

## Augmented Reconstruction in den Trierer Barbarathermen

Ein immersiver und kollaborativer  
Rekonstruktionsansatz für die  
archäologische Bauforschung

---

Nahezu alle Medien antiker Lebenswelten sind dreidimensional, insbesondere natürlich die Architektur. Daher mag es nur konsequent sein, dass die Erforschung, Rezeption und Vermittlung antiker Architektur ebenso in dreidimensionalen Medien erfolgt. Dass dies am Standort Trier nicht nur angewendet, sondern weiterentwickelt wird, zeigt sich an Projekten, in denen antike Architektur zeitgemäß vermittelt wird. Hier zählt die 2020 veröffentlichte Augmented-Reality-App ARGO ([www.ar-route.de](http://www.ar-route.de). – Cordie u. a. 2020), die aus dem Forschungsprojekt „ARmob – Antike Realität mobil erleben“ der Universität Trier hervorging (Schmitz/Kronenberg 2015), zu den umfangreichsten Anwendungen auf diesem Gebiet. Mit der App können bis zu 110 archäologische und historische Denkmäler in Rheinland-Pfalz und Luxemburg am Originalstandort virtuell eingeblendet und so eine ausgedehnte Entdeckungsreise in die Vergangenheit unternommen werden. Diese sehr intuitive wie innovative Technik hat nicht zuletzt aufgrund der leichten Verfügbarkeit durch Smartphones oder Tablets, die in den meisten Haushalten vorhanden sind, einen berechtigten Platz in der Vermittlung kulturellen Erbes (Schmitz/Kronenberg 2015, 48). Gleichzeitig überrascht es, dass das Potenzial von augmented-reality-gestützten Anwendungen und Methoden in der altertumswissenschaftlichen beziehungsweise architekturbbezogenen Forschung wenig Beachtung findet. Umso erfreulicher ist, dass sich ein in der hochinnovativen Augmented-Reality-Landschaft Triers durchgeführtes Pilotprojekt dieses Desiderats annimmt.

### Zentrale Begriffe und Ziele

Angesiedelt ist das seit November 2019 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierte Projekt im Fach Klassische Archäologie, Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt unter der Leitung von Dr.-Ing. Clemens Brünenberg; enge Kooperationen bestehen mit der Hochschule Mannheim, Fakultät für Gestaltung (Prof. Dr.-Ing. Martin Kim), dem Rheinischen Landesmuseum Trier (Dr. Marcus Reuter, Dr. Karl-Uwe Mahler) sowie dem Architekturreferat an der Zentrale des Deutschen Archäologischen Instituts, Berlin (Claas v. Bargen). Der offizielle Titel „Augmented Reality als Rekonstruktionswerkzeug der Bauforschung. Interdisziplinäre Methodenentwicklung in den Mixed Realities am Beispiel der römischen Weltkulturerbestätten Triers“ wurde zu „Augmented Reconstruction“ verkürzt, um Ziel und Arbeitsweise plakativ darzustellen.

Die übergeordnete Zielstellung sieht vor, ein neues Werkzeug für Forscher und Forscherinnen zu entwickeln, mit dem bisherige Methoden dreidimensionaler Rekonstruktionen neu gedacht und mithilfe von Augmented Reality erstmals an den Ort des Geschehens, nämlich die zu untersuchende Architektur, gebracht werden können. Dabei sind zwei Begriffe von zentraler Bedeutung und bedürfen einer kurzen Erläuterung: Rekonstruktion und Augmented Reality.

Eine der grundlegenden Arbeitsweisen der archäologischen Bau- forschung und der Altertumswissenschaften ist die Erstellung von dreidimensionalen Vorschlägen zur Rekonstruktion nicht mehr erhaltenem Gebäude. Diese erfolgt anhand der Auswertung digitaler Daten und ermöglicht, unterschiedliche Varianten, Bauphasen, Kontexte, aber auch Unschärfen darzustellen (Lengyel/Toulouse 2011, 182-184. – Fless u. a. 2016, 499-501). Das Rekonstruktionsmodell ist somit ein wissenschaftliches Werkzeug und grenzt sich in unserem Sinne deutlich von einer Visualisierung ab, da letztere eine grafische Vermittlung darstellt (Hoppe/Breitling 2016, 11). Während Visualisierungen zumeist Endprodukte von Forschungen repräsentieren, also in aller Regel visuell ansprechend aufbereitete Darstellungen umfassen, ist das Rekonstruktionsmodell gerade in frühen Phasen der Forschung ein Kommunikationsmedium zur Aufstellung und Überprüfung von Hypothesen. Bei der Verwendung des Begriffs Rekonstruktion im Folgenden ist diese Eigenschaft besonders relevant.

