



Vom Schreibtisch in die Burg fliegen! Terrestrische Laservermessung auf der Hochburg bei Emmendingen

An der Hochburg ist die Entwicklung einer mittelalterlichen Adelsburg zum Mittelpunkt einer Landesherrschaft und letztlich zu einer Landesfestung beispielhaft nachzuvollziehen. Sie ist nach dem Heidelberger Schloss sowie der Burg Rötteln die größte badische Burg und eines der beliebtesten Ausflugsziele im Raum Emmendingen. Bei den bisherigen Betrachtungen stand meist die Frühgeschichte oder die renaissancezeitliche Residenz im Fokus. Nun wurde im Vorfeld einer denkmalpflegerischen Maßnahme einer der jüngsten Teile der Festung, die Pfisterei und Rossmühle, mit terrestrischem Laserscan dreidimensional vermessen. Der ansonsten nicht frei zugängliche Bereich der Anlage wird am diesjährigen Tag des offenen Denkmals im Rahmen von Führungen gezeigt.

Bertram Jenisch/Stephan M. Heidenreich/Markus Steffen

Einige Daten zur Geschichte

Die Anfänge der Hochburg sind historisch nicht fassbar. Ein erster Nachweis erfolgt indirekt durch Dietrich, der sich 1094 nach Emmendingen und um 1100 „de Hachberch“ nennt. Die Burg selbst ist erstmals 1161 genannt. Cuno von Horben verkaufte damals „in castro Hahberc“ Liegenschaften im Tennenbacher Tal an Abt Hugo von Frienisberg und ermöglichte so die Gründung des benachbarten Klosters Tennenbach. Immer wieder ist behauptet worden, dass die Markgrafen von Baden 1218 ihren Sitz auf der Burg genommen hätten, ein Beweis dafür fehlt jedoch. Erstmals 1239 nennt sich Markgraf Hermann „von Hachberg“. Außer dem Teilungsvertrag von 1386 gibt es keine alte Beschreibung der Burg. Vor Ausbruch des Dreißigjährigen Krieges wurde sie zwischen 1598 und

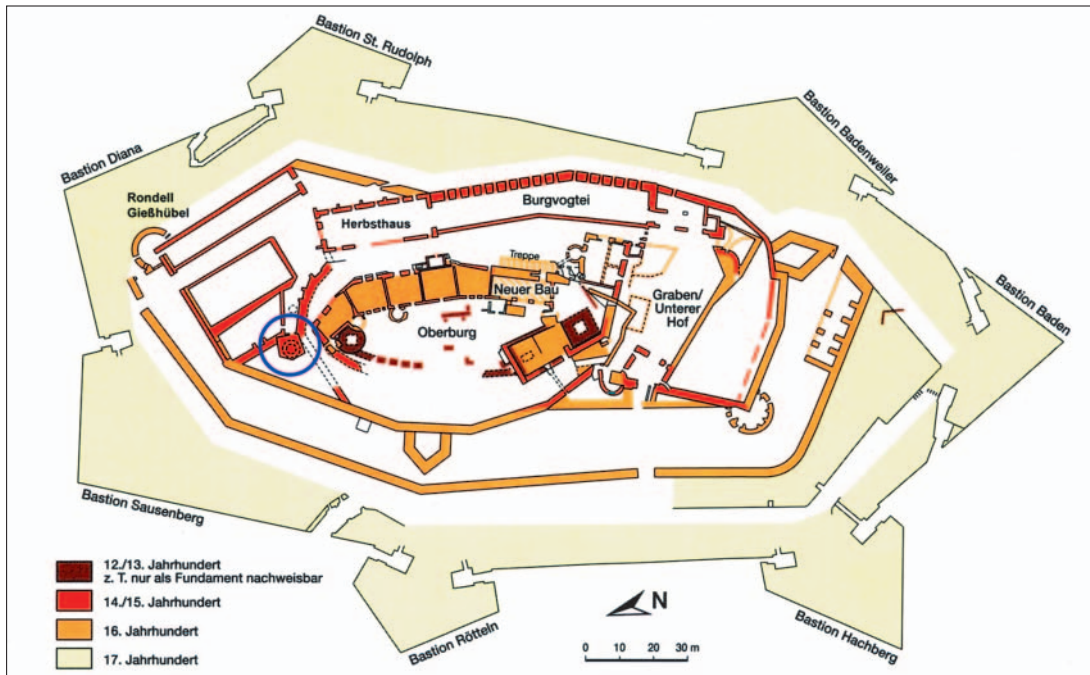
1611 mit einem Bastionsring umgeben. Nach mehrfacher Belagerung und Einnahme 1634 bis 1636 wurden die Außenwerke zerstört. Ihre Wiederherstellung erfolgte 1660 bis 1668, 1676 kamen im Südwesten und Südosten neue Außenwerke hinzu. Einzelheiten zum Aussehen der Anlagen beschreibt ein Lagerbuch aus dem Jahr 1670. Markgraf Friedrich Magnus veranlasste 1681 die Zerstörung der Festungswerke, um eine Belagerung durch die Franzosen abzuwenden. 1684 wurde das Schloss durch Brand zerstört und 1688 von französischen Truppen eingenommen, welche die verbliebenen Festungswerke sprengten.

