeolithic pendant. In: *Nature*, 618: 328–332. DOI: 10.1038/s41586-023-06035-2.
- Evans, Thomas L./Daly, Patrick (Hg.) 2006: *Digital Archaeology. Bridging Method and Theory*. London, Routledge.
- Fisher, Erich 2020: Art. Archaeoinformatics. In: *Oxford Research Encyclopedia of Anthropology*. DOI: 10.1093/acrefore/9780190854584.013.43.
- Formichella, Giulia/Soncin, Silvia/Lubritto, Carmine/Tafuri, Mary A./Fernandes, Ricardo/Cocoza, Carlo 2024: Introducing Isotopia. A stable isotope database for Classical Antiquity. In: *PLoS ONE* 19 (6). DOI: 10.1371/journal.pone.0293717.
- Forte, Maurizio/Campana, Stefano (Hg.) 2016: *Quantitative Methods in the Humanities and Social Sciences. Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology: Archaeology in the Age of Sensing*. Cham, Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-40658-9.
- Garstki, Kevin 2020: *Digital Innovations in European Archaeology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Gattiglia, Gabriele 2025: Managing Artificial Intelligence in Archeology. An overview. In: *Journal of Cultural Heritage*, 71: 225–233. DOI: 10.1016/j.culher.2024.11.020.
- Gius, Evelyn 2024: Named Entity Recognition. In: Nunn, Christopher A./van Oorschot, Frederike (Hg.): *Kompendium Computational Theology 1. Forschungspraktiken*

- in den Digital Humanities. Heidelberg, heiBooks: 249–264. DOI: 10.11588/hei-books.1459.c21915.
- Göldner, Reiner 2021: TachyGIS – An Idea to Survey Archaeological Excavations with Total Station and GIS. In: Börner, Wolfgang/Kral-Börner, Christina/Rohland, Hendrik (Hg.): *Monumental Computations. Digital archaeology of large urban and underground infrastructures. Proceedings of the International Conference on Cultural Heritage and New Technologies*, Vienna. Heidelberg, Propylaeum: 595–597. DOI: 10.11588/propylaeum.747.c11857.
- Graham, Shawn 2020: *An Enchantment of Digital Archaeology: Raising the Dead with Agent-Based Models, Archaeogaming and Artificial Intelligence*. Digital Archaeology. Documenting the Anthropocene 1. New York, Berghahn. DOI: 10.1515/9781789207873.
- Groh, Stefan/Lindinger, Volker/Löcker, Klaus/Neubauer, Wolfgang/Seren, S. Sirri 2006. *Neue Forschungen zur Stadtplanung in Ephesos*. In: *JÖAI* 75: 47–116.
- Gussone, Martin 2016: *Zur Methodik der Interpretation, multidisziplinärer Prospektionsergebnisse* in Resafa, Syrien. In: Lieberwirth, Undine/Herzog, Irmela (Hg.): *3D-Anwendungen in der Archäologie. Computeranwendungen und quantitative Methoden in der Archäologie. Workshop der AG CAA und des Exzellenzclusters Topoi 2013*. Topoi, Berlin: 129–156. DOI: 10.17171/3-34-8.
- Günther, Elisabeth/Bendschus, Torsten/Deligio, Chrisowalandis/Hofmann, Kerstin P./Kipke, Marta/Langner, Martin/Reinhardt, Corinna/Rösler, Katja/Verstegen, Ute 2023: *Neues Sehen – Aktuelle Ansätze der Digitalen Archäologie in der Objekt- und Bildwissenschaft. Teil 3/4: Bildmustererkennung und Einsatz von KI*. In: *Digital Classics Online* 9: 116–161. DOI: 10.11588/dco.2023.9.98489.
- Günther, Elisabeth/Brünenberg, Clemens/Mischka, Carsten/Mischka, Doris/Stroth, Fabian 2023: *Neues Sehen – Aktuelle Ansätze der Digitalen Archäologie in der Objekt- und Bildwissenschaft. Teil 1/4: Digitale Archäologie in der universitären Lehre*. In: *Digital Classics Online* 9: 54–77. DOI: 10.11588/dco.2023.9.94357.
- Hostettler, Marco/Buhlke, Anja/Drummer, Clara/Emmenegger, Lea/Reich, Johannes/Stäheli, Corinne (Hg.) 2024: *The 3 Dimensions of Digitalised Archaeology. State-of-the-Art, Data Management and Current Challenges in Archaeological 3D-Documentation*. Cham, Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-53032-6.
- Ihm, Peter 1978: *Statistik in der Archäologie. Probleme der Anwendung, allgemeine Methoden, Seriation und Klassifikation*. Unter Mitwirkung v. Jens Lüning und Andreas Zimmermann. *Archaeo-physika* 9. Rheinland, Köln.
- Inomata, Takeshi 2024: *Lidar, Space, and Time in Archaeology. Promises and Challenges*. In: *Annual Review of Anthropology* 53: 75–92. DOI: 10.1146/annurev-anthro-041222-093758.
- Izdebski, Adam/Bloomfield, Kevin/Eastwood, Warren J. et al. 2024: *The Emergence of Interdisciplinary Environmental History. Collaborative Approaches to the Late Holocene*. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*: 1–43. DOI: 10.1017/ahsse.2022.21.

