

Die verschwundene Burg – Die Wiederkehr der Horneburg in Virtual und Augmented Reality

Thomas P. Kersten¹, Malte Marsmann¹ & Florian Timm¹

Zusammenfassung

Die technologischen Fortschritte im Bereich der virtuellen Realität (VR) der letzten Jahre haben das Potenzial, unseren Alltag zunehmend zu beeinflussen. Mithilfe eines Head-Mounted Displays (HMD) können wir eine digitale Welt als immersives Erlebnis in VR erkunden und als neue Form der wissenschaftlichen Kommunikation für Museen und Bildungseinrichtungen nutzen, um beschädigte, zerstörte oder weit entfernte historische und kulturelle Objekte zu präsentieren. Augmented Reality (AR) kann dagegen vergessene und verlorene Objekte und Denkmäler des kulturellen Erbes über mobile Geräte an ihren ursprünglichen Standorten wieder zum Leben erwecken und präsentieren. In diesem Beitrag wird die Entwicklung einer VR- und AR-Anwendung zur verschwundenen Horneburg vorgestellt, die seit fast 400 Jahren nicht mehr existiert. Die Horneburg wurde anhand eines abgeleiteten 2D-Lageplans und architektonischer Fassadenpläne der Burggebäude rekonstruiert und anschließend in der Spiel-Engine Unreal 5 texturiert und immersiv visualisiert. Mithilfe der AR-App kann das gesamte Gebäudeensemble mit der hölzernen Palisade um die Burg oder jedes einzelne Gebäude vor Ort in der Natur (Option 1) und ortsunabhängig (Option 2) auf mobilen Android- und iOS-Geräten mit WebXR und Three.js visualisiert werden. Die technische Umsetzung der VR- und AR-Anwendungen wird in diesem Artikel vorgestellt.

Schlagwörter 3D...Burg...Immersion...Kulturerbe...Modellierung...Rekonstruktion...Visualisierung

1 Einführung

In den letzten Jahren hat die Bedeutung von Virtual-Reality-Anwendungen (VR) für die digitale Rekonstruktion und Präsentation historischer Gebäude, Städte und Denkmäler deutlich zugenommen. VR-Anwendungen ermöglichen es, virtuelle Umgebungen zu erstellen, zu erkunden und zu erleben. Insbesondere können sie damit Objekte visualisieren, die nicht mehr existieren oder nur in Plänen und Entwürfen vorhanden sind (Deggim et al., 2017a). In virtuellen Umgebungen kann die Realität originalgetreu nachgebildet und unterschiedlich dargestellt werden. Diese neuen VR-Technologien ermöglichen immersive Erlebnisse in computergenerierten Umgebungen. Darüber hinaus könnte die Entwicklung und Implementierung einer VR-Anwendung einen neuen Ansatz für den Wissenstransfer darstellen, da Nutzer innerhalb der virtuellen Umgebung interagieren können, um Informationen zu erhalten. Kersten et al. (2020) beschreiben die Entwicklung einer VR-Anwendung für die Viermastbark Peking, ein historisches Schiff aus dem Jahr 1911, gebaut von der Werft Blohm + Voss in Hamburg für die Reederei F. Laeisz. In dieser VR-Anwendung werden die Bedeutung der Segel und verschiedener Flaggen sowie die

Arbeitsschritte der photogrammetrischen Datenerfassung und Modellierung interaktiv erklärt.

Im Gegensatz dazu ist Augmented Reality (AR) eine Technologie, die digitale Informationen wie Bilder, 3D-Modelle oder Text in Echtzeit durch den Einsatz von mobilen Geräten wie Smartphones, Tablets oder spezielle AR-Brillen (z. B. Google Glass und Microsoft HoloLens 2) über die reale Welt legt. Dadurch wird die menschliche Wahrnehmung in der realen Umgebung erweitert. Die Anwendungsbereiche sind vielfältig und umfassen u.a. Unterhaltung (z. B. Pokémon Go), Industrie (z. B. Wartung) und Marketing (z. B. virtuelle Umkleidekabinen). Im Gegensatz zur virtuellen Realität (VR) ermöglicht AR, in der realen Umgebung zu bleiben und diese mit digitalen Elementen zu ergänzen. AR wird auch zunehmend im Bereich des kulturellen Erbes eingesetzt. So kann sie beispielsweise verwendet werden, um Gebäude, Denkmäler oder andere Objekte, die nicht mehr an ihrem ursprünglichen Standort existieren, anzuzeigen und über mobile Geräte zusätzliche Informationen über sie bereitzustellen.

Dieser Beitrag beschreibt die Entwicklung einer VR- und AR-Anwendung, mit der die heute nicht mehr existierende Horneburg für Nutzer wieder zum Leben erweckt wird –

¹ HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning, Henning-Voscherau-Platz 1, D-20457 Hamburg, E-Mail: [Thomas.Kersten, Florian.Timm]@hcu-hamburg.de, Malte.Marsmann@icloud.com

unabhängig davon, ob sie sich mit einem VR-Headset im Museum oder mit einem AR-Gerät am ursprünglichen Standort befinden. Ziel des Projekts war die virtuelle Rekonstruktion und die Visualisierung der mittelalterlichen Burg in seiner Umgebung. In Kapitel 2 werden zunächst ähnliche Arbeiten im Bereich VR und AR vorgestellt, während Kapitel 3 die Geschichte der Horneburg beschreibt. Die 3D-Rekonstruktion der Burg wird in Kapitel 4 präsentiert. In Kapitel 5 werden die verwendete Spiel-Engine und das VR-Head-Mounted-Display vorgestellt. In den beiden folgenden Kapiteln wird die Implementierung der VR- (Kap. 6) bzw. der AR-Anwendung (Kap. 7) beschrieben.