Die Anlage und ihre Bauentwicklung

Die Hochburg wurde auf einem dem Schwarzwald vorgelagerten Höhenrücken, dem so genannten Hornwald, errichtet. Auf dem nördlichen Ausläufer dieser 358 m hohen Erhebung liegt die Burg ruine über dem Steilhang des Brettenbachtals (Abb. 1). Die Hochburg ist in drei topografisch getrennte Bereiche gegliedert (Abb. 2). Der 85 m x 30 m große Kern der Anlage des 12. Jahrhunderts befindet sich auf der Höhe des Bergrückens. Er ist von einem ovalen Mauerbering umschlossen, der dem Verlauf der Felskante folgt. Zugang hatte man wohl von Süden durch ein Tor, das in Resten ergraben wurde. Im Süden des Hofes stand als zentrales Gebäude ein annähernd quadratischer Turm mit einer Seitenlänge von etwa 9 m über einem ungefähr 20 m breiten Halsgraben. Im heutigen Hofbereich sind weitere Gebäudereste aus der Frühzeit der Burg in Ausschnitten erfasst worden.

1 Die Ruine der Hochburg von Osten gesehen.





2 Emmendingen, Hochburg. Schematischer Gesamtplan mit den Hauptphasen der Bauentwicklung. Pfisterei und Rossmühle sind mit einem Kreis markiert.

Im Teilungsvertrag von 1386 wird der Baubestand der Hochburg erstmals überliefert. Zu den Bauten der Gründungsburg trat im Wesentlichen das so genannte Herbsthaus hinzu, ein über 30 m langes Gebäude auf einer Geländestufe östlich unterhalb der Nordspitze der Kernburg. In der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts erfolgte eine Erweiterung der Burg, indem das östlich und nördlich vorgelagerte tiefer gelegene Gelände in den erweiterten Mauerbering einbezogen wurde. Die Erweiterung brachte eine Veränderung des Zugangs mit sich: Östlich unter dem Wohnturm entstand eine Tor- und Brückenanlage. Ein weiteres Tor sicherte im Westen den Zugang zum Halsgraben, der nun den „Unteren Hof“ bildete.

Durch den Ausbau zur Residenz unter Markgraf Karl II. von Baden wurde die mittelalterliche Burg 1552 bis 1577 erweitert und erheblich umgestaltet. Die meisten der heute sichtbaren Gebäude- reste entstammen dieser Zeit. Den größten Teil der Ringmauer sowie die meisten Gebäude der ursprünglichen Burg trug man ab, da sie den Erfordernissen der Wehrtechnik nicht mehr entsprachen. Einen südlich des Halsgrabens gelegenen Felsklotz gestaltete man in ein Bollwerk um, das durch einen Torbau mit der Oberburg verbunden wurde. Im ehemaligen Graben entstand so der von mehreren Gebäuden gerahmte „Untere Hof“. An der langen Westseite und an der Südostecke der Festung erstellte man nach italienischem Vorbild Fünfeckbastionen. An der Nord- und Südspitze der Anlage fügte man je ein Rondell an.

Die Wohn- und Wirtschaftsgebäude wurden dem Repräsentationsbedürfnis eines Renaissancefürsten entsprechend umgestaltet. 1556 entstand im Süden der Oberburg unter Einbeziehung älterer Bauteile der „Neue Bau“. Die Westwand der Halle

öffnete sich in dreireihigen Arkaden zum Hof. Über eine Freitreppe gelangte man vom Hof in den Saal im ersten Obergeschoss. Im Bauschutt geborgene Architekturteile vermitteln einen Eindruck von der qualitätvollen Verzierung mit Renaissanceformen. Nach dem Ausbau zur befestigten Residenz erstreckte sich die Hochburg auf einer Fläche von 200 m x 70 m.