Der zweite zentrale Begriff in diesem Kontext ist Augmented Reality (AR). Dabei wird die unsere Umwelt durch virtuelle, digitale Informationen angereichert, wodurch die Realitätswahrnehmung erweitert werden kann. Kennzeichnend dabei ist, dass man im Gegensatz zur mittlerweile weit verbreiteten Virtual Reality (VR) jederzeit einen Bezug zur realen Umgebung hat und behält. Diese Technologie wird beispielsweise bei Sportübertragungen schon über viele Jahre standardmäßig verwendet (Abseitslinien beim Fußball, Weitsprungmarkierungen u. Ä.). Größere Bekanntheit erlangte die AR jedoch über die Verbreitung der Smartphones und Tablets. Dies ermöglichte neuartige Erlebnisse im Spielebereich (zum Beispiel Pokémon Go) oder in der Kulturarbeit wie mit der eingangs erwähnten App ARGO der Universität Trier oder dem Projekt Florence 4D der Universitäten Exeter und Cambridge ([www.florence4d.org](http://www.florence4d.org)). Wesentlich bei diesen AR-Anwendungen ist die dynamische, sich an den Standort und die Körpergröße anpassende Abbildung der virtuellen Informationen (Broll 2013, 241-242). Dies schließt bei all den genannten Projekten, auch dem hier vorgestellten, ein Anzeigegerät ein.



1

**AR-Brille Holo Lens 2.**

Diese veränderte, mit einem Bauhelm ausgestattete Version der Firma Trimble ist besonders gut im Außenbereich, etwa auf Baustellen und in antiken Stätten, einsetzbar.

Während dies in Vermittlungsanwendungen zumeist ein Smartphone oder Tablet ist, wird im forschungsbezogenen Kontext eine AR-Brille verwendet, namentlich die Holo Lens 2 von Microsoft [Abb. 1]. Sie bringt mehrere Vorteile mit sich, die wesentlich zum Erfolg dieser Technologie beitragen. Zuerst ist die gesteigerte immersive Wirkung zu nennen. Immersion bedeutet die Aktivierung möglichst vieler Sinneswahrnehmungen in Bezug auf ein Ereignis. Die AR-Brille projiziert die virtuellen Inhalte, in diesem Fall dreidimensionale Hologramme, direkt vor dem Auge; gleichzeitig interagieren diese mit der realen Umwelt. Ermöglicht wird das über verschiedene in die Brille integrierte Kameras, die die Umgebung scannen. Diese sogenannte Spatial Awareness ist eines der Kernmerkmale der AR-Brille und führt dazu, dass die Umgebung nicht nur gefilmt, sondern in einfache dreidimensionale Geometrien umgerechnet wird. So kann die Umgebung als ein geometrisches Abbild gesehen werden [Abb. 2]. Die Interaktion mit den virtuellen Informationen und Objekten wird bei der Holo Lens 2 über zwei Wege ermöglicht. Die übliche Steuerung erfolgt per Handgesten, die von den eingebauten Kameras erkannt und umgesetzt werden.



2

**Sicht durch die Brille.**

Unmittelbar vor dem Auge werden virtuelle Inhalte projiziert, hier der virtuelle Scan der Umgebung.

So entspricht beispielsweise ein Aneinandertippen von Daumen und Zeigefinger einem Mausklick oder das Aneinanderhalten dieser beiden Finger dem Ziehen bei geklickter Maus. Darüber hinaus können sprachgesteuerte Befehle eingebaut werden. Diese Technik ermöglicht generell präziseres Arbeiten, da solche Befehle genauer definiert werden können; gleichzeitig erfordert sie eine sehr deutliche Aussprache, zunächst unabhängig von der verwendeten Sprache, sodass häufig auf die universelle Handgesten-Steuerung zurückgegriffen wird.