2 Methoden

Die virtuelle Realität (VR) spielt eine wichtige Rolle bei der Präservierung und Darstellung von virtuellen Objekten des Kulturerbes. Sie ermöglicht eine neue Form der Kommunikation mit der Öffentlichkeit und der wissenschaftlichen Gemeinschaft, insbesondere im Hinblick auf historische Objekte und Denkmäler, die beschädigt oder zerstört sind bzw. sich in weiter Entfernung zu interessierten Besuchern befinden (Addison, 2000; Affleck & Thomas, 2005; Stone & Ojika, 2005).

Wie Al-Ansi et al. (2023) analysiert haben, spielen VR und AR auch zunehmend eine wichtige Rolle in der Bildung. Die Ergebnisse ihrer Auswertung zeigen, dass die Einführung von AR und VR in Bildungseinrichtungen in den letzten Jahren exponentiell zugenommen hat, wobei die Nutzung mobiler Geräte einen großen Teil dieser Entwicklung ausmacht. Basierend auf weiteren Untersuchungen zeigen die Ergebnisse auch eine Lücke bei der schnellen Implementierung und Anpassung dieser Technologien in Bildungseinrichtungen.

An der HafenCity Universität Hamburg wurden verschiedene Virtual-Reality-Anwendungen entwickelt. Diese konzentrieren sich insbesondere auf historische Architekturobjekte und Denkmäler, darunter kulturelle und religiöse Stätten. Zu den Anwendungen zählen ein hölzernes Modell des Salomonischen Tempels von 1680 aus dem Hamburg Museum (Kersten et al., 2018), die Selimiye-Moschee in Edirne, Türkei (Kersten et al., 2017), sowie der Kaiserdom in Königslutter, für den auch 360°-Panoramafotos integriert wurden, um die immersive Visualisierung zu verstärken (Walmsley & Kersten, 2020). Darüber hinaus wurde eine Virtual-Reality-Anwendung für die osmanische Festungsanlage Rumeli in Istanbul (Tschirschwitz et al., 2019a) sowie für das Fort Al-Zubarah in Katar (Kersten et al., 2021) entwickelt. Außerdem wurden drei historische deutsche Städte

und ihre Umgebung als Virtual-Reality-Erlebnisse umgesetzt: Duisburg im Jahr 1566 (Tschirschwitz et al., 2019b), Segeberg im Jahr 1600 (Deggim et al., 2017b) und Stade im Jahr 1620 (Walmsley & Kersten, 2019). Beispiele für weitere VR-Anwendungen für historische Denkmäler und Stätten wurden von verschiedenen Autoren veröffentlicht (Medyńska-Gulij und Zagata, 2020; Bozorghi & Lischer-Katz, 2020; Edler et al., 2019; Janovský et al., 2022).

Während einige Autoren einen Überblick über Augmented Reality geben (Azuma, 1997; Carmigniani & Furht, 2011; Arena et al., 2022), untersuchen andere Augmented-Reality-Technologien, ihre Anwendungen und ihre Grenzen (van Krevelen & Poelman, 2010). Vertucci et al. (2023) fassen die Entwicklung von AR seit ihren Anfängen zusammen. Azuma (1999) diskutiert die Herausforderung, AR im Freien funktionsfähig zu machen. Kee et al. (2019) stellen dagegen die besten praktischen Beispiele für den Einsatz von AR in der Geschichte vor. Teruggi & Fassi (2022) beschreiben eine interessante AR-Anwendung, bei der die Microsoft HoloLens 2 beispielsweise für die räumliche Schadenskartierung im Mailänder Dom eingesetzt wird. Grimm et al. (2022) geben einen Überblick über VR/AR-Eingabegeräte und Tracking.

3 Die Geschichte der Horneburg

Die Horneburg ist eine spätmittelalterliche Wasserburg in der gleichnamigen Gemeinde im Landkreis Stade in Niedersachsen. Sie liegt etwa zwölf Kilometer südöstlich der Kreisstadt Stade und rund dreißig Kilometer westlich von Hamburg. Sie wurde im Jahr 1255 im Auftrag des Erzbischofs von Bremen auf dem Gelände des Klosters Harsefeld errichtet. Sie befindet sich auf einer kreisförmigen, sumpfigen Insel in der Aue mit einem Durchmesser von etwa 77 Metern. Ein etwa acht Meter breiter Abschnitt des Flusses Lühe umgibt die Burg. Die historische Burg selbst bestand aus einer „Innenburg“ und einer Vorburg. Die „Innenburg“ war mit einem Wall und Palisaden befestigt. Sie umfasste einen steinernen Wohnturm, Stallungen, Lagerhäuser und ein Haus für jede Bürgerfamilie. Die „Innenburg“ war vom Vorhof aus über eine Zugbrücke erreichbar. Der Vorhof war ebenfalls befestigt und von einem Flussarm umgeben. Er war nur über eine Zugbrücke zugänglich.

Die Burg war bis 1510 bewohnt. Danach zogen die dort lebenden Familien nach und nach aus der Vorburg in neu erbaute Herrenhäuser in der Umgebung. Von da an diente die Burg nur noch als Zufluchtsort im Falle eines Angriffs. Während des Dreißigjährigen Krieges wurde Horneburg am 11. Oktober 1627 vom spanisch-niederländischen Feldherrn Tilly eingenommen. Gustav II. Adolf, König von Schweden,

eroberte die Horneburg im Jahr 1632 zurück. Bei beiden Eroberungen wurden große Teile der Burg niedergebrannt und zerstört (nur das Burgvogtei-Haus blieb verschont). Im Jahr 1645 besetzten die Schweden erneut die Horneburg. Sie verlor dann ihre defensive Bedeutung und wurde schließlich zerstört (Ahrens, 2010).