Zu Beginn des 17. Jahrhunderts erfuhr die Hochburg eine letzte fortifikatorische Erweiterung. Sie wurde von sieben Bastionen umgeben, die mit Mauerzügen, so genannten Kurtinen, verbunden wurden. Die unterschiedlich großen Bastionen gleichen sich in verschiedener Ausformung der topografischen Situation an. Die Schwachstelle der Festung blieb dennoch der südlich vorgelagerte, etwas höher gelegene Hornwald, den man durch Wälle und Schanzanlagen zu befestigen suchte. Diese in einem Bauplan von 1668 verzeichneten Stellungen kann der aufmerksame Beobachter noch heute als Geländestrukturen ausmachen.

Spätestens in dieser Phase wurde für die Garnison an der Nordspitze der Festung eine Großbäckerei, die „Pfisterei“, eingerichtet. Im freigelegten Backofen wurde das für die Versorgung der Soldaten notwendige Brot gebacken (Abb. 3). Das Mehl musste mangels Lagerfähigkeit frisch gemahlen werden. In den anstehenden Fels wurde ein Gewölbe eingearbeitet und auf gleichem Niveau wie die Pfisterei die Arbeitsbühne für eine Mühle gebaut. Die Balkenaufgaben für die Konstruktion zeichnen sich deutlich ab. In den original erhaltenen Putzoberflächen sind Graffiti der Müllerknechte erhalten (Abb. 4). Der Antrieb des vertikalen Mühlbaums erfolgte über einen Göpel, der von Pferden angetrieben wurde. Davon leitet sich die Bezeichnung Rossmühle ab.



3 Der frühnezeitliche Backofen in der Pfistererei.

4 Graffiti im Wandputz der Rossmühle, schematische Darstellung einer Burg.



Die Wiederentdeckung der Hochburg

Im 19. Jahrhundert entdeckte man die Hochburg im Zuge der Burgenromantik neu, erste Ausgrabungen fanden schon 1873 statt. Ende des 19. Jahrhunderts sowie 1910/11 wurden Maßnahmen zur Ruinensicherung durchgeführt, die in den 1960er Jahren wieder aufgenommen wurden. Seit 1971 hat sich der „Verein zur Erhaltung der Hochburg“ dem Ziel verschrieben, die Reste der Ruine sichtbar zu erhalten. Die baubegleitenden Untersuchungen erbrachten neue Erkenntnisse zur Baugeschichte der Anlage, die bei den Arbeiten geborgenen Funde sind in einem kleinen Burgmuseum vor Ort ausgestellt.

Die Sicherungsarbeiten des Hochburgvereins sowie die Besucherlenkung werden gemeinsam mit Vermögen und Bau Baden-Württemberg, der Schlösser- und Gärtenverwaltung und dem Landesamt für Denkmalpflege abgestimmt. Zur Klärung der Frage, wie ein mögliches Schutzdach über dem Bereich der Pfistererei aussehen könnte, war eine präzise Dokumentation des Areals notwendig.

3D-Laserscan von Pfistererei und Rossmühle

Im März 2014 wurden Pfistererei und Rossmühle durch die Verfasser mit einem terrestrischen Laserscanner dreidimensional vermessen. Ziel war

die komplette Erfassung aller erhaltenen Teile der Pfistererei sowie der Kammer der unmittelbar daneben liegenden Rossmühle. Es handelte sich dabei um eine vergleichsweise aufwendige Maßnahme, da komplexe Mauerstrukturen und unterirdische Hohlräume auf verschiedenen Niveaus vermessen und schließlich zu einem zusammenhängenden 3D-Modell zu verbinden waren.

