

Montanarchäologie virtuell. Erfahrungen und Ergebnisse aus einem internationalen Projekt

Warum Bergbau visualisieren?

Die Entdeckung der hochmittelalterlichen Silberbergwerke von Dippoldiswalde (Lkr. Sächsische Schweiz-Osterzgebirge) im Jahr 2008 bildet mit Sicherheit einen der großen Meilensteine der letzten Jahrzehnte in der sächsischen Landesarchäologie.¹ Hintergrund war der Fund mittelalterlicher Hölzer und Keramikscherben aus bislang unbekanntem Altbergbau, dessen Hohlräume in Folge der Hochwasserkatastrophe 2002 direkt unter der heutigen städtischen Bebauung freigespült wurden. Seither begleiten Montanarchäologen die im Auftrag des Sächsischen Oberbergamtes Freiberg durchgeführten Erkundungs- und Sicherungsarbeiten und dokumentieren die europaweit einzigartigen Funde des 12. und 13. Jahrhunderts: ein Gewirr an Schächten, Stollen und Querschlägen, nahezu unberührt hinterlassene Einbauten und Gerätschaften aus Holz sowie zahlreiche andere organische Funde, aus denen sich der hochmittelalterliche Bergbaubetrieb und das Leben der Bergleute untertage erschließen lassen (Abb. 1).² Trotz ihrer guten Erhaltung ist eine Besichtigung der



Abb. 1: Reste einer Haspel in einem Schacht von Dippoldiswalde, Glashütter Straße (DW-27). Die Bretter der zugehörigen Hängebank datieren in das Jahr 1212 (sichere Waldkante). (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Foto: F. Schröder)

Mining archaeology virtually. Experiences and results from an international project

Prehistoric and medieval mining and thus also mining archaeology has recently become more and more the focus of public attention, not least due to the nomination of several mining regions as UNESCO world heritage sites. Although many mines and the finds discovered in them are preserved in exceptionally good condition, public access is often limited or even impossible. Here, the increasing 3D documentation and thus virtual reconstruction techniques offer smart solution approaches. Using modern technologies such as virtual or augmented reality, inaccessible monuments can be experienced now in a digital way. The article reports on the experiences coming out of a just finished international project and presents different options, how to visualise and valorise mining archaeological heritage.

Bergwerke durch Bergbauinteressierte, Bewohner und Touristen – etwa als Besucherbergwerk – aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Immer wieder drohen Tagesbrüche und Gebäudeschäden, teilweise müssen die Schächte und Hohlräume auch mit Beton verwahrt werden.

Das öffentliche Interesse an diesem einmaligen Kulturerbe wächst seither stetig, nicht zuletzt aufgrund der zahlreichen Publikationen und Medienberichte sowie der erfolgreichen Welterbe-Nominierung. Denn seit Juni 2019 gehören die Dippoldiswalder Bergwerke zum UNESCO-Weltkulturerbe „Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří“ (<https://www.montanregion-erzgebirge.de>) und bilden unter den insgesamt 22 Bestandteilen (17 auf sächsischer, 5 auf tschechischer Seite) das chronologisch älteste Zeugnis des „ersten Berggeschreys“ in Sachsen, d. h. der Zeit um 1200 n. Chr.³ Aufgrund der o. a. sicherheitsbedingten Restriktion sind die mittelalterlichen Bergwerke von Dippoldiswalde paradoxerweise leider auch der einzige Welterbe-Bestandteil, der nicht begehbar und damit physisch nicht zu besichtigen und zu erleben ist. Bereits seit vielen Jahren entwickelt und sucht das



Abb. 2: Standortkarte der Stationen des Bergbaulehrpfades in Dippoldiswalde sowie Stationstafel an der Glashütter Straße. Rechts daneben befindet sich ein kleines Informationsschild für die Mobilapplikation Medieval Mines^{AK}. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Foto: C. Lobinger; Grafik: Sandstein Kommunikation GmbH)

Landesamt für Archäologie Sachsen (LfA) daher nach anderen Möglichkeiten und Instrumenten zur Präsentation und Vermittlung dieser bedeutenden Bergwerke.⁴

Als eines der wichtigsten Instrumente ist hier als „Erfahrungs- und Vermittlungsort“ das Museum für mittelalterlichen Bergbau im Erzgebirge – kurz MiBERZ – im Schloss Dippoldiswalde anzuführen. Im August 2018 eröffnet, bietet es Besuchern in sechs Themenbereichen Einblicke in die Geschichte und den Alltag der Bergleute im Mittelalter, greift die Forschungsergebnisse der sächsischen und böhmischen Montanarchäologen auf und präsentiert zahlreiche der oben erwähnten, aufwändig restaurierten Funde aus den Bergwerken.⁵ Wenngleich die Funde aus Dippoldiswalde einen großen Stellenwert in der Dauerausstellung einnehmen, ist ihr Fundzusammenhang und der Kontext zum Fundort für Besucher ohne bergbaulichen Erfahrungshintergrund um einiges schwieriger zu (be)greifen.

Damit das neue Welterbe in dieser „wiedererkannten“ Bergstadt – ihre Wurzeln und ihre Bedeutung waren den heutigen Bürgern von Dippoldiswalde im Gegensatz zu anderen Bergstädten wie Freiberg kaum mehr bewusst – allgegenwärtig wird, realisierte das Landesamt für Archäologie Sachsen gemeinsam mit dem örtlichen Förderverein „Mittelalterlicher Bergbau Dippoldiswalde e. V.“ über Spenden einen Bergbaulehrpfad (Abb. 2).⁶ Dieser lädt zu einem Rundgang zu den montanarchäologischen Fundstellen im historischen Stadtkern ein. An sechs Standorten, an bzw. unter denen montanarchäologisch geforscht wurde, können sich Besucher ergänzend zum MiBERZ über Themen informieren, die mit dem mittelalterlichen Bergbau zusammenhängen. Anschauliche Bilder und Pläne illustrieren die Morphologie der Bergwerke sowie die Struktur der damit zusammenhängenden, zeitgleichen Bergleutesiedlung.

Doch gerade bei den dreidimensionalen untertägigen Strukturen stößt man recht bald auf darstellerische Grenzen (Abb. 3), sodass weitere, vor allem digitale Visualisierungsmethoden erforderlich wurden. Als großer Vorteil hat sich dabei die umfangreiche Datenbasis der detaillierten und dreidimensionalen Doku-

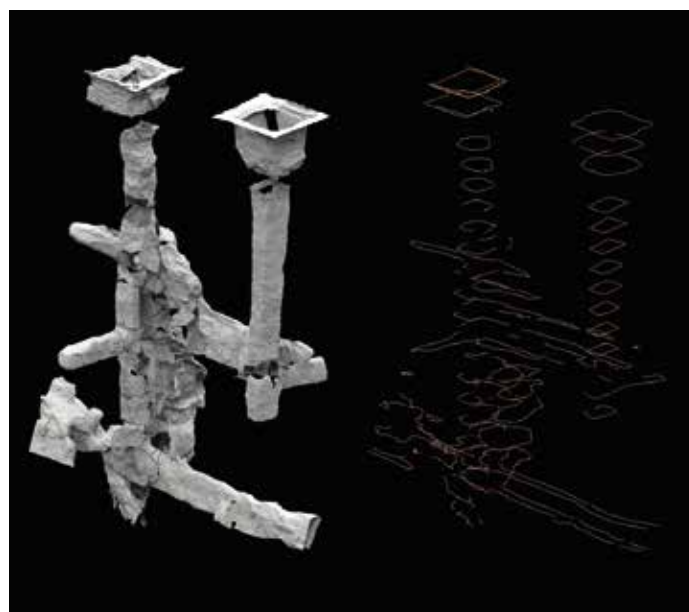


Abb. 3: Beispielhafte Messdaten von Dippoldiswalder Grubengebäuden. Modellierung (links) und daraus abgeleitete Roh-CAD-Daten (rechts). (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Grafik: F. Schröder)

mentation der Dippoldiswalder- und Niederpöbeler Bergwerke durch das ArchaeoMontan-Projektteam, jetzt Fachbereich Montanarchäologie beim Landesamt, erwiesen.⁷ Die untertage mittels Tachymeter, terrestrischem Laserscanner, mobilem Handscanner sowie der Photogrammetrie erfassten Daten sind optimale Grundlagen für realitätsnahe 3D-Rekonstruktionen untertägiger Strukturen sowie der Anwendung moderner und attraktiver Informationstechniken wie Virtual Reality (VR) (s. weiter unten). Letztgenannte ermöglichen nun der Öffentlichkeit, das unterirdische Welterbe interaktiv zu entdecken und zu erleben.