Zuletzt sollte die Softwarekonfiguration erwähnt werden. Im Kontext von VR und AR wird zumeist mit Softwareumgebungen gearbeitet, die überwiegend in der Spieleindustrie Verwendung finden,namentlich die Unreal Engine oder Unity. Letztere wurde in unserem Projekt dafür benutzt, die App „Augmented Reconstruction“ zu programmieren.

### **Neue Methode der Rekonstruktion**

Bei der Betrachtung bisheriger Arbeitsweisen in der historischen Bauforschung oder in den objektbezogenen Altertumswissenschaften gibt es eine immer wieder auffallende Diskrepanz: Im gesamten Zyklus der Erforschung eines Objektes, in diesem Fall besonders jeglicher Form historischer Architektur, kam es bisher unweigerlich zu einem Bruch. Während die Dokumentation, Aufnahme, Analyse und Erforschung historischer Architektur stets am untersuchten Gebäude selbst durchgeführt wird, ist die Rekonstruktion des Gebäudes – zunächst unabhängig davon, ob sie zwei- oder dreidimensional erstellt wird – vom tatsächlichen Bestand vor Ort abgekoppelt. Abgesehen von diversen Skizzen, Notizen und Diskussionen wird die Rekonstruktion in aller Regel am heimischen Computer oder im Büro durchgeführt. Der Abgleich mit der Situation vor Ort, die erneute Diskussion mit allen Beteiligten und die anschließende Überarbeitungsphase sind oft zeitraubend und können mitunter zu unbefriedigenden oder gar falschen Ergebnissen führen. Erste dreidimensionale Rekonstruktionsversuche tragen jedoch zum Verständnis des gebauten Raumes bei. Entscheidend ist, dass alle Beteiligten eines Projektes, die in der Regel aus verschiedenen Fachgebieten kommen, eine klare Kommunikationsbasis haben: Sprechen alle über dieselbe Mauer, über dasselbe konstruktive Detail, über denselben umgebauten Raum? Sprechen am Ende also alle über dieselbe Rekonstruktionsidee eines Gebäudes? In diesem Prozess werden wichtige Forschungshypothesen aufgestellt, widerlegt oder neu interpretiert.

Dass dieser Prozess durch ein AR-basiertes Werkzeug visualisierbar und dadurch für alle Projektbeteiligten am Untersuchungsobjekt direkt erfahrbar und veränderbar wird, ist der Ansatz unseres Forschungsprojektes. In einer zweijährigen Pilotphase geht es daher primär darum, die technischen und methodischen Grundlagen für dieses Werkzeug zu erstellen und an ausgewählten römischen Bauwerken in Trier zu testen. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Barbarathermen.



**3** Trier, Barbarathermen.  
Im Heizraum kann der  
antike Bestand mithilfe der App  
digital ergänzt werden.  
Der rote Baukörper wird an den  
vorhandenen Pfeiler angepasst.

Die Wahl dieses Gebäudekomplexes erfolgte aus mehreren Gründen: Zum einen sind die Barbarathermen vorwiegend in Fundament- und Substruktionenmauern erhalten, zum anderen folgen sie einer weitestgehend klaren Typologie, gehören aber durch die von Anfang an eingeplante Heiztechnik und Wasserversorgung zu einem der komplexesten antiken Bautypen. Dies lässt die Barbarathermen gleichsam zu einem idealen Untersuchungs- und Testobjekt einer Rekonstruktion vor Ort werden. Gleichzeitig schwingt eine weitere Komponente mit, die in der ersten Pilotphase noch nicht zum Tragen kam, aber im Fortgang des Projektes an Bedeutung gewinnen wird. So können mit dieser neuen Methodik auch immanente Fragen zur Denkmalpflege und zum Kulturerhalt noninvasiv diskutiert werden [Abb. 3]. In direkter Verbindung mit dem baulichen Bestand – und auch mit vorherigen Restaurierungsphasen – können Sanierungsmaßnahmen und Rekonstruktionsvarianten besprochen werden. Der Mehrwert eines solchen Ansatzes für exponierte Gebäude wie die Barbarathermen liegt dabei auf der Hand.

