

Sachbericht zum Verwendungsnachweis für das BMBF-geförderte Projekt ΦΩΣ4D (Phos4D) - Werkzeug zur Affordanz-basierten Tageslichtanalyse in antiken Häusern mittels Simulation

Förderkennzeichen 01UG2125A

VORGELEGT VON

Prof. Dr. Franziska Lang, Fachgebiet Klassische Archäologie, Fachbereich 15 Architektur, TU Darmstadt (Koordination)

Prof. Dr.-Ing. Clemens Brünenberg, Fachgebiet Klassische Archäologie, Fachbereich 15 Architektur, TU Darmstadt

Dr. Lars. O. Grobe, Institute of Civil Engineering, Lucerne University of Applied Sciences and Arts Lucerne

Jane Kreiser, MA, Fachgebiet Klassische Archäologie, Fachbereich 15 Architektur, TU Darmstadt

Claudia Mächler, M.A. M.Sc., Fachgebiet Klassische Archäologie, Fachbereich 15 Architektur, TU Darmstadt

Dr. Juan Manuel Monteoliva, Institute of Civil Engineering, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Lucerne

Dipl.-Ing. Andreas Noback, Fachgebiet Klassische Archäologie, Fachbereich 15 Architektur, TU Darmstadt

Dr. Stephen Wasilewski, Institute of Civil Engineering, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Lucerne

ARBEITSGRUPPEN

Klassische Archäologie	Dr. Julian Hollaender Jane Kreiser, M.A. Prof. Dr. Franziska Lang Josephine Schoeneberg, M.A.
Historische Bauforschung	Prof. Dr. Clemens Brünenberg Claudia Mächler, M.A., M.Sc.
Tageslichtforschung	Dr. Lars O. Grobe Dipl.-Ing. Andreas Noback Dr. Juan Manuel Monteoliva Dr. Stephen Wasilewski

VERBUNDPARTNER

Arbeitsgruppe Alte Geschichte	Lehrstuhl für Alte Geschichte, Historisches Seminar, Universität Leipzig Prof. Dr. Charlotte Schubert Dr. Roxana Kath
-------------------------------	---

PROJEKTLAUFZEIT: 01.02.2021 – 31.01.2024

Teil I – Kurze Darstellung

1. AUFGABENSTELLUNG

In dem interdisziplinären Projekt Φωσ4D (Phos4D) wurde das Tageslicht als Parameter in der Erforschung von Aktivitäten in antiken Wohnhäusern untersucht. Methodisch-konzeptionell ging es gemäß der Förderlinie des BMBF um die Frage, inwieweit der computergestützte Ansatz neue Möglichkeiten für eine archäologische Interpretation bietet. Die Verfügbarkeit von Tageslicht strukturiert und bestimmt die multimodalen Tätigkeiten im Tages- und Jahresverlauf (Affordanz). Deshalb wurde dem Tageslicht ein objekthafter Charakter zugewiesen und in Verbindung mit der Simulation war es möglich, das immaterielle Tageslicht als Analysekategorie einzusetzen. Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Metrik, die auf der digitalen Rekonstruktion von Wohnhäusern und der Computersimulation des verfügbaren Tageslichtes aufbaut, um die an das Tageslicht gebundenen antiken Aktivitäten zu bestimmen und daraus einen Einblick in die Strukturierung des Alltags im antiken Wohnhaus zu gewinnen.

Aufgrund der interdisziplinären Struktur des Projektes mit Disziplinen aus den geisteswissenschaftlichen (Klassische Archäologie, Alte Geschichte) und ingenieurwissenschaftlichen (Bau- und Tageslichtforschung) Disziplinen ergeben sich methodisch-konzeptionelle Unterschiede, die wiederum die Programmlinie der Projektausschreibung optimal entsprachen und sich wie folgt ergeben:

Der AG Archäologie oblag die Konzeption zu Aktivitätsanalysen, der Affordanztheorie und der Erfassung von Aktivitäten im häuslichen Kontext. Kernaufgabe der AG Historische Bauforschung stellte die Bereitstellung bauhistorisch fundierter, geschlossener 3D-Rekonstruktionsmodelle für die Tageslichtsimulation dar. Der Schwerpunkt des Projekts bestand für die AG Tageslichtforschung in der Konzeption, Entwicklung und Validierung eines Simulationswerkzeuges – den *phos4dtools* – zur Berechnung der Tageslicht-Affordanz in antiken Siedlungen, sowie dessen exemplarische Anwendung und Validierung im Rahmen der ausgewählten Fallstudien.

2. VORAUSSETZUNG - WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND

Voraussetzung für die Durchführung des Pilotprojektes Φωσ4D war die Bildung einer interdisziplinären Arbeitsgruppe, mit der das epistemologische Potential der Affordanztheorie in der antiken Wohnhausforschung ausgelotet werden konnte. Die disziplinären Ansätze analytisch-empirischer (Geisteswissenschaften) und datenbasiert-digitaler Methoden (Ingenieurwissenschaften) wurden komplementär vernetzt. Konkret waren die Archäologie, Bauforschung, Althistorie, Gebäudetechnologie und Tageslichtforschung in dem Team vertreten. Die projektspezifischen Anforderungen wurden in drei Fallstudien mit jeweils unterschiedlichen methodischen Herausforderungen erprobt. Diese waren Orraon (GR), Ostia (I) und Pompeji (I). Die für das Projekt notwendigen Daten wurden größtenteils von den Kooperationspartnern zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus konnte insbesondere die AG Archäologie auf publizierte Fundvorlagen zurückgreifen. In einigen Fällen waren Vorortbegehungen für das Projekt notwendig, um Informationen zu ergänzen, was vor allem die AG Bauforschung betraf. Für die AG Tageslichtforschung wurden die beiden frei zugänglichen Simulationsprogramme Raytraveler und Radiance eingesetzt und weiterentwickelt.

Der theoretische Ansatz des Projektes basiert auf der Affordanztheorie des amerikanischen Wahrnehmungspsychologen James J. Gibson. Er entwickelte ein Konzept, in dem er der Natur einen Angebotscharakter zuschreibt, aus dem der Mensch auswählen kann. Dieser Ansatz wurde im Projekt als Theorie zur Tageslichtaffordanz aufgegriffen. Dem Tageslicht wird ein Angebots-/Aufforderungscharakter zuerkannt. Mit dieser Entscheidung wurde die Perspektive auf die Verfügbarkeit (Affordanz) von Tageslicht gelenkt, die zur Lokalisierung von Aktivitäten und Nutzungsmöglichkeiten in antiken Häusern genutzt werden kann.

3. ABLAUF

Ausgehend von der Projektidee und den Projektzielen wurden fachspezifische Arbeitsgruppen (Archäologie, Bau- und Tageslichtforschung, Alte Geschichte) eingerichtet. Die fachlichen Arbeiten wurden in den Teilprojektgruppen durchgeführt, wobei die einzelnen Teilprojektgruppen stark miteinander verzahnt und sehr vielschichtig waren. Für die Arbeitsstruktur bedeutete dies, dass von Beginn an kontinuierlich interdisziplinäre Arbeitstreffen stattfanden, in denen der Arbeitsstand und die weiteren Schritte diskutiert wurden.

In regelmäßigen Abständen tauschten sich die verschiedenen Arbeitsgruppen in einem gemeinsamen mehrstündigen Plenum über den Fortgang der Arbeiten aus. Neben diesen Ergebnissen wurde im Rahmen der Arbeitstreffen das weitere methodische und theoretische Vorgehen diskutiert.

Darüber hinaus gab es eine Reihe von Workshops mit externen Gästen und Projektpartnern zu speziellen Themen (bspw. GIS, Datenbankdesign und -management, BIM Standards etc.) statt. Daneben führten die einzelnen AGs untereinander und innerhalb der AGs eine Vielzahl weiterer Besprechungen durch. Insgesamt wurden im Berichtszeitraum etwa 200 bis 250 Besprechungen durchgeführt. Die Koordination und Verwaltung des Gesamtprojektes oblagen der AG Archäologie. Exkursionen dienten der Überprüfung des Bestandes vor Ort und der Klärung von Fragen.

4. ERGEBNISSE

Zentrales Ergebnis des Projektes Φωσ4D war die Bereitstellung der *phos4dtools*. Diese ermöglichten die Berechnung von räumlich und zeitlich aufgelöst Beleuchtungsstärken auf der Basis eines typischen meteorologischen Jahres berechnet werden. Neu war das eigens entwickelte Sampling-Verfahren, mit dem die moderne äquinoktialer Stundenteilung auf Temporalstunden übersetzt wurde. Für die Bewertung wurden Schwellenwerte für die erforderliche Beleuchtung festgelegt, die sich auf physiologischen Studien zur Farb- und Kontrastwahrnehmung beruhen. Mit dem neuen Werkzeug kann für einen Ort berechnet werden, wie viele Stunden des Tages eine bestimmte Tätigkeit in einem gegebenen Zeitabschnitt des antiken Jahres ausgeübt werden kann oder ob diese Aktivität das ganze Jahr möglich ist. Die *phos4dtools* sind dabei so implementiert, dass sie die georeferenzierten Daten der Rekonstruktionsmodelle verarbeiten können und ihre Ergebnisse in archäologische GIS-Workflows übernehmen können. Mit den *phos4dtools* können nun Affordanz-basierte Tageslichtanalysen in antiken Wohnhäusern durchgeführt werden, um Aktivitätszonen und die Raumnutzungen zu bestimmen sind. Entsprechende Datensätze stehen für die Fallstudien zur Verfügung.

Mit den Ergebnissen der AG Historische Bauforschung vor allem im Hinblick auf die Erarbeitung einer neuen Rekonstruktionsmethodik und dem Umgang von Forschungsdaten nach den FAIR-Prinzipien gelang es, die eigene Disziplin im interdisziplinären Kontext technisch wie methodisch digital weiterzuentwickeln. Innerhalb des Verbundprojektes diente die Methodik zur Quantifizierung von Unschärfen in den Rekonstruktionsmodellen und der Steigerung der Aussagekraft von Tageslichtsimulationen, indem sie eine angemessene Gewichtung der Ergebnisse erlauben.