Abb. 4: Karte der „Pilot Heritage Sites“ und der vor Ort verantwortlichen VirtualArch-Projektpartner. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Grafik: M. Bertuch/C. Lobinger)

Das Interreg Central Europe-Projekt „VirtualArch – Visualize to Valorize. For a better utilisation of hidden archaeological heritage in Central Europe“

Die Anwendung dieser neuen digitalen Techniken ist für viele archäologische Institutionen und entsprechende Kultureinrichtungen in Europa einerseits eine Herausforderung, andererseits bieten sie sehr attraktive Darstellungsmöglichkeiten. Im Bereich der Archäologie eröffnen die Techniken dem Betrachter – seien es Archäologen, Bewohner, Touristen oder Interessenvertreter wie Behörden, Bauherren und Planer – wesentlich umfassendere

und anschaulichere Präsentationen, um das im Boden verborgene beziehungsweise nicht zugängliche archäologische Kulturgut sichtbar zu machen. Mit einer solchen immersiven Visualisierung wird die Sensibilisierung der unterschiedlichen Interessensgruppen für die Bedeutung und den Wert des unterirdischen Denkmals verstärkt, was im besten Fall zu einer höheren Bereitschaft bei der Entwicklung von Schutzstrategien für archäologische Denkmale führt. Letztere sind vor allem in Hinblick auf den stetig wachsenden Flächenverbrauch im Zuge von Infrastrukturmaßnahmen, mit denen in ganz Europa tagtäglich die für den Denkmalschutz zuständigen Fachbehörden oder Museen umgehen müssen, immer wichtiger.

Vor diesem Hintergrund schlossen sich 2017 zehn Partner aus Deutschland, Italien, Österreich, Polen, Tschechien, Slowenien, Kroatien und der Slowakei zu einem dreijährigen Projekt zusammen. Sie repräsentierten archäologische Landesämter und Museen, universitäre Forschungsinstitute sowie Kommunen und stellten damit einen Querschnitt von Einrichtungen dar, die für Archäologie, Denkmalpflege und Tourismus zuständig sind⁸:

- Landesamt für Archäologie Sachsen (LfA), Dresden/Deutschland
- Stiftung Bruno Kessler (FBK), Trento/Italien
- Naturhistorisches Museum Wien, Prähistorische Abteilung (NHM), Wien/Österreich
- Nikolaus-Kopernikus-Universität Toruń, Archäologisches Institut (UMK), Toruń/Polen
- Archäologisches Institut der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, Prag (ARUP), Praha/Tschechische Republik
- Autonome Provinz Trentino, Bodendenkmalamt (PAT), Trento/Italien
- Slowenisches Institut für Denkmalschutz (IPCHS), Ljubljana/Slowenien
- Archäologisches Institut der Slowakischen Akademie der Wissenschaften (IASAS), Nitra/Slowakei
- Stadt Puck/Polen
- Stadt Zadar/Kroatien

Die Förderung erfolgte durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, die Projektleitung lag beim Landesamt für Archäologie Sachsen. Ziel war die gemeinsame Entwicklung neuer und innovativer Visualisierungsansätze sowie überregional gültiger Strategien, um verschiedene archäologische Denkmalformen abzubilden. Für die Evaluation und Umsetzung wurden daher acht sogenannte „Pilot Heritage Sites“ im Projektgebiet ausgewählt, die sich sowohl in ihrer Denkmalart und -form, Zeitstellung und räumlichen Lage als auch ihrem kulturellen Hintergrund, ihrer Bekanntheit bis hin zu ihrer potentiellen Bedrohung unterscheiden (Abb. 4). Ideale Voraussetzung dafür boten zwei versunkene Häfen zum einen aus der römischen Antike an der kroatischen Küste und zum anderen aus dem Früh- bis Hochmittelalter an der polnischen Ostsee, der frühmittelalterliche Zentralort Nitra in der Slowakei und die vom Laibacher Moor überdeckten Pfahlbausiedlungen in Slowenien.⁹ Den Schwerpunkt im VirtualArch-Projekt bildeten jedoch montanarchäologische Denkmalformen in Europa, die im Folgenden kurz näher vorgestellt werden. Neben den Bergwerken von Dippoldiswalde standen die prähistorischen Salzbergwerke von Hallstatt (Österreich), die mittelalterliche Bergbaulandschaft bei Civezzano (Italien) sowie die spätmittelalterliche Bergbausiedlung „Buchberg“ bei Utín im böhmisch-mährischen Hochland (Tschechische Republik) im Fokus des Projektes.

Einen sehr informativen Überblick zu den Projektinhalten und -ergebnissen bietet der Film VirtualArch – Visualize to Valorize, der

Abb. 5: Das Hallstätter Hochtal mit seinen Fundstellen: hellgrün – Bronzezeitliche Fleischindustrie (Surbecken); dunkelgrün – Bergbau der Bronzezeit „Nordgruppe“; rot – Bergbau der Älteren Eisenzeit „Ostgruppe“; dunkelblau – Bergbau der jüngeren Eisenzeit „Westgruppe“; braun – Gräberfeld der älteren Eisenzeit; hellblau – Siedlung der jüngeren Eisenzeit; lila – Siedlung und Gräberfeld der Römischen Kaiserzeit. (© Naturhistorisches Museum Wien; Grafik: Klaus Löcker, Grundlage: Luftbildarchiv/Institut für Ur- und Frühgeschichte Wien)



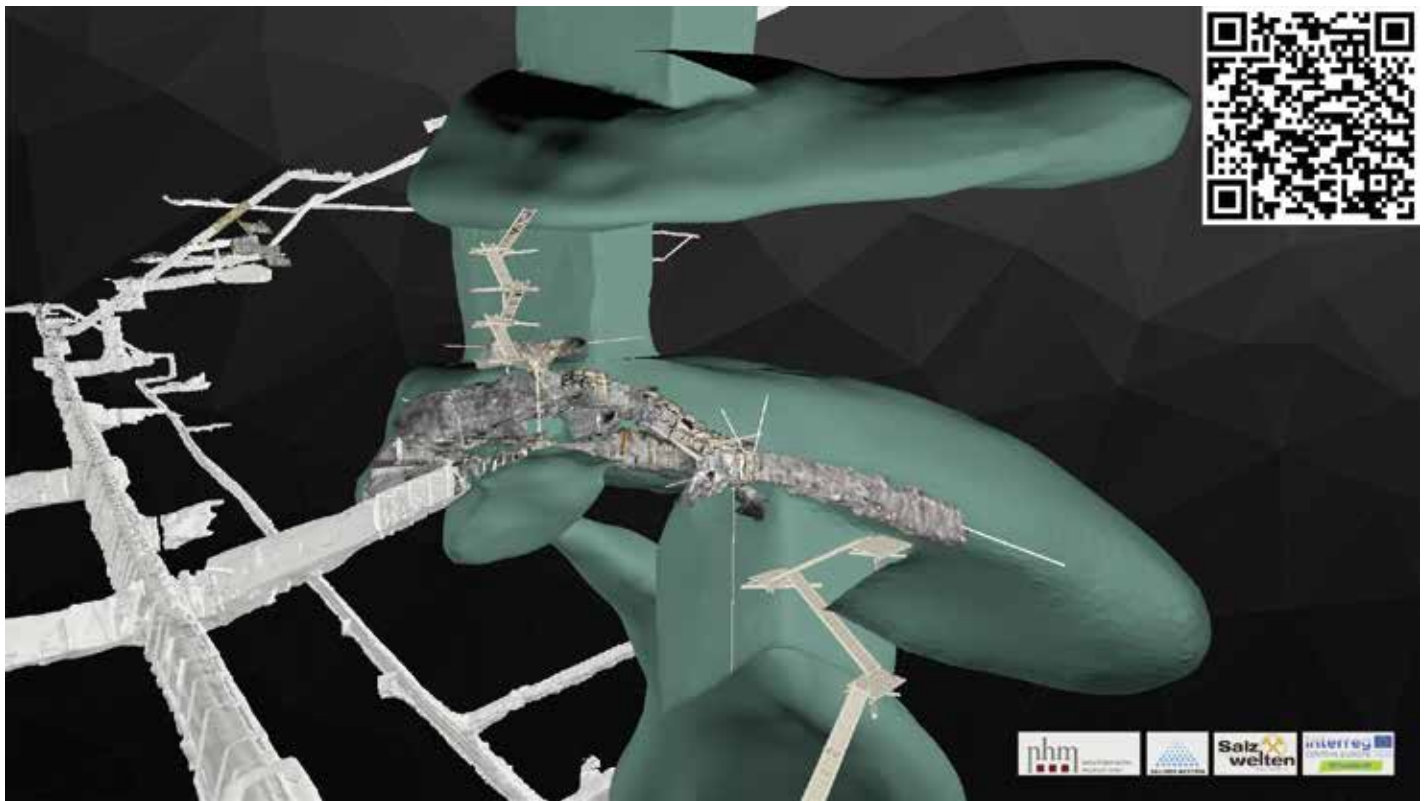


Abb. 6: Hallstatt, 3D-Modell mit Darstellung der Grabungsareale im Bereich der neuzeitlichen Bergwerke (hellgrau) sowie der mutmaßlichen Ausdehnung der bronzezeitlichen Abbaukammern (grün). (© Naturhistorisches Museum Wien; Grafik: Daniel Brandner)