Doch wie sehen die Arbeiten in der AR vor Ort aus? Grundsätzlich besteht der methodische Ansatz aus drei Stufen: 1. vorbereitende Bauaufnahme; 2. Verankerung der virtuellen Rekonstruktionsszene in der realen Umgebung durch die App; 3. Modellierung der Rekonstruktion.

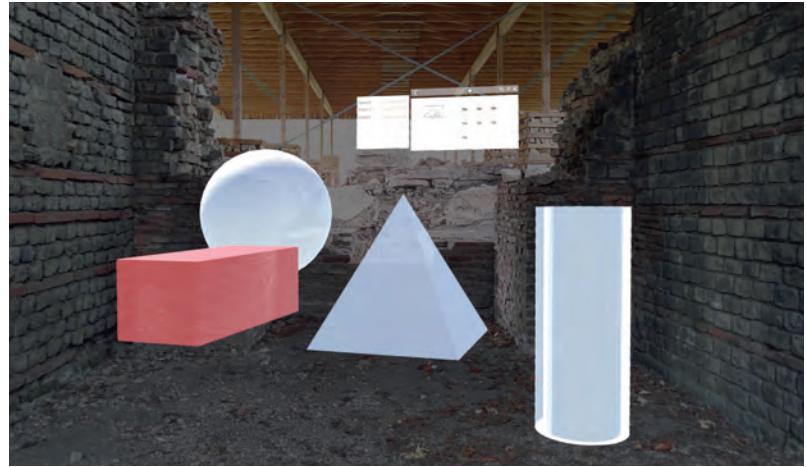


Die notwendige Dokumentationsgrundlage unterscheidet sich dabei nicht von anderen Methoden der Erforschung historischer Architektur. Als Basis dienen selbstverständlich ein Verständnis und eine genaue Bauaufnahme des Gebäudes, wie sie heute in aller Regel als Standard anzunehmen ist. Diese Aufnahme muss allerdings zwingend dreidimensional sein, damit sie später weiterverarbeitet werden kann. In Trier erfolgte sie weitestgehend nach dem Structure-from-Motion-Verfahren (SfM), einer Methodik der Photogrammetrie. Dabei werden vom Aufnahmeobjekt aus allen Winkeln Fotografien erstellt, die mit Spezialsoftware in Geometrien umgerechnet werden können. Das Ergebnis der Aufnahme ist schließlich ein dreidimensionales Modell des Bestandes [Abb. 4]. Ergänzend zu den SfM-Modellen wurden vereinzelt Laserscans angefertigt.

Die App „Augmented Reconstruction“ ist einfach und intuitiv aufgebaut. Neben der Möglichkeit, neue Rekonstruktionsszenen anzuferingen oder alte Szenen zu laden, stehen Funktionen zum Import von 3D-Modellen und Export der erstellten Szenen zur Verfügung. Über den Import von 3D-Modellen können beispielsweise erhaltene Bauteile wie Kapitelle, die sich nicht zwingend *in situ* befinden, eingebunden werden. Das gilt ebenso für ausgestellte Objekte. Bei der Anlage einer neuen Rekonstruktionsszene wird die Brille auf die reale Umgebung eingestellt, da die Abbildung der virtuellen Inhalte in der AR, wie zuvor beschrieben, in Abhängigkeit vom aktuellen Standort der Nutzer und Nutzerinnen wiedergegeben wird. So berücksichtigt die AR-Brille beispielsweise sehr genau die Körpergröße, wodurch die Positionierung derselben Rekonstruktion bei zwei Personen unterschiedlich wahrgenommen werden könnte.

4

Trier, Barbarathermen.  
SfM-Modell des Untergeschosses  
des Tepidariums.