Die Projektergebnisse von Φωσ4D zeigen, dass die Archäologie im Bereich der antiken Wohnhausforschung durch die digitale Methodik der Tageslichtsimulation der bisherigen archäologischen Unschärfe in Hinblick auf Aktivitätenanalysen antiker Wohnhäuser begegnen kann und neue Erkenntnismöglichkeiten, etwa bei der Erforschung sozio-politischer Praktiken in antiken Häusern, hinzugewonnen hat. Gleichzeitig konnte das Konzept der Affordanz weiterentwickelt werden. Es steht außer Frage, dass die gewählte Fragestellung ohne den Einsatz digitaler Methoden nicht hätte verfolgt werden können.

5. KOOPERATIONEN

Die ausgewählten Beispiele erforderten die Kooperationen mit den jeweils zuständigen Denkmalämtern in Griechenland und Italien. Enge Zusammenarbeit bestand mit Kolleg:innen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, der Freien Universität Berlin, der University of Edinburgh und University of California.

Teil II – Ausführliche Darstellung

1. VERWENDUNG DER ZUWENDUNG UND ERZIELTE ERGEBNISSE

Das Projekt Φωσ4D wurde unter Beteiligung der geisteswissenschaftlichen Disziplinen Klassische Archäologie und Alte Geschichte sowie den ingenieurwissenschaftlichen Fächern Historische Bauforschung und Tageslichtforschung durchgeführt worden. Organisatorisch handelt es sich um ein Verbundprojekt mit dem Institut für Alte Geschichte der Universität Leipzig (Projektnummer 01UG2125B). Aufgrund der Verbundstruktur wird der Tätigkeitsbericht der AG Alte Geschichte separat vorgelegt. Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Arbeitsgruppen Klassische Archäologie, Historische Bauforschung und Tageslichtforschung, wobei im Folgenden lediglich die wichtigsten Teilergebnisse aufgeführt sind. Für eine detaillierte Darstellung wird auf die Zwischenberichte des Projekts (2022-2024) verwiesen.

Die interdisziplinäre Zusammensetzung der Projektgruppe erforderte zu Beginn ausführliche Diskussionen über den Begriffsapparat und der anzuwendenden Methoden erforderlich. Ebenso mussten die Fallbeispiele diskutiert werden, da sich schon früh abzeichnete, dass nicht alle Arbeitsgruppen mit den vorgesehenen Beispielen gleichermaßen aussagekräftige Analysen durchführen konnten.

Die erreichten Ziele werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

Für das zentrale Fallbeispiel Pompeji liegen für eine ganze Insula mit einer Vielzahl von Räumen sowohl archäologische und bauhistorische Daten als auch Tageslichtdaten vor, so dass Raumtypen wie Atrien, Läden, Küchen etc. untereinander verglichen werden können.

Die Archäologie führte die Aktivitätenanalyse für die Vorbereitung der Vergleichsauswertung mit den Tageslichtaffordanzen durch und unternahm die notwendigen Schritte, um die gewonnenen Raum-Sachdaten schließlich in einer GIS-Analyse zusammenzuführen, u.a. wurden die Tageslichtdaten für die Integration in GIS-Systeme optimiert.

Die Bauforschung erstellte die für die AG Tageslichtforschung notwendigen geometrischen 3D-Modelle der Fallbeispiele. Darüber hinaus erarbeitete sie eine neue Rekonstruktionsmethodik auf der Grundlage digitaler Arbeitsweisen, die eine wichtige Weiterentwicklung für die Fachdisziplin darstellt.

Die AG Tageslichtforschung hat Verfahren für klimabasierten, d.h. den Einfluss des Wetters statistisch berücksichtigende, Tageslichtsimulation an Temporalstunden angepasst, die so der antiken Arbeitszeitgestaltung näherkommen. Zudem liegen die Tageslichtdaten für verschiedene, an die antike Praxis angepasste Messgeometrien und Arbeitshöhen vor und Schwellenwerte für gutes Farb- und Detailsehen definiert. Schließlich wurde mit der maßgeblichen Entwicklung der *phos4Dtools* ein wichtiges Hauptziel des Projektes entwickelt, mit denen die Metriken zur Tageslichtaffordanz gemessen werden können.

2. AUSFÜHRLICHE DARSTELLUNG ERGEBNISSE

2.1. AUSGANGSLAGE

Antike Wohnhäuser sind komplexe Gebilde, in denen politische, sozioökonomische, technische, ökologische und normative Bedingungen als Teil menschlicher Praktiken eng mit Artefakten und Architektur verflochten sind. Hier existieren ganzheitliche Handlungsspektren – Wohnen, Arbeiten, religiöse Praktiken etc. –, die eine große Herausforderung für die archäologische Aktivitätsanalyse darstellen. Diese besteht u.a. darin, dass es häufig schwierig ist, anhand archäologischer Befunde eindeutige Rückschlüsse auf Funktion und Nutzung von Räumen in antiken Häusern zu ziehen. Die Gründe hierfür liegen generell in den unterschiedlichen Überlieferungsbedingungen der materiellen Kultur, dem mobilen Charakter von Artefakten und in den vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten eines Objektes, was bedeutet, dass trotz morphologisch immanent funktionaler Eigenschaften dasselbe Objekt unterschiedlich verwendet werden konnte. Häufig wird der Fundort eines mobilen Objekts mit dem Nutzungsort verbunden, auch wenn ebenfalls im Haushalt vorkommende Lager- oder Bereithaltungsvorrichtungen eines Objekts bekannt sind. Ebenso wenig bietet die Architektur zweifelsfreie Zuschreibungen, welche Handlungen in welchen Räumen vorgenommen wurden. Aus antiken Schriftquellen weiß man beispielsweise, dass auch die Räume mit festen Installationen multifunktional genutzt werden konnten.

Das Pilotprojekt Φωσ4D hatte sich daher zum Ziel gesetzt, Lösungsansätze für die beschriebenen Herausforderungen zu entwickeln. Dazu war es notwendig, Variablen zu finden, die nicht den genannten Schwierigkeiten unterliegen und dennoch einen Bezug zum Wohnen haben. Die Wahl fiel auf das Tageslicht als neue Bezugsgröße. Die Aufgabe des Projektes bestand nun darin, die Tageslichtanalyse fruchtbar zu machen, um die Bedingungen häuslicher Nutzung in der Antike zu ermitteln.

Tageslicht ist eine physikalisch messbare Größe und tagsüber immer vorhanden. Es ist variabel, nicht sichtbar und es hat keine materiellen Eigenschaften im Sinne archäologischer Artefakte. Tageslicht steht in zweifacher Beziehung zum Menschen. Zum einen ist es ein physiologisches Phänomen und beeinflusst die Wahrnehmung (Reflexion, Lichtmenge, Kontrast) des Menschen. Erst durch Licht können wir unsere Umwelt sehen und erkennen. Licht ermöglicht, bewirkt und begrenzt soziale, technische und kulturelle Praktiken. Andererseits wird Licht durch die Umwelt gelenkt und der anthropogene Einfluss hängt von den soziokulturellen Kontexten ab. Licht wird durch die Architektur beschränkt (Dächer, Raumöffnung) und kann vom Menschen durch spezielle Vorrichtungen, wie Läden, Raumhöhe, farbliche Gestaltung von Wand- und Bodenoberflächen oder Mobiliar gesteuert werden. Deshalb betrachten wir Tageslicht trotz seiner immateriellen Eigenschaften als ein Objekt mit epistemischem Potenzial. Denn Tageslicht strukturiert und bestimmt Räume im Tages- und Jahresverlauf (klimabasiert), wodurch multimodale Nutzungsmöglichkeiten in antiken Wohnhäusern untersucht werden können. Die Nutzungsmöglichkeit beschreibt die Verwendung von Objekten in einem bestimmten Raum durch den Menschen zur Ausübung bestimmter Tätigkeiten.

Die kulturwissenschaftliche Theorie der Assemblage und Affordanz eignen sich für die konzeptionell-theoretische Rahmung des Projektes. In Kombination mit digitalen Methoden der Rekonstruktion und Computersimulationen boten sie sich bestens als Ausgangsüberlegungen für die ausgeschriebene Programmlinie an. Mit den Theorien der Assemblagen und der Affordanz konnten die epistemischen Dimensionen von Objekten, menschlichem Handeln (Aktivitäten) und Tageslicht in Beziehung gesetzt werden.

Grundlage für die Erfassung von Aktivitäten im häuslichen Umfeld ist dabei die Klassifizierung des kontextualisierten Fundmaterials. Die Ausübung spezifischer Aktivitäten unterliegt einem sequentiellen Prozess der Umsetzung, in den Artefakte eingebettet sind. Ausübung, Prozess und Artefakte können in

Aktivitätsklassen zusammengefasst werden. Hinzu kommen die Komponenten Ort (Aktivitätszonen im Haus) und Zeit der Ausführung.

Das zentrale theoretische Konzept des Projektes Φωσ4D ist die Affordanz. Idee und Begriff der Affordanz wurden von dem amerikanischen Wahrnehmungspsychologen James J. Gibson geprägt. Das Konzept der Affordanz stellt die Möglichkeiten von Handlungen in den Mittelpunkt. Die Perspektive der Affordanz räumt Objekten innerhalb eines vorgegebenen Rahmens konzeptionell Nutzungsoffenheit ein. Die Objekte geben einen vom Produzenten intendierten raum-zeitlichen Handlungsrahmen vor (*funktionale Primäroption*), können aber vom Konsumenten anders genutzt werden (*affordanz-basierte Optionen*). Den Dingen wird ein Angebots-/Aufforderungscharakter zugeschrieben. Aus den möglichen Angeboten wählen die Nutzenden – meist temporär begrenzt – situativ aus und passen ihre Praktiken und Verhaltensweisen an. Die Nutzung des Artefaktes kann sich also mit jedem Agenten ändern. Artefakte besitzen demnach keine absoluten Eigenschaften, sondern bieten ihre Möglichkeiten an, die erst in der – formellen oder informellen – Interaktion mit den Akteuren entschieden und wirksam werden. Das Konzept der Affordanz wurde im Projekt Φωσ4D auf das Tageslicht übertragen, das als neuer Parameter für die Bewertung der Nutzung von antiken Häusern herangezogen wird.