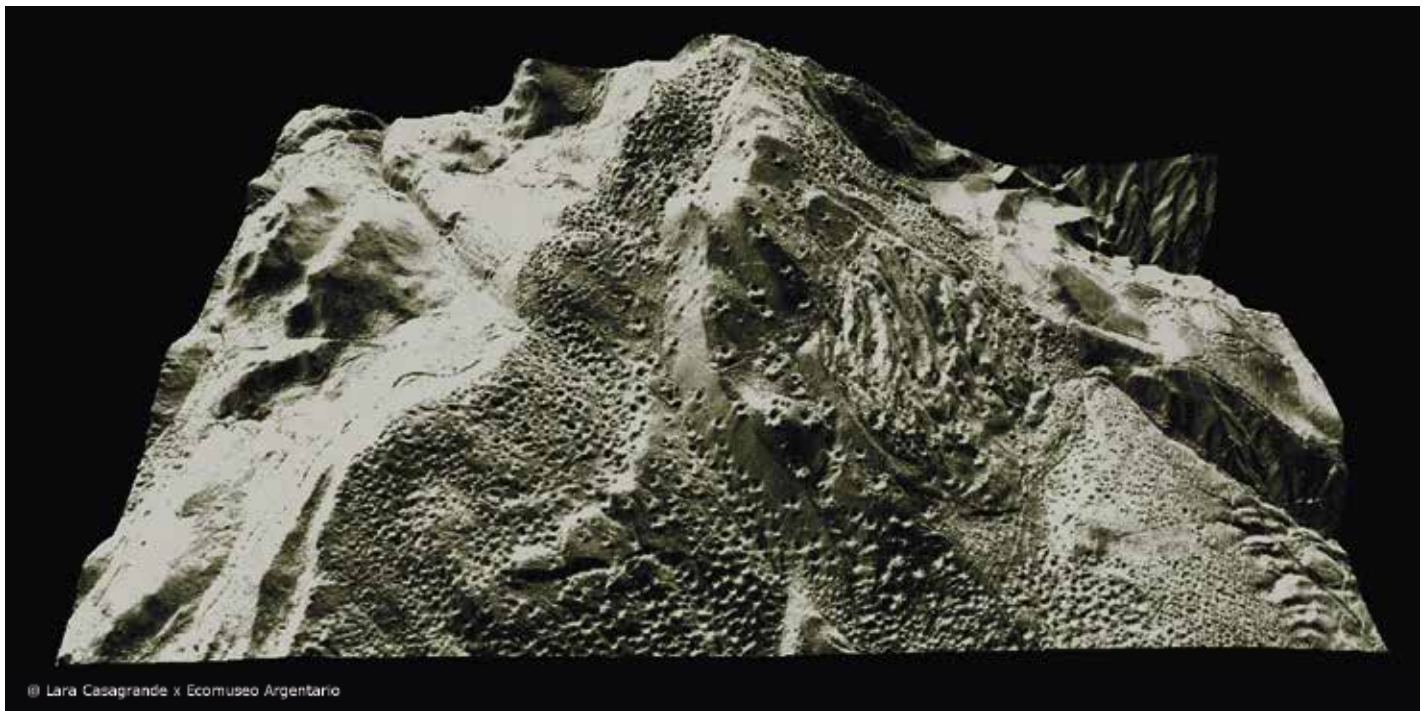


Abb. 7: Hunderte von montanarchäologischen Relikten (u. a. Pingeneben und Halden) sind auf dem digitalen Geländemodell um Civezzano zu erkennen. (© Ecomuseo Argentario, Grafik: L. Casagrande)

die Arbeiten der Projektpartner in den Pilot Heritage Sites erläutert (<https://www.youtube.com/watch?v=IeBvAcSxoKQ&t=7s>). Die Salzbergwerke von Hallstatt und deren Umfeld gehören bereits seit 1996 zum UNESCO Natur- und Weltkulturerbe. Angesichts der schönen Lage des Hallstätter Sees vor einem ma-

lerischen, alpinen Panorama verwundert der für jedermann sichtbare Naturerbe-Status kaum. Die Bergwerke jedoch sind als Weltkulturerbe eben nicht auf den ersten Blick sicht- und erlebbar. Deren Anlage und Weiterentwicklung beruhen auf der seit etwa 7.000 Jahren bis heute anhaltenden Salzproduktion im

Hallstätter Hochtal, das damit als Europas ältestes Industriegebiet angesehen werden kann.¹⁰ Grundlegend hierfür sind vor allem die bahnbrechenden und andauernden archäologischen Forschungen der Montanarchäologen vom Naturhistorischen Museum Wien insbesondere im Bereich der Bergwerke aus der Bronze- und Eisenzeit (15-13. bzw. 9.-4. Jahrhundert v. Chr.; vgl. Abb. 5). Über künstlich angelegte „Forschungstunnel“ stoßen die Montanarchäologen immer wieder auf einzigartige Funde wie die älteste Holzstiege Europas aus dem 15. Jahrhundert v. Chr. oder bergen durch das Salz konservierte Funde wie einen vollständig erhaltenen Tragsack aus ungegerbter Rinderhaut oder eine kleine Kinderkappe (die die Anwesenheit von Kleinkindern untertage archäologisch belegt).¹¹

Zwar wurden solche und andere Forschungsergebnisse in das touristische Angebot des Besucherbergwerkes „Salzwelten“ integriert, beispielsweise in Form einer speziellen, videoanimierten Vitrine mit Teilen der Holzstiege, aber die Lage und erst recht die gewaltige Dimension der prähistorischen Abbaukammern mit bis zu 300 m Länge und 20 m Höhe waren für Besucher bislang nur schwer vorstell- und vermittelbar. Dafür sollten im Rahmen des VirtualArch-Projektes neue virtuelle Formen entwickelt werden, um Besuchern einen besseren Zugang zum Welterbe, zu dessen Bedeutung und seiner Komplexität zu ermöglichen. Hierzu wurden Medienstationen für eine VR-Simulation sowohl vor Ort im Hochtal als auch in den Ausstellungsräumen des Naturhistorischen Museums Wien eingerichtet.¹² Weitere Anwendungen, vor allem aus dem Bereich der Augmented Reality (AR) (s. weiter unten) sollen folgen. Darüber hinaus können sich heute Interessierte auch per Computer in das interaktive 3D-Modell des Christian-von-Tusch-Werkes in Hallstatt bewegen, indem man sich mit der Webplattform Sketchfab per Mausclick in die Grabungsstollen hineinbegibt, um via 360°-Panorama-Aufnahmen die Forschungsarbeiten der österreichischen Montanarchäologen nachzuvollziehen (<http://hallstatt-forschung.blogspot.com/2020/05/virtualarch-hallstatt-virtuelle.html>) (Abb. 6).

Eine der bedeutendsten hoch- und spätmittelalterlichen Montanlandschaften Italiens und zugleich Europas liegt östlich von Trento bei Civezzano. Zwischen dem 12. und 15. Jahrhundert wurde hier intensiv Silberbergbau betrieben und bis heute sind im Gelände um den Monte Calisio, auch Monte Argentario (Silberberg) genannt, Tausende von Pingen, Stollen und Mundlöcher erhalten (Abb. 7).¹³ Umfang und Gestalt der Bergwerke sowie dessen Einfluss auf Landschaft und Umwelt sind Gegenstand laufender Untersuchungen und bergen montanarchäologisch und -historisch auch zukünftig großes Forschungspotential.¹⁴ Zwei ganz unterschiedliche Aspekte sollten am Monte Calisio berücksichtigt werden: Zum einen bedrohen die intensive landwirtschaftliche Nutzung sowie zunehmende illegale Befahrungen die Bergbau-relikte, zum anderen ist dessen Potential für diese beliebte Tourismus- und Wanderregion bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Daher plante das Bodendenkmalamt der Autonomen Provinz Trentino (PAT) zusammen mit dem örtlichen „Ecomuseo Argentario“ zunächst eine digitale Erfassung dieser beeindruckenden Denkmallandschaft vorzunehmen, um auf deren Grundlage verschiedene Visualisierungen für eine zeitgemäße, zielgruppenorientierte Informationsvermittlung zu entwickeln (<https://arcteam.github.io/virtualArch.github.io/>). Vor Ort am Monte Calisio wurde das „Nicht-Sichtbare“ oder „Nicht-Begehbare“ mittels Info-Tafeln, WLAN-Hotspot und QR-Codes (Abb. 8) sichtbar gemacht, mit denen sich Mobilapplikationen herunterladen lassen und die – auch offline – Bewohnern und Touristen zu einem Be-



Abb. 8: Die Leiterin des Ecomuseo Argentario, Lara Casagrande, erläutert die neue VirtualArch-Informationstafel und -Mobile App für das Bergbaugebiet um Civezzano. (© Landesamt für Archäologie Sachsen, Foto: C. Lobinger)



Abb. 9: Blick auf die Fundstelle der wüst gefallenen Bergbausiedlung Poperek/Buchberg aus dem 13./14. Jahrhundert bei Utín. Der archäologische Leiter Petr Hrubý von der Masaryk-Universität Brunn erläutert der Projektleiterin Christiane Hemker die Ergebnisse der geophysikalischen Prospektionen. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Foto: C. Lobinger)

such, einem Spaziergang oder sogar einer Wanderung durch diese weitläufige Montanregion einladen.