Abbildung 1 Inselburg Horneburg – Frühere Nadiransicht des historischen Geländes (oben, Foto Hartmann, DLRG Horneburg) und Grundriss der historischen Burganlage (unten, Mennenga, 2020)

In den letzten Jahren wurde die Burginsel vorwiegend als Kleingartenanlage genutzt (siehe Abb. 1 oben). Der einzige Zugang zur Insel erfolgt über eine überwucherte Fußgängerbrücke an der Nordwestseite. Auf dem Gelände des ehemaligen Vorhofs befinden sich heute ein Fachwerk-Herrenhaus aus dem Jahr 1840 und ein Burggarten. Von der Burg Horneburg selbst ist nichts mehr erhalten.

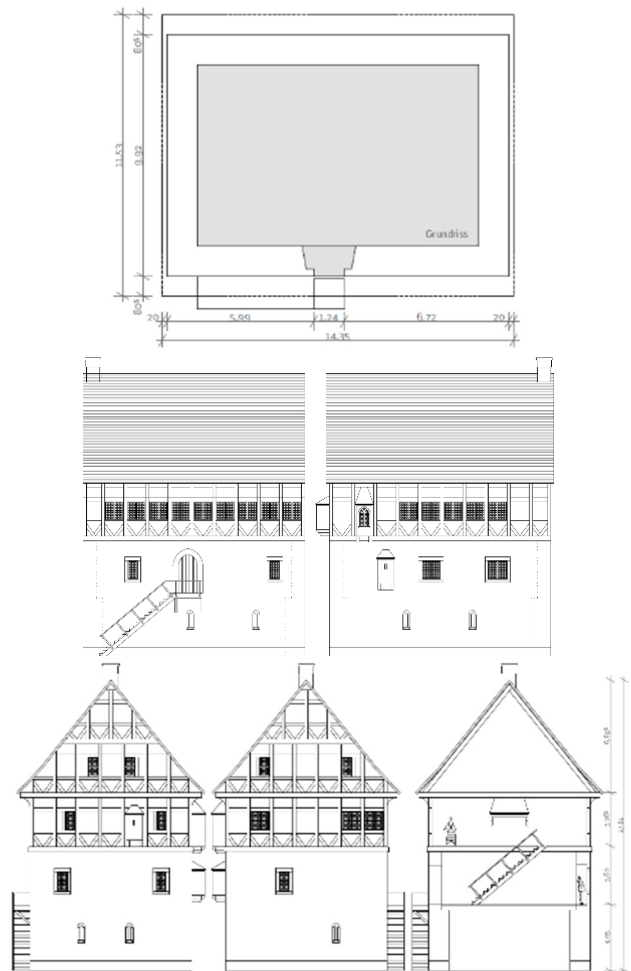


Abbildung 2 2D-Architekturzeichnungen (Grundriss und Fassaden) des Wohnturms der Horneburg (© Reunion Media; Mennenga, 2020).

4 Die Rekonstruktion der Burg

Die Idee, die unsichtbare Horneburg (siehe Abb. 1 oben) wieder zum Leben zu erwecken und in einen Park mit Museumsattraktionen zu verwandeln, entstand in der Gemeinde Flecken Horneburg. Im Oktober 2020 führten Archäologen des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Universität Hamburg daher eine geomagnetische Prospektion durch, um erste Einblicke in die Anordnung und die Bestandteile der Burggebäude zu gewinnen. Die Ergebnisse sind in der unteren Abbildung 1 dargestellt, die die Anzahl und Größe der einzelnen Gebäude in der „inneren“ Burg zeigt. Man nimmt an, dass sich in der Burg ein Wohnturm, eine Bäckerei, vier Wirtschaftsgebäude und vier Ganerben, das heißt Wohneinheiten, die einer Erbgemeinschaft gehören, befanden. Auf Basis der geomagnetischen Prospektionsdaten, archäologischer Erkenntnisse und Informationen aus vergleichbaren Burgen rekonstruierten Dr. Joachim Zeune vom Büro für

Burgenforschung in Bayern und Menno Mennenga von Reunion Media in Emden den Burgkomplex. Ihre 2D-Architekturzeichnungen der Gebäude (siehe Abb. Visualisierungs 2) bildeten die Grundlage für die 3D-Rekonstruktion der historischen Horneburg an der HCU Hamburg vor ihrer Zerstörung im Dreißigjährigen Krieg. Die 3D-Konstruktion der Gebäude erfolgte in der Software AutoCAD anhand der 2D-Zeichnungen. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Vorder- und Rückfassade des Gebäudemodells „Ganerben IV“ als 3D-Volumenkörper.

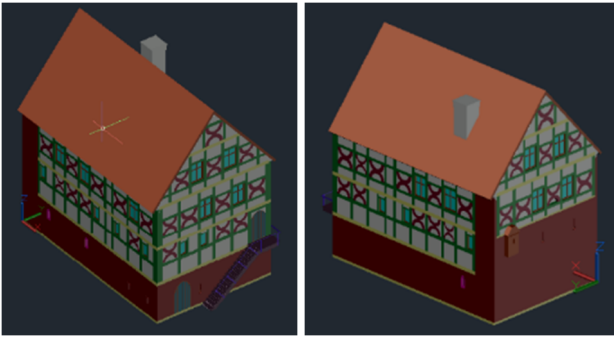


Abbildung 3 In AutoCAD rekonstruiertes 3D-Gebäude (Vorder- und Rückfassade von Ganerben IV) der Horneburg als ein Beispiel

5 Die Game Engine und das VR-System

5.1 Die eingesetzte Game Engine

Eine Game Engine ist ein Software-Framework zur Erstellung und Entwicklung von Videospielen. Zu den Kernfunktionen gehören in der Regel eine Rendering-Engine für 3D-Grafiken zur Darstellung texturierter 3D-Modelle, eine Physik-Engine mit Kollisionserkennung für die Interaktion von Objekten sowie ein Audiosystem zur Wiedergabe von Sound.