2.2. FALLBEISPIELE

In der ersten Projektphase wurden die Fallbeispiele im Gesamtverbund sowie in den einzelnen Teilprojektgruppen diskutiert und hinsichtlich ihrer Projektauglichkeit bewertet. Dabei stellte sich heraus, dass das Wohn- und Werkstättenquartier in Pompeji, Insula 11 der Regio I, am besten für das Pilotprojekt geeignet ist. Das antike Pompeji (Italien) bietet durch seine Verschüttungssituation einen guten Erhaltungszustand der Wohnarchitektur sowie der mobilen und immobilen Inventargegenstände und lässt auch Aussagen auf städtischer Ebene zu. Die Insula I 11 erfüllt mit ihren 17 in Ausrichtung, Größe und Typologie unterschiedlichen Wohneinheiten ein breites Spektrum an Anforderungen und erlaubt die Rekonstruktion und Untersuchung eines kompletten antiken Häuserblocks. Die Analyse der Befunde dort ermöglichen das Zusammenspiel von Archäologie, Historischer Bauforschung und Tageslichtforschung auf größtmöglicher Materialbasis in der Entwicklung der Metrik zur Bewertung der Tageslichtaffordanz mit den *phos4dtools*. Hier können in verschiedenen Wohneinheiten sowohl die immobilen Installationen, die erhaltene Wand- und Bodengestaltung als auch in einzelnen Wohneinheiten auch das mobile Fundinventar hinsichtlich der rekonstruierbaren Aktivitäten und ihrer internen Verortung bearbeitet werden. An diesem Fallbeispiel lassen sich sehr gute Erkenntnisse zum Grundbedürfnis Licht und zur Hausnutzung im Sinne unserer Projektidee gewinnen. Neben dem Fallbeispiel der Insula I 11 wurden in der AG Archäologie die sog. *Casa degli Amanti* sowie die *Casa degli Epigrammi Greci* als Vergleichsobjekte hinzugezogen.

Während einer knapp einwöchigen Vorortbegehung im Oktober 2022 in Pompeji konnten Fragen direkt am Bestand diskutiert und geklärt werden. Dr. Gabriel Zuchtriegel, Direktor des Archäologischen Parks Pompeji, und Dr. Raffaele Martinelli, leitender Architekt des Parks, ermöglichten dem Projektteam darüber hinaus die Begehung von Vergleichsbereichen, die für die Öffentlichkeit gesperrt sind.

Die AG Bauforschung und die AG Tageslicht untersuchten weiterhin die *Casa delle Ierodule* in Ostia (Italien) sowie die erhaltenen Wohnhäuser in Orraon (Griechenland). Beide Beispiele sind architektonisch sehr gut erhalten und eigneten sich daher besonders gut für lichttechnische Untersuchungen. Zusätzlich wurden in Orraon eigene Daten erhoben. In mehreren Forschungskampagnen wurden die Häuser A-D dreidimensional erfasst und neue Rekonstruktionsvorschläge erarbeitet.

3. ERGEBNISSE

3.1 AG KLASSISCHE ARCHÄOLOGIE

Die AG Klassische Archäologie befasste sich konzeptionell mit Überlegungen zur Aktivitätenanalyse, *Object-Activity-Analysis* und Affordanztheorie.

Eine besondere Herausforderung aus archäologischer Sicht war der Umgang mit den multiplen Dimensionen von Artefakten und deren Zuordnung zu Nutzungskontexten.

Ein wichtiges Ergebnis der AG Archäologie ist daher die Entwicklung eines Systems zur Bestimmung von Aktivitätsklassen auf der Basis der neu geschaffenen *Object-Activity-Analysis*. Dahinter steht die Überlegung, dass eine Aktivität aus einer Sequenz aufeinander folgender Handlungen besteht, in die objektbasierte Einzelaktivitäten integriert sind. Innovativ an diesem Ansatz ist, dass ein Objekt aufgrund seiner häufigen Multifunktionalität in verschiedenen Aktivitäten sowie dieselben Einzelaktivitäten in verschiedenen Prozess- oder Aktivitätsketten vorkommen können. Im nächsten Schritt wurden die Aktivitäten zu Aktivitätsklassen zusammengefasst, z.B. Essen und Getreidemahlen zu Lebensmittelkonsum. Diese Vorgehensweise erlaubt Rückschlüsse auf komplexe und mehrstufige Arbeits- und Tätigkeitsabläufe im antiken Wohnhaus.

Die Objekt-Aktions-Analyse strukturiert somit die archäologischen Daten zu Aktivitäten in bisher nicht bekannter Weise neu: (a) die Betrachtung von Aktivitäten als Abfolge sequentieller Handlungen unter Berücksichtigung von (b) der Multifunktionalität von Objekten, die bestimmten Aktivitäten zugeordnet werden können, (c) der Unterscheidung von mobilen und immobilen Objekten und (d) der interdisziplinär gewonnenen Parameter (Kalendertool, Beleuchtungsstärke, s.u.). Insbesondere durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit konnten einige neue Ansätze für die Bewertung archäologischer Fundkomplexe gewonnen werden.

TAGESLICHT UND RAUM

Es handelt sich hierbei um die von der AG Tageslichtforschung gewählten Parameter der Arbeitsebenen und Messgeometrien für das auf Oberflächen und Objekte einfallende Licht in der räumlichen Dimension und die Zeitstunden in der zeitlichen Dimension. Diese neuen Parameter sind auch für andere soziokulturelle Fragestellungen interessant, die im Rahmen dieses Pilotprojektes nicht bearbeitet werden konnten. Die AG Tageslicht hatte zwei Messgeometrien zugrunde gelegt, um die bereichsspezifischen Beleuchtungsbedingungen der Arbeitsebenen und damit die antiken Arbeitsprozesse zu differenzieren. Auf horizontalen Ebenen wurde das aus allen Richtungen einer gedachten Hemisphäre einfallende Licht berücksichtigt (horizontale Beleuchtungsstärke). Zusätzlich wurde die Beleuchtungsstärke auf den vier vertikalen Flächen eines gedachten Würfels gemessen und die größte davon ausgewählt (vertikale Beleuchtungsstärke). Der gemessene Wert dient als Näherungswert für Objekte (z. B. Arbeiten oder Schriftstücke), die leicht in die Richtung der besten Beleuchtung gedreht werden können oder überwiegend vertikal beleuchtet werden (z. B. Personen). Bei den Messungen wurde berücksichtigt, dass die Tätigkeiten in unterschiedlichen Positionen und Arbeitshöhen ausgeführt werden. Zum einen wurde die horizontale Beleuchtung für Fußböden oder Arbeitsflächen gemessen, zum anderen die vertikale Beleuchtung für Gegenstände oder Personen. Für die beispielhaften Berechnungen wurden Arbeitshöhen von 10 cm, 100 cm und 150 cm gewählt.

Die Räume wurden in Zonen gemessen, die den Arbeitshöhen entsprechen. Diese Messmodi ermöglichen es, sitzende, stehende und auf Augenhöhe ausgeführte Tätigkeiten zu simulieren und den realen Kontexten näher zu kommen. 10 cm entsprechen einer sitzenden Tätigkeit, 100 cm einer Tätigkeit an einer Werkbank und 150 cm einer Tätigkeit auf Augenhöhe, z. B. an einem Webstuhl.

Daraus ergeben sich auch Anhaltspunkte für die häusliche Organisation, wenn z.B. stehendes Arbeiten mehr Beweglichkeit als sitzendes Arbeiten bedeutet, da man sich nach dem Licht ausrichten kann. Es können auch mehrere Arbeitsplätze eingerichtet werden. Die Differenzierung der Arbeitsebenen hat darüber hinaus soziokulturelle Bedeutung, da die gleiche Tätigkeit in unterschiedlichen Kontexten

unterschiedlich ausgeführt wurde, z.B. das Kochen, das im griechischen Haus sitzend auf Bodenniveau und im römischen Haus stehend an einer hüfthohen Feuerstelle ausgeführt wurde.

Um mögliche Tätigkeiten im Haus zu identifizieren, wurden die Messungen auf der Grundlage von Schwellenwerten für das Farb- und Kontrast-/Detail-Sehen durchgeführt, die mit Handlungsoptionen verknüpft werden können. Durch die Skalierung der Beleuchtungsstärke innerhalb eines Raumes lässt sich erkennen, wo ausreichend Licht für bestimmte Tätigkeiten vorhanden war. Die *phos4dtools* konnten somit zonale Tageslichtmessungen berechnen und gleichzeitig Indikatoren für die Tageslichtaffordanz liefern.

TAGESLICHT UND ZEIT

Die Simulationen orientierten sich an den Tages- und Jahreszeiten, in denen Aktivitäten stattgefunden haben könnten. Die Simulationen basierten nicht auf der modernen Stundeneinteilung, sondern wurden mit den in der Vormoderne üblichen Temporalstunden durchgeführt, wofür die AG Tageslichtforschung ein eigenes Verfahren entwickelt hatte. Damit wurde erstmals eine Annäherung an die antike Zeitmessung erreicht und ein weiterer neuer Parameter für die archäologische Forschung gewonnen.

Mit den Temporalstunden wurden die Tage in zwölf Zeitstunden zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang eingeteilt, so dass sich jahreszeitlich unterschiedliche Stundenlängen ergaben, die im Sommer länger und im Winter kürzer waren. Die Temporalstunden werden verwendet, um Aktivitäten mit der Zeit (Stunde, Tag, Jahr) in Beziehung zu setzen, in der sie ausgeführt wurden. Vor dem Hintergrund dieser tages- und jahreszeitlichen Unterschiede in der Tageslichtverfügbarkeit ergaben sich neue Parameter für die Bewertung antiker Häuser.