- Karl, Stephan/Houska, Peter/Lengauer, Stefan/Haring, Jessica/Trinkl, Elisabeth/Preiner, Reinhold 2022: Advances in digital pottery analysis. In: *Information Technology*, 64 (6): 195–216. DOI: 10.1515/itit-2022-0006.
- Keay, Simon J. 1984: Late Roman Amphorae in the Western Mediterranean. A typology and economic study: the Catalan evidence. BARI 196, B.A.R., Oxford.
- Keller, Marcel/Spyrou, Maria. A./Scheib, Christiana L. et al. 2019: Ancient Yersinia pestis genomes from across Western Europe reveal early diversification during the First Pandemic (541–750). In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (25): 12363–12372. DOI: 10.1073/pnas.1820447116.
- Kerle-Malcharek, Wilhelm/Hann-von-Weyhern, Niklas/Hailer, Ulf/Diefenbach, Steffen/Feyer, Stefan P./Klein, Karsten/Schreiber, Falk 2025: The Junction of Immersive Analytics and Virtual Reconstruction.: A Case Study on the Mausoleum of Emperor Maxentius. In: *Journal on Computing and Cultural Heritage* 18 (Preprint). DOI: 10.48550/arXiv.2503.11653.
- Kohle, Hubertus 2024: Bilddigitalisierung. In: Nunn, Christopher A./van Oorschot, Frederike (Hg.): *Kompendium Computational Theology 1. Forschungspraktiken in den Digital Humanities*. Heidelberg, heiBooks: 127–137. DOI: 10.11588/hei-books.1459.c21907.
- Külzer, Andreas/Polloczek, Veronika/ St. Popović, Mihailo/Koder, Johannes (Hg.) 2020: Raum und Geschichte. Der historische Atlas „Tabula Imperii Byzantini“ an der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. *Studies in historical geography and cultural heritage* 3. Wien, Novi Sad.
- Kuroczyński, Piotr/Pfarr-Harfst, Mieke/Münster, Sander (Hg.) 2019. *Der Modelle Tugend 2.0: Digitale 3D-Rekonstruktion als virtueller Raum der architekturhistorischen Forschung*. *Computing in art and architecture* 2. arthistoricum.net, Heidelberg. DOI: 10.11588/arthistoricum.515.
- Lange, Felix/Unold, Martin 2015: Semantisch angereicherte 3D-Messdaten von Kirchenräumen als Quellen für die geschichtswissenschaftliche Forschung. In: Baum, Constanze/Stäcker, Thomas (Hg.): *Grenzen und Möglichkeiten der Digital Humanities*. Sonderband der Zeitschrift für digitale Geisteswissenschaften 1. Forschungsverbund Marbach Weimar Wolfenbüttel, Wolfenbüttel. DOI: 10.17175/sb001_015.
- Lampe, Moritz 2021: Diskriminierende Begriffe und Wissensordnungen im Bildarchiv. Eine postkoloniale Perspektive am Beispiel des Bildindex der Kunst und Architektur. *Berliner Handreichungen zur Bibliotheks- und Informationswissenschaft* 481. DOI: 10.18452/23766.
- Lieberwirth, Undine/Herzog, Irmela (Hg.) 2016: 3D-Anwendungen in der Archäologie. Computeranwendungen und quantitative Methoden in der Archäologie – Workshop der AG CAA und des Exzellenzclusters Topoi 2013. *Berlin studies of the ancient world* 34. Topoi, Berlin. DOI: 10.17171/3-34.
- Loeschcke, Siegfried 1919: *Lampen aus Vindonissa: Ein Beitrag zur Geschichte von Vindonissa und des antiken Beleuchtungswesens*. Beer, Zürich.