Die Unreal Engine 5 (UE5) ist die neueste Version der von Epic Games entwickelten Spiele-Engine. Sie wurde im Mai 2020 vorgestellt und im April 2022 offiziell veröffentlicht. UE5 enthält mehrere Upgrades und neue Funktionen, darunter Nanite, das den Detaillierungsgrad von Meshes automatisch anpasst, sowie Lumen, ein dynamisches System für globale Beleuchtung und Reflexionen, das software- und hardwarebeschleunigtes Raytracing nutzt. UE5 wurde ausgewählt, da es die Möglichkeit bietet, Anwendungs- und Interaktionslogik mithilfe einer visuellen Programmiersprache namens Blueprints zu entwickeln. Mit Blueprints ist kein Schreiben von maschinenkompatiblem Quellcode erforderlich. Für dieses Projekt wurde UE5 in der Version 5.4.4 verwendet.

5.2 Das eingesetzte VR-System

Für die Entwicklung dieser VR-App wurde die Pico 4 als Head-Mounted Display (HMD) verwendet. Die Pico 4 ist ein All-in-one-VR-Headset für Gaming und immersive Erlebnisse (siehe Abb. 4). Es ist mit zwei 2,56 Zoll großen Fast-LCD-Bildschirmen ausgestattet, die ein Sichtfeld von 105° bieten und so für mehr Immersion sorgen. Dank seiner 4K+-LCD-Displays (2160 × 2160 Pixel pro Auge), Pancake-Linsen und einer Bildwiederholfrequenz von 90 Hz liefert es scharfe Bilder und eine flüssige Darstellungsleistung. Angetrieben von einem Qualcomm Snapdragon XR2-Prozessor mit 8 GB RAM verfügt es über Inside-Out-Tracking mit vier Kameras sowie präzises Controller-Tracking. Dies ermöglicht sowohl kabelloses Standalone-Gaming als auch PC-VR-Streaming. Das Headset ist mit 586 Gramm leicht, verfügt über ein ausgewogenes Design und ein gepolstertes Gesichtskissen für einen komfortablen Gebrauch und ist somit ergonomisch. Die neue PICO 4 Ultra wird für die Demonstration der Virtual-Reality-Apps (VR) im örtlichen Handwerksmuseum verwendet.



Abbildung 4 PICO 4 All-in-One-VR-Headset mit Controllern

6 Implementierung der VR-Applikation

Die Implementierung der VR-App umfasst mehrere Prozesse, darunter auch die Datenverarbeitung. Diese Arbeitsschritte werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

6.1 Landschaft und Vegetation

UE5 bietet Entwicklern die Möglichkeit, den Editor-Modus „Landscape Tool“ zu verwenden, um die Landschaft zu modellieren und zu texturieren. Um das Gelände der Horneburg an die aktuelle Topografie anzupassen, wurde das öffentlich zugängliche digitale Geländemodell vom LGLN Niedersachsen mit einem Raster von 1 m × 1 m (DGM1) verwendet. Anschließend wurde das Gelände mit dem Landschaftstool geglättet und die Wasserflächen rund um die Burg angepasst. Um der Landschaft in Kombination mit

Bäumen und anderer Vegetation einen realistischen Horizont zu verleihen, wurde leichter Nebel hinzugefügt. Zu diesem Zweck wurde typische norddeutsche Vegetation, darunter Europäische Hainbuche (mit 27 einzigartigen Baum-Assets: 10 Waldbäume, 4 Feldbäume, 8 Jungbäume und 5 Sämlinge), Europäische Buche mit vollständiger Geometrie sowie verschiedene Gräser, vom Unreal Engine Marketplace heruntergeladen. Anschließend wurde die Foliage-Funktion verwendet, um Variationen in Größe und Drehung zufällig zu generieren. Das Datenvolumen wurde durch Verringern der Anzahl der Dreiecksnetze reduziert. Zusätzlich wurde eine automatische Dreiecksreduktion in einer entsprechenden Entfernung vom Spieler implementiert.



Abbildung 5 Außenansicht des Burgeinganges aus der Sicht des Nutzers beim Start der Anwendung (oben) und perspektivische Ansicht der Burganlage (unten)

6.2 Beleuchtung

UE5 bietet eine Vielzahl von Lichtquellen mit jeweils unterschiedlichen Parametern und Funktionen. Die VR-Vorlage enthält alles, was zum Entwerfen des Himmels und zur Einrichtung des Tageslichts im Voraus erforderlich ist. Das SkyLight wurde auf „statisch“ eingestellt, sodass die Beleuchtung der Texturen und Lichtquellen nur einmal berechnet werden musste, was sich erheblich positiv auf die benötigte Performance auswirkte. Das Licht war leicht schräg zur Landschaft ausgerichtet und die Farbe wurde angepasst, um eine mittelalterliche Atmosphäre zu schaffen.

6.3 Texture Mapping der Gebäude

Die Gebäudemodelle konnten als FBX-Dateien direkt in das Projekt importiert werden. Dabei musste auf die korrekte Skalierung geachtet werden. Zur räumlichen Ausrichtung der neun 3D-Modelle diente der Lageplan. Es wurden realistische Texturen gewählt, die den Standort und das Zeitalter widerspiegeln. Häuser aus dem frühen, hohen und späten Mittelalter wurden hauptsächlich aus Holz oder Lehm gebaut oder im Fachwerkstil mit Flechtwerkwänden aus Stroh oder Schilf. Einige dauerhafte Häuser aus dieser Zeit wurden auch aus Stein gebaut, meist aus Feldstein und Granit. Entsprechend wurden die Texturen ausgewählt. Sie wurden in Absprache mit dem Archäologen ausgewählt, um die Verwendung realistischer, zeitgenössischer Farben und Materialien sicherzustellen. Je nach Material der Textur wurden deren Reflexionsstärke und Eigenschaften wie Rauheit angepasst. Auf die Wasseroberfläche wurde ebenfalls eine Textur aufgebracht, deren Veränderung durch einen Blueprint gesteuert wurde, um Wasserbewegungen mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften und Höhen zu gewährleisten.