Zur Beurteilung der Lichtverhältnisse für bestimmte Tätigkeiten in der Antike benötigte die Archäologie einen Zeitrahmen innerhalb dieser tages- und jahreszeitlichen Dimensionen. Dieser konnte vom Verbundpartner Alte Geschichte durch die systematische Auswertung schriftlicher Quellen erarbeitet werden. Die AG Alte Geschichte hat u.a. ein neues Kalendertool *fasti 2.0* entwickelt, das exemplarisch den Tagesablauf in Rom rekonstruiert.

Die darin beschriebenen Aktivitäten können bestimmten Tages- und Jahreszeiten zugeordnet werden, z.B. dass die Volksversammlung am Vormittag angesetzt war. Aufgrund der Zeitgebundenheit lassen sich indirekt Rückschlüsse auf die mit diesem Ereignis verbundenen Handlungen ziehen, wie z.B. das Ankleiden und die Körperpflege im Haus. Für die Ausführung waren entsprechende visuelle Anforderungen in den Morgenstunden zu erfüllen. Aus der Kombination von Tätigkeit und Ausführungszeit kann ermittelt werden, wann welche Tätigkeiten ausgeführt wurden und durch die Simulation der Beleuchtungsstärke können die dafür geeigneten Räume lokalisiert werden.

Durch die Einbeziehung der Zeitstunden konnten mit den *phos4dtools* die Beleuchtungsstärken für die Zeiten ermittelt werden, in denen die Tätigkeiten in bestimmten Räumen durchgeführt werden können und Hinweise auf die Tageslichtaffordanz gegeben werden.

GIS ANALYSE

Der letzte Schritt in der Analyse der Tageslichtaffordanz war die Entwicklung von Visualisierungsstrategien mit dem Programm QGIS, das durch seine Möglichkeiten zur Darstellung der gewonnenen Raum-Sachdaten bestens geeignet ist, die Fragestellungen unseres Projektes auszuwerten und die Verbreitung der Ergebnisse zu unterstützen. Daher wurden die Ergebnisse der archäologischen, bauhistorischen und lichttechnischen Daten in QGIS zusammengeführt.

Nach Abschluss der archäologischen Datenaufnahme, der Erstellung der Aktivitätsklassen und der Ermittlung der Beleuchtungsstärken für das zentrale Fallbeispiel in Pompeji waren die Voraussetzungen für die nachfolgenden Auswertungen gegeben.

Mit Hilfe der Objekt-Aktivitäts-Analyse konnte die Verteilung der Funde in den einzelnen Räumen

dargestellt und mögliche Aktivitäten beschrieben werden. So wurden z.B. die meisten Möbelreste in den Verteilerräumen gefunden, was auf die Lagerung von Möbeln hinweist. In den Cubicula bzw. Triclinia zeigt sich ein vielfältiges Spektrum, das nur in Einzelfällen mit bestimmten Tätigkeiten (z.B. Reparaturarbeiten) in Verbindung gebracht werden kann. Die Küchen der untersuchten Einheit zeigen dagegen ein Fundspektrum, das auf die Herstellung und Lagerung von Nahrungsmitteln ausgerichtet ist. Hier scheinen die entsprechenden Objekte entweder gerade in Gebrauch gewesen zu sein oder zumindest in einem engen räumlichen Zusammenhang bereitgehalten worden zu sein.

Mit der GIS-basierten Auswertung der Tageslichtsimulation konnte das Projektziel, die Tageslichtaffordanz als neue Analysekategorie in der Nutzungsanalyse antiker Wohnbauten anzuwenden, exemplarisch für Pompeji dargestellt werden. Die Anforderungen der Schwellenwerte für die Beleuchtungsstärke sowie der Jahres- und Tageszeiten konnten mit QGIS kombiniert und ausgewertet werden. Durch die zonale Simulation der Lichtverhältnisse ließen sich differenzierte Aussagen zu Nutzungsszenarien treffen. Über die Schwellenwerte für Farb- und Kontrastsehen konnten Tätigkeitsbereiche definiert werden: Räume mit niedrigen Werten sind dunkel und für Lagerzwecke geeignet, nicht aber für Feinarbeiten. Umgekehrt bieten sie die Möglichkeit, Mindestanforderungen an die Erkennbarkeit feiner Details (z. B. beim Weben feiner Stoffe) oder an die gute Wahrnehmbarkeit von Farben zu definieren und entsprechend geeignete Räume zu identifizieren.

Die vergleichende Kartierung der tageszeitlichen und jahreszeitlichen Beleuchtungsstärken gibt weitere Hinweise auf die Nutzungsmöglichkeiten. Räume, die ganzjährig tagsüber eine Beleuchtungsstärke über dem Schwellenwert aufweisen, kommen für eine ganzjährige Dauernutzung für bestimmte Funktionen in Frage. Bei niedrigen Schwellenwerten könnten dies Lagerräume sein.

Bei Räumen mit schwankenden Beleuchtungsstärken ist dagegen von einer jahreszeitlich wechselnden Nutzung auszugehen. Weiterhin können Räume und Bereiche identifiziert werden, die z.B. für bestimmte Tätigkeiten zu hell (Blendung) und vermutlich auch zu warm waren. Schließlich geben die *phos4dtools* Hinweise auf die Tageslichtaffordanz der Räume, die auf jeden Fall Kunstlicht benötigen.

Der Vergleich der mit den *phos4dtools* erzeugten Beleuchtungssimulation mit den archäologisch zugewiesenen Nutzungen der einzelnen Räume ergab schließlich, dass die Beleuchtungsstärken weitgehend mit den Interpretationen übereinstimmen. Die Validierung in diesem Pilotprojekt bestätigt die Tragfähigkeit der Tageslichtaffordanz als innovativen Ansatz für die zukünftige Erforschung antiker Wohnhäuser.

3.2. AG HISTORISCHE BAUFORSCHUNG

BEARBEITUNG FALLBEISPIELE

Die Bearbeitung des zentralen Fallbeispiels Insula I 11 in Pompeji begann nach erfolgter Genehmigung durch den *Parco Archeologico di Pompei* sowie dem erfolgreichen Datenaustausch. Es konnte ein hochauflöser 3D-Scan der kompletten Insula sowie eine reichhaltige Dokumentation an Orthofotos und Fotografien für die Aufarbeitung des Bestandes und Vorbereitungen der Rekonstruktionsmodelle genutzt werden.

In Ostia stand den Bearbeiter:innen des Projektes ein hochauflöser Scan des ausgewählten Fallbeispiels, der *Casa delle Ierodule*, über die Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW) zur Verfügung. Die Casa selbst ist Teil eines größeren Baukomplexes im Südwesten der antiken Stadt, den *Case a Giardino*. Dieses Fallbeispiel war insofern von besonderem Interesse, als dass vermutlich das einzige Beispiel im Projektkontext war, dessen Fenster mit Glas ausgestattet waren. Allerdings sind weder Reste des Glases noch der Rahmung, Verblendung oder Vergitterung der zahlreichen Fenster des Gebäudes erhalten. In ebenfalls einer knapp einwöchigen Feldkampagne in Zusammenarbeit mit dem Team der ÖAW im Oktober 2021 konnte das bestehende umfangreiche Raumbuch zur *Casa delle Ierodule* um die Einträge ergänzt werden, die entscheidend für die Fragestellung des hier besprochenen

Projektes sind. Dies umfasste v.a. die genauen Maße von Fensteröffnungen im Rohbau, Türöffnungen sowie Türöffnungsmechanismen, mögliche Geschoßhöhen, etc.

Während in den beiden bisher beschriebenen Fallbeispielen auf dreidimensionale Bestandsdaten von Kooperationspartnern zurückgegriffen werden konnte, mussten diese Grundlagen im Fallbeispiel der Wohnhäuser von Orraon in zwei Forschungskampagnen selbst geschaffen werden. Gleichzeitig konnten bei der Bearbeitung das Material umfangreicher Vorarbeiten genutzt werden. So existieren neben Bauaufnahmемaterialien und Grabungsdokumentationen bereits verschiedene Rekonstruktionszeichnungen. Die beiden Bauaufnahmekampagnen für das Fallbeispiel Orraon wurden 2021 und 2022 durchgeführt. Sie bildeten die Grundlage zur Bewertung und Rekonstruktion der erhaltenen Wohnhäuser A, C und D sowie des städtischen Kontextes aufgenommen. Hierbei wurden die Häuser sowohl mit Laserscan als auch mit dem SfM-Verfahren dreidimensional aufgenommen und das Stadtgebiet per Drohne für ein Kontextmodell dokumentiert. Darüber hinaus bietet das Fallbeispiel Orraon wichtige bauhistorische Fragestellungen über das Projekt hinaus. Über die Etablierung der Kooperation mit den lokalen Behörden während des Projektes wurde der Rahmen anschließender Forschungsvorhaben geschaffen.

REKONSTRUKTION SARBEITEN IN POMPEJI, ORRAON UND OSTIA

Eine der zentralen Aufgabe der AG Historische Bauforschung bestand in der Schaffung geometrischer Räume der Fallbeispiele. Diese bildeten die Grundlage für die Tageslichtsimulation. Dabei galten gleich mehrere Grundbedingungen, die nicht zum Standard- bzw. Methodenrepertoire der historischen Bauforschung zählen: Als für die Simulation geeignete Modelle zählen allein solche, die komplett, d.h. geschlossen sind. Weiterhin kam als abweichende Eigenheit hinzu, dass es sich bei den Rekonstruktionen um gerichtete Flächenmodelle handelte. Vor allem die erste Bedingung stellt die Disziplin der historischen Bauforschung insbesondere bei der Erforschung fragmentiert erhaltener Architektur wie die der Antike vor große Herausforderungen. Auch wenn mit den drei Fallbeispielen vergleichsweise exzellent erhaltene Bauwerke gewählt wurden, so ist auch dort der Grad an Unschärfe sehr hoch. So gab es im Bestand bis auf wenige Stellen keinerlei Hinweise auf die Ausformulierung vorhandener Obergeschosse. Auch für die Tageslichtbewertung wichtige Elemente wie Richtung und Grad der Dachneigung, Öffnungsparameter, etc. waren zumeist nicht im Bestand erhalten. Zur Gewährleistung inhaltlich stimmiger Modelle und der Vermeidung von Folgefehlern bei der Tageslichtsimulation wurde daher eine neue Methodik entwickelt, die genau diese Problematik adressiert (siehe nächster Punkt).