Bei der Vermessung kam der Riegl-Laserscanner VZ-400 des Landesamtes für Denkmalpflege zum Einsatz. Im Vergleich zu anderen 3D-Scannern des Landesamtes bot sich das Gerät insbesondere aufgrund seiner hohen Reichweite von bis zu 500 m und der einfachen Handhabung im Gelände an. Auch wenn das Messrauschen, bedingt durch das so genannte time-of-flight-Messverfahren, bei vergleichsweise „hohen“ 3 mm liegt, so können mit dem Gerät dennoch auch größere archäologische Strukturen hochpräzise dreidimensional vermessen werden. Für den Scan von Pfistererei und Rossmühle wurden Auflösungen von etwa 4 mm auf 15 m Entfernung gewählt. Dies gewährleistete eine präzise Vermessung mit hoher Detaildarstellung bei gleichzeitiger Vermeidung übergroßer Datenmengen im Hinblick auf die Nachbereitung der Daten am Rechner.

Größere Strukturen lassen sich mit dem VZ-400 auch noch aus relativ weiter Entfernung sehr gut erfassen, was sich bei Pfistererei und Rossmühle als äußerst nützlich erwies. Da die komplette Vermessung eine Vielzahl von Scans verschiedener Areale aus unterschiedlichen Perspektiven erforderte, war die Möglichkeit, größere Objekteinheiten zu erfassen, nahezu unverzichtbar.

Mit einem Laserscanner wurden Oberflächen von Objekten vermessen. Daher mussten komplexe Objekte von verschiedenen Standorten dokumentiert werden, um eine vollständige und lückenlose Erfassung der Objektgeometrien gewährleisten zu können. Bei Innenräumen wurde zunächst lediglich eine – nämlich die innere – Oberfläche einer Wand vermessen, womit aber noch nicht die Außenwand berücksichtigt war. Für die komplette Darstellung einer Wand oder eines Mauerzugs

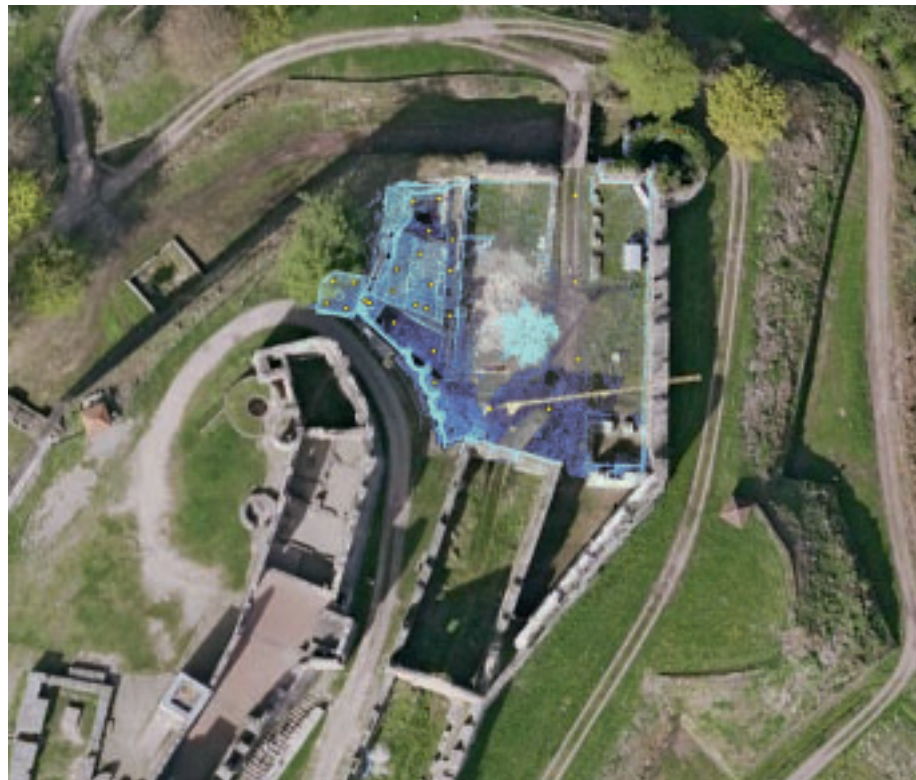


5 Vermessung der Pfistererei mit terrestrischem Laserscan.

müssen diese sowohl von innen als auch von außen gescannt werden. Dabei ist zu beachten, dass beide Vermessungsschritte auch miteinander verbunden werden können. Dies lässt sich einerseits durch ausreichende Überlappungen der Scans, zum Beispiel im Bereich einer Tür, eines Fensters oder am Ende einer Wand oder durch eine Referenzierung der Einzelscans in einem projekteigenen oder globalen Koordinatensystem, erreichen. Im Fall der Hochburg wurden Einzelscans über etwa 50 reflektierende Messmarken referenziert. Diese Messmarken konnten im Anschluss an die 3D-Dokumentation über die Einmessung mit einem Totalstation in ein globales Koordinatensystem transformiert werden, sodass das 3D-Modell in Ausrichtung und Lage auch global fixiert ist.