In Tschechien wurde auf der mährischen Höhe bei Utín nordwestlich der Stadt Píbyslav vor wenigen Jahren bei montanarchäologischen Untersuchungen der Masaryk-Universität Brunn ein großes Bergbauareal mit Pingenzügen und Siedlungsrelik-



Abb. 10: Hypothetische und virtuell generierte 3D-Rekonstruktion der Bergbausiedlung Poperek/Buchberg. (© Archäologisches Institut Prag; Grafik: J. Unger/M. Košťál)

ten entdeckt.¹⁵ Erste geophysikalische Prospektionen der umliegenden Felder führten zur Entdeckung einer großen wüst gefallenen Bergbausiedlung, die aufgrund der keramischen Funde in das 13. bis 14. Jahrhundert datiert. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich um das historisch überlieferte Poperek/Buchberg (Abb. 9). Zahlreiche technische Anlagen weisen auf eine hochspezialisierte Erz- und Buntmetallverarbeitung in dieser Bergbausiedlung hin, deren Bedeutung in dieser Phase wohl der der beiden wichtigsten böhmisch-mährischen Bergstädte Jihlava/Ig-lau und Kutná Hora/Kuttenberg nahekam. Auf Grundlage des bisherigen Forschungsstandes und neuen Untersuchungen, die in Kooperation mit ARUP durchgeführt wurden, konnte eine 3D-Rekonstruktion der Siedlung erstellt werden (Abb. 10). Durch die Visualisierung und Vermittlung der Ergebnisse u. a. in Form eines interaktiven Computerspiels (s. weiter unten und vgl. Abb. 17-18) für die lokale Bevölkerung und interessierte Nutzer sowie die Einbindung des Fundortes in das touristische (Rad)wegenetz konnten einerseits die Geschichte von Buchberg öffentlichkeitswirksam präsentiert werden, andererseits wurde der Bevölkerung und Interessensvertretern die vergessene Bergbautradition in ihrer Region identitätsstiftend in Erinnerung gerufen.

Von der 3D-Erfassung zur virtuellen Rekonstruktion

Für alle Partner stand die Authentizität der virtuellen und interaktiven Visualisierungen auf der Grundlage wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse und Daten im Vordergrund. Deren Erhebung folgte in den Pilot Heritage Sites und länderübergreifend relativ einheitlichen und vergleichbaren Dokumentationsstandards trotz aller chronologischen, typologischen und morphologischen Unterschiede der Denkmalgattungen. Bei der Erfassung der archäologischen Befunde vor Ort kommen in Europa zwar diverse, jedoch allseits bekannte Geräte wie der terrestrische La-

serscanner (Abb. 11) oder Techniken wie etwa die auf der Photogrammetrie beruhende Methode Structure from Motion (SfM) zum Einsatz.¹⁶ Gerade in der Montanarchäologie wird man dabei vor nicht unerhebliche Herausforderungen gestellt: Dunkelheit, Nässe, Enge sowie die problematische Verortung der Befunde in konventionelle Vermessungssysteme erschweren die Dokumentation untertage. Gemeinsam mit den übertägigen Bergbaurelikten, erfasst durch Ausgrabungen, digitale Geländemodelle, Luftbilder oder geophysikalische Prospektionen sowie Informationen aus Archiven, historischen Karten und Abbildungen, fließen alle Daten in die Visualisierung der montanen Denkmäler mit ein.

Von besonderer Bedeutung sind die hervorragenden Erhaltungsbedingungen vor allem von Werkzeugen und Alltagsgegenständen aus organischem Material sowohl in den Dippoldiswalder als auch in den Hallstätter Bergwerken. Solche Funde ermöglichen weitreichende Einblicke in die vergangenen Lebenswelten der frühen Bergleute. Zugleich bieten sie im Kontext mit den archäologischen Befunden ideale Voraussetzungen für eine gleichermaßen umfassende wie detaillierte digitale Erfassung als gesicherte Grundlage für deren virtuelle Rekonstruktion. Das Landesamt für Archäologie Sachsen verfügt seit vielen Jahren über ein eigenes 3D-Labor¹⁷, in dem Tausende von Feuchthölzern hochgenau dokumentiert werden, bevor diese für lange Zeit ihrer Konservierung zugeführt werden (Abb. 12). Die gescannten und farblich originalgetreu erfassten 3D-Fundmodelle sind damit exakte virtuelle Kopien, die mit Auflösungen zwischen 0,1 und 0,4 mm zeit- und ortsunabhängig weiter erforscht werden können. Die Messung selbst wie auch die anschließenden Analysen am 3D-Modell schonen damit das sensible Original, weil es dem langwierigen Konservierungsprozess nicht entzogen werden muss.

Mittels der 3D-Befunddokumentation untertage und den 3D-Fundmodellen können komplexe untertägige Befunde ihrer In-



Abb. 11: 3D-Scanning eines „Forschungstunnels“ in Hallstatt. (© Naturhistorisches Museum Wien)

Abb. 12: 3D-Scan eines Rundholzes aus Dippoldiswalde mit dem Streifenlichtscanner. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Foto: T. Reuter)



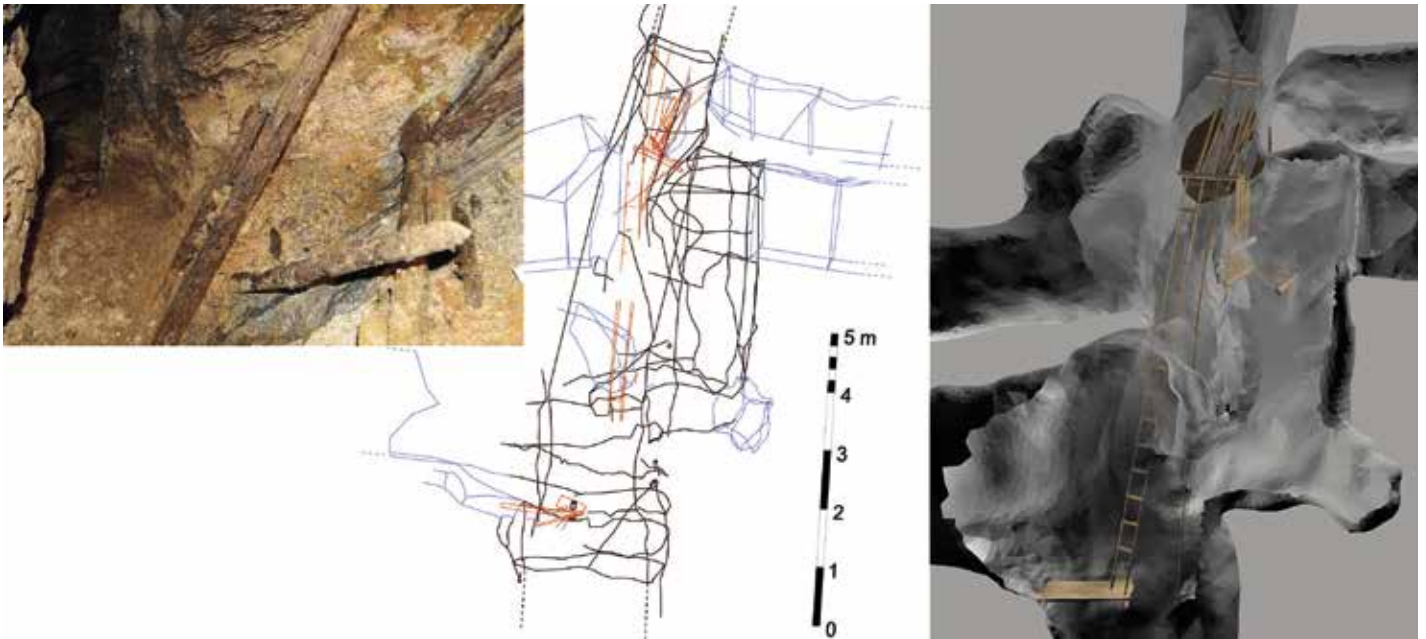


Abb. 13: Tachymetrisches Aufmaß eines Förderschachtes unter dem Busbahnhof von Dippoldiswalde (DW-18) aus der Zeit um 1260. Rot eingezeichnet sind diverse technische Arbeitsmittel und Einbauten aus Holz, darunter eine über 6,5 m lange Fahrt (Befundfoto oben links). Rechts die virtuelle Rekonstruktion der Befundsituation. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Foto/Grafiken: H. Hönig/A. Jostes)