Die Rekonstruktionen selbst wurden als Flächenmodelle mit exakten Ebenenzuweisungen in Konkordanz mit den Anforderungen der AG Tageslichtforschung erstellt. Sie stützten sich dabei je nach Fallbeispiel auf qualitativ und quantitativ unterschiedliche Befunddokumentationen. Die Rekonstruktion der *Casa delle Ierodule* erfolgte über einen hochauflösenden Laserscan des Bestandes, ein detailliert ausgearbeitetes Raumbuch sowie ergänzende Literatur. Dies ließ an vielen Stellen aussagekräftige Entscheidungen zu, einige Fragen mussten jedoch in Varianten ausgeführt werden. Hierfür wurde anhand eines konkreten Raumes der *Casa delle Ierodule* ebenso eine Routine entwickelt, um sowohl Varianten bilden zu können als auch diese semiautomatisch per Simulation auswerten zu können (siehe Punkt d). Wünschenswert wäre eine stärkere Kontextualisierung der Wohneinheit im Kontext der näheren Umgebung gewesen, also z.B. wie lassen sich ähnliche Typologien mit anderer Ausrichtung bewerten; gibt es Hierarchisierungen in der Ausrichtung, etc. Diese Fragen konnten in der Projektlaufzeit aufgrund unzureichenden Materials nicht geklärt werden und bilden eine Fragestellung für zukünftige Forschungen.

Bei der Rekonstruktion des Stadtquartiers in Pompeji musste im Bestand zunächst sehr genau zwischen antikem Bestand und nachträglich erfolgten Restaurierungs- und Rekonstruktionsmaßnahmen unterschieden werden. Diese Fragen sowie Unklarheiten bei der Rekonstruktion selbst, z.B. zu Firstkanten, Dachöffnungen, Atria, etc. wurden in enger Kooperation mit Dr. Domenico Esposito (FU

Berlin) entwickelt. Er untersuchte in einem DFG-geförderten Projekt die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Insula. Daneben konnten zahlreiche unklare Situationen an Vergleichsbeispielen innerhalb Pompejis geklärt werden.

Das umfangreichste Material stand mit eigenen Aufnahmen sowie alten Bauaufnahmeplänen, Grabungsdokumentationen und Rekonstruktionszeichnungen für die Häuser von Orraon zur Verfügung. Hier wurde zunächst analysiert, auf welche Annahmen sich bisher erfolgte Rekonstruktionen stützten und wie die neue, dreidimensionale Bauaufnahme diese veränderten – insbesondere auch im Hinblick auf die Fragestellung im Projekt. So konnte im dritten Projektjahr eine aktualisierte Rekonstruktion von Haus A in Orraon vorgelegt werden.

Einen zentralen Punkt in der digitalen Arbeitsweise der AG Historische Bauforschung bildete die Überführung herkömmlicher (digitaler) Raumbücher in eine Datenbank als Basis für die parametrische Rekonstruktion (siehe Punkt d). Diese beschränkt sich nicht nur auf reine Maße und zeitliche Einordnungen, sondern erlaubt das Hinzufügen von binären Daten (z.B. Planmaterial, Fotos, etc.) sowie Befund- und Rekonstruktionsbeschreibungen. Insbesondere letztere sind bei der Bewertung von Unschärfen in der Rekonstruktion und damit bei der Bewertung der Simulationsergebnisse von großer Wichtigkeit und stellen ein wesentliches Ergebnis des Projektes dar.

PARAMETRISCHE REKONSTRUKTION

Die Problematik der Unschärfe in Rekonstruktionsmodellen ist ein lang bekanntes und viel diskutiertes Thema in der Fachcommunity. Dennoch fehlen bis heute allgemein anerkannte Standards wie auch Methoden im Umgang mit dieser Problematik. Lösungsansätze behandeln bisher vorwiegend Fragen der Visualisierung und generellen Plausibilitäten. Mit den während des Projektes entwickelten ersten Vorschlägen einer datenbankgestützten, parametrischen Rekonstruktion können nun erstmals Antworten auf dieses Forschungsdesiderat gegeben werden.

Mit dem Abschluss des Projektes liegt ein vollständig ausgearbeiteter und dokumentierter Workflow zur Parametrisierung der Rekonstruktionsmodelle vor, der in der AG Historische Bauforschung erarbeitet wurde. Durch die Zusammenführung der digitalen Gebäudemodelle mit der Datenbank wird es möglich, bauhistorisch fundierte, rein auf den Bestand und seine Interpretation gestützte Rekonstruktionsmodelle semiautomatisch zu erzeugen. Ein neues Feature ist dabei die automatisierte Bewertung eines nach Datenlage bestgeeigneten Modells sowie der Erzeugung möglicher Varianten. Der Workflow dieser neuartigen Methodik wurde im Projekt intensiv am Fallbeispiel der *Casa delle Ierodule*, Raum 4, entwickelt und getestet. Über strukturierte Datenbankabfragen können bei vorliegenden Vergleichsdaten – dies ist natürlich die Grundbedingung – Modelle mit Minima, Maxima oder bestimmten Perzentilen erzeugt werden. Eine automatisierte Transformation in Flächenmodelle und ihr Export garantiert die Weiterverwendung für die Tageslichtsimulation.

Mit dem vorliegenden, ersten Ergebnis einer neuen Rekonstruktionsmethodik gelang es, die Disziplin der Bauforschung auf Grundlage digitaler Arbeitsweisen deutlich weiterzuentwickeln. Die technischen und inhaltlichen Grundprinzipien wurden in der zweiten Projekthälfte intensiv mit der Fachcommunity auf diversen Tagungen diskutiert. Dabei erhielt das Projektteam überaus positives Feedback. Die für die technische Entwicklung verantwortlichen Masterstudierenden Lucas Cornelius und Timm Glätzer wurden darüber hinaus auf der Fachkonferenz „Cultural Heritage and New Technologies 27“ (CHNT) 2022 mit dem Best Student Paper Award ausgezeichnet, was das Projektteam darin bestärkt, den richtigen Weg eingeschlagen zu haben. Derzeit beschränkt sich der Umfang der parametrischen Rekonstruktion projektbedingt auf das lichtgebende Element Fenster. Eine fortschreibende Entwicklung der Methodik in weiteren Forschungsvorhaben ist fest vorgesehen.

3.3 AG TAGESLICHTFORSCHUNG

SIMULATION UND BEWERTUNG DER TAGESLICHTVERFÜGBARKEIT

Hauptaufgabe der AG Tageslichtforschung im Projekt war die Konzeption, Entwicklung und Validierung eines Simulationswerkzeugs zur Berechnung der Tageslicht-Affordanz in antiken Wohnhäusern (*phos4dtools*), sowie seine exemplarische Anwendung im Rahmen der gewählten Fallstudien.

VORBEREITENDE ARBEITEN

Mit den AG Klassische Archäologie und Alte Geschichte wurden auf Grundlage der *Object-Activity-Analysis* und antiker Textquellen eine Liste von Tätigkeiten erarbeitet, in der erfasst ist:

- Tages- und Jahreszeiten, zu denen diese ausgeführt werden,
- Arbeitshöhe (Boden, Augenhöhe Sitzen und Stehen),
- für die Beleuchtung relevante Orientierung (horizontal für Arbeitsflächen und Böden, vertikal für Gegenstände und Personen),
- Erfordernis der guten Erkennbarkeit feiner Details (z.B. beim Weben von Stoffen) und
- Erfordernis einer guten Wahrnehmbarkeit von Farben.

Mit der AG Bauforschung wurde ein Schema für Gebäude- und Raumbezeichnungen sowie Materialzuordnungen für Wände, Decken, Fenster etc. in einer hierarchische Layerstruktur festgelegt. Die Raumbezeichnungen entsprechen bauforscherischen Standards und wurden forschungsgruppenübergreifend im Projekt verwendet.

Für die geometrische Modellierung in Form von Flächenmodellen wurden Konventionen vereinbart, die Fehlerquellen in der Simulation in Form von Lichtlecks vermeiden. Als Austauschformat wurde eine Untermenge des Wavefront OBJ-Formats vereinbart, das die Layerstruktur als Gruppen abbildet und archivfähig ist.

ENTWICKLUNG DER PHOS4DTOOLS UND AUSWERTUNGSSKRIPTEN

Mit den *phos4dtools* (Grobe et al. Ohne Datum; Noback, Monteoliva, and Grobe 2023) wurde ein Python-basiertes Frontend für die Lichtsimulationssoftware Radiance und die darauf aufbauende Software Raytraverse zur zonalen, d.h. zeitlich und räumlich ausgedehnten Simulation, entwickelt (Wasilewski et al. 2021; Wasilewski et al. 2022). Die *phos4dtools* erledigen darüberhinaus wiederkehrende Aufgaben von der Übernahme der geometrischen Modelle bis zur Übergabe der berechneten Daten in die GIS-Umgebung. Das schließt die Konvertierung von Daten, die Kontrolle von Simulationsabläufen, das Anlegen von fallspezifischen Konfigurationen und Auswertungsschritte ein. Zusätzlich wurden Skripte und Standards für die detaillierte Auswertung innerhalb der GIS-Umgebung entwickelt. Die Entwicklung der *phos4dtools* profitierte von der Mitarbeit des Raytraverse-Entwicklers Stephen Wasilewski im Projekt. Die Implementierung der *phos4dtools* umfasst bzw. steuert folgende Schritte:

Schritt 1: Import und Konvertierung der Rekonstruktionsmodelle

Die *phos4dtools* werten in den georeferenzierten Geometriedaten eingebettete Objektbezeichnungen als Materialzuordnungen und topologische Informationen aus. Die Ost- und Nordwerte der Koordinaten werden, wie in der Geografie üblich, durch Verwendung eines Offsets gekürzt. Das Ergebnis ist ein Simulationsmodell, das die zu untersuchende Gebäude sowie ihre unmittelbare Umgebung, soweit für die Tageslichtverfügbarkeit relevant, umfasst.