- McCormick, Michael/Büntgen, Ulf/Cane, Mark A. et al. 2012: Climate Change during and after the Roman Empire. Reconstructing the Past from Scientific and Historical Evidence. In: *The Journal of Interdisciplinary History* 43 (2): 169–220. DOI: 10.1162/JINH_a_00379.
- Meier, Thomas 2020: Methodenprobleme einer Chronologie der Merowingerzeit in Süddeutschland. Eine Diskussion anhand von Matthias Friedrich „Archäologische Chronologie und historische Interpretation: Die Merowingerzeit in Süddeutschland“ (2016). In: *Germ.* 98: 237–290.
- Messemer, Heike 2020: Digitale 3D-Modelle historischer Architektur. Entwicklung, Potentiale und Analyse eines neuen Bildmediums aus kunsthistorischer Perspektive. *Computing in Art and Architecture* 3. arthistoricum.net, Heidelberg. DOI: 10.11588/arthistoricum.516.
- Mührenberg, Lara/Verstegen, Ute 2022: Christliche Archäologie im „inverted classroom“ und auf „virtueller Exkursion“. In: Döring, Karoline D./Haas, Stefan/König, Mareike/Wettlaufer, Jörg (Hg.): *Digital History. Konzepte, Methoden und Kritiken Digitaler Geschichtswissenschaft. Studies in Digital History and Hermeneutics* 6. De Gruyter Oldenbourg, Berlin: 281–302. DOI: 10.1515/9783110757101-015.
- Müller, Johannes/Zimmermann, Andreas (Hg.) 1997: *Archäologie und Korrespondenzanalyse: Beispiele, Fragen, Perspektiven. Internationale Archäologie* 23. Leidorf, Rahden.
- Münster, Sander/Apollonio, Fabrizio. I./Blümel, Ina et al. 2024: *Handbook of Digital 3D Reconstruction of Historical Architecture. Synthesis Lectures on Engineers, Technology, & Society* 28. Cham, Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-43363-4.
- Novaković, Predrag/Horňák, Milan/Zachar, Ján (Hg.) 2017: *3d Digital Recording of Archaeological, Architectural and Artistic Heritage. CONPRA Series* 1. Ljubljana, University of Ljubljana Press. DOI: 10.4312/9789612378981.
- Papantoniou, Giorgos/Sarris, Apostolos/Morris, Christine E./Vionis, Athanasios K. 2020: Digital Humanities and Ritual Space. A Reappraisal. In: *Open Archaeology*, 5 (1): 598–614. DOI: 10.1515/opar-2020-0103.
- Pentcheva, Bissera. V./Abel, Jonathan. S. 2017: Icons of Sound. Auralizing the Lost Voice of Hagia Sophia. In: *Speculum* 92 (S1): 336–360. DOI: 10.1086/693439.
- Posluschny, Axel 2006: Erkenntnisse auf Knopfdruck? GIS und PC in der Kulturlandschaftsforschung. Grundsätzliche Überlegungen. In: Schenk, Winfried/Bergmann, Rudolf (Hg.): *Historische Kulturlandschaftsforschung im Spannungsfeld von älteren Ansätzen und aktuellen Fragestellungen und Methoden. Institutioneller Hintergrund, methodische Ausgangsüberlegungen und inhaltliche Zielsetzungen. Siedlungsforschung* 24. Bonn, ARKUM: 289–312.
- Preiser-Kapeller, Johannes/Daim, Falko (Hg.) 2015: *Harbours and Maritime Networks as Complex Adaptive Systems*. Mainz, Römisch-Germanisches Zentralmuseum.
- Preiser-Kapeller, Johannes/Werther, Lukas 2018: Connecting Harbours. A comparison of traffic networks across ancient and medieval Europe. In: von