Abb. 14: Ausschnitt aus dem Produktionsprozess zur virtuellen Darstellung des Bergbauzentrums Poperek/Buchberg um 1260/1270: Dafür wird auf einer Google Maps-Karte das Geländere relief (LIDAR-Scan) aufgebracht, worauf reale photogrammetrische Modelle (farbig texturierte Objekte) und manuell modellierte Objekte (weiß) platziert werden. (© Archäologisches Institut Prag; Grafik: J. Unger/M. Košťál)

Situ-Lage virtuell zugeordnet, erforscht und natürlich auch visualisiert werden (Abb. 13). Zusammen mit den weiteren oben aufgeführten Quellen kann so prähistorischer oder mittelalterlicher Bergbau zwar hypothetisch, aber wissenschaftlich vertretbar rekonstruiert werden (War-Situation) (Abb. 14). Auch eine „virtuelle Archäologie“ kann aus sich heraus nicht ohne die im Verlauf des 19. und 20. Jahrhunderts entwickelten und in Statuten wie der „London Charter“ oder den „Sevilla Principles“ festgehaltenen Vorstellungen und Anforderungen der Ur- und Frühgeschichtsforschung, agieren.¹⁸ Dementsprechend sollten archäologisch nicht belegte virtuelle Rekonstruktionen möglichst kein

Bestandteil entsprechender Visualisierungen sein. Auch sollten Unterschiede zwischen fiktiver Vorstellung und belegbarer Realität stets deutlich und kenntlich gemacht werden. Dieser Anspruch wurde daher insbesondere für die montanen Reviere Utin (CZ) und Monte Calisio (IT) berücksichtigt, da die Erhaltung der dortigen Strukturen ebenso wie der aktuelle Dokumentationsstand derzeit noch keine sichere Rekonstruktion lokaler bergbaulicher Situationen zulässt. Jedoch ist eine Übertragung oder Integration von 3D-Modellen auf vergleichbare Situationen unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten insbesondere in bergbaulichen Zusammenhängen aufgrund des intensiv gepflegten kulturellen Austausches und der engen Kontakte zwischen den europäischen Montanregionen während des Mittelalters und der frühen Neuzeit vorstellbar und daher akzeptabel.¹⁹ Unter diesem Aspekt initiierte ARUP im Rahmen von VirtualArch ein Nebenprojekt mit dem Ziel, archäologische 3D-Modelle aus ganz Europa zu sammeln, die über einen Fundstellen- sowie einen Kultur- und Zeitkontext verfügen. Diese werden künftig Museen, archäologischen Landesämtern und Instituten sowie weiteren in der archäologischen Denkmalpflege arbeitenden Behörden über eine Datenbank zur Verfügung stehen, um die virtuelle Rekonstruktion archäologischer Denkmäler zu erleichtern (<https://di-giarchiv.aiscr.cz/results?kategorie=ddata3d>).

Erkunden am Bildschirm oder mobil vor Ort

Die hochauflösten, dreidimensionalen Modelle von nicht begehbaren, jedoch digitalisierten und rekonstruierten Bergwerken können auf vielfältige Weise virtuell und realitätsnah erkundet werden. So sind im MiBERZ seit 2018 einzelne Befundsituationen als kurze 3D-Videoaufnahmen auf Bildschirmen zu sehen. Ein erweiterter Eindruck wird mittels eines virtuellen „Fluges“ durch ein idealtypisch rekonstruiertes Bergwerk (Abb. 15) mit seinen Schächten, Stollen und Abbaustrecken vermittelt. Die aus-

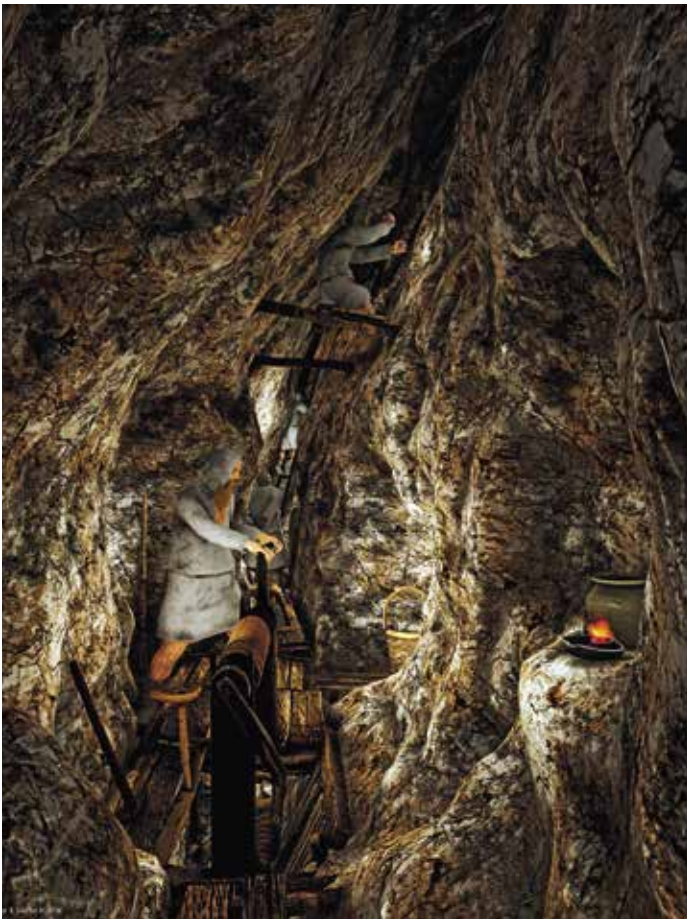


Abb. 15: Virtueller Blick in ein rekonstruiertes, hochmittelalterliches Bergwerk auf der Grundlage montanarchäologischer Befunde in Dippoldiswalde. (© Landesamt für Archäologie Sachsen, Grafik: J. Unger/M. Košťál)

gestellten Funde selbst können zum Teil aber auch schon bequem vom Computer daheim in 3D unter die Lupe genommen werden (<https://archaeo3d.de>). Vor allem im „Outdoor-Bereich“ ist das „Nicht-Sichtbare“ oder „Nicht-Begehbare“ jetzt via WLAN-Hotspot und kostenfrei herunterladbare Apps mit dem eigenen Smartphone oder Tablet digital erlebbar. In der App „Montanarchäologie in Dippoldiswalde“ erweitern standortbezogene Audio- und Videoaufnahmen die herkömmlichen analogen und zweidimensionalen Texte und Bilder auf entsprechenden Informationstafeln mit der 3. Dimension um ein Vielfaches (vgl. Abb. 2, links). Insbesondere die 360°-Panorama-Visualisierungen führen den Betrachtern eindrucksvoll vor, wie es „früher“ einmal ausgesehen haben könnte – besonders dann, wenn sich die Besucher vor Ort an einer sich im Verlauf der Jahrhunderte stark veränderten, überprägten archäologischen Fundstelle wie dem Dippoldiswalder Obertorplatz befinden. Dort wurden 2013 während einer Ausgrabung die Relikte einer Bergleutesiedlung aus der Zeit um 1200 entdeckt.²⁰ Die Grabungsergebnisse sowie weitere Untersuchungen zu anderen Bergbausiedlungen im Erzgebirge bildeten dann auch die Grundlage für eine hypothetische Rekonstruktion, wie die Siedlung vor rund 800 Jahren ausgesehen haben mag (Abb. 16). Als interaktives 3D-Bild ist das Panorama mit weiteren Hintergrundinformationen in der App „Montanarchäologie in Dippoldiswalde“ abrufbar.

Spielerisch mittelalterlichen Bergbau erfahren

Solche Panorama-Ansichten eignen sich neben rein informativen Modulen auch für Computerspiele oder „Gaming-Apps“. Daher wurde von den tschechischen Projektpartnern im Rahmen des VirtualArch-Projektes für die Pilot Heritage Site Poperek/Buch-

Abb. 16: 3D-Panorama-Ansicht der idealrekonstruierten Bergbausiedlung in der Mobile App „Montanarchäologie in Dippoldiswalde“. Die mit (i) gekennzeichneten Punkte informieren detailliert zu charakteristischen Befunden und Infrastruktur. (© Landesamt für Archäologie Sachsen, Grafik: Jiří Unger)