Schritt 2: Vervollständigung des Simulationsmodells um Materialangaben und lokale Wetterdaten

Die *phos4dtools* prüfen bei der Initialisierung der Berechnung auf fehlende Materialangaben, die in einer von definierten Ordnerstruktur im Radiance-Format abzulegen sind. Für die Berechnung wurden

Annahmen über die Reflexion von Oberflächen innerhalb und außerhalb der zu untersuchenden Räume und – soweit vorhanden – über die Transmission der Verglasung getroffen:

- In Ostia wurden Materialien von Böden und Wänden mit Hilfe einer standardisierten Farbkarte photographisch erfasst und mit Hilfe des Macbeth-Tools aus der Radiance-Umgebung diffuse Reflexionsgrade ermittelt. Über eine Bestimmung der Flächenanteile der Materialien bzw. Farben wurde ein gewichteter Reflexionsgrad berechnet. Weitere Reflexionsgrade wurde auf Basis von Literaturwerten abgeschätzt. Für das Fensterglas wurde ein Transmissionsmodell aus einem vorangegangenen Projekt übernommen.
- In Orraon wurden einzelne Materialien spektrometrisch gemessen.
- In Pompeij wurden Einstellungen aus Ostia übernommen.

Jahressimulationen erfordern eine stundengenaue Beschreibung der Wetterbedingung in Form von Modellen der Leuchtdichtevertelung über die Himmelskugel. Diese wurden mit dem in Radiance implementierten Perez-Modell aus den in lokalen Wetterdaten nahegelegener Messstationen enthaltenen direkten und diffusen Beleuchtungsstärken eines typischen meteorologischen Jahres generiert.

Die Verwendung gemessener, moderner Wetterdaten stellt den örtlichen Bezug her, kann aber mögliche klimatische Veränderungen seit den zu simulierenden Zeiträumen nicht berücksichtigen. Hierfür wäre eine Rekonstruktion des Klimas im Betrachtungszeitraum nötig, die über den Rahmen des Projektes hinausgeht.

Schritt 3: Überprüfung der Simulationsmodelle

In einem nächsten Schritt wird für jeden Raum aus der Raummitte ein sphärisches Panorama berechnet, das die Überprüfung der Raumgeometrie und Materialzuordnung erlaubt und mögliche Lichtlecks sichtbar macht. Dieses ermöglicht die Korrektur von Modellierungsfehlern noch vor der aufwändigen Jahressimulation.

Schritt 4: Jahressimulation

Hauptaufgabe der *phos4dtools* ist die Durchführung einer klimabasierten Tageslichtsimulationen zur Untersuchung der historischen Aktivitäten. Diese setzt auf das beim Projektpartner HSLU entwickelte Simulationswerkzeug Raytraverse auf, das es erlaubt, eine vollständige Beschreibung der Beleuchtung zu berechnen, aus der dann beliebige Größen und Metriken abgeleitet werden können. Dieses greift dazu auf vielfach verifizierte Berechnungsmethoden des Radiance Softwarepaktes zurück.

Die *phos4dtools* bilden die in moderner äquinoktialer Stundenteilung vorliegenden Wetter-Daten mittels eines neuen Sampling-Verfahrens auf Temporalstunden ab, also gemäß der antiken Teilung des jeweiligen Tages in 12 Stunden zwischen Sonnenauf- und -untergang und folglich jahreszeitlich unterschiedlich lange Stunden. So können Tageszeitangaben aus der historischen Literatur direkt als Grundlage der Berechnung genutzt und die Auswertungsverfahren der historischen Praxis angenähert werden.

Für die Auswertung wurden in den *phos4dtools* zwei Messgeometrien implementiert: horizontale Beleuchtungsstärken auf Böden oder Arbeitsflächen und vertikale Beleuchtungsstärken auf Gegenständen oder Werkstücken. Dabei wird davon ausgegangen, dass solche Objekte auf das Licht ausgerichtet werden können, und deshalb die vertikale Beleuchtungsstärke für vier Raumrichtungen ermittelt und die jeweils größte zurückgeliefert. Die Auswertung geschieht für horizontale Beleuchtungsstärken in 10 cm und 100 cm Höhe und für vertikale Beleuchtungsstärken in 100 cm und 150 cm Höhe über dem Raumboden, um die besprochenen Arbeitshöhen zu berücksichtigen.

Die *phos4dtools* generieren für die Berechnung zunächst ein Raster aus Messpunkten mit gleichen Abständen in beide Raumrichtungen. Dieses dient als Ausgangspunkt für das adaptive Sampling, das abhängig von der Veränderlichkeit der Beleuchtung (z.B. in der Nähe von Fenstern) die Dichte an

Messpunkten und damit die Genauigkeit erhöht. Zur Vereinfachung der Auswertung werden die berechneten Werte schließlich wieder auf das Ausgangs-Raster zusammengefasst und im NumPy-Format als Rohdaten abgespeichert. Abhängig von der Parametrisierung der Auswertungsverfahren fassen die *phos4dtools* die Rohdaten räumlich und zeitlich weiter zusammen. In der Grundeinstellung wird das Raster auf vier bis sechzehn Punkte, abhängig von der Raumgröße reduziert und für diese Mediane für jede Stunde des Tages aus allen Tagen eines Monats für die beiden Messgeometrien und die Arbeitshöhen ermittelt und in einer tabulatorseparierten Liste ausgegeben. Diese enthält zusätzlich die ursprünglichen georeferenzierten Punktkoordinaten und Raumbezeichnungen und die Größe der Messfläche für die weitere Auswertung.

Schritt 5: Übernahme in die GIS-Umgebung und weitergehende Auswertung

Die aus *phos4dtools* exportierten Listen wurden in die open-source GIS-Umgebung QGIS importiert, wo sie mit Metadaten wie dem verwendeten Georeferenzsystem ergänzt wurden. Die Datensätze wurden dann in einer PostGIS-Datenbank abgelegt, auf die alle Projektpartner fachübergreifend Zugriff hatten und die als gemeinsame Arbeitsplattform diente. Alle raumbezogenen Forschungsdaten wurden nach etablierten Standards und lokalen Konventionen georeferenziert, so dass Daten der jeweiligen Datengeber übernommen werden konnten und sich die Ergebnisse mit anderen freien Daten korrelieren lassen (z.B. https://digitalhumanities.umass.edu/pbmp/?page_id=1258, <https://www.pompeijiprojektet.se> oder <http://open.pompeisites.org>).

Für die GIS-Umgebung wurden eine konfigurierbare *Tageslichtmetrik* in Form von Scripten entwickelt, die es erlauben, Berechnungsergebnisse anhand von physiologisch definierten Schwellenwerten der Beleuchtungsstärke für die Wahrnehmung von feinen Details und Farben auszuwerten. Die Schwellenwerte stützen sich auf physiologischen Studien bezüglich Farb- und Kontrastwahrnehmung (Grobe et al. 2023). Mit den Scripten kann auch der Anteil der Stunden ermittelt werden, an denen eine Tätigkeit an einem bestimmten Ort und innerhalb einer bestimmten Tages- und Jahreszeit gut ausgeführt werden kann, sprich ob eine Affordanz für diese Tätigkeit an diesem Ort gegeben ist. Durch die Integration der Daten und Methoden in die GIS-Umgebung können Beleuchtung und Affordanz mit anderen georeferenzierten archäologischen Daten etwa zu beweglichen Funden oder festen Installationen innerhalb des Gesamtprojekts verglichen werden. Über die Raumbezeichnungen kann auf die Dokumentation der Rekonstruktion in der Projektdatenbank zurückgegriffen werden.

SENSITIVITÄTSSTUDIE ZU FENSTERGEOMETRIEN

Gemeinsam mit der AG Bauforschung wurde eine Studie zur Parametrisierung der Rekonstruktionsmodelle eine Auswertung konzipiert, die exemplarisch zeigt, wie sich das Tageslichtangebot quantitativ und qualitativ ändert, wenn man geometrische Parameter, die sich anhand der lokalen Befunde nicht eindeutig rekonstruieren lassen, mit Hilfe einer Datenbank von Baudetails mit den Werten dokumentierter Vergleichsstücke variiert (Cornelius and Glätzer; Brünenberg et al. 2023). Bei 29 generierten Varianten wurde die lichte Höhe eines Fensters entsprechend eingestellt und die Auswirkung auf die abgeleitete Affordanz hinsichtlich spezifizierter Tätigkeiten eingegrenzt. Die Studie zeigt, wie mit typischen für die Lichtsimulation relevanten Unsicherheiten umgegangen werden kann, indem man sie nämlich quantitativ eingegrenzt und auf eine Forschungsfrage bezogen auswertet.

Für diese Studie wurde die Skript-Umgebung dahingehend erweitert, dass die parametrisiert erzeugten Varianten mit einem Modell der restlichen raumbildenden Elemente einschließlich der Umgebungsbebauung kombiniert werden können und die Berechnung daraufhin automatisiert durchgeführt wird. In sogenannten Violin-Plots wurde die Häufigkeit (Breite) der Werteverteilung der horizontalen Beleuchtungsstärke für alle Sensorpunkte im Testraum für alle Temporalstunden am Tage über das ganze Jahr hinweg dargestellt. Verglichen mit den definierten physiologisch begründeten Schwellenwerten blieb die Beleuchtung im gesamten Parameterbereich für Tätigkeiten, die erhöhte Anforderungen an Farb- und Detailwahrnehmung stellen ungeeignet. Die Ergebnisse zeigen, dass die

Varianten die räumlich-temporale Charakteristik der Tageslichtaffordanz nur in geringem Maße beeinflussen.