- Carnap-Bornheim, Claus/Daim, Falko/Ettel, Peter/Warnke, Ursula (Hg.): Harbours as objects of interdisciplinary research: Archaeology + history + geosciences. Interdisziplinäre Forschungen zu den Häfen von der Römischen Kaiserzeit bis zum Mittelalter in Europa 5. Mainz, Römisch-Germanisches Zentralmuseum: 7–31. DOI: 10.48550/arXiv.1611.09516.
- Reilly, Paul 1991: Towards a virtual archaeology. In: Rahtz, Sebastian/Lockyear, Kris (Hg.): Computer applications and quantitative methods in archaeology 1990. BAR.I 565. Oxford, Tempus Reparatum: 133–139.
- Ritter, Jonathan 2022: Forschungen im Rahmen des Projektes „Shapes of Ancient Greece“. Digitales Zeichnen mit dem Laser Aided Profiler. In: Forum for Digital Archaeology and Infrastructure 2022: 1–27 (§). DOI: 10.34780/f6aa-qca6.
- Rodriguez-Garcia, Bruno/Guillen-Sanz, Henar/Checa, David/Bustillo, Andres 2024: A systematic review of virtual 3D reconstructions of Cultural Heritage in immersive Virtual Reality. In: Multimedia Tools and Applications 83: 89743–89793. DOI: 10.1007/s11042-024-18700-3.
- Romanowska, Iza/Wren, Colin. D./Crabtree, Stefani. A. (Hg.) 2021: Agent-based modeling for archaeology: Simulating the complexity of societies. Santa Fe/NM, Santa Fe Institute Press.
- Schachner, Lukas A. 2010: The Archaeology of the Stylite. In: Gwynn, David M./Bangert, Susanne/Lavan, Luke/Machado, Carlos (Hg.): Religious diversity in late antiquity. Late antique archaeology 6. Leiden, Brill: 329–397.
- Schreg, Rainer/Zdravković, Vladan/Ivanišević, Vujadin/Stamenković, Aleksandar 2019: Iustiniana Prima. Eine der letzten Stadtgründungen der Antike. In: Pasch, Eva/Kieburg, Holger (Hg.): Auferstehung der Antike: Archäologische Stätten digital rekonstruiert. AW.S 2019,1. Darmstadt, WBG Philipp von Zabern: 106–109.
- Schroeder, Caroline T. 2024: Virtuelle Forschungsumgebungen. In: Nunn, Christopher A./van Oorschot, Frederike (Hg.): Compendium Computational Theology 1. Forschungspraktiken in den Digital Humanities. Heidelberg, heiBooks: 411–426. DOI: 10.11588/heibooks.1459.c21924.
- Siegmund, Frank 2020: Statistik in der Archäologie. Eine anwendungsorientierte Einführung auf Basis freier Software. Norderstedt, Books on Demand. https://www.frank-siegmund.de/images/pdfs/Siegmund-F_2020_ArchaeoStatistik_PrePrint.pdf.
- Soficaru, Andrei D./Sofaer, Joanna R. 2021: Regional Patterns in Mortuary Practice in the Lower Danube Region in the 4th–6th Centuries. In: ArKB 51 (2): 263–285. DOI: 10.11588/ak.2021.2.89288.
- Sokolicek, Alexander 2024: Digital Humanities in der Geschichtswissenschaft. Das Beispiel der Digital Archaeology. In: Antenhofer, Christina/Kühberger, Christoph/Strohmeier, Arno (Hg.): Digital Humanities in den Geschichtswissenschaften. Wien, Böhlau: 191–204.
- Stelzner, Jörg 2016: Die Computertomographie als Untersuchungs- und Dokumentationsmethode zur Bearbeitung frühmittelalterlicher Fundkomplexe. Dissertation