Abbildung 6 Blick des Nutzers von Innen auf den Eingangsbereich der Burg (oben) und Blick auf den Wohnturm (unten)

6.4 Navigation und Kollision

In der VR-App startet der Benutzer außerhalb der Burg vor der Zugbrücke (siehe Abb. 5) und besucht und erkundet die Horneburg (siehe Abb. 6). Die Bewegung und Navigation des Nutzers erfolgen durch kontinuierliche, flüssige Bewegungen und nicht durch Teleportation per Taste auf dem

Controller. Dies bietet dem Benutzer ein flüssiges und intuitives Navigationserlebnis. Diese Steuerung erfordert jedoch eine erhebliche Rechenleistung, wodurch sich die VR-App so stark verlangsamen kann, dass es zu Bewegungsübelkeit (Motion Sickness) kommen kann. Um dies zu vermeiden und die Navigation auf einen bestimmten Bereich in der VR-App zu beschränken, wurden Kollisionsboxen eingerichtet. Diese verhindern beispielsweise, dass der Benutzer ins Wasser fällt oder die Häuser betritt (siehe Abb. 7 oben). Außerdem wurden Navigationsbereiche für Menschen und Tiere innerhalb und außerhalb der Burg definiert (siehe Abb. 7 unten).

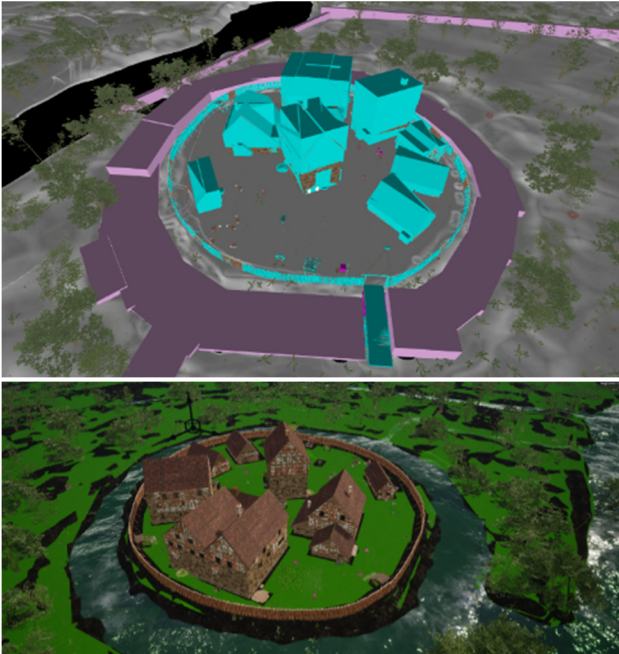


Abbildung 7 Kollisionsbereiche außerhalb und innerhalb der Burg (blau und rosa, oben) sowie Navigationsbereiche (grün, unten)

6.5 Interaktion und Animationen

Alle Interaktionen wurden mithilfe des Blueprint Visual Scripting Systems erstellt. In einem Tutorial auf dem Burggelände wird den Nutzern gezeigt, wie sie mit der App interagieren können. Sie können das Tutorial aufrufen, indem sie die Reset-Taste auf dem Controller drücken. Die VR-App verfügt momentan über drei integrierte Interaktionen, mit denen die Nutzer bestimmte Aktivitäten in der VR-Umgebung ausführen können. Dazu gehören beispielsweise Bogenschießen, das Hochziehen der Zugbrücke und das Schöpfen von Wasser aus dem Brunnen, damit die Tiere trinken können. In die VR-Szene sind Tiere wie Kühe, Pferde, Schweine, Hirsche, Rehe, Ziegen und Hühner sowie einige

Personen in mittelalterlicher Kleidung integriert, die in der Burganlage umhergehen (Walmsley und Kersten, 2019). Die Bewegung wird durch einen zufällig generierten Zielpunkt gesteuert, der sich alle drei bis zehn Sekunden ändert.



Abbildung 8 Verschiedene Interaktionen in der VR-Umgebung, wie z. B. Bogenschießen (oben), das Hochziehen der Zugbrücke mit der entsprechenden Taste auf dem Controller (Mitte) und das Schöpfen von Wasser aus dem Brunnen für den Tiertränke (unten).

Im Bereich der aufgestellten Zielscheibe kann man Bogenschießen üben (siehe Abb. 8 oben). Der Bogen hängt an der Wand eines nahe gelegenen Hauses. Er kann mit einer Hand aufgenommen werden, während die andere Hand die

Sehne hält. Durch Ziehen der Sehne wird ein Pfeil freigegeben, welcher abgeschossen wird, sobald die Sehne losgelassen wird. Die Geschwindigkeit des Pfeils hängt davon ab, wie stark der Bogen gespannt wird. Wenn Sie auf Menschen oder Tiere schießen, erscheint eine Warnung und es werden individuelle Abläufe ausgelöst.

Die Zugbrücke der Burg kann mithilfe des Kurbelrads, das über ein bewegliches Seil mit der Winde verbunden ist (siehe Abb. 8 Mitte), hochgezogen und heruntergelassen werden. Beim Drehen der Kurbel ist ein knarrendes Geräusch zu hören.

6.6 Audio

Die Verwendung von Sound in der VR-App ist wichtig, um für den Benutzer das immersive Gefühl zu steigern. Um eine erhöhte Immersion in der virtuellen Umgebung zu gewährleisten, wurden Windgeräusche aus dem Wald ausgewählt und als WAV-Dateien ins Projekt importiert. Daraus wurde ein Soundclip erstellt, der an beliebiger Stelle der App platziert werden konnte. Mithilfe der Lautstärkedämpfung können die Bereiche ausgewählt werden, in denen der Ton zu hören sein soll. Mit einem Zufalls-Timer geben die Tiere Geräusche von sich, die realistisch im Raum verteilt sind. Dabei hängt die Lautstärke von der Entfernung zum Benutzer ab. Wenn die Viehtränke gefüllt ist, ist das Geräusch von Wasser zu hören und wenn die Zugbrücke bewegt wird, ist ein Knarren zu hören.