VALIDIERUNG DER PHOS4DTOOLS

Am Fallbeispiel in Pompeji (I 11) wurden die *phos4dtools* umfangreich validiert. Dazu wurden fünf Räume auf Grund ihrer unterschiedlichen Beleuchtungscharakteristik als Testszenen ausgewählt: direktes Himmels- und Sonnenlicht aus allen Richtungen (Terrasse, Raum 10-11-12_0-4), direktes Himmelslicht aus dem Norden (Laden, Raum 01-02_0-1), indirekt von einem Hof (Raum 05_0-7), indirekt von einem angrenzenden Hof und einem Atrium (Raum 05_0-8) und indirekt über einen schon indirekt beleuchteten Raum (Raum 09-15_0-8).

Die mit *phos4dtools* erzielten Simulationsergebnisse wurden mit einer alternativen Berechnungsmethode (Standard-Radiance mit kontinuierlichen Himmelsmodellen aus dem Programm Gendaylight) verglichen. Dieser Vergleich sollte den Effekt der durch das *phos4dtools* zugrundeliegende adaptive Sampling von Raytraverse untersuchen. Dabei wurde festgestellt, dass sich die beiden Berechnungsmethoden qualitativ und quantitativ erwartbar ähnliche Resultate liefern.

In einer zusätzlichen Konvergenzstudie wurden die Berechnungsparameter (Anzahl der Teststrahlen) mit dem Ziel variiert, für alle genannten Testszenen ausreichende Einstellungen zu finden. Die Validierung wurde am Fallbeispiel Ostia wiederholt, um festzustellen, ob auch Räume mit Fensterglas und größeren Fenstern korrekt berechnet werden. Die Abweichungen blieben im für die Tageslichtsimulation üblichen Spektrum.

Als Projektergebnis liegt mit den *phos4dtools* ein für archäologische Untersuchungen angepasstes und validiertes Werkzeug zur Tageslichtsimulation vor. Die implementierten innovativen digitalen Methoden (Metrik) zur Ermittlung der Tageslicht-Affordanz sind in typische Workflows integrierbar und die Ergebnisse mit anderen Daten in der GIS-Umgebung direkt vergleichbar. Die Studie zum Umgang mit typischen Unsicherheiten und die Verknüpfung mit der bauforscherischen Dokumentation zeigt zudem Wege auf, wie Ergebnisse belastbar und transparent gewonnen werden können. Die Implementierung von Temporalstunden erlaubt direkte Bezüge zu Zeitangaben aus der Alte Geschichte her und bildet die Lebenswelt historischer Akteure besser ab.

3.4 FAZIT

Ziel unseres Pilotprojektes Φωσ4D war die Entwicklung einer Metrik zur Bestimmung der Beleuchtungsstärke in Räumen und deren Korrelation mit Aktivitäten.

Das Ziel, die Verfügbarkeit (Affordanz) von Tageslicht zur Lokalisierung von Aktivitäten in antiken Häusern zu ermitteln, wurde mit dem neu entwickelten *phos4dtools* erreicht. Mit diesem Werkzeug ist es nun möglich, die für die Ausübung bestimmter Tätigkeiten erforderlichen Beleuchtungsstärken raumweise und für Wohneinheiten zu berechnen. Durch die in *phos4dtools* implementierte Möglichkeit, Schwellenwerte beliebig zu skalieren, können Mindestanforderungen an die Beleuchtung, z.B. für das Kontrast- oder Farbsehen, ermittelt und damit die Ausübung spezifischer Tätigkeiten rekonstruiert werden. Darüber hinaus dienen die Tageslichtsimulationen der Differenzierung unterschiedlicher Aktivitätszeiten und Arbeitshöhen im Raum und ermöglichen so eine differenzierte Betrachtung der dokumentierten Assemblagen. Denn je nach Tätigkeit ist eine bestimmte Beleuchtungsstärke erforderlich, um die Tätigkeit auszuführen.

Die affordanz-basierte Untersuchung des komplexen Zusammenspiels von Licht, Architektur, Artefakt und Mensch mit Hilfe von Simulationen stellt einen neuen Ansatz in der antiken Hausforschung dar und gilt als beispielhaft für den Einsatz digitaler Methoden in der archäologischen Forschung.

4. WICHTIGSTE POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES

Position:	Positionsbezeichnung im VN:	Summe der Ausgaben:
0812	Beschäftigte E12-E15	502.505,83 €
0817	Beschäftigte E1-E11	- €
0820	Lohnempfänger(innen) / Sonstige	- €
0822	Beschäftigungsentgelte	18.215,33 €
0831	Gegenstände bis 800/410/400€	1.754,70 €
0834	Mieten und Rechnerkosten	8.000,00 €
0835	Vergabe von Aufträgen	283.017,15 €
0843	Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	- €
0846	Dienstreisen	15.676,85 €
0850	Gegenstände > 800/410/400 €	7.462,49 €
Zeile 14	Entstandene Ausgaben insgesamt	836.632,35 €
Zeile 15	Anteil Eigenmittel lt. Finanzierungsplan	- €
Zeile 16	Mittel Dritter und Einnahmen lt. Finanzierungsplan ohne Zeile 17	- €
Zeile 17	Weitere Mittel Dritter und Einnahmen ohne Zeile 16 gem. NB (Bundesanteil)	- €
Zeile 18	Verbleibender Anteil des Bundes (14 .J. 15 .J. 16 .J. 17)	836.632,35 €

5 . NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEITEN

Die im Projekt Φωσ4D durchgeführten Arbeiten der AGs waren notwendig und angemessen. So musste zur Erreichung der Projektziele in den einzelnen AGs die Datenbasis für die Entwicklung einer digitalen Bestandsauswertung bereitgestellt, für die architektonischen Rekonstruktionen aufbereitet und für die Tageslichtsimulation vorbereitet werden.

Die PIs der Arbeitsgruppen garantierten die fachlich gesicherte Betreuung und Koordination der Arbeiten. Das eingestellte wissenschaftliche Personal führte die Arbeiten gewissenhaft und nach den gesetzten hohen Standards durch und war verantwortlich für die Durchführung der Feldforschung, die Anleitung der studentischen Hilfskräfte, die Kommunikation im Verbundprojekt sowie die wissenschaftliche Evaluierung der entwickelten Modelle und Workflows verantwortlich. Die studentischen Hilfskräfte übernahmen je nach Stufe und Kenntnisstand unterschiedliche Aufgaben. Sie wurden für die Nachbereitung der Bestandsdokumentationen, der Dateneingabe und für die technische Ausarbeitung der verschiedenen Workflows benötigt.

Ein Großteil der durchgeführten Arbeiten ergab sich direkt aus dem beantragten Arbeitsprogramm und war dafür geeignet mit Hilfe digitaler Arbeitsmethoden die Fragestellungen des Projektes zu beantworten. Darüber hinaus wurden indirekt notwendige Arbeiten geleistet, die den Erkenntnisgewinn sicherten und nachnutzbar machten. Der hohe Innovationsgrad des Förderprogramms ermöglichte die notwendige und angemessene Erprobung neuer technologischer und methodischer Verfahren über die Grenzen der beteiligten Disziplinen hinweg. Dadurch konnte eine reine Reproduktion des aktuellen Forschungsstandes vermieden werden.

In der AG Tageslichtforschung ergaben sich die Arbeitspakete aus der Projektplanung. Abweichend von der ursprünglichen Planung erfolgte die Entwicklung der *phos4dtools* nicht durch eine eigene Erweiterung von Radiance durchgeführt, sondern durch die Integration der darauf aufsetzenden Software Raytraverse. Daher flossen die geplanten Arbeiten für die Open-Source-Veröffentlichung der Software direkt in die Entwicklung von Raytraverse ein, die ebenfalls dem Open-Source-Modell folgt.

6. NUTZEN DER GELEISTETEN ARBEITEN

Die Verwertbarkeit der Arbeiten während der Projektlaufzeit trug zum Erfolg des Gesamtprojektes bei. Die Nutzbarkeit der methodischen, konzeptionellen und technischen Arbeiten wird als sehr hoch eingeschätzt. Am Fallbeispiel Pompeji konnte erstmals eine gesamte antike Insula unter Berücksichtigung von archäologischen Installationen, bauhistorischen Rekonstruktionen und der Tageslichtsimulation hinsichtlich seiner Tageslichtverhältnisse untersucht werden. Technisch wird die Nutzbarkeit durch die Entwicklung von Strategien zur Nutzung von Forschungsdaten nach den FAIR-Prinzipien gewährleistet. Die Projektergebnisse stehen dauerhaft unter einer Open-Access-Lizenz in Repositorium der TU Darmstadt als eigene Sammlung zur Verfügung, siehe <https://tudatalib.ulb.tu-darmstadt.de/handle/tudatalib/4302>.

AG KLASSISCHE ARCHÄOLOGIE

Die im Rahmen des Pilotprojekts entwickelte Metrik wird ein leistungsfähiges Werkzeug für die Bewertung neu ausgegrabener oder erforschter Befunde sowie für die Auswertung bisheriger Forschungen zur antiken Architektur sein. Es können Aussagen bzw. Prognosen zu verschiedenen Fragenkomplexen getroffen werden, wie z.B. zu den durchgeführten Aktivitäten oder zu den benötigten Lichtmengen innerhalb der Wohneinheiten. Das in diesem Projekt entwickelte Tool ist explizit als Ausgangspunkt für die weitere Nutzung innerhalb der Fachcommunity zu verstehen. Die positive Resonanz auf die Vorträge und der kollegiale Austausch haben uns darin bestätigt. Einige der in den interdisziplinären Arbeitsgruppen genutzten bzw. entwickelten Variablen im Bereich der rechnergestützten Ansätze (Temporalstunden, Arbeitshöhen) boten der Archäologie neue Erkenntnisoptionen, die sie zukünftig in der antiken Hausforschung nutzen kann. Die von uns konzipierte Datenbankstruktur mit der erstmaligen Verknüpfung archäologischer Parameter mit denen der Tageslichtforschung wurde der Fachwelt öffentlich zur Verfügung gestellt. Diese innovativen Ansätze archäologischer und lichtsimulativer Untersuchungen eröffnen neue Wege für die Archäologie des Wohnens. Die in den letzten Jahren intensivierten Forschungen der *sensitive studies*, deren Grundlage häufig schriftliche Quellen sind, erhalten eine neue archäologische Basis. Darüber hinaus ermöglichen tages- und jahreszeitliche Lichtverhältnisse neue Untersuchungen zur zeitlichen Strukturierung antiker Haushalte und damit Rückschlüsse auf soziopolitische, kulturelle und ökonomische Bedingungen. Schließlich ergeben sich neue Anregungen für die Praxeologie des Wohnens.