- an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste Stuttgart. DOI: 10.11588/artdok.00004429.
- Sylaiou, Stella/Tsifodimou, Zoi-Eirini/Evangelidis, Konstantinos/Stamou, Aikaterini/Tavantzis, Ioannis/Skondras, Alexandros/Stylianidis, Efstratios 2025: Redefining Archaeological Research. Digital Tools, Challenges, and Integration in Advancing Methods. In: *Applied Sciences*, 15 (5): 2495. DOI: 10.3390/app15052495.
- Tanasi, Davide/Gradante, Ilenia/Hassam, Stephan 2019: Best Practices for 3D Digital Recording and Global Sharing of Catacombs from Late Roman Sicily. In: *Studies in Digital Heritage* 3(1): 60–82. DOI: 10.14434/sdh.v3i1.25290.
- Thiel, Sonja/Bernhardt, Johannes C. (Hg.) 2024: AI in Museums. Reflections, Perspectives and Applications. Edition Museum 74. Bielefeld, transcript.
- Turchetto, Jacopo/Salemi, Giuseppe 2017: Hide and Seek. Roads, Lookouts and Directional Visibility Cones in Central Anatolia. In: *Open Archaeology*, 3(1): 69–82. DOI: 10.1515/opar-2017-0004.
- Veling, Alexander 2024: Die Archäologie des 1. Jahrtausends zwischen gesellschaftlicher Verantwortung und wissenschaftlicher Relevanz. *ArKB* 54 (1): 95–124. DOI: 10.11588/ak.2024.1.106434.
- Velte, Maren 2024: Stable isotope analyses of human skeletal remains. Enlightening different origins, diets and weaning patterns among the population of South Bavaria during the „Dark ages“. Dissertation an der Fakultät für Biologie der LMU München. DOI: 10.5282/edoc.33705.
- Verstegen, Ute 2024: Videos als Wissensquellen für die Geschichtswissenschaft. In: Antenhofer, Christina/Kühberger, Christoph/Strohmeyer, Arno (Hg.): *Digital Humanities in den Geschichtswissenschaften*. Wien, Böhlau: 413–431.
- Verstegen, Ute/Mührenberg, Lara/Nicol, Falk/Abura, Jenny 2022: Virtual Reality in der Christlichen Archäologie. Zur Konzeptionierung virtueller Exkursionen und ihrem Einsatz in der universitären Lehre. In: Pirker, Viera/Pišonić, Klara (Hg.): *Virtuelle Realität und Transzendenz. Theologische und pädagogische Erkundungen*. Freiburg, Herder: 191–221.
- Vinci, Giacomo/Vanzani, Federica/Fontana, Alessandro/Campana, Stefano 2024: LiDAR Applications in Archaeology. A Systematic Review. In: *Archaeological Prospection* 32 (1): 81–101. DOI: 10.1002/arp.1931.
- Wang, Yi/Schleheck, David/Marinova, Elena/Wessels, Martin/Schaller, Sebastian/Anselmetti, Flavio S./Schwalb, Antje/Pedersen, Mikkel W./Epp, Laura S. 2025: Microbial sedimentary DNA from a cultural landscape disentangles the impacts of humans and nature over the past 13,5 thousand years. In: *bioRxiv*, veröffentlicht am 17.03.2025. DOI: 10.1101/2025.03.14.642998.
- Watrall, Ethan/Goldstein, Lynne (Hg.) 2022: *Digital heritage and archaeology in practice. Data, ethics, and professionalism*. Gainesville/FL, University Press of Florida.