7 Implementierung der AR-Applikation

Die erste Version der AR-App wurde im Rahmen einer Masterarbeit mit Unity entwickelt (Becker, 2024). Hierzu wurden zwei verschiedene AR-Tracking-Funktionen untersucht, um die rekonstruierten Gebäude sowohl an ihrem historischen Standort als auch über QR-Codes an beliebigen Orten zu visualisieren (siehe Abb. 9). Unity bietet hierfür ein XR-Plugin mit einem AR-Kit. Dieses Kit integriert die Sensordaten des Endgeräts, um eine gemeinsame Darstellung der Umgebung und der generierten 3D-Daten zu erzeugen.

Bei der Variante mit der Vor-Ort-Ansicht kommen Kamera, GNSS, Magnetometer (Kompass) und Gyroskop sowie Beschleunigungssensoren zum Einsatz. Um das korrekte Bild zu berechnen, muss zunächst die Position und Ausrichtung des Mobilgeräts bestimmt werden. Die Kameradaten dienen in diesem Fall lediglich als Hintergrundinformation und fließen nicht in die Positionsbestimmung ein. Daher hängt die Positionsgenauigkeit des Systems von der Genauigkeit von GNSS und Kompass ab. Zwar gibt es bereits Verfahren zur Verbesserung dieser Genauigkeit durch

Mustererkennung, jedoch sind diese Ansätze hauptsächlich für urbane Umgebungen konzipiert, die viele verschiedene Oberflächen mit geringem oder gar keinem Erscheinungsbild aufweisen (Rzeszewski & Orylski, 2021). Das Gelände der ehemaligen Horneburg ist aktuell jedoch durch eine bewaldete Wiese geprägt, die nur eine eingeschränkte Sicht auf die bestehenden Gebäude ermöglicht (siehe Abb. 12).



Abbildung 9 Erste Visualisierung der Horneburg in Augmented Reality – QR-Code-basierte AR-Visualisierung eines einzelnen Gebäudes (links und Mitte oben) und des Gebäudeensembles (rechts oben) sowie sensorbasierte Visualisierung (mit GNSS und IMU) auf einem Smartphone vor Ort (unten)

Als ortsunabhängige Alternative wurde die Bildverfolgung mittels QR-Codes eingesetzt. Die initiale Positionierung erfolgt durch Mustererkennung im Kamerabild. Nach der Erkennung der gespeicherten Bilder wird das entsprechende 3D-Modell positioniert und auf dem Bildschirm angezeigt (siehe Abb. 9 oben). Wird das Muster im aktuellen Kamerabild nicht mehr erkannt, können nach einer Bewegung des Geräts alle Positionen und Orientierungen mithilfe des Gyroskops und des Beschleunigungssensors ermittelt werden. Dies führt jedoch zu der für die Koppelnavigation typischen Drift.

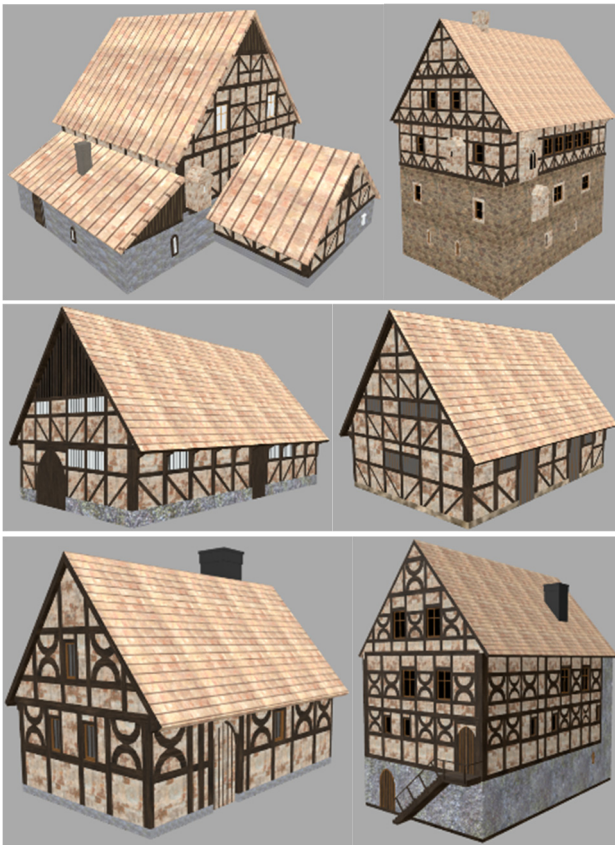


Abbildung 10 ThreeJS-Visualisierung von sechs einzelnen Gebäuden der Hornburg in der WebXR-App

Der Nachteil der nativen Unity-App bestand jedoch darin, dass ihre Weiterentwicklung und Wartung stark von der Unity-Engine abhängig waren. Selbst zwei Jahre später wurden große Teile davon in dieser Form nicht mehr unterstützt. Zudem war die App für Besucher vor Ort gedacht. Es war fraglich, ob Nutzer eine so umfangreiche App für einen einmaligen Inselbesuch installieren würden. Darüber hinaus wurde die Wartung der App für die beiden wichtigsten mobilen Plattformen Android und iOS sowie deren jeweilige App-Stores als zu kostspielig erachtet. Daher wurden die 3D-Gebäudedaten mithilfe von WebXR und Three.js in eine Web-App eingebettet. Die Vorteile dieser Lösung sind die breite Unterstützung von Endgeräten und die einfachere Wartung. Obwohl es sich technisch gesehen um eine normale Website handelt, ähneln Design und Funktionen denen einer nativen App. Dadurch entfällt die Notwendigkeit des Vertriebs über App-Stores, da ein Webserver ausreicht. Die Installation auf dem Gerät des Nutzers ist nicht erforderlich, aber möglich - die App kann so auch offline genutzt werden. MacIntyre & Smith (2018) äußern sich zu ihren Gedanken über die Zukunft von WebXR und dem immersiven Web. Renius (2019) evaluierte dagegen die WebXR Device API

für die Entwicklung von Augmented-Reality-Webanwendungen aus technischer Sicht.