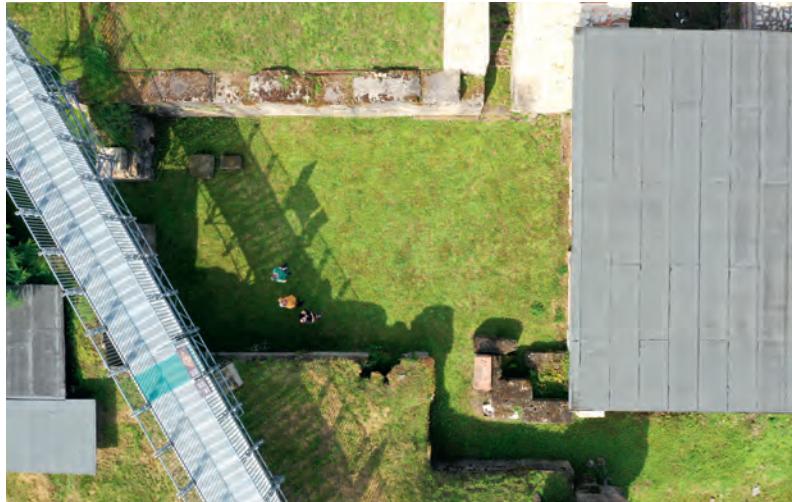


5

Trier, Barbarathermen.  
Durch die App  
„Augmented Reconstruction“  
eingefügte virtuelle Bauteile.

Eine einheitliche Verankerung wiederum wird durch fest angebrachte QR-Codes garantiert, die als Speicher- und Einfügepunkt der Rekonstruktion funktionieren. Danach kann die Modellierung der Rekonstruktion vorgenommen werden. Diese verläuft nach den Prinzipien herkömmlicher 3D-Modellierungssoftware. Über eine Bauteilbibliothek können einfache Körper wie Quader, Kugeln, Zylinder oder Pyramiden als virtuelle Inhalte der Realität hinzugefügt werden [Abb. 5]. Des Weiteren umfasst die Bibliothek einen Grundstock an definierten, immer wieder auftretenden Bauteilen, wie zum Beispiel Tubuli oder Hypokaustpfiler für Thermen, und jeglichen importierten Bauteilen. Das Bearbeiten der Bauteile, also Bewegen, Drehen und Skalieren, erfolgt durch Schieberegler oder direkte Eingabewerte, wodurch eine präzise Anpassung der Objekte an den realen Bestand ermöglicht wird. Die genaue Positionierung der Objekte im dreidimensionalen Raum erfolgt durch die Spatial Awareness der Holo Lens 2, das heißt, die Geometrieerkennung der realen Umgebung. Diese Umgebungsgeometrie dient gleichsam als Anker- und Bodenpunkt der Objekte. Der besondere Nutzen dieses Ansatzes liegt darin, die Rekonstruktion vor Ort in Zusammenarbeit mit einer breit aufgestellten Expertengruppe durchführen zu können. Dazu wird die Sicht der rekonstruierenden Person live auf andere Geräte gestreamt, damit die übrigen Personen dasselbe sehen können. Entscheidend dabei ist, dass der Stream standortunabhängig über eine Direktverbindung oder das Internet erfolgen kann. So können die ersten Rekonstruktionsmodelle vor Ort von einem interdisziplinären Team erstellt und jederzeit beliebig viele Experten und Expertinnen hinzugeschaltet werden, um Verbesserungen vorzuschlagen und Modellvarianten zu diskutieren.

Dieser grundlegend neuartige methodische Ansatz wurde in den Barbarathermen in Trier an verschiedenen Räumlichkeiten ausprobiert. Gleichzeitig wurde der Test durch die Fragestellung erweitert, ob und wie es damit möglich sein kann, unsichtbare, da nicht freigelegte oder überbaute, Elemente der Badeanlage virtuell vor Ort sichtbar zu machen.



6

Trier, Barbarathermen.  
Untergeschoss des Tepidariums.

Die Arbeiten konzentrierten sich auf das Untergeschoß des Tepidariums [Abb. 6], die erhaltenen Heizgänge und den Heizraum 12a. Diese Räumlichkeiten wurden zunächst vorwiegend mittels SfM, teilweise mittels Laserscanner dokumentiert [Abb. 7]. Danach wurden die verschiedenen Zwischenstände der App in den Räumen getestet. Dabei fielen mehrere Dinge auf. So mussten verschiedene Hürden, Probleme und technische Fehler überwunden werden, um die App schrittweise zu verbessern. Insbesondere die Bearbeitung der Objekte im Raum stellte eine große Herausforderung dar, die mittlerweile jedoch gemeistert ist. Damit ist die grundsätzliche Funktionalität der App gegeben, wenn auch im weiteren Projektverlauf noch mehr an der Benutzerfreundlichkeit im Allgemeinen gearbeitet werden muss.