Im Gegensatz zur Pfisterei ließ sich der Großteil der Rossmühle nur von innen scannen, da sie in den anstehenden Fels eingebaut ist und bis auf den Eingangsbereich keine konkreten Außenwände besitzt.

Begonnen wurde die Vermessung im Außenbereich vor der Pfisterei. Hier boten sich verschiedene Positionen an, um die gesamte Anlage aus unterschiedlichen Blickrichtungen in der Totalstation von vorne zu erfassen (Abb. 6). Anschließend wurde der Eingangsbereich der Rossmühle sowie teilweise der Aufgang zur Pfisterei gescannt, bevor im nächsten Schritt die Rossmühle aus sechs Positionen von innen aufgenommen wurde. Der aufwendigste Teil war schließlich die Erfassung der Pfisterei und ihres Aufgangs. Sie musste von innen wie von außen meist aus recht kurzen Distanzen gescannt werden, was zu eher kleineren Ausschnitten und somit einer höheren Anzahl von notwendigen Scanpositionen führte (Abb. 7). Besonders kompliziert waren die Innenräume mit ihrer verwinkelten Anlage, den modernen Einbauten und vor allem der Bereich des Backofens sowie der sich neben Pfisterei und Backofen anschließende Raum. Insgesamt wurde das Objekt aus 26 Scanpositionen erfasst, bei denen rund 200 000 000 Punkte gemessen wurden. Für die komplette Erfassung von Pfisterei und Rossmühle wurden etwa zehn Ar-



6 Überblendung der Punktwolke mit einem Luftbild der Hochburg. In Gelb eingezeichnet sind die verschiedenen Scanpositionen.

beitsstunden vor Ort und ungefähr die gleiche Zeit für die Nachbereitung benötigt. Angesichts der detaillierten, hochauflösenden Dokumentationsergebnisse ist dies recht kurz, was die Effizienz der dreidimensionalen Vermessung mittels Laserscanning deutlich macht.

Verarbeitung der Messdaten

Mit der eigentlichen Vermessung ist zunächst jedoch nur der erste Schritt zum virtuellen 3D-Modell getan, das für weitere wissenschaftliche Untersuchungen, Visualisierungen und Veröffentlichungen verwendet werden kann. Dazu wird aus den Millionen von Punkten ein zusammenhängendes geometrisches Objekt mit einer geschlossenen Oberfläche generiert. Diese dreidimensionale Geometrie besteht aus vielen aneinandergehängten Polygonen, in der Regel Dreiecke. Zuvor muss die Messpunktwolke entsprechend segmentiert und gefiltert werden, um nur solche Messpunkte zu „vermaschen“, die auch zum eigentlichen Objekt gehören und den angelegten Qualitätsmaßstäben entsprechen. Bei einem Laserscan, insbesondere einer großflächigen Vermessung wie auf der Hochburg, werden stets Areale im Hintergrund erfasst, die für die eigentliche Vermessung nicht von Belang sind. Ebenso kann es Bereiche geben, die Ungenauigkeiten und Abweichungen erkennen lassen. In allen Teilen der Punktwolke werden diese unbrauchbaren Messdaten entfernt, um die einwandfreie Vermaschung der Punkte zu einer geschlossenen Oberflächengeometrie aus Polygonen zu ermöglichen.

7 Der Laserscanner vor der Rossmühle. Aufgrund der komplexen Mauerzüge und der insgesamt verwinkelten Anlage waren relativ viele Scanpositionen für eine vollständige Aufnahme notwendig.