AG BAUFORSCHUNG

Die Strategie der Nutzbarkeit wurde während der Projektlaufzeit in der Fachcommunity besprochen und in engem Austausch mit dem laufenden disziplinären Forschungsdatenmanagementprojekt *baureka.online* erarbeitet.

Methodisch wird mit der parametrischen Rekonstruktion ein Workflow verfügbar gestellt, über den erstmals eine datengestützte, bauhistorisch fundierte Variantenbildung in den Rekonstruktionsmodellen ermöglicht wird. Die dahinter liegende Datenbank beinhaltet die Überführung des klassischen Raumbuchs als Dokumentationsinstrument historischer Gebäude in eine digitale, referenzierbare und strukturierte Ablage mit Abfrage und Filtermöglichkeiten. Eine community basierte Erweiterung der Datenbank ist explizit erwünscht.

Inhaltlich konnten für alle drei Fallbeispiele neue Grundlagendaten ermittelt werden. Neben der Feineinteilung in bisher unbekannte Bauphasen (Ostia) und der grundlegenden Überarbeitung bisheriger Rekonstruktionsvorschläge (Orraon) konnte für das Fallbeispiel Pompeji ein gesamtes antikes Quartier als geschlossenes Rekonstruktionsmodell vorgelegt werden. Die damit verbundenen Herausforderungen für die Rekonstruktionsprozesse – so u.a. gegenseitige Abhängigkeiten von Wandstärke, Höhen, Dachnutzungen, etc. – und die dahinter liegenden Entscheidungsfindungen

können als modellhaft angesehen werden.

AG TAGESLICHTFORSCHUNG

Im Projekt wurde ein für die Anforderungen von Bauforschung, Archäologie und Alter Geschichte maßgeschneidertes Werkzeug entwickelt, das dauerhaft nutzbar ist und weiterentwickelt werden kann (<https://igit.architektur.tu-darmstadt.de/phos-4d/phos4dtools>, <https://zenodo.org/records/11527051>, <https://zenodo.org/records/8314590>). Es wurde darauf geachtet, dass geeignete Grundeinstellungen und einfache Workflows die Nutzung des Werkzeugs nicht nur Experten für Lichtsimulation erlauben. Die Tageslichtforschung selbst konnte durch die Weiterentwicklung vor Raytraverse insbesondere hinsichtlich der Implementierung verschiedener Messgeometrien profitieren (<https://raytraverse.readthedocs.io/>). Die Berechnungsergebnisse der drei Fallstudien liegt zur Nachnutzung vor (<https://zenodo.org/records/11526843>, <https://zenodo.org/records/11526881>, <https://zenodo.org/records/11526920>)

7. BEKANNT GEWORDENER FORTSCHRITT BEI ANDEREN STELLEN

Während der Projektlaufzeit sind an anderen Stellen keine Fortschritte zur behandelten Thematik bekannt, bzw. bearbeitet worden.

A. PUBLIKATIONEN

I. ERSCHIENEN

Falzone et al. 2023S. Falzone – F. Lang – P. Ruggendorfer – R. Kath – Ch. Schubert – C. Brünenberg – J. Hollaender – C. Mächler – A. Noback – L. O. Grobe – S. Wasilewski, The Study of Daylight in the Architectural and Decorative Framework of the Case a Giardino in Ostia, AIPRA 4 = Atti del IV Colloquio AIRPA, Urbino 17–19 giugno 2021 (Padova 2023) 151–162.

II. IN DRUCK / IN BEARBEITUNG

Cornelius und Glätzer 2022

L. Cornelius – T. Glätzer, Of windows and light. Toward a constraint-based reconstruction method for daylight simulation, in CHNT Editorial board. Proceedings of the 27th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, November 2022. Heidelberg: Propylaeum (Vortrag gehalten, Artikel zur Begutachtung eingereicht).

Mächler und Noback 2022

C. Mächler – A. Noback, Results of a photogrammetric building survey as an example for FAIR 3D data, in CHNT Editorial board. Proceedings of the 27th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, November 2022. Heidelberg: Propylaeum (Vortrag gehalten, Artikel zur Begutachtung eingereicht).

Grobe et al. 2022

L. O. Grobe – S. Wasilewski – A. Noback – C. Mächler – F. Lang, Zonal reconstruction of daylighting in historic built environments. A workflow to model and evaluate light in spatial and temporal domains, in CHNT Editorial board. Proceedings of the 27th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, November 2022. Heidelberg: Propylaeum (Vortrag gehalten, Artikel zur Begutachtung eingereicht).

Mächler und Noback 2023

C. Mächler – A. Noback, Austausch und Standards für Daten und Metadaten photogrammetrischer Bauaufnahmen (Build on data. Community-Tagung des DFG-Projektes baureka.online [Berlin, 04.–05.05.2023]. Vortrag, Artikel eingereicht).

Grobe et al. 2023

L. O. Grobe – C. Mächler – A. Noback – J. M. Monteoliva Peralta, Daylight availability in a Pompeian insula: A quantitative and qualitative assessment (CHNT 28 [Wien, 15.–18.11.2023]; Vortrag, Artikel eingereicht).

Grobe, Noback und Mächler 2023

Grobe, L. O., Noback, A., und Mächler, C. (2023). 'Lost in time and space and meaning: Modelling the dimensions of natural light', Workshop "Historic spaces and the multisensory experience: A digital exploration of light, sound, and movement", Artikel in Bearbeitung.

B. VORTRÄGE

Brünenberg, C., und Mächler, C. (2021). 'Modelling Knowledge on Introducing Dynamic Reconstruction as a Tool to Investigate the Use and Perception of Built Environment', EAA 2021 Widening Horizons, Kiel/online 7.-11. September 2021.

Brünenberg, L. O. Grobe, C. Mächler, A. Noback, Sensitivity and error in the reconstruction of daylight conditions in ancient residential architecture (UHDL 3 [München, 27.–28.03.2023], Session: Data handling and data schemes).

Grobe, L. O., Noback, A. und Mächler, C. (2023). 'Lost in time and space and meaning: Modelling the dimensions of natural light' (Workshop "Historic spaces and the multisensory experience: A digital exploration of light, sound, and movement" [München, 11.–13. 10. 2023]), DOI:<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10036834>, <https://vimeo.com/898935304>.

Grobe, L. O., Mächler, C., Monteoliva Peralta, J. M., und Noback, A. (2023). 'Daylight availability in a Pompeian insula: A quantitative and qualitative assessment' (CHNT28. 28th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, [Wien 15.–17.11.2023]), DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10155395>.

Hollaender, J., Brünenberg, C., Noback, A., Grobe, L. O., Schubert, C., und Lang, F. (2021) ,Phos 4D – Tool for an affordance-based day-light analysis of ancient houses by means of simulation', Central European Theoretical Archaeology Group 7th Annual Meeting, Brno 19.–> 20. Oktober 2021.

Kreiser, J., Lang, F., Noback, A., und Mächler, C. (2021). 'Session 404 - New Technologies, New Theories? Reflections on the Perception and Simulation of Building Environments and Architecture', EAA 2021 Widening Horizons, Kiel/online 7.-11. September 2021.

Lang, F., Kreiser, J., und Hollaender, J. (2021). 'Affordance-Based Analysis of Daylight and Activities in Ancient Houses by Means of Simulation'. EAA 2021 Widening Horizons, Kiel/online 7.-11. September 2021.

Lang, F., J. Hollaender: Daylight, Finds and Activities. Perception and Use of Daylight in Pompeian Houses, EAA Annual Meeting 2023, 30.08.-02.10.2023, Belfast (Vortrag angenommen, Konferenzteilnahme musste abgesagt werden, weil J. Hollaender zum 1.8.2023 das Projekt verlassen hatte und F. Lang wegen Terminüberschneidung nicht teilnehmen konnte).

Mächler, C., A. Noback, Austausch und Standards für Daten und Metadaten photogrammetrischer Bauaufnahmen (Build on data. Community-Tagung des DFG-Projektes baureka.online [Berlin, 04.–05.05.2023]. Vortrag, Artikel eingereicht).

Mächler, C., A. Noback, Reuse of photogrammetric data seen from different perspectives: creators, repository providers and users (CAA 50 [Amsterdam, 03.–06.04.2023]; Artikel in Bearbeitung).

Noback, A., Monteoliva, J. M., und Grobe, L. O. (2023). 'Reconstructing the daylight conditions in an insula of antique Pompeii', (21. International Radiance Workshop, [Innsbruck, Österreich 28.-31.8.2023]), DOI:<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8314590>.

Die Ergebnisse der Interdisziplinären Fehleranalyse wurden auf dem „UHDL3: 3rd Workshop on Research and Education in Urban History in the Age of Digital Libraries“ im März 2023 in München vorgestellt. (Brünenberg et al. 2023).

Die Ergebnisse der Validierung wurden auf dem "21th International Radiance Workshop" im August 2023 in Innsbruck Experten für Lichtsimulation vorgestellt (Noback, Monteoliva, and Grobe 2023) und in einem technischen Report (unpubliziert) ausführlicher dargestellt. Für den Radiance-Workshop wurde darüber hinaus ein Tutorial für die *phos4dtools* mit Beispieldaten (<https://c4science.ch/source/CasaNaveEuropa/>) hergestellt.