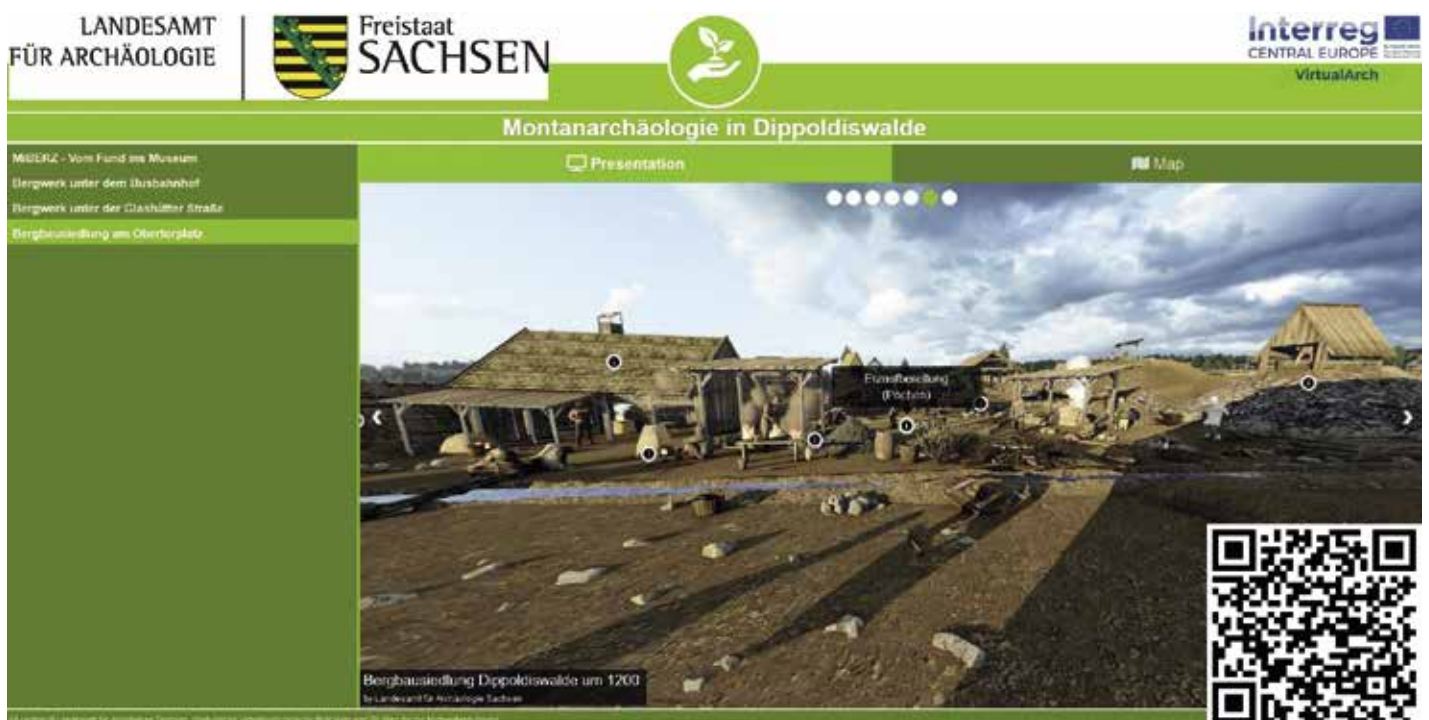




Abb. 17: Die virtuellen Handlungsorte im Abenteuerspiel „Buchberg 1269“ führen die Nutzer spielerisch zu den unterschiedlichsten Bereichen einer mittelalterlichen Bergbaulandschaft. (© Archäologisches Institut Prag; Illustration: M. Kocourek)

berg bei Utin ein Abenteuerspiel mit dem Namen „Buchberg 1269 – Teufels Stollen“ konzipiert, entwickelt und umgesetzt.²¹ Darin schlüpfen die Spieler in die fiktive Rolle des jungen Ritters Jakob von Zaun und decken schrittweise einen im Jahr 1269 angesetzten Kriminalfall auf. Hierbei bewegt sich der Protagonist und damit der Spieler virtuell (oder persönlich vor Ort) durch die Bergbausiedlung, löst Rätsel und lernt dabei in 3D-Ansichten die verschiedenen Aspekte der Erzförderung und -verarbeitung, die Lebensumstände der Bergleute und zentrale Orte wie die Kirche der Berggemeinde oder den herrschaftlichen Sitz des Bergmeisters kennen (Abb. 17-18). Zeichnerische Illustrationen ergänzen das Spiel und dienen als Übergänge der einzelnen Szenarien. Eine beigelegte Enzyklopädie vervollständigt das spielerische „e-learning“. Die im Spiel auftauchenden Charaktere entspringen nur teilweise der reinen Fiktion. Tatsächlich berichten Urkunden von Personen wie Gewerken, Amtsträgern, Zeugen, Kaplanen und Pfarrern aus Buchberg und benachbarten Bergbaugebieten.²² Ein authentischer Fundus, aus dem die Spiele-Designer beliebig auswählen konnten. Um die virtuellen Figuren lebensecht zu gestalten, fungierte meist eine reale Person als „Fotomodell“. Auch Gesichtszüge und körperliche Charakteristika sind gelegentlich von der schriftlichen Überlieferung inspiriert. So wurde dem historisch nachgewiesenen Bergbauunternehmer Henning Schuttwein, in seiner latinisierten Form auch Schutwinus oder Suchtwinus genannt, die sehr menschliche Schwäche der Trunksucht angedichtet (Abb. 18).

Im Höhepunkt der Handlung, sozusagen dem „Showdown“, wird der Kriminalfall selbstverständlich untertage in der Grube gelöst, wobei eine neue Technik zum Einsatz kommt: die Augmented Reality (AR).

Abb. 18: Der Sitz des Bergmeisters ist in der hypothetischen Rekonstruktion des Buchberg-Spiels eine kleine Turmhügelburg. Rechts die virtuelle Figur des historisch belegten Bergbauunternehmers Henning Schuttwein (zeichnerische Vorlage oben rechts). (© Archäologisches Institut Prag; Grafik: J. Unger/M. Košťál; Illustration: M. Kocourek)



Virtuell einfahren mit der erweiterten Realität

Augmented Reality (AR) ist eine computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung durch ergänzende Bilder oder Videos mit computergenerierten Zusatzinformationen, die standortabhängig eingeblendet oder überlagert werden. Die für Mobilgeräte entwickelte Anwendung ist eine recht junge Technologie und nicht jedes Smartphone oder Tablet ist fähig, diese abzubilden.²³ Die Datengrundlage bilden wiederum 3D-Modelle von Denkmälern, Funden oder rekonstruierten Gebäuden und Anlagen wie etwa der einer einfachen Kaue über einem Schachteingang (Abb. 19). Personen, wie der hier abgebildete Haspelknecht (Abb. 20) lassen sich über die Software animieren. Und wie funktioniert nun die virtuelle Befahrung?

Nach dem Herunterladen und Starten der AR-App wie beispielsweise „Medieval MinesAR“ für die Bergwerke von Dippoldiswalde, scannen die Nutzer eine signifikante Abbildung, den sog. Marker, der in Dippoldiswalde an Informationstafeln am MiBERZ sowie an der Glashütter Straße (vgl. Abb. 2, rechts) installiert ist. Diese Marker synchronisieren das Mobilgerät mit der Software und richten die hinterlegten 3D-Modelle standortabhängig aus. In der ersten AR-Anwendung am MiBERZ erscheint auf dem Display ein dreidimensionales Modell der schematischen Stadt Dippoldiswalde mitsamt seiner montanen „Unterwelt“. Je nachdem, wie man Handy oder Tablet hält, gewährt die App einen Blick von über oder von untertage. Maßstäblich eingeblendete Schächte und Stollen vermitteln ein eindrückliches Bild von der intensiven Bergbautätigkeit des Mittelalters unter der heutigen Bebauung. Kaum ein Bereich der Stadt, unter dem der Silberbergbau keine Spuren hinterlassen hat. Die zweite Anwendung an der Glashütter Straße führt die Nutzer direkt in die Welt untertage. Durch reale Bewegung werden die Grubenge-

bäude „unter den eigenen Füßen“ erkundet, die beklemmende Enge erlebt und fleißige Bergleute bei ihrer harten Arbeit, sei es an einer Haspel oder an einem Abbau, angetroffen. Das Besondere dabei: der virtuelle Parcours verläuft auf einem Weg in unmittelbarer Nachbarschaft der rezenten Grundstücke, unter denen tatsächlich montanarchäologische Untersuchungen stattfanden.²⁴



Abb. 19: Mittelalterlicher Bergbau in Dippoldiswalde in der „erweiterten Realität“ – Screenshot der interaktiven App „Medieval MinesAR“. Auf dem Display zu sehen ist ein eingeblendetes 3D-Modell von einer Kaue über dem Förderschacht. Per Touchscreen gelangen die Nutzer virtuell in das Bergwerk „unter den eigenen Füßen“. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Foto/Grafik: Best Sequence, s.r.o.)

Abb. 20: Das virtuelle Bergwerk der interaktiven App „Medieval MinesAR“ kann in 3D durch reale Bewegung erkundet werden. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Foto/Grafik: Best Sequence, s.r.o.)