WebXR bietet eine Reihe von Funktionen, die denen von Unity ARKit ähneln. Daher wurde auf die QR-Code-Erfassung verzichtet, sodass die Anbringung von QR-Codes vor Ort nicht mehr notwendig war. Für die 3D-Ansicht der Gebäude wurde die JavaScript-Bibliothek Three.js verwendet. Mit dieser können Nutzer das 3D-Modell selbst drehen und von allen Seiten betrachten (siehe Abb. 10), wie es von Vertriebs- und Produktplattformen bekannt ist (Jawale et al., 2024). Dies ermöglicht es den Nutzern, vertraute Funktionen zu verwenden.

Für die geplante mobile Nutzung wurden die Gebäude-daten mit denselben Texturen wie in der VR-App neu texturiert. Dabei konnte das Datenvolumen von ca. 300 MB pro 3D-Modell auf 10 MB deutlich reduziert werden. Dadurch verbesserten sich sowohl die Ladezeit als auch die Leistung auf Mobilgeräten mit leistungsschwächerer Hardware. Abbildung 11 zeigt die Benutzeroberfläche der WebXR-Anwendung für die AR-Visualisierung der Burganlage und der einzelnen Gebäude.



Abbildung 11 Anwendungsschnittstelle zur WebXR-Visualisierung der Hornburg und einzelner Gebäude auf dem Mobilgerät (© Isabel Kiefaber)

8 Fazit & Ausblick

In diesem Artikel wird am Beispiel der verschwundenen Hornburg gezeigt, wie Geschichte durch VR- und AR-Anwendungen wieder zum Leben erweckt werden kann. Die Burg ist damit eines der ersten Kulturdenkmäler Deutschlands, das die Kombination von VR- und AR-Technologie nutzt, um wieder sichtbar zu werden. In der VR-App können die Anwender die Burg nun immersiv betreten, erkunden und das Leben in der mittelalterlichen Burganlage hautnah erleben. Verschiedene Interaktionen und Animationen unterstützen diese Erkundung, ermöglichen es den Nutzern, aktiv am Burgleben teilzunehmen, und intensivieren das immersive Erlebnis. Zukünftig könnte die VR-App um weitere Interaktionen, Storytelling und Serious Games erweitert

werden. Das Ziel besteht dann darin, die Burg und das mittelalterliche Leben auf ansprechende Weise zu erkunden und spielerisch Wissen über die Geschichte der Burg und ihrer Entstehungszeit zu vermitteln.

Mithilfe einer zusätzlichen Funktion der AR-App können Besucher die Burggebäude direkt vor Ort auf ihrem Mobilgerät (Android oder iOS) betrachten. Die App zeigt entweder einzelne Häuser oder den gesamten Gebäudekomplex mit der Palisade. Sie kann über die interne Sensortechnologie des Geräts aufgerufen werden. Abbildung 12 veranschaulicht den aktuellen Zustand der Landschaft auf der Burginsel.

Zukünftig wird die VR-Anwendung den Besuchern des Handwerksmuseums Horneburg präsentiert. Das Museum liegt nur 50 Meter vom jetzigen Eingang zur Burginsel entfernt (siehe Abb. 12 links unten). So kann man die Horneburg virtuell erkunden und mithilfe von VR-Brillen wie der Pico 4 Ultra in das Erlebnis eintauchen. Zusätzlich wird die Augmented-Reality-Anwendung online über das Internet zugänglich sein. Somit können Besucher die Burggebäude vor Ort mit einem Mobilgerät in ihrem mittelalterlichen Zustand betrachten.



Abbildung 12 Neu gestaltete Landschaft der Burginsel Horneburg (Foto: Landschaftsarchitektur+)

Dank

Die Autoren danken Gunda Kiefaber von der Gemeinde Flecken Horneburg und Daniel Nösler, dem Landkreisarchäologen von Stade, für die finanzielle und wissenschaftliche Unterstützung des Projekts.

Literaturverzeichnis

- Addison, A. C., 2000: Emerging Trends in Virtual Heritage. *IEEE MultiMedia*, 7(2), 22-25.
- Affleck, J., & Thomas, K., 2005: Reinterpreting Virtual Heritage. 10th Internat. Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, 1, 169-178.
- Ahrens, P., 2010: Der Burgmannshof zu Horneburg und seine Bewohner. *Quellen und kleine Beiträge*, Nr. 36, Handwerksmuseum der Samtgemeinde Horneburg, <https://handwerksmuseum-horneburg.de/dokumentationen-veroeffentlichungen/quellen-und-kleine-beitraege/29629-2/>, letzter Zugriff 21. Januar 2026.
- Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A., 2023: Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent developments in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532, <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>.
- Arena, F., Collotta, M., Pau, G., & Termine, F., 2022: An Overview of Augmented Reality. *Computers*, 11(2), 28, <https://doi.org/10.3390/computers11020028>.
- Azuma, R. T., 1997: A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- Azuma, R. T., 1999: The Challenge of Making Augmented Reality Work Outdoors. Y. Ohta & H. Tamura (Eds.), *Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, Springer-Verlag GmbH, Malibu, CA, 379-390.
- Becker, M., 2024: Entwicklung einer Augmented Reality Applikation zur Visualisierung der historischen Burg Horneburg. Unpublished master thesis, HafenCity University Hamburg, 87 p.
- Carmigniani, J., & Furht, B., 2011: Augmented Reality: an Overview. *Handbook of Augmented Reality*, Furht, B. (ed.) Springer, New York, 3-46, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0064-6_1.
- Deggim, S., Kersten, T., Lindstaedt, M., & Hinrichsen, N., 2017a: The Return of the Siegesburg - 3D-Reconstruction of a Disappeared and Forgotten Monument. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W3, 209-215, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-209-2017>.
- Deggim, S., Kersten, Th., Tschirschwitz, F., & Hinrichsen, N., 2017b: Segeberg 1600 – Reconstructing a Historic Town for Virtual Reality Visualisation as an Immersive Experience. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W8, 87-94, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W8-87-2017>.
- Grimm, P., Broll, W., Herold, R., Hummel, J., & Kruse, R., 2022: VR/AR Input Devices and Tracking. R. Dörner, W. Broll & B. Jung (eds.), *Virtual and Augmented Reality (VR/AR)*, Springer-Verlag, 1-38.