Im Fall des Laserscans auf der Hochburg wurden die Messdaten so zugeschnitten, dass neben Pfisterei und Rossmühle nur noch angrenzende, beim Scan miterfasste Teilbereiche der Bebauung im Modell erhalten blieben. Hierzu gehören in der Pfisterei der Raum neben dem Backofen, der Ausgang zur Pfisterei sowie die südlich an den Zugang zur Rossmühle angrenzende Umfassungsmauer der Festung mit vorgeblendeten Stützpfählern. Entfernt wurde auch das provisorische Schutzdach, wobei Reste von einigen zugehörigen Holzpfählen weiterhin im Modell zu sehen sind (Abb. 8). Das hier gezeigte Modell von Pfisterei und Rossmühle besitzt keine Fototextur, obwohl der Riegl VZ-400 es prinzipiell ermöglicht, mit der am Scanner aufgesetzten und entsprechend kalibrierten Kamera auch Farbtexturen zu erzeugen. Allerdings erwies sich vor allem das wechselhafte Wetter am ersten Tag des Scanvorgangs mit sonnigen und regnerischen Abschnitten als großer Nachteil. Einige Fotos zeigen beispielsweise äußerst störende Schattenwürfe, sodass die Berechnung einer Fototextur für das Hochburg-Modell leider wenig zielführend war. Auch wenn ein fotorealistisches 3D-Modell wünschenswert wäre, so hat die Erfahrung gezeigt, dass es tatsächlich eher die nicht-texturierten Modelle sind, die viele Details eines Objekts, insbesondere über Baufugen ablesbare Bauabfolgen, überhaupt erst erkennen lassen.

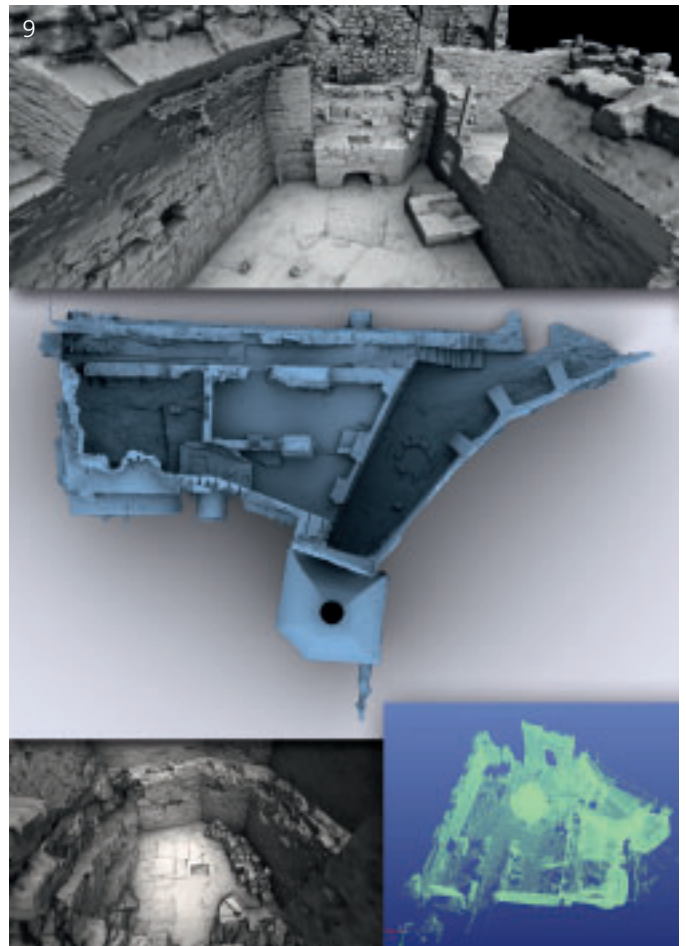
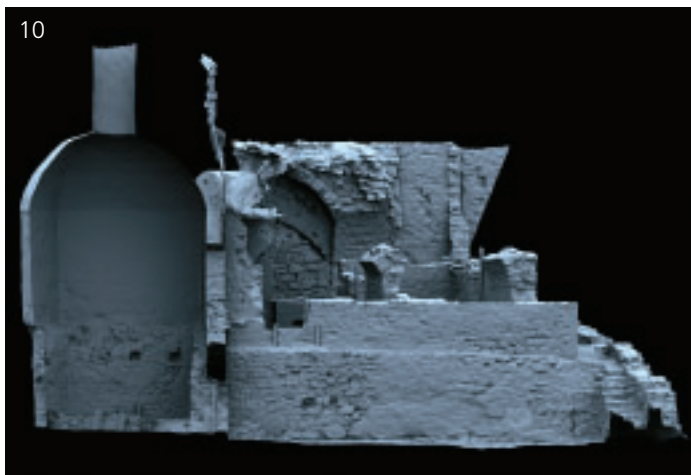
Das 3D-Modell im Kontext wissenschaftlicher Analysen