- Weninger, Franz 2010: Bayesian sequencing of radiocarbon dates: Problems and improvements. Dissertation an der Fakultät für Physik der Universität Wien. DOI: 10.25365/thesis.15273.
- Wurzer, Gabriel/Kowarik, Kerstin/Reschreiter, Hans (Hg.) 2015: Agent-based Modeling and Simulation in Archaeology. *Advances in Geographic Information Science*. Cham, Springer.
- Zanchetta, Giovanni/Bini, Monica/Bloomfield, Kevin et al. 2021: Beyond one-way determinism. San Frediano's miracle and climate change in Central and Northern Italy in late antiquity. In: *Climatic Change*, 165 (1): 25. DOI: 10.1007/s10584-021-03043-x.
- Zimmermann, Norbert 2016: Das Start-Projekt zur Domitilla-Katakombe. Neue Methoden und neue Ergebnisse in Vorbereitung des Repertoriums der Maleereien. In: Brandt, Olof/Fiocchi Nicolai, Vincenzo/Castiglia, Gabriele (Hg.): *Acta XVI Congressus Internationalis Archaeologiae Christianae Romae (22-28.9.2013)*. *Costantino e i Costantinidi - l'innovazione costantiniana, le sue radici e i suoi sviluppi*. Pars 2. SAC 66. Pontificio Istituto di Archeologia Cristiana, Città del Vaticano: 1993–2009.
- Zimmermann, Norbert/Rutgers, Leonard V./Kodzoman, Eva/Vilella, Antonello/Dee, Michael W. 2022: The Jewish Catacomb at Vigna Randanini in Rome. A New Architectural and Archaeological Study, with an Appendix on Tomb Statistics. In: *Römische Mitteilungen* 128: 360–431. DOI: 10.34780/6cr2-27c3.

Verzeichnis erwähnter Internetauftritte (alle abgerufen am 26.06.2025)

- 4CARE-SKOS: <https://4care-skos.mf.no/>
- Archaeology Data Service (ADS): <https://archaeologydataservice.ac.uk/>
- ARIADNE Plus: <https://ariadne-infrastructure.eu/>
- Arthistoricum, Universitätsbibliothek Heidelberg: <https://www.arthistoricum.net/>
- Arthistoricum, Universitätsbibliothek Heidelberg, Textquellen digital: <https://www.arthistoricum.net/themen/textquellen/frbyku>
- Atlas-Projekt Tabula Imperii Byzantini (TIB) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften: <https://tib.oeaw.ac.at/>
- Bildindex der Kunst und Architektur: <https://www.bildindex.de/>
- Bildlexikon zur spätantiken Kleidung: <https://bildlexikon-kleidung.uni-bonn.de/>
- Blender, Open Source-Software: <https://www.blender.org/>
- Byzantium 1200: <https://www.byzantium1200.com/>
- British Museum: <https://www.britishmuseum.org/collection/>
- CAA Deutschland: <https://ag-caa.de/geschichte/>
- CIDOC CRM (Conceptual Reference Model): <https://cidoc-crm.org/>

Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA): <https://caa-international.org/>

Coursera: <https://www.coursera.org/>

Creative Commons Licenses: <https://creativecommons.org/share-your-work/cclicenses/>

DataCite: <https://schema.datacite.org/>

Deutsche Digitale Bibliothek: <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/>

Deutsches Archäologisches Institut (DAI), Publikationsplattform: <https://publications.dainst.org/journals/>

Dublin Core: <https://www.dublincore.org/>

Dumbarton Oaks Papers: <https://dopapers.org/>

Dumbarton Oaks Sammlungen: <https://www.doaks.org/resources/online-collections>

EAGLE (Europeana Network of Ancient Greek and Latin Epigraphy): <https://www.eagle-network.eu/>

Europeana: <https://www.europeana.eu/>

EquatorAI (YouTube): <https://www.youtube.com/@EquatorAI>

EquatorAI (YouTube), Face to Face With Ancient Egyptians: Fayum Mummy Portraits Brought To Life Using AI: <https://www.youtube.com/watch?v=cO6vYnlXNTM>

Factum Foundation, Re-creating the Colossus of Constantine: <https://factumfoundation.org/our-projects/3d-sculpting/re-creating-the-colossus-of-constantine/>

Gemeinsame Normdatei (GND) der Deutschen Nationalbibliothek: https://www.dnb.de/DE/Professionell/Standardisierung/GND/gnd_node.html

GeoNames: <https://www.geonames.org/>

Getty Research Institute, Art & Architecture Thesaurus (AAT): <https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/aat/>