- Jawale, S., Bondade, A., Sontakke, M., Sohagpure, A., Muneshwar, A., & Wankhede, N., 2024: Extended Reality E-Commerce: The Evolution of E-Commerce through XR Based Technologies. OPJU Internat. Techn. Conf. on Smart Computing for Innovation and Advancement in Industry 4.0, IEEE, 1-7, <https://doi.org/10.1109/OTCON60325.2024.10687746>.
- Kee, K., Poitras, E., & Compeau, T., 2019: History All Around Us: Toward Best Practices for Augmented Reality for History. Seeing the Past with Computers - Experiments with Augmented Reality and Computer Vision for History, K. Kee & T. Compeau (eds.), University of Michigan Press, 207-223, <https://www.jstor.org/stable/j.ctvnjbd0.14>, letzter Zugriff 21. Januar 2026.
- Kersten, T., Büyüksalih, G., Tschirschwitz, F., Kan, T., Deggim, S., Kaya, Y., & Baskaraca, A. P., 2017: The Selimiye Mosque of Edirne, Turkey - An Immersive and Interactive Virtual Reality Experience using HTC Vive. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5/W1, 403-409, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-403-2017>.
- Kersten, T., Drenkhan, D., & Deggim, S., 2021: Virtual Reality Application of the Fortress Al Zubarah in Qatar Including Performance Analysis of Real-Time Visualisation. KN - Journal of Cartography and Geographic Information, 71, 241-251, <https://doi.org/10.1007/s42489-021-00092-1>.
- Kersten, T., Trau, D., & Tschirschwitz, F., 2020: The Four-masted Barque Peking in Virtual Reality as a New Form of Knowledge Transfer. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., V-4-2020, 155-162, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2020-155-2020>.
- Kersten, T., Tschirschwitz, F., Lindstaedt, M., & Deggim, S., 2018: The Historic Wooden Model of Solomon's Temple: 3D Recording, Modelling and Immersive Virtual Reality Visualisation. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, Special Issue: Digital workflows for the conservation and sustainability of historic places, 8(4), 448-464, <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-09-2017-0067>.
- MacIntyre, B., & Smith, T. F., 2018: Thoughts on the Future of WebXR and the Immersive Web. IEEE international symposium on mixed and augmented reality adjunct (ISMAR-Adjunct), 338-342, <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2018.00099>.
- Mennenga, M., 2020: Horneburg Rekonstruktion - Lageplan. Reunion media, Norden, Germany.
- Renius, O., 2019: A Technical Evaluation of the WebXR Device API for Developing Augmented Reality Web Applications. Master thesis, Linköping University, Department of Computer and Information Science, Sweden, <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1328199/FULLTEXT01.pdf>, letzter Zugriff 21. Januar 2026.
- Rzeszewski, M., & Orylski, M., 2021: Usability of WebXR visualizations in urban planning. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 10(11), 721, <https://doi.org/10.3390/ijgi10110721>.
- Stone, R., & Ojika, T., 2000: Virtual Heritage: what next? IEEE MultiMedia, 7(2), 73-74.
- Teruggi, S., & Fassi, F., 2022: Hololens 2 spatial mapping capabilities in vast monumental heritage environments. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 46(2), 489-496, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-489-2022>.
- Tschirschwitz, F., Büyüksalih, G., Kersten, T., Kan, T., Enc, G., & Baskaraca, A. P., 2019a: Virtualising an OTTOMAN Fortress - Laser Scanning and 3D Modelling for the development of an Interactive, Immersive Virtual Reality Application. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W9, 723-729, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-723-2019>.
- Tschirschwitz, F., Richerzhagen, C., Przybilla, H.-J., & Kersten, T., 2019b: Duisburg 1566: Transferring a Historic 3D City Model from Google Earth into a Virtual Reality Application. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 1-2, 47-56, <https://doi.org/10.1007/s41064-019-00065-0>.
- van Krevelen, R., & Poelman, R., 2010: A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. The Internat. Journal of Virtual Reality, 9(2), 1-20, <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>.
- Vertucci, R., D'Onofrio, S., Ricciardi, S., De Nino, & M., 2023: History of augmented reality. Springer Handbook of Augmented Reality, Nee, A.Y.C., Ong, S.K. (eds.), Cham: Springer International Publishing, 35-50, https://doi.org/10.1007/978-3-030-67822-7_2.
- Walmsley, A. P., & Kersten, T., 2019: Low-cost Development of an Interactive, Immersive Virtual Reality Experience of the Historic City Model Stade 1620. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W17, 405-411, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-405-2019>.
- Walmsley, A. P., & Kersten, T., 2020: The Imperial Cathedral in Königsutter (Germany) as an Immersive Experience in Virtual Reality with Integrated 360° Panoramic Photography. MDPI Journal Applied Sciences, Special Issue Augmented Reality, Virtual Reality & Semantic 3D Reconstruction, 2020, 10, 1517, <https://doi.org/10.3390/app10041517>.