Das fertige 3D-Modell ist von großem Wert für weiterführende wissenschaftliche Analysen und als Grundlage für die denkmalfachliche Beurteilung. Allein die Möglichkeit, die Anlage jederzeit virtuell aus beliebiger Perspektive betrachten zu können, birgt immense Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Fotografien. Das 3D-Modell ermöglicht eine anschauliche Visualisierung von Pfisterei und Rossmühle und die Generierung neuer Ansichten, ohne dass vor Ort neue Fotos gemacht werden müssten (Abb. 9). Zudem lassen sich Ansichten erstellen, die ohne detaillierte dreidimensionale Vermessung nicht möglich wären. Das 3D-Modell erlaubt die Generierung verzerrungsfreier Orthoansichten oder das Anlegen von Schnittebenen durch das Objekt, die für die historische Bauforschung (Abb. 10) äußerst wichtig sind. So lässt sich mit dem 3D-Modell auch eine anschauliche Rekonstruktion der Rossmühle erstellen (Abb. 11). Die dreidimensionale Rekonstruktion wird in das Modell integriert und kann – wie auch das gesamte 3D-Modell – von beliebiger Perspektive betrachtet werden. Dies ermöglicht die virtuelle Veranschaulichung nicht mehr vorhandener Einbauten auf Basis der noch erhaltenen und dreidimensional vermessenen Substanz.

8 Blick auf Pfisterei und Rossmühle im 3D-Modell, von Nordosten gesehen. Die modernen Einbauten wie das Schutzdach über der Pfisterei wurden entfernt.

9 Das 3D-Modell lässt sich von jeder Richtung aus und in beliebigen Ansichten betrachten und abbilden (oben: Detail innerhalb der Pfisterei; Mitte: Orthoansicht der gemessenen Bereiche; unten links: Blick in die Rossmühle; unten rechts: Gesamtpunktwolke).

10 Schnitt durch die Rossmühle der Hochburg.



Das Modell im Internet

Neben der rein wissenschaftlichen Bedeutung der dreidimensionalen Dokumentation besitzen 3D-Modelle auch ein unschätzbare Potenzial für die Vermittlung archäologischer Forschung an die Öffentlichkeit. Daher wurde das besonders anschauliche Modell von Pfisterei und Rossmühle der Hochburg für das Projekt „Virtuelle Archäologie“ ausgewählt, in dem 3D-Modelle bedeutender archäologischer Denkmale in Baden-Württemberg, eingebettet in „Steckbriefe“ zu den jeweiligen Objekten, öffentlich verfügbar gemacht werden. Hier gibt es zur Hochburg eine eigene Seite, auf der neben allgemeinen Informationen zur Geschichte der Anlage und einigen Bildern das 3D-Modell von Pfisterei und Rossmühle zu finden ist. In einem integrierten Viewer-Fenster kann es im Webbrowser frei drehbar angeschaut werden (www.denkmalpflege-bw.de, unter „Denkmale“ „Projekte“ „Virtuelle Archäologie“).