Getty-TGN: <https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/tgn/>

Global Digital Heritage zur San Gennaro-Katakombe in Neapel: https://globaldigitalheritage.org/search/?_country=italy&_region=capodimonte-naples, durchgeführt in Kooperation mit dem ZAMANI project, der Università degli Studi di Napoli „L’Orientale“, der Administration der Catacombe di Napoli sowie Dieter Korol (Westfälische Wilhelms-Universität Münster)

GO FAIR, Fair Principles: <https://www.go-fair.org/fair-principles/>

Grabungsdatenbank iDAI.field: <https://field.idai.world/>

Heritage Data: <https://www.heritagedata.org/>

Herder-Institut, Conference: Artificial Intelligence in Archives and Collections: <https://www.herder-institut.de/event/conference-artificial-intelligence-in-archives-and-collections/>

IANUS Forschungsdatenzentrum: <https://ianus-fdz.de/>

IANUS, FDM Empfehlungen, Kontrollierte Vokabulare, Thesauri und Normdaten: <https://ianus-fdz.de/it-empfehlungen/projektphasen/dokumentation/kontrollierte-vokabulare-thesauri-und-normdaten/>

ICONCLASS: <https://iconclass.org/>

iDAI.ChronOntology: <https://chronontology.dainst.org/>
 iDAI.gazetteer: <https://gazetteer.dainst.org/>
 iDAI.objects arachne: <https://arachne.dainst.org/>
 Index of Medieval Art: <https://theindex.princeton.edu/>
 INVESTIGATIO CA (YouTube): <https://www.youtube.com/@investigatioca4638>
 KOMPAKKT: <https://kompakkt.de/>
 Last Statues of Antiquity: <http://laststatues.classics.ox.ac.uk/>
 Louvre: <https://collections.louvre.fr/>
 Mapping Past Societies (MAPS): <https://darmc.harvard.edu/>
 Metropolitan Museum of Art: <https://www.metmuseum.org/art/collection>
 Museum für Byzantinische Kunst der Staatlichen Museen zu Berlin: <https://recherche.smb.museum/>
 Museum für Byzantinische Kultur in Thessaloniki: <https://www.mbp.gr/en/collections/>
 MuseumPlus: <https://www.zetcom.com/museumplus-de/>
 Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI): <https://www.nfdi.de/>
 Olympia-Projekt des DAI: <https://www.dainst.org/forschung/projekte/olympia-grabungsgeschichten-digital/5762>
 Österreichische Akademie der Wissenschaften, Verlag: <https://verlag.oeaw.ac.at/>
 PeriodO, internationale Perioden-Gazetteer: <https://perio.do/en/>
 Pleiades-Gazetteer: <https://pleiades.stoa.org/>
 Pontificia Commissione di Archeologia sacra, Foto- und Dokumentenarchiv: <http://www.archeologiasacra.net/pcas-web/fototeca>
 Propylaeum, Universitätsbibliothek Heidelberg: <https://www.propylaeum.de/>
 Propylaeum-VITAE: Akteure – Netzwerke – Praktiken, Art. Oscar Montelius: https://sempub.ub.uni-heidelberg.de/propylaeum_vitae/de/wisski/navigate/21530/view
 QGIS: <https://www.qgis.org/>
 RADAR4culture: <https://radar4culture.radar-service.eu/>
 Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Abteilung Christliche Archäologie/Bonn Center for Digital Humanities, Forschungsprojekt: <https://www.iak.uni-bonn.de/christliche-archaeologie/de/forschung/lehrprojekte-1/die-krypta-von-san-marco-in-venedig>
 Rome Reborn, Flyover Zone: <https://www.flyoverzone.com/rome-reborn-flight-over-rome/>
 Sketchfab: <https://sketchfab.com/>
 St. Petersburger Eremitage: <https://www.hermitagemuseum.org/woa-search/>
 Syrian Heritage Archive Project: <https://arachne.dainst.org/project/syrher>
 tDAR (the Digital Archaeological Record): <https://core.tdar.org/>
 Vatikanischen Museen: <https://catalogo.museivaticani.va/>
 Victoria & Albert Museum in London, websites terms and conditions: <https://www.vam.ac.uk/info/va-websites-terms-conditions>
 Wortnetz Kultur (WNK): <https://wnk-viewer.lvr.de/>