Abb. 21: Mittelalterlicher Bergbau in der „virtuellen Realität“. Mit Datenbrille und Controller können Besucher des MiBERZ „digital“ erfasstes Gezähe in die Hand nehmen und als Bergmann selbst das Silbererz in einer virtuellen Umgebung abbauen. (© Landesamt für Archäologie Sachsen; Grafik: GTV – Gesellschaft für Technische Visualistik mbH; Foto: C. Lobinger)

Die Virtuelle Realität (VR) – immersiv und unmittelbar eindrücklich

Die in der AR-App implementierten bergmännischen Gezähe und weitere Gerätschaften wie Fahrten, Förderkörbe, Geleuchte, Erztröge, Schaufeln oder Steigbäume sind im Original im MiBERZ in speziellen Klimavitrinen zu betrachten. Das äußerst sensible organische Material, das hohe Alter und der kulturhistorische Wert dieser einzigartigen Funde erlauben selbstverständlich kein Berühren durch Besucher. Hier vermitteln 3D-Nachdrucke ein realistisches Gefühl beispielsweise zur Haptik der ausgestellten Objekte. Die Objekte wie etwa Schlägel und Eisen können vom Besucher im MiBERZ aber auch mithilfe der Technik der Virtuellen Realität (VR) in die Hand genommen werden. Als Hauer kann man nun vollständig in die interaktive und in Echtzeit wahrgenommene Umgebung eines virtuellen Bergwerkes eintauchen (Abb. 21). Ausgerüstet mit fest installierter VR-Brille und zugehörigen Controllern greift man an der VR-Medienstation des MiBERZ zum digitalen Gezähe, baut das Silbererz mit Schlägel und Eisen ab und befüllt den Förderkorb mit Kratze und Schale, während andere Museumsbesucher die „bergmännischen Fähigkeiten“ auf einem Bildschirm verfolgen können. Damit Besucher in der realen Welt nicht gegen Wände, Vitrinen und Ausstellungsobjekte laufen, muss man sich für das Szenario auf einen Stuhl setzen. Virtuell handelt es sich natürlich um ein dreibeiniges Hauerstühlchen, das 2018 in einem mittelalterlichen Schacht 20 m unter der Geländeoberfläche in Dippoldiswalde entdeckt und geborgen werden konnte.

Ausblick

Mit der rasanten Entwicklung neuer Technologien gehen auch Veränderungen unseres Wahrnehmungsverhaltens einher. Besonders bei den jüngeren Generationen – den „Digital Natives“ – werden Bewusstseinsressourcen wie Konzentration und Interesse mehr und mehr von den digitalen Möglichkeiten beeinflusst. Auch archäologische Institutionen nehmen diese Entwicklung als mit großen Herausforderungen verbundene Chance wahr,

Abb. 22: Das Unsichtbare sichtbar machen – am Beispiel der Montanarchäologie. Eine Familie vor einer heute noch im Wald sichtbaren Bergbaupinge; transparent eingeblendet archäologisch rekonstruierbare überlägige Infrastruktur und Bergleute des Mittelalters sowie – im Untergrund – die nicht zugänglichen und nicht sichtbaren, aber vorhandenen Bergwerksstrukturen. (© Archäologisches Institut Prag; Grafik: J. Unger)



um ihre Vermittlungsarbeit diesen hochattraktiven Trends anzupassen. Zudem wird mittlerweile in der Öffentlichkeit erwartet, dass wissenschaftliche Ergebnisse nicht mehr in verstaubten Regalen verschwinden oder in ebensolchen Vitrinen präsentiert werden. Die 3D-Digitalisierung und Visualisierung, die virtuelle Rekonstruktion sowie die darauf aufbauende Präsentation mittels virtueller oder erweiterter Realität bilden hier ein bildmächtiges Instrument, um unser archäologisches Kulturerbe ebenso anschaulich wie authentisch zu präsentieren und mit allen Sinnen zu erfahren. Die Ergebnisse des VirtualArch-Projektes haben gezeigt, dass dieser „virtuelle Ansatz“ für die Montanarchäologie überaus vielversprechend ist: Unzugänglichkeit auf der einen, dreidimensionale Dokumentationsmethoden auf der anderen Seite. Auch dem verstärkten Interesse der Bevölkerung an montanen Hinterlassenschaften, in Dippoldiswalde²⁵, Hallstatt²⁶ oder Goslar mit dem Rammelsberg²⁷ zusätzlich durch den Welterbe-Status untersetzt, wird damit Rechnung getragen. Hier kann die virtuelle Realität als Bindeglied zwischen (komplexer) Wissenschafts- und allgemeinverständlicher Vermittlung, aber auch zwischen dem untertägig Erfassten und obertägig Sichtbaren genutzt werden (Abb. 22). Sie liefert Anreize, sich auch einmal näher mit montanen Themen zu befassen oder gar in ein Museum zu gehen. Die fachliche Zusammenarbeit wird erleichtert, in dem die schnelle Bearbeitung archäologischer Daten virtuell möglich ist. Je mehr Informationen in den Datenbanken ergänzt werden, desto authentischer kann das 3D-Modell oder 3D-Objekt erscheinen.

Die virtuelle Montanarchäologie steht, wie in vielen Nachbardisziplinen ebenso, erst am Anfang. Es gilt rechtliche Rahmenbedingungen und terminologische Standards zu vereinheitlichen und festzulegen, Arbeitsabläufe und Datenmanagement zu optimieren und bereits bestehende digitale Angebote für alle zugänglich zu machen, hier sei beispielhaft die Inklusion erwähnt. Das internationale VirtualArch-Projekt konnte hier Ansätze und Wege aufzeigen, um das ohnehin vorhandene und sich ständig erweiternde Daten-, Erfahrungs- und Ergebnispotential dahingehend zu nutzen. Die Projektergebnisse wurden unter anderem in einem transnationalen Strategiepapier zusammengefasst, das als Handbuch für Archäologen, Denkmalschützer, Museologen oder auch beauftragte Medieninformatiker zum Download bereitgestellt wurde (downloadbar unter <https://www.interreg-central.eu/virtualarch>). Zusammen mit kostenloser Software sowie frei verfügbaren Datenbanken von 3D-Modellen sollen diese Module u. a. archäologischen Museen und Institutionen die Erstellung eigener Applikationen und die Umsetzung virtueller Rekonstruktionen archäologischer Relikte und Denkmallandschaften erleichtern. Absehbar werden VR-Medienstationen in Museen oder interaktive Mobilapplikationen mit 3D- oder AR-Modulen zunehmen und deren Entwicklung finanziell zu stemmen sein. Für die Ausbildung künftiger Archäologen und Grabungstechniker sollte daher die Anwendung der benötigten Technologien verstärkt in die Lehrpläne integriert werden. Sicher ist, dass künftig der „virtuelle Ansatz“ aufgrund seiner vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und seines Facettenreichtums nicht nur eine fordernde und fördernde, sondern auch eine vordere Rolle einnehmen wird.

Anmerkungen

- 1 Hemker 2011; Hemker/Schubert 2018.
- 2 Scholz 2012; Elburg 2013; Hemker 2018.

- 3 Wirtschaftsförderung Erzgebirge 2019.
- 4 Göttlich 2014.
- 5 Hemker/Burghardt 2020.
- 6 Keefer 2020.
- 7 Göttlich/ Reuter 2013; Schröder 2015; Schröder/Reuter 2020.
- 8 Für die Zurverfügungstellung von Bildmaterial für diesen Beitrag sowie die hervorragende Zusammenarbeit möchten sich die Autoren bei allen Projektbeteiligten herzlichst bedanken.
- 9 Vgl. Lobinger/Hemker 2018; Dies. 2019; Unger et. al. 2020. Weitere Information zu den Pilot Heritage Sites befinden sich auch auf der VirtualArch-Homepage unter <https://www.interreg-central.eu/virtualarch>.
- 10 Kern et. al. 2008.
- 11 Vgl. jüngst zusammenfassend Reschreiter/Kowarik 2019.
- 12 Reschreiter et. al. 2019.
- 13 Casagrande 2013.
- 14 Vgl. hierzu die vom Ecomuseo Argentario und der Ludwig-Maximilians-Universität München durchgeführten Forschungen: Casagrande et. al. 2017.
- 15 Vgl. Derner et. al. 2016.
- 16 Zu den Techniken vgl. u. a. Remondino 2011. Zur Anwendung im montanen Bereich siehe Anm. 7 oder Malek et. al. 2020, S. 192-195.
- 17 Schröder/Reuter 2019, S. 24.
- 18 Vgl. u. a. Denard 2012.
- 19 Vgl. Hemker 2020.
- 20 Schubert/Wegner 2014; Wegner/Schubert 2015.
- 21 Hrubý et. al. 2019.
- 22 Vgl. hierzu ausführlich Hrubý 2021 mit Literatur- und Quellenangaben.
- 23 Grundlegend hierfür ist die technische Ausrüstung des Mobilgerätes mit einer Kamera mit entsprechender Qualität, einem Bewegungssensor, ausreichender leistungsfähiger CPU sowie einer entsprechenden Designarchitektur. Eine Liste der für Google Play Services for AR (früher ARCore) freigegebenen Geräte findet man unter https://developers.google.com/ar/discover/supported-devices#android_platform.
- 24 Hemker 2014, S. 368-370.
- 25 Wirtschaftsförderung Erzgebirge 2019, S. 29.
- 26 Reschreiter et. al. 2019.
- 27 Deutsche UNESCO-Kommission 2015, S. 67.