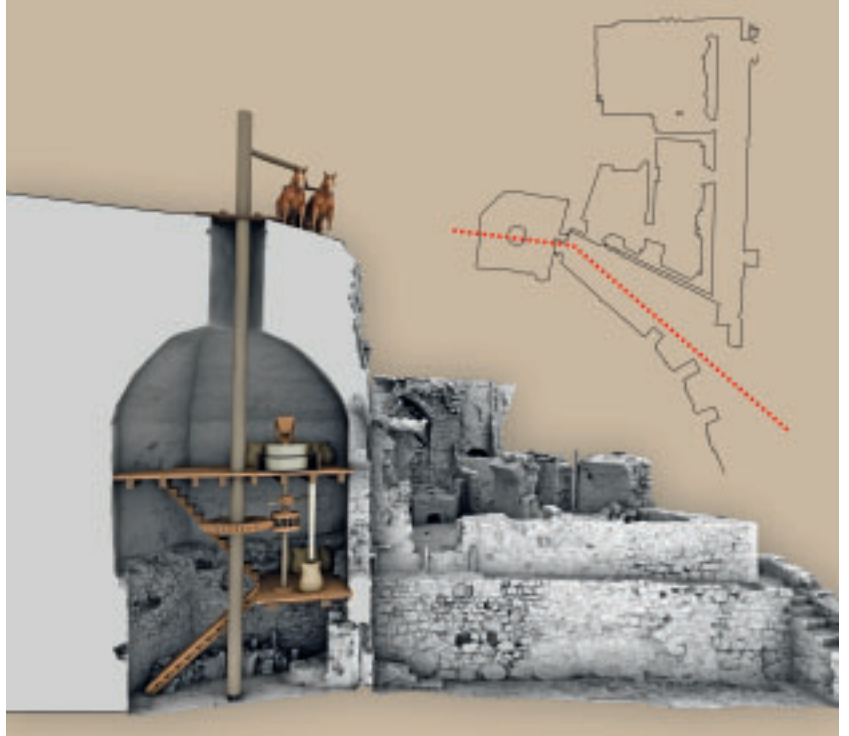
Fazit

Dank der sehr effektiven 3D-Laservermessung von Pfisterei und Rossmühle wurde der spannende Befund für die weitere denkmalpflegerische Betreuung erfasst. Mit konventionellen Methoden hätten die komplexen Strukturen nur mit enormem Zeit- und damit Kostenaufwand dokumentiert werden können. Das Messergebnis ist allerdings noch mehr. Die ästhetische und zeitgemäße Darstellung des 3D-Modells bietet als verständliche Visualisierung auch Laien Zugang zum Verständnis der komplexen Baustrukturen.

Literatur

Markus Steffen: 3D-Laserscanning – Neue Methoden zur Dokumentation und Visualisierung am Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg, in: Photogrammetrie, Laserscanning, Optische Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2014, hg v. Thomas Luhmann und Christina Müller, Berlin 2014, S. 278–284.

Stephan M. Heidenreich: Virtuelle Archäologie in Baden-Württemberg. Von der wissenschaftlichen Dokumentation zur öffentlichen Web-Präsentation von 3D-Modellen archäologischer Denkmale, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg 43/4, 2014, S. 261–264.
Stephan M. Heidenreich/Markus Steffen: Virtual Archaeology in Southwestern Germany – Processing and Online-Presentation of 3D-Models/Virtuelle Archäologie in Baden-Württemberg – Verarbeitung und Online-Präsentation von 3D-Modellen, in: A. Bienert/P. Santos: Electronic Media and Visual Arts/Elektronische Medien & Kunst, Kultur und Historie. Konferenzband EVA, Berlin 2014, S. 143–149.



David Bibby/Markus Steffen: Millimetergenau mit 3D-Laserscanning. Neue Dokumentationsmöglichkeiten für die Landesarchäologie, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg 40/4, 2011, S. 218–221.

Boris Bigott/Bertram Jenisch: Emmendingen (EM), in: Die Burgen im mittelalterlichen Breisgau. I. Nördlicher Teil, Halbband A–K, hg. v. Alfons Zettler und Thomas Zotz, Ostfildern 2003, S. 120–133.

Rolf Brinkmann: Hochburg bei Emmendingen, Berlin/München 2001.

Meinrad Schaab: Gemarkung des Schlosses Hachberg von Friedrich Benjamin Seuffert, 1784, in: Historischer Atlas Baden-Württemberg. Erläuterungen. Beiwort zur Karte I,6, Stuttgart 1976, S. 1–8.

11 *Rekonstruktion der Rossmühle im geschnittenen 3D-Modell.*

Praktischer Hinweis

Die Burgruine ist frei zugänglich, Parkplatz beim Maierhof. Burgmuseum von April bis Oktober an Sonn- und Feiertagen 14–18 Uhr geöffnet.

Verein zur Erhaltung der Ruine Hochburg e. V. Geschäftsstelle

Rathaus, Landvogtei 10, 79312 Emmendingen

Tel. 07641/4520, E-Mail: info@hochburg.de

Am Tag des offenen Denkmals am 13. September 2015 bietet der Hochburgverein nachmittags Führungen in der Hochburg an; das Museum ist geöffnet.

Dr. Stephan M. Heidenreich

Markus Steffen M.A.

Landesamt für Denkmalpflege im

Regierungspräsidium Stuttgart

Dienstszitz Esslingen

Dr. Bertram Jenisch

Landesamt für Denkmalpflege im

Regierungspräsidium Stuttgart

Dienstszitz Freiburg