7

Trier, Barbarathermen.  
Aufnahme der SfM-Modelle  
des Heizgangs, August 2021.

Gleichzeitig wurde das Potenzial dieses methodischen Ansatzes deutlich: Augmented Reconstruction kann ein mächtiges, flexibel einsetzbares Werkzeug bei Ausgrabungen und im Kulturerhalt werden. Insbesondere bei unklaren oder schlecht erhaltenen Befunden kann die App ersten Einschätzungen der Architektur dienen.

## Ausblick

Im nächsten Projektabschnitt ist vorgesehen, die rein technische Machbarkeitsausrichtung zu verlassen und die neuartige Methode der Augmented Reconstruction in konkrete Projekte mit einer stärkeren historisch-inhaltlichen Fragestellung zur Heiztechnik und Wasserversorgung römischer Thermen einzubinden. Geplant ist eine Vernetzung der beiden großen Bereiche Forschung und Vermittlung. So bringt Augmented Reconstruction erstmals in der Auseinandersetzung mit historischer Architektur die Rekonstruktion unmittelbar ans Untersuchungsobjekt und stellt somit eine Bereicherung für die methodische Forschungslandschaft in der historischen Bauforschung, Archäologie, Kunstgeschichte und Denkmalpflege dar; spannend und transparent wird der Ansatz durch die digitale Vernetzung von öffentlichem Raum – dem architektonischen Objekt – mit dem musealen Raum – dem in der Rekonstruktion verwendeten Ausstellungsgegenstand.

*Unser Dank gilt insbesondere dem Rheinischen Landesmuseum Trier in Person von Dr. Karl-Uwe Mahler und Dr. Marcus Reuter für die unkomplizierte und hilfreiche Unterstützung unserer Arbeiten in Trier. Dariüber hinaus wäre dieses Projekt nicht ohne die Hilfe unserer studentischen Hilfskräfte möglich gewesen: Wir danken Mahmoud Mhana (Technische Universität Darmstadt, Informatik) für die unermüdliche Programmierung der App in Unity sowie Lucas Cornelius und Sarah Cheikh-Ali (Technische Universität Darmstadt, Architektur) für die im wahrsten Sinne des Wortes konstruktive Hilfe während des Projektes, für die Modellierungen und 3D-Dokumentationen vor Ort.*

---

## Literatur

W. Broll, Augmentierte Realität. In: Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Hrsg. von R. Dörner u. a. (Berlin 2019) 241-294. – F. Fless u. a., Authenticity and communication. In: Space and knowledge. Hrsg. von G. Graßhoff/M. Meyer. eTopoi, Sonderband 6, 481-524. [http://dx.doi.org/10.17169/FUDOCS\\_document\\_000000026010](http://dx.doi.org/10.17169/FUDOCS_document_000000026010) [07.12.2021]. – S. Hoppe/S. Breitling, Virtual palaces, digital images. An introduction. In: Virtual palaces, part II. Lost palaces and their afterlife. Virtual Reconstruction between science and media. Hrsg. von S. Hoppe/S. Breitling (München 2016) 11-20. – D. Lengyel/C. Toulouse, Darstellung von unscharfem Wissen in der Rekonstruktion historischer Bauten. In: Von Handaufmaß bis High Tech III. Erfassen, Modellieren, Visualisieren. 3D in der historischen Bauforschung. Hrsg. von K. Heine u. a. (Darmstadt 2011) 182-186. – S. Schmitz/A. Kronenberg, ARmob – Antike Realität mobil erleben. Archäologie und Augmented Reality. Antike Welt 45, 2015, H. 6, 46-50. – Vergangenheit neu sehen! Archäologie in Bildern. Hrsg. von R. Cordie u. a. (Trier 2020).

## Abkürzungen

- AR Augmented Reality  
SfM Structure-from-Motion-Verfahren  
VR Virtual Reality

## Abbildungsnachweis

Abb. 1-7 Verfasser.