Bibliografie

- CASAGRANDE, Lara:
 2013 Mining landscapes in the Province of Trento (north-east Italy): new technologies for research and preservation, in: Smolnik, Regina (Hg.): *ArchaeoMontan 2012. Erkunden – Erfassen – Erforschen* (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 26), Dresden 2013, S. 39-43
- CASAGRANDE, Lara/STRAßBURGER, Martin/CONDORELLI, Francesca/ROAT, Giulia/THALER, Federico/SCOZ, Jacopo:
 2017 An update from the project Archaeology of the Mons Argentarius: historical sources, remote sensing, toolmarks, finds, in: Silvertant, J. (Hg.): *Vergessenes Wissen – historische Methoden und Technologien in der europäischen Montangeschichte. 12th Yearbook of the Institute Europa Subterranea 2017, Freiberg/Gulpen 2017*, S. 68-77
- DENARD, Hugh:
 2012 A New Introduction to the London Charter, in: Bentkowski-Kafel, A./Denard, H./Baker, D. (Ed.): *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, Ashgate 2012, S. 57-71
- DERNER, Kryštof/HRUBÝ, Petr/SCHUBERT, Matthias:
 2016 Mittelalterliche Silberproduktion in wettinischen und přemyslidischen Regierungsraum: Neue archäologische Untersuchungen. Medieval silver production in the Wettin and Přemyslid administrative area: new archaeological studies, in: *Der Anschnitt 68* (2016), S. 216-242
- DEUTSCHE UNESCO-KOMMISSION:
 2015 Deutsche Welterbestätten, in *Welterbe 76* (2015), S. 54-94
- ELBURG, Rengert:
 2013 Untertage unterwegs im hohen Mittelalter, in: *Archäologie in Deutschland 4/2013* (2013), S. 28-29
- GÖTLICH, Fanet:
 2014 Arbeitsspuren im Altbergbau – dreidimensional dokumentiert, in: Smolnik, Regina (Hg.): *ArchaeoMontan 2014. Ergebnisse und Perspektiven* (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 29), Dresden 2014, S. 81-93
- GÖTLICH, Fanet/REUTER, Thomas:
 2013 Methoden der grabungsbegleitenden 3D-Dokumentation, in: Smolnik, Regina (Hg.): *ArchaeoMontan 2012. Erkunden – Erfassen –*

- Erforschen (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 26), Dresden 2013, S. 209-223
- HEMKER, Christiane:
- 2011 Archäologie in Dippoldiswalde, in: Smolnik, Regina (Hg.): Aufbruch unter Tage. Stand und Aufgaben der montanarchäologischen Forschung in Sachsen. (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 22), Dresden 2011, S. 117-126
- 2014 Der Aufbruch geht weiter II. Ausgewählte Funde des Jahres 2012 aus den hochmittelalterlichen Silbergruben von Dippoldiswalde und Niederpöbel, in: Smolnik, Regina (Hg.): Ausgrabungen in Sachsen 4 (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 27), Dresden 2014, S. 163-168
- 2018 New insights on mining archaeology in the Erzgebirge (Ore Mountains), in: World of Mining 70 (2018), S. 409-416
- 2020 Bergbau und Mobilität im Mittelalter. Archäologische, historische und naturwissenschaftliche Fallstudien zum (über-)regionalen Kultur- und Technologietransfer zwischen Montanrevieren, in: Hemker, Christiane/Smolnik, Regina (Hg.): ArchaeoMontan 7 (Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen, Beih. 73), Dresden 2020
- HEMKER, Christiane/BURGHARDT, Linda:
- 2020 Das MiBERZ – Museum für mittelalterlichen Bergbau im Erzgebirge, in: Der Anschnitt 72 (2020), S. 214-220
- HEMKER Christiane/SCHUBERT Matthias:
- 2018 Silber aus dem Erzgebirge, in: Archäologie in Deutschland 5/2018 (2018), S. 8-13
- HRUBÝ, Petr:
- 2021 Erzbergbau und Edelmetallproduktion im böhmischen Königreich während des 13. Jhs. im Kontext der europäischen Montanarchäologie, in: Smolnik, Regina (Hg.): ArchaeoMontan 6 (Veröffentlichungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen, Beih. 72), Dresden 2021
- HRUBÝ, Petr/KOŠŤÁL, Martin/UNGER, Jiří/VÁGNER, Michal:
- 2019 Abenteuer Spiele und Archäologie, in: Archäologie in Deutschland 6/2019 (2019), S. 38-39
- KEEFER, Erwin:
- 2020 Oben bleiben in Dippoldiswalde. Der Bergbaulehrpfad, in: Archäologie in Deutschland 3/2020 (2020), S. 71
- KERN, Anton/KOWARIK, Kerstin/RAUSCH, Andreas/RESCHREITER, Hans:
- 2008 Salz – Reich. 7000 Jahre Hallstatt, Wien 2008
- LOBINGER, Christoph/HEMKER, Christiane:
- 2018 The International Project VirtualArch: Visualization and Presentation of Hidden Archaeological Heritage Across Central Europe, in: Proceedings of the 23rd International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (2018)
- 2019 Vermittlung über alle Grenzen, in: Archäologie in Deutschland 6/2019 (2019), S. 26-29
- MALEK, Katharina/SCHMIDT-HÄNDEL, Astrid/DRECHSLER, Georg/SCHÄFER, Tanja/HANNEMANN, Wilhelm/DETTMER, Hans-Georg:
- 2020 Neue Ansätze zur Entwicklung der Wasserhaltung im Rammelsberg und erste Einblicke in die dreidimensionale Aufnahme der historischen Bergbaumdelle im Rahmen des Vorhabens „Altbergbau 3D. Ein interdisziplinäres Projekt zur Erforschung des montanhistorischen Erbes im Harz“, in: Der Anschnitt 72 (2020), S. 177-196
- REMONDINO, Fabio:
- 2011 Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning, in: Remote Sensing 3/2011 (2011), S. 1104-1138
- RESCHREITER, Hans/BRANDNER, Daniel/CÖLSCH, Johannes/SLAMAR, Ilija/PRENNER, Josef/POPPENWIMMER, Fiona/SCHAUER, Andreas:
- 2019 Virtual Hallstatt – experience the hidden World Cultural Heritage Site, in: Karl, Raimund/Leskovar, Jutta (Hg.): Interpretierte Eisenzeiten. Fallstudien, Methoden, Theorie. Tagungsbeiträge der 8. Linzer Gespräche zur interpretativen Eisenzeitarchäologie. Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich 49 (2019), S. 359-366
- RESCHREITER, Hans/KOWARIK, Kerstin:
- 2019 Bronze Age Mining in Hallstatt. A New Picture of Everyday Life in the Salt Mines and Beyond, in: Archaeologia Austriaca 103 (2019), S. 99-136
- SCHOLZ, Volkmar:
- 2012 Versuch einer beschreibenden Rekonstruktion der Bergbautechniken und Abbautechnologien im hochmittelalterlichen Bergbau von Dippoldiswalde, in: Smolnik, Regina (Hg.): ArchaeoMontan 2012. Erkunden – Erfassen – Erforschen (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 26), Dresden 2013, S. 237-248
- SCHRÖDER, Frank:
- 2015 Die montanarchäologischen Ausgrabungen in Niederpöbel (2011-2013) – Befunde und Ergebnisse, in: Smolnik, Regina (Hg.): ArchaeoMontan 2015. Montanarchäologie im Osterzgebirge (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 30), Dresden 2015, S. 23-165
- SCHRÖDER, Frank/REUTER, Thomas:
- 2019 Die drei Dimensionen, in: Archäologie in Deutschland 6/2019 (2019), S. 24-25
- SCHUBERT, Matthias/WEGNER, Martina:
- 2014 Die Grabung Roter Hirsch – Erste Ergebnisse zur hochmittelalterlichen Siedlung der Dippoldiswalder Bergleute, in: Smolnik, Regina (Hg.): ArchaeoMontan 2014. Ergebnisse und Perspektiven (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 29), Dresden 2014, S. 195-208
- WEGNER, Martina/SCHUBERT, Matthias:
- 2015 Roter Hirsch – Hochmittelalterliche Wohn- und Werkstätten der Dippoldiswalder Bergleute, in: Smolnik, Regina (Hg.): ArchaeoMontan 2015. Montanarchäologie im Osterzgebirge (Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, Beih. 30), Dresden 2015, S. 207-244
- WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG ERZGEBIRGE:
- 2019 Die Montane Kulturlandschaft Erzgebirge/Krušnohoří auf dem Weg zum Welterbe. 800 Jahre Bergbau – 85 Bestandteile – 39 Elemente – 7 Facetten, Annaberg-Buchholz 2019
- UNGER, Jiří/HEMKER, Christiane/LOBINGER, Christoph/MAŘÍK, Jan:
- 2020 VirtualArch – Making Archaeological Heritage Visible, in: EAC occasional paper 15 (2020)

Anschriften der Verfasserin und des Verfassers

Dr. Christoph Lobinger
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege
Burg 4
90403 Nürnberg

Dr. Christiane Hemker
Landesamt für Archäologie Sachsen
Zur Wetterwarte 7
01109 Dresden